

Návrh vstřikovací formy pro díl počítačové myši

Lenka Talafová

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: Lenka Talafová
Osobní číslo: T18223
Studijní program: B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Návrh vstřikovací formy pro díl počítačové myši

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Vytvořte 3D model zadaného dílu.
3. Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl.
4. Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.
5. Proveďte analýzu vhodnosti umístění vtokového ústí.

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

Seznam doporučené literatury:

ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 28 s. ISBN 978-80-7204-833-5.

ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. První vydání. Praha: Grada Publishing, 2018. 455 stran.

DANGEL, Rainer. *Injection moulds for beginners*. Munich: Hanser Publishers, 2016. ISBN 978-156-9906-316.

MALLOY, Robert A. *Plastic part design for injection molding: an introduction*. 2nd ed. Ohio: Hanser Publications, 2011. ISBN 978-3-446-40468-7.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Fluxa**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **5. ledna 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2021**

L.S.

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

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

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

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

Cílem této bakalářské práce je návrh konstrukce vstřikovací formy pro díl počítačové myši.

Teoretická část se zabývá technologií vstřikování, rozdělením polymerních materiálů, které jsou vhodné pro technologii vstřikování a konstrukcí výrobků.

Praktická část je zaměřena na samotný návrh dílu počítačové myši, návrh vhodného vstřikovacího stroje a konstrukci formy pro zvolený plastový díl v programu Catia V5R20 s využitím normalizovaných součástí od firmy Hasco.

Klíčová slova: vstřikovací forma, technologie vstřikování, polymer, konstrukce

ABSTRACT

The aim of this bachelor's thesis is to design an injection mold for a part of computer mouse.

The theoretical part deals with injection molding technology, distribution of polymeric materials that are suitable for injection molding technology and product design.

The practical part is focussed on the design of a computer mouse, the design of suitable injection molding machine, and mold construction for a selected part in the Catia V5R20 program using standardized components from Hasco.

Keywords: injection mold, injection technology, polymer, construction

Poděkování

Zde bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Petru Fluxovi, za odborné vedení, poskytnutý čas a cenné rady, které byly velkým přínosem při zpracování bakalářské práce.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	12
1.1 PRŮBĚH VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	12
1.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	13
1.2.1 Vstřikovací jednotka	14
1.2.2 Uzavírací jednotka	14
1.2.3 Řídicí a ovládací jednotka.....	15
1.2.4 Typy vstřikovacích strojů.....	15
2 POLYMERY.....	16
2.1 ROZDĚLENÍ A VLASTNOSTI POLYMERŮ	16
2.1.1 Termoplasty.....	17
2.1.2 Reaktoplasty	18
2.1.3 Elastomery.....	18
2.2 PŘÍPRAVA PLASTŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM.....	18
2.2.1 Sušení	18
2.2.2 Barvení granulovaných plastů.....	19
2.2.3 Recyklace termoplastů	19
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	21
3.1 TLOUŠŤKA STĚN VÝROBKU.....	21
3.2 ZAOBLNĚNÍ HRAN A KOUTŮ	22
3.3 ÚKOSY A PODKOSY.....	22
3.4 ŽEBRA	22
4 VSTŘIKOVACÍ FORMY	24
4.1 POSTUP PŘI KONSTRUKCI FORMY.....	25

4.1.1	Zaformování výstřiku.....	26
4.1.2	Dimenzování tvarové dutiny.....	26
4.1.3	Smrštění.....	26
4.1.4	Násobnost formy.....	27
4.2	VTKOVÉ SYSTÉMY.....	28
4.2.1	Studený vtokový systém.....	28
4.2.2	Vyhřívaný vtokový systém.....	31
4.3	VYHAZOVACÍ SOUSTAVY.....	32
4.3.1	Vyhazovací kolíky.....	32
4.3.2	Šikmé válcové kolíky.....	32
4.3.3	Dvoustupňové vyhazování.....	33
4.3.4	Stírací deska.....	34
4.4	RÁM FORMY.....	35
4.5	ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	36
4.6	TEMPERACE FOREM.....	38
4.6.1	Zásady volby temperačních kanálů.....	39
4.7	MATERIÁLY VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	41
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	42
5	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	43
6	SPECIFIKACE VÝROBKU.....	44
6.1	MATERIÁL VÝROBKU.....	45
6.2	ANALÝZA VHODNOSTI UMÍSTĚNÍ VTKOVÉHO ÚSTÍ.....	45
7	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	46
7.1	VÝPOČET PARAMETRŮ STROJE.....	47
7.1.1	Určení množství polymeru nutného pro jeden zdvih.....	47
7.1.2	Určení plastikační doby pro jeden zdvih.....	48

8	KONSTRUKCE FORMY	49
8.1	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....	49
8.2	HLAVNÍ TVAROVÉ ČÁSTI FORMY	49
8.3	POSUVNÉ ČELISTI	50
8.4	NÁSOBNOST FORMY	50
8.5	VTKOVÝ SYSTÉM	51
8.5.1	Vtoková vložka	52
8.5.2	Přidržovač vtoku	52
8.6	TEMPERACE.....	52
8.7	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	53
8.8	MANIPULACE S FORMOU	53
8.9	SESTAVA FORMY	54
8.9.1	Pravá pevná část formy	54
8.9.2	Levá pohyblivá část formy.....	55
8.9.3	Vyhazovací systém.....	56
	ZÁVĚR	57
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	58
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	61
	SEZNAM OBRÁZKŮ	62
	SEZNAM TABULEK.....	64
	SEZNAM PŘÍLOH.....	65

ÚVOD

Historie vstřikování sahá až do roku 1872, kdy bratři Hyattové postavili a patentovali první vstřikovací stroj. V té době ještě nejspíše nevěděli, jaký bude mít vstřikování dopad na nynější průmysl. Vstřikování plastů využívají firmy v různých odvětvích po celém světě. Nejen, že výrobky z plastů vznikají velice rychle, ale jejich výroba je také levná.

Masivní využití strojů pro vstřikování plastů poprvé využila společnost LEGO, která se dříve zabývala výrobou hraček ze dřeva. Plasty postupně nahrazovaly i jiné materiály, jako jsou sklo, ocel nebo keramika. Dnes mají výrobky z plastů velké zastoupení například v automobilovém průmyslu, ale i v dalších průmyslových odvětvích. Vstřikování patří k nejrozšířenějšímu způsobu zpracování polymerů. Umožňuje vyrábět výrobky velkorozměrné i miniaturní s různou tvarovou složitostí.

Samotný vstřikovací cyklus je proces několika úkonů, který se cyklicky opakuje. Plast je ve formě taveniny vstříknut vysokou rychlostí do dutiny formy, kde následně tuhne v konečný produkt. Ten je ze vstřikovacího stroje vyhozen a celý cyklus se opakuje. V této technologii jsou kladeny velké nároky na nástroj, který musí být navržen tak, aby odolával vysokým tlakům a plastový díl měl po vyhození zaručenou jakost. Ke konstruování forem a výrobku slouží řada softwarových programů, které usnadňují a urychlují samotné konstruování.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování patří mezi nejrozšířenější způsob výroby požadovaných dílů z plastů. Předchází ji poměrně složitý fyzikální proces, na kterém se podílí vhodná volba polymeru, vstřikovacího stroje a návrh formy. [1]

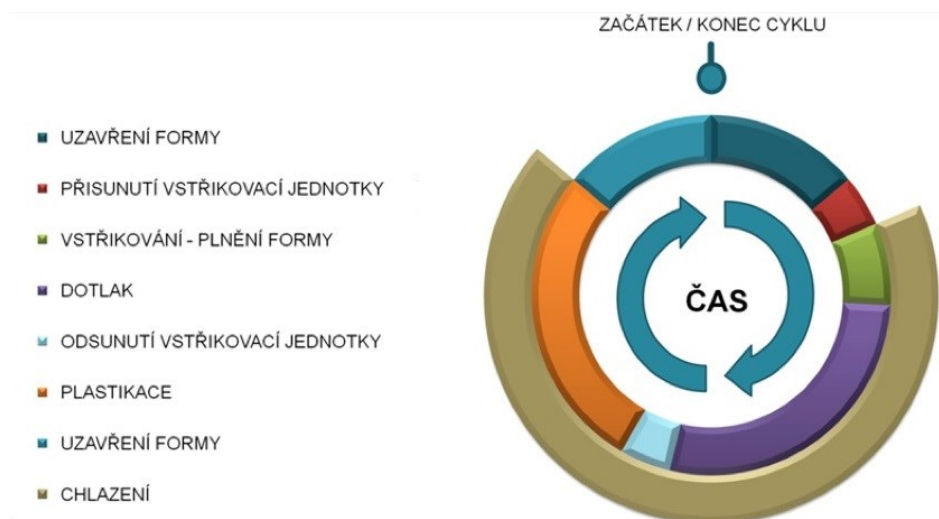
Vstřikováním se vyrábějí výrobky, které mají buď charakter již hotového konečného výrobku nebo polotovaru anebo dílu pro další zkompletování samostatného celku. Díky této technologii se výrobky vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Jde o diskontinuální, cyklický proces, kterým lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů a v jisté menší míře i některé druhy reaktoplastů a kaučuků. [2]

1.1 Průběh vstřikovacího cyklu

V průběhu vstřikování je dávka zpracovávaného materiálu z pomocné tlakové komory vstříknuta vysokou rychlostí do uzavřené dutiny formy a ochlazená ve finální výrobek. [2]

Vstřikovací cyklus (obr. 1) je tvořen řadou přesně specifikovaných postupných kroků. Je to proces, během kterého zvolený polymer prochází teplotním a tlakovým cyklem. [2]

Ještě před samotným vstřikováním je nutno definovat počátek cyklu, za který lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy. Po uzavření formy následuje pohyb šneku v tavní komoře a začíná vstřikování roztavené hmoty do dutiny vstřikovací formy. V této fázi se šnek neotáčí, pouze plní funkci pístu. Po naplnění formy (90 % - 99 %) je tavenina v dutině stlačena (dotlak). Dotlak má obvykle buď stejnou nebo nižší hodnotu, než je vstřikovací tlak a není vždy nutný. Dotlak může být omezen v případě studeného vtokového systému zamrznutím vtokového ústí. Po skončení dotlaku dochází k odjezdu plastikační jednotky a plastikaci nové dávky. Jakmile tavenina vstoupí do dutiny formy, okamžitě začne předávat teplo vstřikovací formě a chladne. Výrobek je ve formě chlazen na vyhazovací teplotu. Chlazení je obvykle nejdélší časový úsek z celého cyklu. Po ochlazení výrobku se forma otevře a výstřik se pomocí vyhazovačů vyhodí z formy a celý cyklus se opakuje. [2,3]



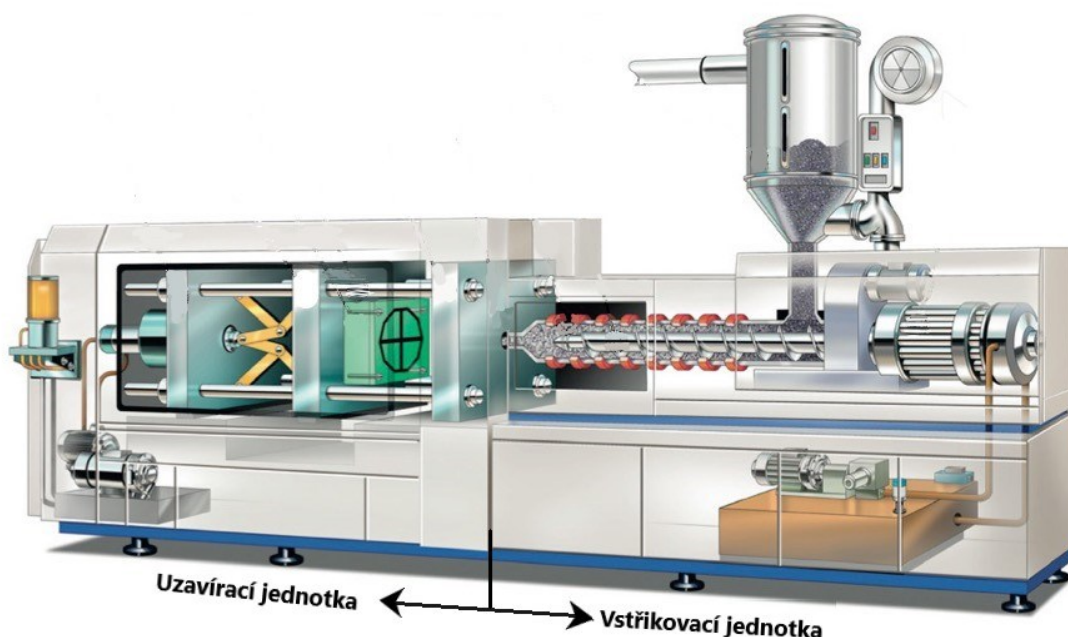
Obr. 1 Vstřikovací cyklus [3]

1.2 Vstřikovací stroj

V dnešní době existuje velké množství typů polymerů, které lze zpracovávat technologií vstřikování. Vzhledem k stále vyšší nárokům na složitost, rozměry výrobků a energetické úspory, se na trhu objevuje rozměrné množství různých typů strojů rozmanitých velikostí a modelů, ať už jsou určeny pro úzce specifikované konkrétní aplikace, nebo stroje modulární, které díky svému „stavebnicovému“ řešení lze snadno přestavovat a upravovat dle vlastních požadavků. [4]

Vstřikovací stroj (obr. 2) je zařízení, které přímo ovlivňuje kvalitu jím vyráběných výrobků, a proto vyžaduje, aby byl tuhý a pevný při vstřiku, měl konstantní tlak, rychlost, teplotu atd. Měl by mít přesnou reprodukovatelnost technologických parametrů. Konstrukce vstřikovacího stroje se skládá ze tří částí [1, 5]:

- ovládání a řízení stroje
- uzavírací jednotky
- vstřikovací jednotky



Obr. 2 Vstřikovací stroj [3]

1.2.1 Vstřikovací jednotka

Funkcí vstřikovací jednotky je příprava vysoce viskózní taveniny z granulátu a následné dopravení požadovaného množství materiálu s předepsanými technologickými parametry do formy. Je nutné, aby množství dopravované taveniny bylo menší, než je kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu. Maximální vstřikované množství by nemělo překročit 90 % kapacity jednotky vzhledem k tomu, že je nutná rezerva pro případné doplnění úbytku hmoty při smrštění. [1]

Vstřikovací jednotka je složena z několika částí. Vstupní část tvoří násypka, na níž navazuje plastikační válec, který je opatřen topnými pásy. Tavicí komoru ukončuje tryska s kulovým tvarem, jež zajišťuje přesné dosednutí do sedla vtokové vložky formy. Souosost trysky a sedla vtokové vložky formy, menší průměr otvoru a menší poloměr trysky jsou podmínkou správnosti funkce. Uvnitř tavicí komory je umístěn šnek s charakteristickou geometrií. [1,6]

1.2.2 Uzavírací jednotka

Má za úkol dokonalé uzavření, otevření a případné vyprázdnění formy. Uzavírací mechanismus má nejrůznější provedení. Mohou být konstruovány jako hydraulické, mechanické či jejich kombinace. V poslední době se používají i elektrické uzavírací systémy. [1, 2]

Uzavírací jednotka je složena z těchto hlavních částí: opěrné desky pevné, upínací desky, vodících sloupků (nejsou nutné u všech konstrukcí uzavíracích jednotek) a uzavíracího mechanismu. [1, 2]

1.2.3 Řídící a ovládací jednotka

Při řízení a regulaci výrobního procesu je třeba snímat a nastavovat technologické a strojní parametry vstřikovacího stroje, jako jsou například: doba vstřikování, doba chlazení, teplota formy, teplota taveniny, tlak při vstřikování a dotlačování, otáčky šneku atd. [6]

Každý vstřikovací stroj obsahuje ovládací panel, který umožňuje zadávat vstupní údaje, řídit činnost celého stroje a ovládat i externí zařízení. Tato jednotka nám umožňuje vysoký stupeň automatizace celého procesu, nicméně zvyšuje také požadavky na kvalifikaci obsluhy a údržby stroje. [8]

1.2.4 Typy vstřikovacích strojů

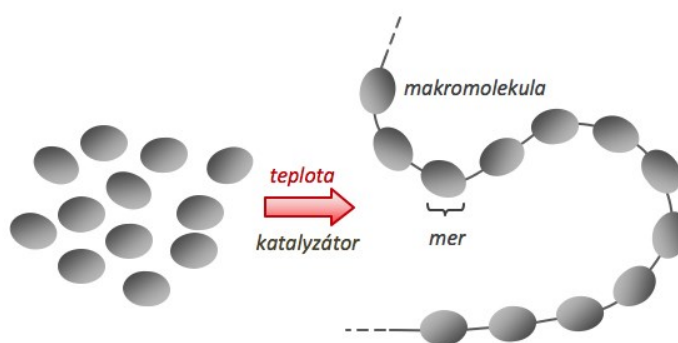
Vstřikovací stroje jsou primárně určeny pro zpracování polymerních materiálů v podobě granulí. Polymery lze rovněž zpracovávat ve formě prášku či hmoty těstovité konzistence, nebo taky kapalně systémy. Vstřikovací stroje je možné dělit do skupin dle různých kritérií [4]:

- podle pohonu zajišťující pohyb v hlavních osách stroje
 - hydraulické vstřikovací stroje
 - elektrické vstřikovací stroje
 - hybridní vstřikovací stroje, které kombinují přednosti obou typů pohonů
- podle pracovního členu v tavicí komoře vstřikovací jednotky
 - pístové vstřikovací stroje
 - šnekové vstřikovací stroje
- podle směru posuvu pohyblivé desky uzavírací jednotky bez ohledu na pozici vstřikovací jednotky
 - horizontálně orientované vstřikovací stroje
 - vertikálně orientované vstřikovací stroje
- podle typu zpracovávaného plastu

2 POLYMERY

Polymery jsou především organické látky přírodního nebo syntetického původu, které ve svých molekulách obsahují většinou atomy uhlíku, vodíku, kyslíku, často také dusíku, chloru i jiných prvků. Od ostatních přírodních materiálů se odlišují především tím, že mají velké molekuly, tzv. makromolekuly, jejichž základní konstituční jednotkou je „mer“. Řecká předpona „poly“ znamená mnoho nebo více. [9,10]

Polymery jsou ve formě výrobku prakticky v tuhém stavu, avšak v určitém stádiu zpracování dovoluje, většinou za zvýšené teploty a tlaku, udělit budoucímu výrobku nejrůznější tvar. [10]



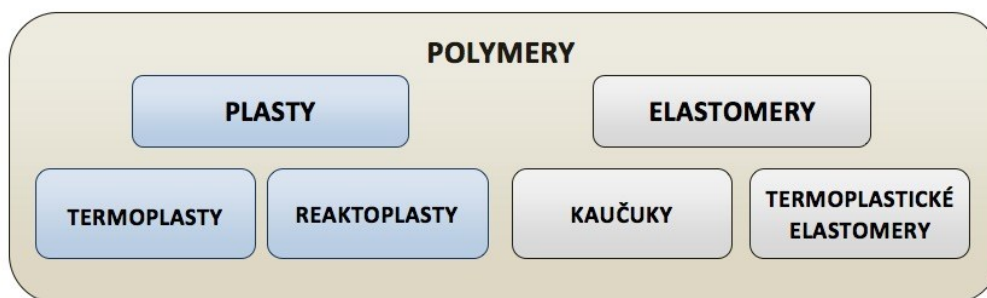
Obr. 3 Schéma makromolekuly [9]

2.1 Rozdělení a vlastnosti polymerů

Polymery lze rozdělit podle několika kritérií (obr. 5). Základní skupiny představují plasty a elastomery, viz. obr. 5.

Plasty jsou polymery, u nichž vnější namáhání způsobuje převážně nevratné deformace. Při běžných podmínkách jsou tvrdé, často křehké. Dle chování se dále dělí na termoplasty a reaktoplasty. [9]

Elastomery jsou vysoce pružné (elastické) materiály s nízkou tuhostí, které lze za běžných podmínek malou silou značně deformovat. Tato deformace je převážně vratná. Elastomery lze dělit na kaučuky a termoplastické elastomery. [9]



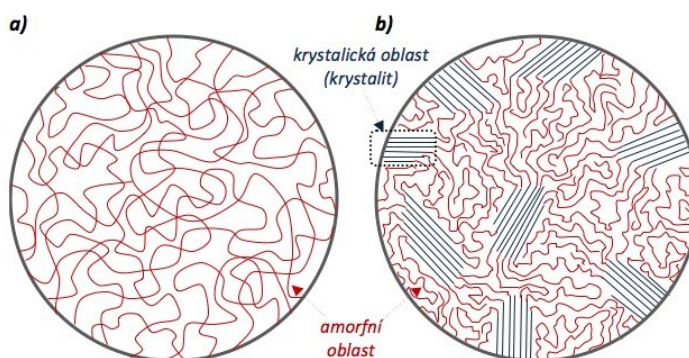
Obr. 4 Základní rozdělení polymerů [9]

2.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu a dají se snadno tvářet a zpracovávat nejrůznějšími technologiemi. Jejich ochlazením opět přejdou do tuhého stavu. Mají jedinečnou vlastnost. Lze je opětovně tavit, aniž by se změnila chemická struktura. Proces měknutí a následného tuhnutí je možné opakovat teoreticky bez omezení. Jedná se pouze o fyzikální proces. Termoplasty se podle nadmolekulární struktury dělí na semikrystalické a amorfní. [2,12]

Semikrystalické termoplasty vykazují určitý stupeň uspořádanosti, který se označuje, jako stupeň krystalinity (pohybuje se od 40 % do 90 %). Ten vyjadřuje relativní podíl uspořádaných oblastí, uložených mezi amorfními oblastmi. Tyto polymery mohou být oproti amorfním nanejvýš průsvitné, nikoliv však čiré a mají význačně vyšší stupeň smrštění. [1, 13]

Amorfní termoplasty mají lineární řetězce makromolekul, které jsou uspořádány náhodně. Amorfní plasty jsou opticky čiré a mají význačně nízkou hodnotu smrštění proti formě, což je výhodné pro výrobu rozměrově přesných dílů a součástí. [13]



Obr. 5 Schéma nadmolekulární struktury polymerů a) amorfní b) semikrystalické [9]

2.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou tavitelné a tvarovatelné materiály jen určitou dobu po zahřátí. V průběhu dalšího zahřívání dochází k chemické změně, při které působné molekuly zesítují a od toho okamžiku se stávají netavitelné a nerozpustné. Vzniklá chemická reakce se nazývá vytvrzování, což je nezvratný proces. Vytvrzený materiál není možné znovu tvarovat. Reaktoplast je amorfní polymer. Výrobky se vyznačují vysokou chemickou i tepelnou odolností. [9]

2.1.3 Elastomery

Elastomery jsou polymerní materiály, které lze tvářet za působení tepla, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k prostorovému zesíťování struktury. Tato chemická reakce se nazývá vulkanizace. U termoplastických elastomerů k vulkanizaci nedochází, proto proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat teoreticky bez omezení. [2]

2.2 Příprava plastů před vstřikováním

Před samotným vstřikováním je nutno materiál upravit v souladu s technologickým postupem, určeným na konkrétní výrobek. Materiál musí nejdříve projít technologiemi přídatného zpracování, kdy se do plastů přidávají různé přísady, odstraňují těkavé podíly, voda, dochází k barvení granulátu, míchání s nadouvadlem apod. Technologie přídatného zpracování představuje mezistupeň mezi výrobou polymeru a vlastním zpracováním. Uvedené úkony upravují termoplast do stavu, kdy je jeho zpracování bez potíží a výsledná aplikace vyhovuje požadavkům na výrobek. [1,2]

2.2.1 Sušení

Obsah vody v polymeru závisí na relativní vlhkosti a teplotě prostředí, ve kterém je daný materiál uskladněn. Proto je nutné dbát na teplotní změny při přemístění granulátu, při kterém obvykle dochází k vysrážení vlhkosti na povrch granulátu. Vznik této povrchové vlhkosti je také nutné před zpracováním odstranit. Z důvodů snížení kvality některých parametrů, degradaci polymeru a zhoršení kvality povrchu je potřeba většinu materiálů před zpracováním předsoušet. [6,1]

K sušení granulátů se používá celá řada postupů a zařízení, založených na sušení vzduchem. Při sušení granulátů vzduchem se často pracuje s pojmem „rosný bod vzduchu“,

což je teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami. Pokud teplota klesne pod rosný bod, nastává kondenzace, tj. vylučování vody ze vzduchu. [6]

U sušiček je dnes předpokladem, že budou pracovat kvalitně a efektivně, v širokém rozmezí teplot (až 180 °C), s různými druhy a typy granulátorů. Sušit znamená dát uživateli možnost nastavit rosný bod od -50 °C do 0 °C. Zařízení si během příjmu materiálu samo zvolí správný rosný bod. [6]

Sušárny je možné rozdělit do pěti základních skupin:

- sušárny se samovolnou cirkulací ohřátého vzduchu,
- sušárny s nuceným oběhem ohřátého suchého vzduchu,
- sušárny s nuceným oběhem ohřátého vzduchu,
- podtlakové sušárny,
- tlakovzdušné sušárny.

2.2.2 Barvení granulovaných plastů

Barva silně ovlivní dojem, který si o daném výrobku jeho odběratel vytvoří. Některé výrobky vyžadují jakostní povrch a vhodný barevný odstín. Jednou z výhod výroby dílů z polymerních materiálů je, že do plastů lze přidat barviva, popřípadě pigmenty, které umožní zbarvení celého dílu. Výsledný produkt proto není potřeba lakovat. [1,12]

Pro barvení plastů se používají barvy od nejrůznějších výrobců, které se dodávají v papírových, nebo PE pytlích, v plechových sudech apod. Tyto barvy je nutné skladovat v suchu. Barviva, která jsou rozpustná v tavenině plastu, poskytují maximální pevnost barvy a lesk při minimálních nákladech, dále také ovlivňují kvalitativní vlastnosti plastů i technologické parametry při zpracování. Vhodný typ barviva se volí v závislosti na zpracovávaném plastu. Některé druhy barviv mají až 150 odstínů. Barvení se provádí buď dávkovacím zařízením přímo na vstřikovací stroji, nebo se granulát barví před vstřikováním. [1,12]

2.2.3 Recyklace termoplastů

Jak již bylo zmíněno, termoplasty jsou materiály, které lze opětovně převést do stavu taveniny a zchlazením je možné získat nový výrobek. Na rozdíl od reaktoplastů a zesíťovaných elastomerů je tato vlastnost předurčuje k recyklaci. [14]

Recyklace odpadů je definována jako opětovné využití odpadů v původní nebo pozměněné formě, bez ohledu na místo a čas vzniku odpadu a jeho použití. Odpadem se rozumí odšťíky taveniny do volného prostoru, neopravitelné zmetky, vtokové zbytky apod. Recyklace může vracet odpady, jak pro původní, tak i pro jiné účely. [14]

Nejčastěji se rozlišují tyto případy recyklace [14]:

- odpad zpracovává na druhotnou surovinu jeho producent – interní recyklace
- odpad převádí na druhotnou surovinu jeho odběratel a zároveň zpracovatel
- odpad částečně zpracuje producent a zpracování dokončí odběratel – kombinace výše uvedených příkladů
- odpad zpracovává samostatný výrobní systém a předává jej odběrateli jako druhotnou surovinu

3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

Konstrukce výrobků z plastů se zcela liší od konstrukcí kovových výrobků. Obecně platí, že čím jednodušší tvar výrobku je navržen, tím budou lepší pevnostní podmínky, levnější výroba formy a snadnější dodržení rozměrové přesnosti. Konstruktor při návrhu výrobku musí zvolit pro danou součást vhodný polymer, a také by si měl být vědom možných komplikací, které se mohou při špatném návrhu objevit. [6, 15]

Konstrukce výrobku musí splňovat velké množství hledisek. Mezi základní patří [16]:

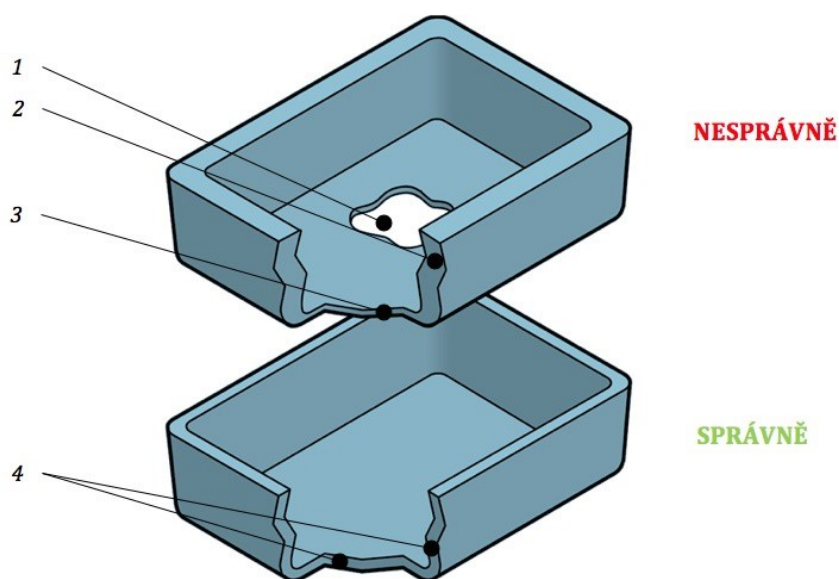
- technologické zásady (tloušťka stěn, žebra, zaoblení hran, velikost úkosů, volba materiálu, zaformovatelnost apod.),
- funkčnost plastového dílu v daném prostředí,
- užité, estetické, ergonomické a bezpečnostní hlediska.

3.1 Tloušťka stěn výrobku

Tloušťka stěn silně ovlivňuje mnoho klíčových charakteristik dílů, včetně mechanických vlastností, vzhledu, tvarovatelnosti atd. Optimální tloušťka stěn je často rovnováhou mezi protichůdnými tendencemi, jako je pevnost versus redukce hmotnosti, trvanlivost versus cena. Proto je fázi návrhu nutné pečlivě zvážit tloušťku stěny, aby se předešlo nákladným úpravám formy. [15]

Zvyšující se tloušťka stěny zvyšuje hmotnost dílů, dobu cyklu a náklady na materiál. Proto je v jistých případech nutné použití geometrických prvků, jako jsou například žebra, křivky a zvlnění, k vyztužení dílů. Tyto prvky mohou přidat dostatečnou pevnost s velmi malým nárůstem hmotnosti. [15]

Při výběru tloušťky stěny je nutné zvážit vyrobiteľnosť vstřikováním v souvislosti s délkou toku taveniny, což je vzdálenost mezi místem, kde tavenina vstupuje do dutiny formy a posledním místem, které tavenina vyplní. Nadměrně tenké stěny mohou vést ke vzniku vysokých vstřikovacích tlaků, vzhledovým vadám, problémům s vyplněním dutiny formy. Naopak větší tloušťky stěn prodlužují dobu vstřikování, způsobují vzhledové vady v podobě propadlin povrchu v důsledku dotlaku, a další vady výrobku. Při konstrukci tloušťky stěny výrobku je nutné se vyvarovat náhlému přechodu oblastí s nižší tloušťkou stěny s oblastmi s vyšší tloušťkou stěny, vyhnout se častým změnám tloušťky, udržet maximálně rovnoměrnou tloušťku stěny. [15]



Obr. 6 Vliv tloušťky stěny na technologičnost výroby plastového dílu vstřikováním [3]

(1 – oblast se zvýšeným rizikem uzavírání vzduchu, 2 – příliš velká tloušťka, 3 – příliš malá tloušťka, 4 – rovnoměrná tloušťka)

3.2 Zaoblení hran a koutů

V oblasti ostrých hran vstřikovaných dílů dochází ke koncentraci napětí vyvolaných mechanickým zatěžováním. Proto je vhodné opatřit hrany, rohy a kouty zaoblením, které usnadní tok taveniny a zabrání koncentraci napětí v těchto místech. Ostré přechody vyžadují vyšší vstřikovací tlaky, které vedou k opotřebování formy. Vlivem zaoblení se zvýší rázová houževnatost výstřiku až o 50 % a tím sníží opotřebování formy. Doporučená hodnota poměru rádiu ku tloušťce stěny se pohybuje kolem 0,15. [3]

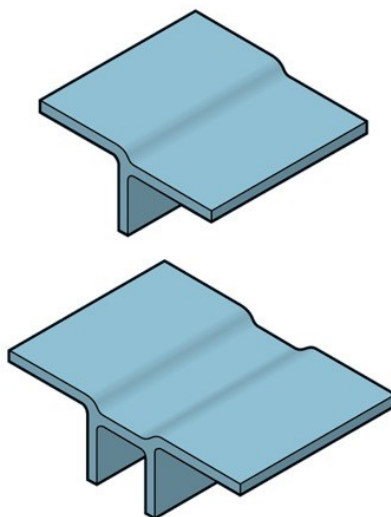
3.3 Úkosy a podkoso

Úkosy jsou sklony stěn výrobku a hlavním důvodem jejich použití je usnadnění odformování vstřikovaného dílu z formy. Podkoso naopak tomuto vyjmutí zabraňují. Minimální úkos pro většinu materiálů by měl být 0,5°, ale například plasty na bázi SAN vyžadují minimálně 1° až 2° úkosu. Menší úhly úkosu zvyšují riziko poškození dílu při odformování, proto je v tomto případě nutná speciální povrchová úprava formy. [15]

3.4 Žebra

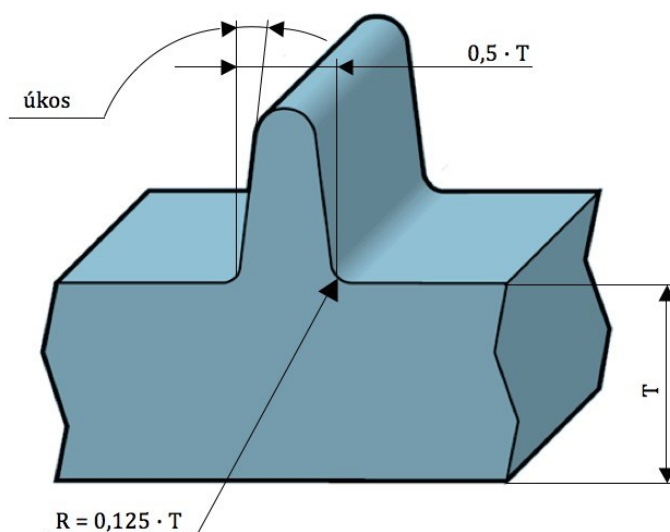
Žebra poskytují způsob k ekonomickému zvýšení tuhosti a pevnosti vstřikovaných dílů bez zvýšení celkové tloušťky stěny. Vzhled žebra zahrnuje pět základních parametrů:

tloušťku, výšku, umístění, množství a vyrobiteľnosť. Tloušťka žebra ovlivňuje mnoho faktorů, jako například propadliny na protilehlém povrchu, ke kterému je žebro připojeno. [15]



Obr. 7 Způsob optického zakrytí vzniklé propadliny [3]

Co se týče velikosti žebra, vyšší žebra poskytují vyšší vyztužující účinek. Výška žebra by však neměla přesáhnout trojnásobek tloušťky žebra u základny. Při zatížení jsou totiž vyšší žebra náchylné k porušení při zatížení, proto je lepší navrhnu více menších žebor s výrazně lepší vyrobiteľností a stejně účinným vyztužením. [3]



Obr. 8 Základní rozměry žebra [3]

4 VSTŘIKOVACÍ FORMY

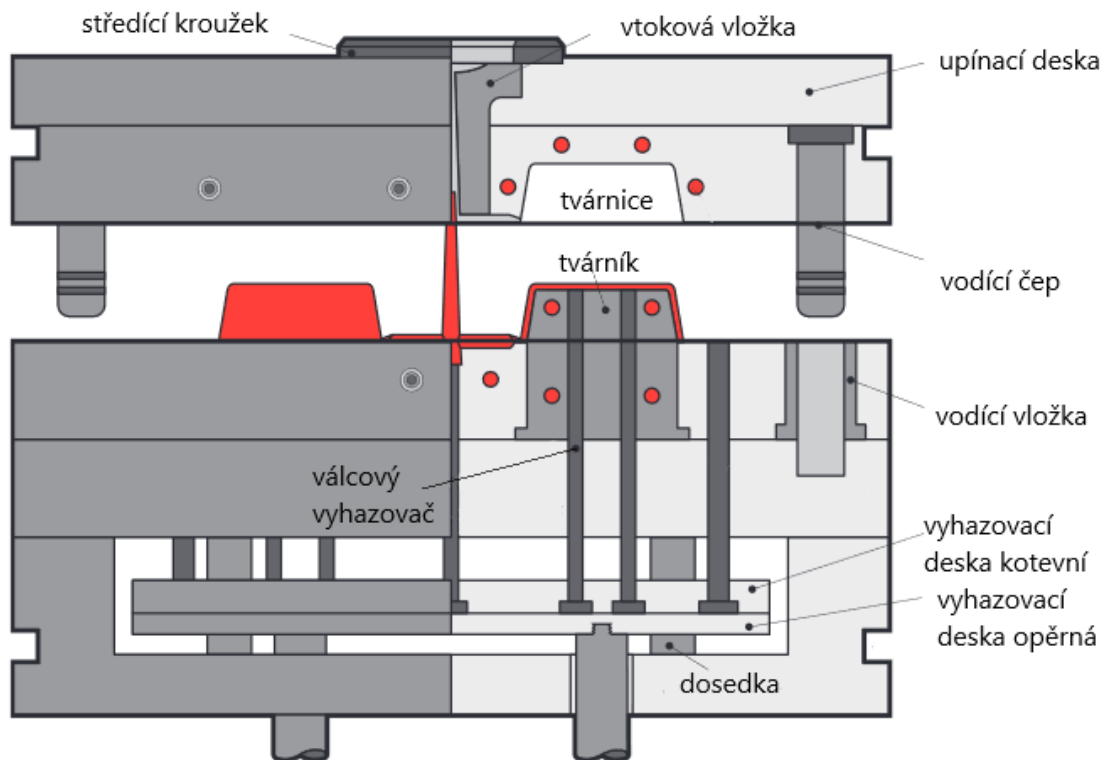
Forma je nejdůležitější součástí vstřikovacího stroje. Jedná se o kontrolované, složité a drahé zařízení. Pokud nebude forma správně navržena a udržována, mohl by být provoz vstřikovacího stroje vysoce nákladný a neefektivní. Klíčem procesu je, že forma tvaruje roztavený plast do požadovaného tvaru, poskytuje povrchovou strukturu a určuje rozměry hotového výrobku. Vstřikovací forma je přesný nástroj, který musí být dostatečně robustní, aby vydržel stovky tisíc cyklů formování pod vysokým tlakem. [17, 15]

Horká tavenina se pod tlakem pohybuje formou velmi rychle. Během vstřikování se z formy uvolňuje vzduch, aby nedocházelo ke spáleným místům na výrobku (Dieselův efekt) a tvorbě dutin. Forma se buď chladí nebo ohřívá což závisí na použitém materiálu. Při vstřikování termoplastů musí mít forma nižší teplotu, než je teplota taveniny. Naopak při vstřikování elastomerů a reaktoplastů musí být teplota formy vyšší, než je teplota taveniny, aby došlo k vulkanizaci. [17]

Forma je v zásadě složena z vtokového systému, vtokového kanálu, ústí vtoku, tvárníku a tvárnice (obr. 10). Vtokový kanál je v podstatě potrubí umístěné ve stacionární desce, který dopravuje taveninu z trysky plastikátoru do ústí vtoku a dutiny formy. Formy jsou opatřeny různými prostředky, jako jsou posuvníky, vytáčeční zařízení, vyhazovací systémy, které ve správný čas vyhazují výrobky z dutin formy atd. [17]

Vstřikovací formy lze rozdělit podle:

- násobnosti na jednonásobné a vícenásobné,
- způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třideskové, etážové, čelistové, vytáčeční apod.,
- konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny.



Obr. 9 Standardní dvounásobná forma se studeným vtokovým systémem [15]

4.1 Postup při konstrukci formy

Podkladem pro konstruktéra forem je výkres vyráběné součásti s konstrukčním návrhem a dalšími doplňujícími údaji. Samotná konstrukce pak má postup následující [1]:

- výkres součásti je posouzen z hlediska tvaru, rozměrů a tvářecích podmínek,
- určení dělicí roviny součásti a způsob zaformování s ohledem na funkci a vzhled,
- dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání ve formě,
- volba vhodného vtokového systému, velikost průřezů, tvaru, a délky hlavního rozváděcího kanálu i ústí vtoku,
- stanovení koncepce vyhazovacího a temperačního systému a odvzdušnění dutin formy,
- návrh rámu formy s ohledem na danou typizaci, počet a rozmístění dutin, systém vyhazování i temperace formy,

- vhodné uspořádání středění a upínání formy na stroj s ohledem na využití dostupných prostředků,
- kontrola funkčních parametrů formy, hmotnost výstřiku, jeho průmětnou plochu, vstřikovací a uzavírací tlak a další faktory s ohledem na doporučený stroj.

Návrh formy se po dokončení konzultuje s objednavatelem, případně se u externích zákazníků návrh konstrukčního řešení formy spolu s návrhy výkresu součástí předloží ke schválení. [1]

4.1.1 Zaformování výstřiku

Správné zaformování výstřiku a vhodná volba dělicí plochy umožňuje dodržet tvar a rozměry výrobku i ekonomiku výroby. Vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu. [1]

Dělicí rovina je kontaktní plocha mezi pevnou a pohyblivou částí formy. Tvar dělicí roviny může být buď obecný nebo rovinný. Obecný tvar ale způsobuje obtížnější výrobu formy, proto je snaha se takovým tvarům vyhnout. Dělicí plocha by měla být zvolena tak, aby umožnila snadné vyjímání výstřiku z formy, byla pravidelná, jednoduchého geometrického tvaru, probíhala v hranách výrobku atd. Podrobnější zásady volby dělicí plochy obsahují normy ČSN 64 0008 a ČSN 64 0031. [1]

4.1.2 Dimenzování tvarové dutiny

Dimenzování tvarové dutiny je důležitou součástí konstrukčního řešení. Pokud jsou rozměry nesprávně navrženy, projeví se v nedodržení rozměrů výstřiku. Takovou chybu lze napravit úpravou technologických parametrů (v případě, že se nejedná o rozměr s předepsanou tolerancí), anebo nákladnou korekcí rozměrů formy. [1]

Povrch i rozměry výstřiku jsou dány přesností tvarové dutiny a kvalitou její plochy. Přesnost dutin se pohybuje v rozmezí IT 8 až IT 10 a je ovlivněna třemi činiteli [1]:

- smrštění materiálu,
- výrobní tolerance,
- opotřebení dutiny formy.

4.1.3 Smrštění

Smrštění je objemová změna při tuhnutí polymerních tavenin. Základní příčinou smrštění je stlačitelnost, tepelná rozpínavost a kontrakce plastů. Při vstřikování kteréhokoliv plastu

platí, že rozměry výrobku po jeho vyhození jsou rozdílné od rozměrů měřených po nějaké době od jeho výroby. Tyto rozměrové změny jsou způsobeny uvedenému smrštění nebo deformaci. Ovšem u deformace se jedná o změny tvaru, přičemž objem zůstává stejný. [6]

Základním požadavkem na vyráběný díl je dodržení požadovaných rozměrů, proto tvarová dutina formy musí být o příslušné smrštění v daném místě větší. Tento požadavek je ale v praxi velmi obtížně realizovatelný, jelikož se na výsledné smrštění působí velké množství ovlivňujících parametrů. Mezi základní ovlivňující parametry patří [6]:

- procesní parametry výroby – tlaky, teploty, časy,
- typ a vlastnosti zpracovávaného polymeru – amorfnní, semikrystalické, pVT chování, plněné, neplněné, druh a obsah plniva,
- konstrukce výstřiku, resp. formy – tloušťka stěn výstřiku, tvary ovlivňující smrštění apod.

Smrštění měřené po 24 hodinách od výroby při standardních podmínkách se nazývá výrobní smrštění. Po výrobním smrštění může nastat ještě dodatečné smrštění, jelikož rozměry nejsou ještě zcela stabilizované a rozměry plastových dílů se ještě mění v důsledku např. relaxace napětí nebo sekundární krystalizace u semikrystalických plastů. [20]

4.1.4 Násobnost formy

Násobnost formy vyjadřuje počet vyhozených výrobků na jeden zdvih. Volba optimální násobnosti formy se posuzuje z hlediska [1]:

- charakteru a přesnosti výstřiku,
- požadovaného množství výrobku,
- velikosti a kapacity vstřikovacího stroje,
- požadovaného termínu dodávky,
- ekonomiky výroby.

Tvarově náročné součásti a stejně tak i velkorozměrové, jsou většinou vyráběny v jednonásobných formách. [1]

Z hlediska efektivity výroby je snaha volit násobnost formy co nejvyšší, taková volba ale může bránit dosažení přesnosti. Pro přesnost výrobku je proto nutné konstruovat formu s co nejmenší násobností, s přihlédnutím ke vstřikovanému materiálu. [14]

Při stanovování násobnosti formy je nutné přihlížet k namáhání formy vnitřním tlakem taveniny v tvarových dutinách formy. Dutiny v dělicí rovině je třeba rozmístit souměrně okolo svislé i vodorovné osy formy, aby nevznikal nepříznivý klínový efekt. Při takovém uspořádání dokáže reakce na tlak polymerní taveniny držet obě části formy v procesu vstřikování u sebe a tím nedochází k nežádoucím přetokům v dělicí rovině formy. [14]

4.2 Vtokové systémy

Vtokové systémy zajišťují dopravu taveniny plastu z plastikační komory do dutiny formy, rovnoměrné zaplnění dutiny formy a snadné odtržení od výstřiku. Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin, jejich rozmístění a konstrukčního provedení výstřiku. Pro splnění různých požadavků na zpracování se používají různé systémy vtoků. Nejběžnějšími jsou horké a studené vtokové systémy. [2, 17]

4.2.1 Studený vtokový systém

Při navrhování studeného vtokového systému je nutné zahrnout tři hlavní aspekty: tvar, rozložení a rozměry vtoku. Konstrukce efektivního vtoku by měla poskytovat maximální plochu průřezu a minimální kontakt na obvodu od bodu přenosu tepla. Mezi nejvhodnější patří kruhové a lichoběžníkové typy profilů. Kruhové typy profilů minimalizují kontakt s povrchem formy a generují nejmenší procento plochy příčného průřezu ztuhlé vrstvy, avšak vyžadují obrábění v obou polovinách formy, což zvyšuje potenciál pro nesoulad a omezení toku. Alternativou je lichoběžník s kulatým dnem, který vyžaduje obrábění pouze v jedné polovině formy. Tento profil je téměř stejně účinný jako celoobvodový profil. [21, 15]

U studených vtokových systémů je snaha o zaplnění dutin formy v co nejkratším čase a s minimálními odpory. Tavenina se nejprve vstříkne z trysky do vtokového kanálu, dále rozváděcí kanál vyplní síť vtoků, které vedou vtokovým ústím do dutin forem. V tomto systému nejsou vedení vyhřívána a fungují pouze jako dopravní systém, který distribuuje roztavený polymer do jednotlivých dutin. Při vstřikování taveniny plastu do studeného vtokového systému začíná tavenina okamžitě na jeho stěnách tuhnout. Při tom se vytvoří izolační vrstva ztuhlého plastu a tím se zajistí rovnoměrné zaplnění všech dutin formy. Během průtoku studeným vtokovým systémem viskozita taveniny prudce roste a vyžaduje vysoké tlaky v systému (40 až 200 MPa). Po zaplnění formy nastává dotlak, při kterém je

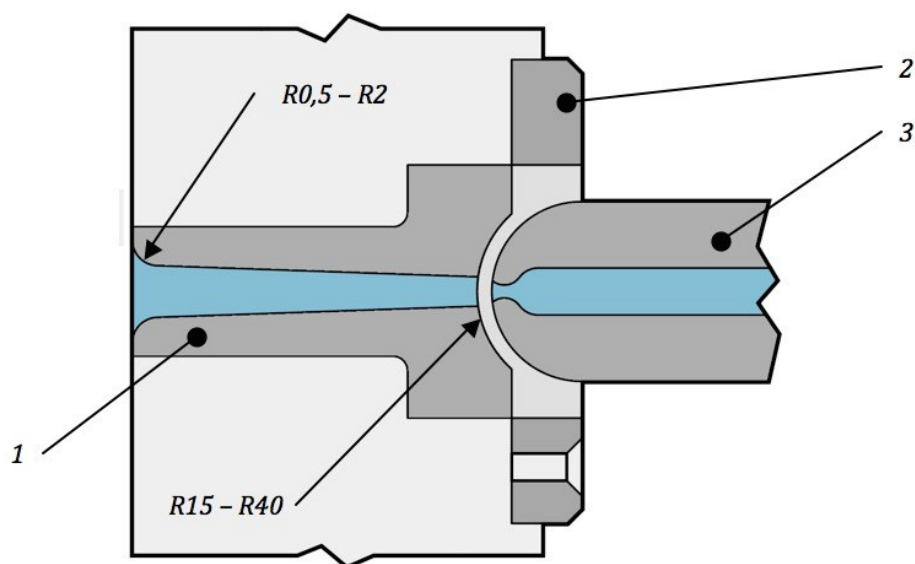
pomocí udržování taveniny pod definovaným tlakem, do dutiny doplňována tavenina. Ta nahrazuje ztrátu objemu způsobenou smrštěním. [1, 22, 23]

U vícenásobných forem má tavenina dorazit ke všem ústím vtoků současně a za stejného tlaku. Proto by dráha toku měla být konstruována tak, aby byla ke všem dutinám stejně dlouhá. [1]

Studený vtokový systém je složen z:

- vtokové vložky (vtokový kanál),
- rozváděcích kanálů,
- ústí vtoku.

Do *hlavního vtokového kanálu* je tavenina plastu vstříkována přímo z trysky stroje, která je centrována středícím kroužkem na vtokovou vložku formy. Pro dosažení správné funkce je vtokový kanál rozšiřován pod úhlem $0,5^\circ$ až $1,5^\circ$ směrem k dělicí rovině. Je to z důvodu snadného vyhození vtokového zbytku. Vtokový kanál ústí buď přímo do dutiny formy, nebo do rozváděcího kanálu. Vtoková vložka se dodává jako normálie. Je tepelně a mechanicky namáhána, výrobci ji proto vyrábí z houževnatého materiálu s tepelným zpracováním. [24]

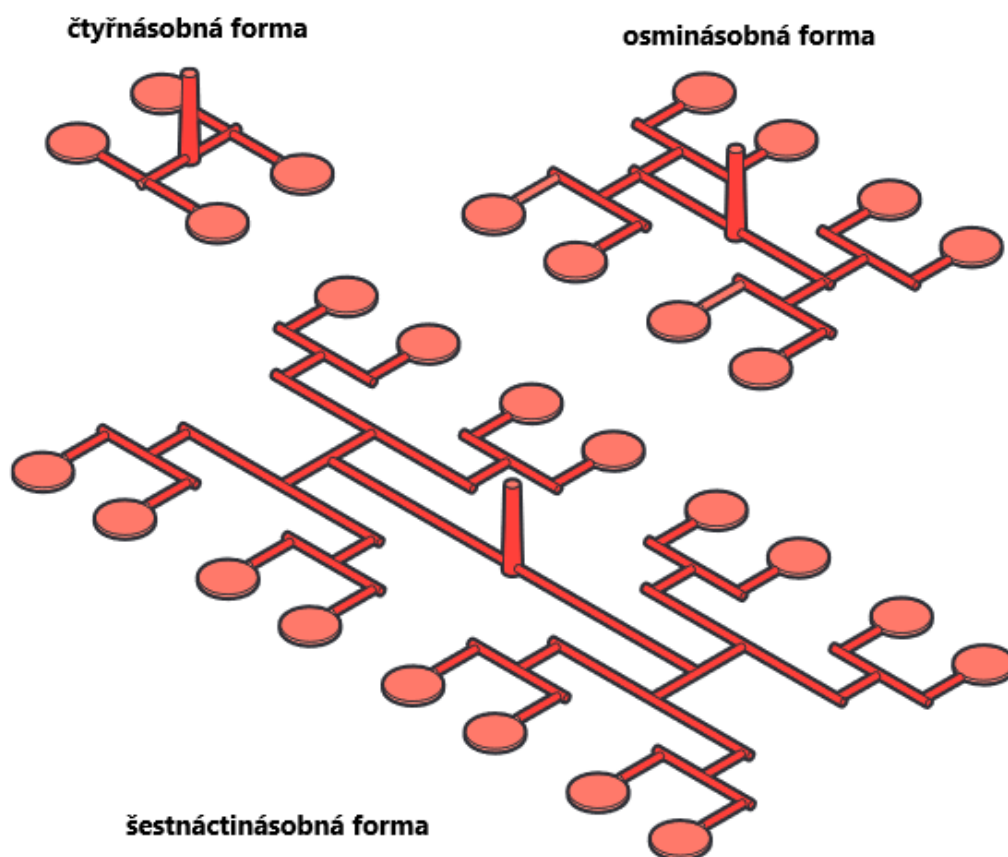


Obr. 10 Základní princip vtokové vložky [3]

(1 – vtoková vložka, 2 – středící kroužek, 3 – tryska)

Délka a počet *rozdávěcích kanálů* je závislá na typu a násobnosti formy, jejich velikost je závislá na velikosti vstříkovaného dílu a určuje se z empirických vztahů. Rozváděcí kanály dopravují taveninu ke vtokovému ústí. Měly by být konstruovány co nejkratší. U

vícenásobných forem je důležité, aby každá dutina byla plněna stejně rychle a ve stejný čas. [24]



Obr. 11 Princip vyvážených rozvodných kanálů u vícenásobných forem [15]

Vtokové ústí je místo, kde se tavenina přivádí do dutiny formy přes zúžené místo. Vtokové ústí by mělo být co nejmenší, aby stopy na výstřiku byly co nejméně patrné. Umístění vtokového ústí bývá v nejtlustším místě stěny výstřiku a ve směru orientace žeber. Mezi základní typy ústí vtoku patří [23]:

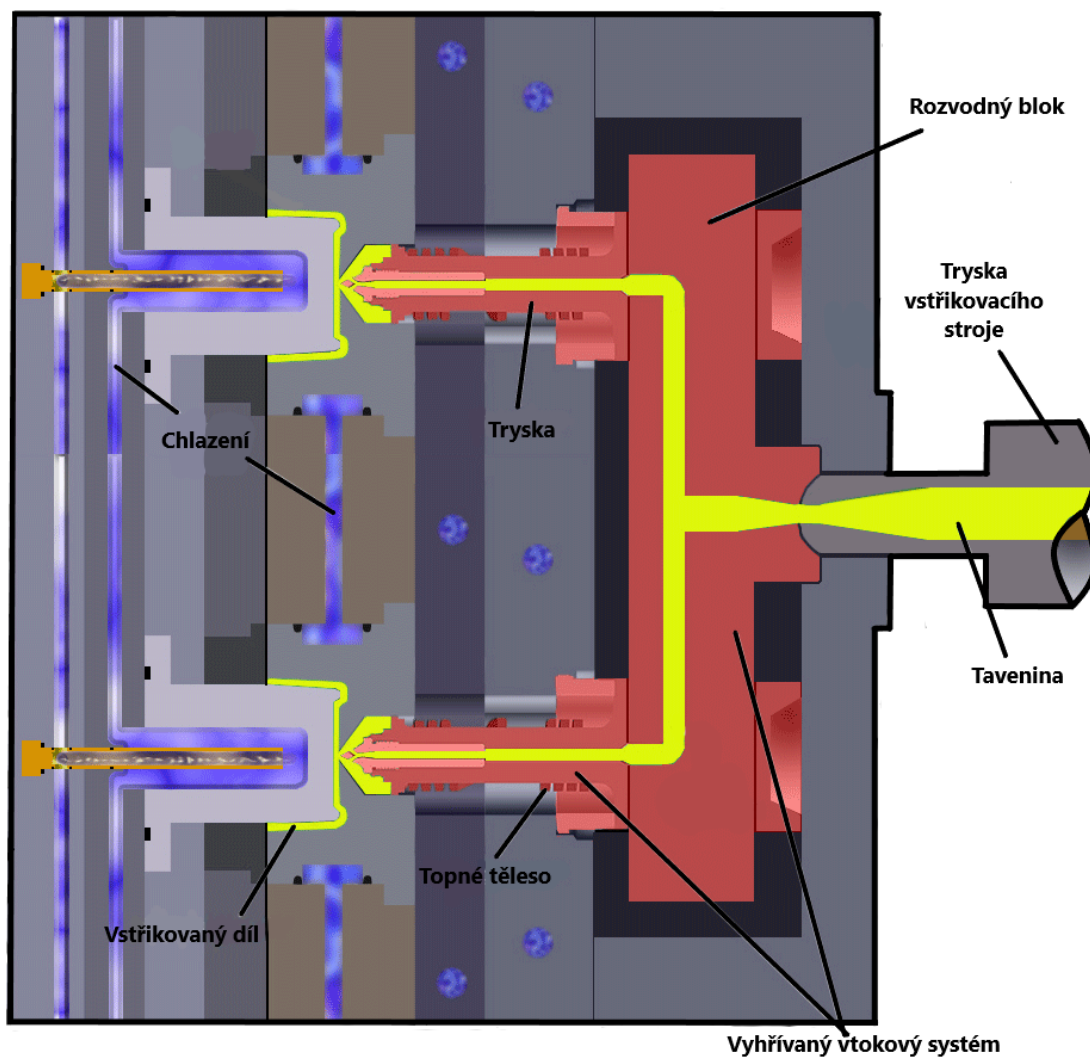
- plný kuželový vtok,
- bodový vtok,
- deštníkový, talířový a prstencový vtok,
- filmový (štěrbínový) vtok,
- tunelový vtok,
- banánový (prohnutý) vtok.

4.2.2 Vyhříváný vtokový systém

Vyhříváný vtokový systém má v procesu vstřikování klíčovou roli. Je prostředkem k dopravě taveniny ze vstřikovacích strojů forem a zajišťování správného průtoku a tlaku při zachování optimální úrovně teploty. [18]

Vyhříváné vtokové systémy zajišťují kvalitnější součástky, jsou výhodné u náročných geometrických dílů a snižují spotřebu materiálu. Horké vtoky jsou navrženy tak, aby maximalizovaly produktivitu výroby snížením doby cyklu. [19]

Horký vtok je sestava vyhříváných komponent (hlavní vtok, rozvodová deska, trysky a ovládání jehly), které udržují vstřikovaný polymer při konstantní teplotě. Tavenina má stálou viskozitu v celém průřezu a délky rozváděcího systému od začátku vtoku až do ústí dutiny formy. [25]



Obr. 12 Vyhříváný vtokový systém [26]

4.3 Vyhazovací soustavy

Jakmile vstříkovaná tavenina ztuhne, je potřeba výrobek vyjmout z dutiny formy. Výrobky se odstraňují z formy ručně, pomocí vyhazovačů, stírací deskou, pneumaticky, nebo speciálními způsoby (vytáčecí formy). [21]

Vyhazovací soustava je obvykle uložena v pohyblivé části formy. Soustava je složena z kotevní a opěrné desky, dorazů, vyhazovačů, zařízení pro připevnění k vyhazovacímu mechanismu lisu, vymežovacích tyčí (vratných kolíků) a vodících sloupků. [21, 27]

4.3.1 Vyhazovací kolíky

Běžný kulatý vyhazovací kolík poskytuje jednoduchou a ekonomickou metodu vyhazování součástí. Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků patří mezi nejčastější a nejlevnější typy vyhazování. Vyhazovací kolíky jsou vyrobeny s vysokou povrchovou tvrdostí a odolávají opotřebení a poškození. Tento způsob vyhazování se používá tam, kde je možné umístit vyhazovače pro ploše výstřiku ve směru vyhození. Vyhazovací kolíky jsou obvykle válcové, mohou mít však jakýkoliv jiný tvar [21, 7]:

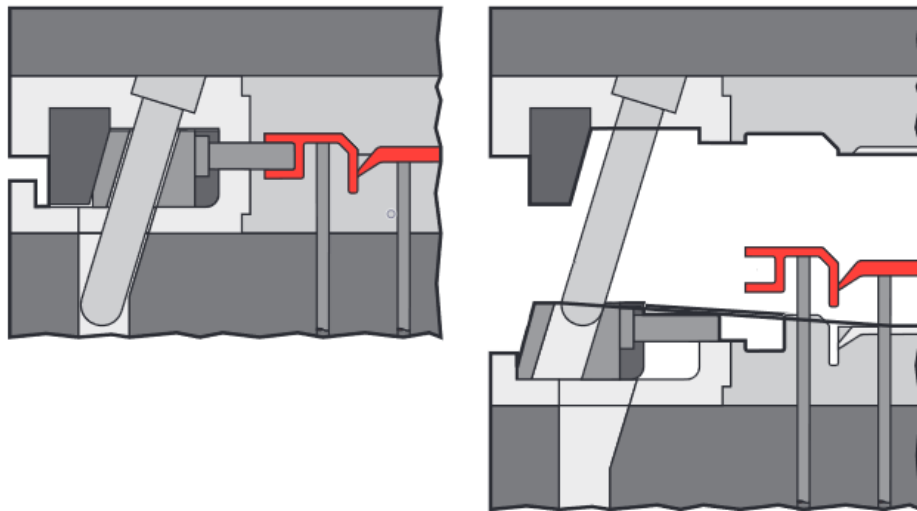
- trubkové,
- ploché (prizmatické),
- speciální (tvarové, pružné, šikmé, ...).

Tvar hlavy vyhazovacího kolíku může být válcový, nebo může být tvarově zajištěný proti pootočení. [27]

4.3.2 Šikmé válcové kolíky

Vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů (obr. 14) je speciální formou mechanického vyhazování. Vyhazovací kolíky jsou uloženy pod různými úhly k dělicí rovině. Používají se u vyhazování malých až středně velkých výrobků s mělkým vnitřním, nebo vnějším zápichem. Tím se odstraňují náročné čelisti s klínovým mechanismem. [7]

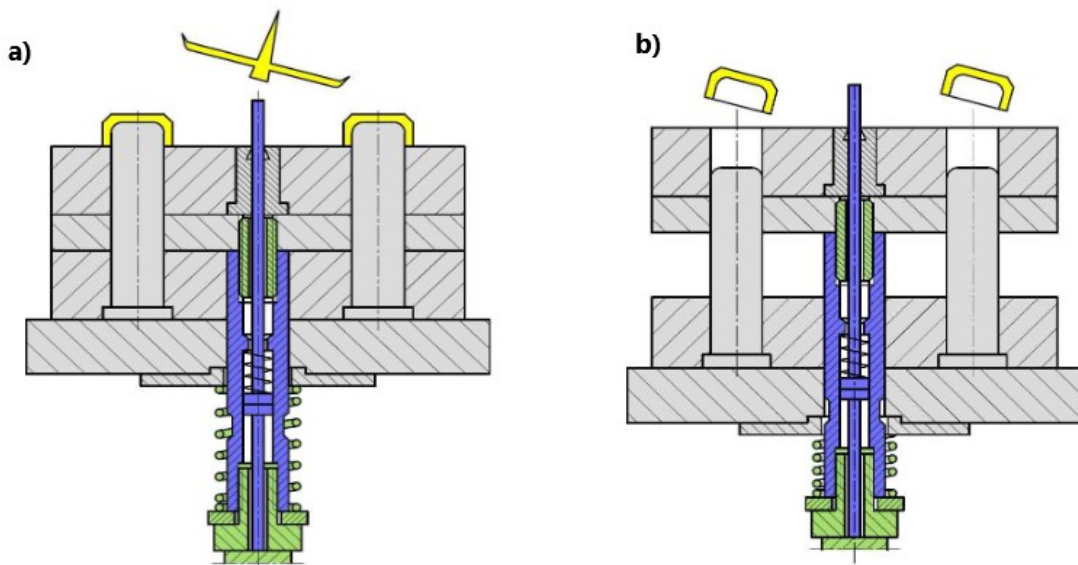
Vyhazovače svým šikmým pohybem uvolňují část výstřiku při jeho současném vyhození. Zápich může být tvořen přímo na vyhazovači, nebo s šikmo uloženými kolíky je pevně spojen čelistmi. [7]



Obr. 13 Ukázka šikmého vyhazovače [15]

4.3.3 Dvoustupňové vyhazování

Dvoustupňové vyhazování (obr. 15) patří do skupiny mechanického vyhazování. Vyžaduje dva vyhazovací systémy, které se vzájemně ovlivňují. Tento způsob vyhazování umožňuje výrobky vyhazovat s rozdílným časovým rozložením vyhazovacího zdvihu i jeho velikosti. Často se používá pro oddělování vtokových zbytků od výrobku spolu s jeho vyhozením. Jednou skupinou zdvojených vyhazovačů se odštíhnout vtoky a druhou skupinou se zpožděným zdvihem se výstříky vyhodí. [7]



Obr. 14 Dvoustupňové vyhazování [27]

(a) vyhození studeného vtoku, b) vyhození výrobku)

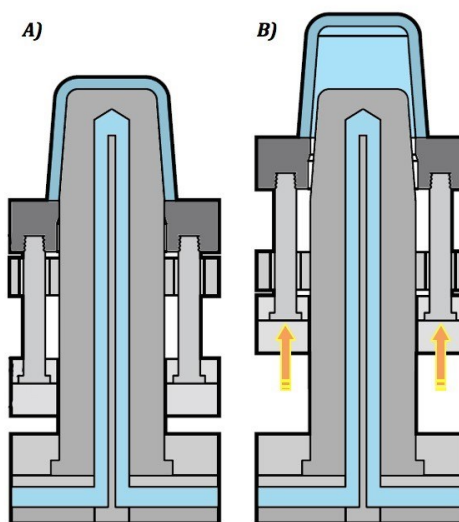
4.3.4 Stírací deska

Vyhazování stírací deskou (obr. 16) představuje stahování výrobku z tvárníku po celém jeho obvodu. Výhodou stíracích desek je, že vzhledem k velké styčné ploše nezanechává na výstřiku stopy po vyhazování. Jeho deformace jsou minimální a stírací síla velká. Využívá se u tenkostěnných výrobků, kde je nebezpečí velké deformace, nebo naopak u rozměrných výrobků, kde je potřeba velké vyhazovací síly. Stírání je vhodné v případech, kdy dosedá výstřik na stírací desku v rovině, nebo kdy je plocha výstřiku mírně zakřivena. [7]

Pohyb stírací desky může být podle účelu a koncepce formy vyvozen tlakem vyhazovacího systému, nebo ve speciálních případech také tahem. [7]

Stírací deska ovládaná tlakem vyhazovacího trnu, působí přes vyhazovací desku, která je spojena táhly se stírací deskou. Síla může být vyvozena také pružinami, pneumatickým nebo hydraulickým zařízením. Speciální případ stírání tlakem představují trubkové vyhazovače, které mají funkci stírací desky a pracují jako vyhazovací kolík. [7]

Stírací deska může být ovládaná tahem pomocných mechanismů, které jsou upevněny v různých částech formy a vzájemně na sebe působí. Tento způsob je složitější než u desek ovládaných tlakem. Používá se především u třídeskových forem, kdy výstřik a vtoky jsou v rozdílných dělicích rovinách a zaformování nedovoluje použít jinou koncepci stírání. [7]



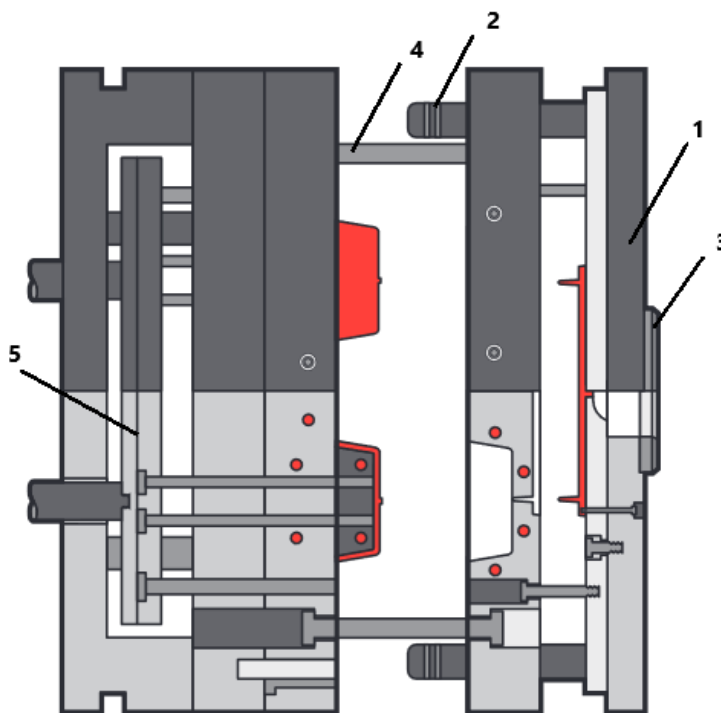
Obr. 15 Princip funkce stírací desky [3]

4.4 Rám formy

Rám formy je celek, který se skládá z desek, spojovacích prvků, vodících a středících částí. Uvnitř rámu jsou tvarové části a dutiny. Rám formy se dělí na dvě hlavní části. Jedna část formy je připojena na pevnou stranu lisu a druhá část formy je připevněna na pohyblivou stranu lisu. Rám musí umožnit [26]:

- správné ustavení na vstřikovacím stroji,
- spolehlivé a bezpečné upnutí na upínacích plochách stroje,
- přesné vedení pohyblivých částí formy,
- snadné upevnění tvarových vložek a ostatních funkčních dílů,
- vhodné umístění tvarových vložek a vyhazovacího systému.

Rámy jednotlivých forem mají odlišnou velikost v závislosti na velikosti vstřikovaného dílu. Pro usnadnění konstrukce se v dnešní době používají normalizované díly do specializovaných výrobců, mezi které patří např. Hasco, Meusberger atd. [26, 7]



Obr. 16 Nejdůležitější části formy [15]

(1 – rám, 2 – vodící a spojovací části, 3 – středící kroužek, 4 – rozpěrky, 5 – vyhazovací desky)

Rám forem je sestaven z jednotlivých desek a dalších dílů, které jsou vzájemně vedeny a ustředěny, v některých případech spojeny pomocí vodících pouzder, kolíků a dalších součástí. Vodící prvky jako jsou čepy, sloupky, kolíky, pouzdra, jednotky kuličkových vedení bývají často vybaveny mazacími drážkami pro zlepšení mazání a jejich funkce. [7, 26]

Rozpěrky vytvářejí ve formě prostor k pohybu desek vyhazovacího systému. Výška rozpěrek odpovídá velikosti potřebného zdvihu pro úspěšné vyhození dílu. Zmenšují stykovou plochu mezi funkční a upínací částí formy. Vytváří prostor pro vytápěné rozvodné bloky. Rozpěrky mohou být kruhové, nebo i jiného jednoduchého průřezu. [7]

Vyhazovací desky se používají k ukotvení, vedení, ovládnutí a zajištění vyhazovačů v jejich pracovním i zpětném pohybu. Počet vodících kolíků závisí na velikosti vyhazovacích desek. Rozmístění vodících kolíků musí být symetrické, aby se zabránilo křížení. [7]

Středící kroužky slouží k ustavení formy ve stroji a lepšímu vedení trysky stroje k vtokové vložce. Mohou být na obou polovinách formy. [7]

Na vstřikovací formě jsou dvě upínací desky, které slouží k upnutí pohyblivé a nepohyblivé části formy do vstřikovacího stroje. K upnutí stroje jsou používány šrouby, magnetické desky a upínky. [26]

Tvarová dutina je tvořena tvárníkem a tvárnicí. Tvárník je funkční deska, upnutá k pohyblivé straně formy, která tvaruje pozitiv vstřikovaného dílu (dutinu dílu). Tvárnice je funkční deska upnutá k nepohyblivé straně formy a je negativem vstřikovaného dílu. K podepření tvárníku slouží opěrná deska, která brání průhybu tvárníku, následkem čehož by došlo k přetečení formy. [26]

4.5 Odvzdušnění forem

Při každém výrobním cyklu jsou dutiny formy před naplněním polymerní taveninou zavzdušněny. Špatně odvzdušněná forma může vést k řadě nedostatků, jako jsou například spálená místa na výrobcích vyvolaná tzv. Dieselovým efektem, uzavření vzduchu ve stěnách výrobku s větší tloušťkou stěn, nedostříky (zamrznutí postupu čela taveniny), výskyt studených spojů a s nimi lokální snížení pevnosti a mnoho dalších. Problémy s odvodem vzduchu z forem lze řešit již při konstrukci forem, a to buď empiricky nebo s využitím počítačových analýz plnění dutin formy. [6]

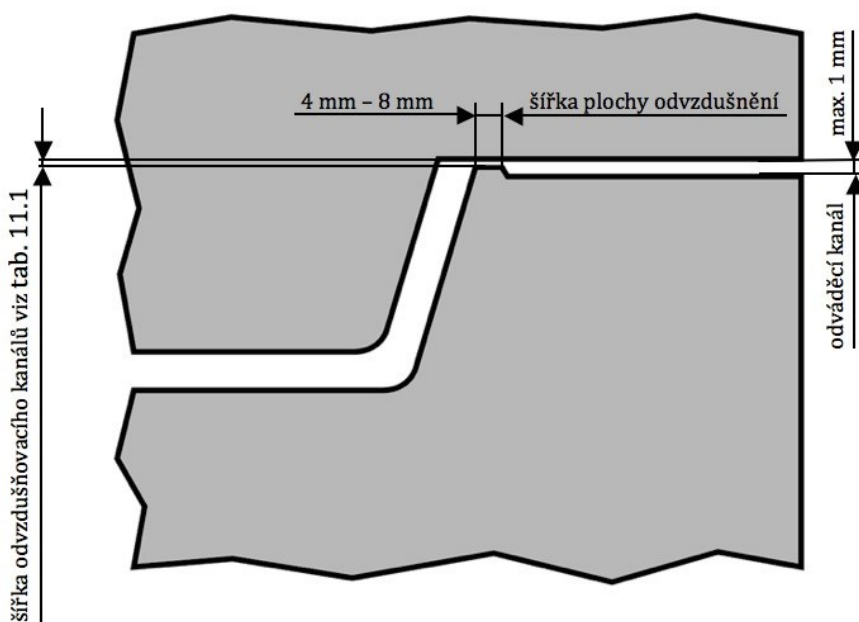
Při toku taveniny musí konstrukce formy zajistit úplný odvod vzduchu a případných plynových zplodin vzniklých při plastikace vstřikovaného granulátu v plastikační komoře.

Hlavní zásadou odvzdušnění formy je, že musí být realizováno v místě uzavírání vzduchu. Toto místo se určuje na základě počítačové analýzy plnění, zkušenosti konstruktéra, nebo při oživování formy. [6]

Způsoby odvzdušnění [6]:

- umístění odvzdušňovacích ploch do dělicí roviny (hlavní, vedlejší),
- vřely mezi tvarovými pevnými částmi formy,
- vřely mezi pohyblivými částmi formy,
- odvzdušňovacími kanály,
- speciálními prostředky vloženými do formy.

Umístění odvzdušňovacích kanálů by mělo být podél rozváděcích kanálů taveniny a v určité vzdálenosti od dutiny formy. Platí, že tloušťka odvzdušňovacích kanálů nesmí způsobit přetoky na výstřiku. Stanovení tloušťky je závislé na typu a viskozitě materiálu, která není v příslušné dávce taveniny konstantní, na délce toku taveniny, na konstrukci výstřiky a na nastavených technologických parametrech. [6, 3]



Obr. 17 Doporučená konstrukce odvzdušňovacích kanálů [3]

4.6 Temperace forem

Temperace slouží k udržování konstantní teploty formy, tím zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Do formy se během vstřikování přivádí roztavený polymer, který se v dutině formy ochlazuje na vhodnou teplotu pro vyhození. Forma se při každém vstřiku ohřívá. Každý další výstřik se musí vyrobit při stanovené teplotě, a proto je nutné toto přebytečné teplo během pracovního cyklu odvést temperační soustavou formy. [7]

Hlavním úkolem temperace je zajistit rovnoměrnou teplotu formy na optimální výši po celém povrchu dutiny, odvést teplo z dutiny formy naplněné taveninou tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku. [7]

Následující tabulka ukazuje požadované teploty formy při zpracování plastů za dané teploty taveniny a doporučenou teplotu dílu při odformování. [3]

Tab. 1 Příklad doporučených teplot v rámci vstřikování vybraných typů plastů [3]

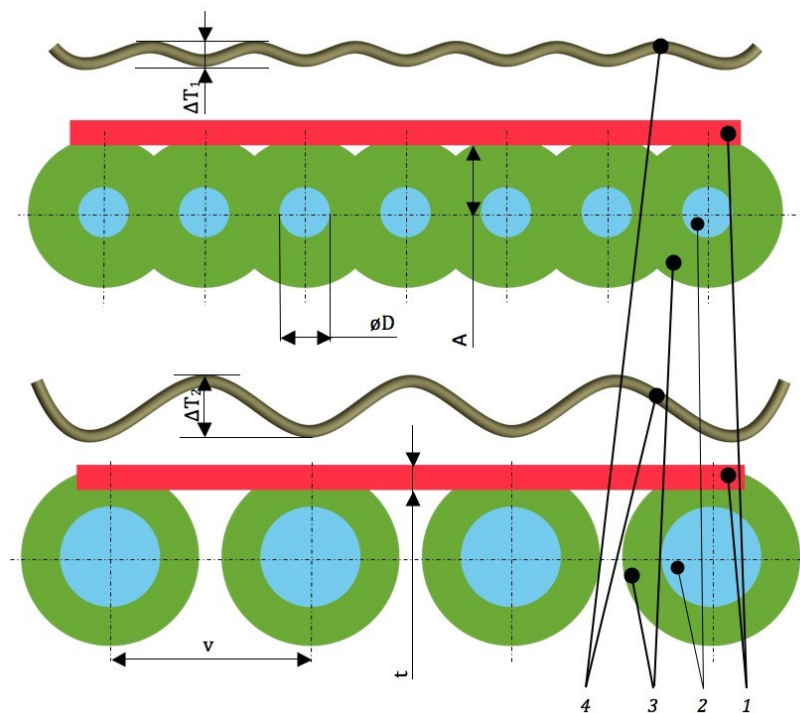
TYP MATERIÁLU	DOPORUČENÁ TEPLOTA FORMY [°C]	TEPLOTA TAVENINY [°C]	DOPORUČENÁ TEPLOTA DÍLU PŘI ODFORMOVÁNÍ [°C]
PA	80 - 120	260 - 300	110 - 130
PC	80 - 100	280 - 320	140
PC + SKLENĚNÁ VLÁKNA	80 - 130	310 - 330	150
ABS	60 - 80	220 - 260	80 - 100
SAN	50 - 80	230 - 260	80 - 95
PBT	80 - 100	250 - 270	140
PBT + SKLENĚNÁ VLÁKNA	80 - 100	250 - 270	150
PP	30 - 60	200 - 250	70 - 90
PE	30 - 60	180 - 230	60 - 90

4.6.1 Zásady volby temperačních kanálů

Temperační kanály s proudícím médiem jsou nejrozšířenějším způsobem ustavení vhodné teploty vstřikovací formy. Systém se obvykle skládá z následujících částí [3]:

- temperační a řídicí jednotka,
- temperační kanály,
- spojovací prvky,
- temperační medium.

Je vhodnější volit větší počet kanálů s menším průměrem než menší počet kanálů s větším průměrem. Rozdíl spočívá v rovnoměrnosti rozložení teplot povrchu dutiny formy. Kanály se kolem dutiny formy rozmísťují rovnoměrně a všude ve stejné vzdálenosti. Průřez kanálu se volí dle velikosti výstřiku, druhu plastu a rámu formy. Obvykle se volí kruhový průřez kanálu, ale je možné použít i kanály obdélníkového průřezu. Takové kanály se vodotěsně překryjí, nebo se do nich mohou uložit tenkostěnné měděné trubky. [3, 7]



Obr. 18 Porovnání efektu různého průměru temperačních kanálů [3]

(1 – vstřikovaný díl, 2 – temperační kanál, 3 – pole působení temperačního kanálu,
4 – průběh teploty povrchu dutiny vstřikovací formy)

Sít' temperačních kanálů by měla splňovat následující kritéria [3]:

- temperační okruh by neměl obsahovat tzv. mrtvá místa, což je místo, kde neproudí kapalina z důvodů zvýšeného rizika zanášení nečistotami, vodním kamenem apod.,
- temperační kanály do průměru 6 mm je nutné provozovat s upravenou vodou či adekvátním temperačním médiem z důvodů rychlého zanášení malých průměrů např. vodním kamenem,
- temperační účinek zesílit v oblasti vtokové vložky a ústí vtoku,
- v případě víceokruhového temperačního systému je pro budoucí optimalizaci či řešení technologických problémů vhodné navrhnout síť temperačních kanálů tak, aby byla možná alespoň částečná změna cesty proudění temperačního media vstřikovací formou.

4.7 Materiály vstřikovacích forem

Formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Vyžaduje se od nich dosažení požadované kvality a životnosti. Pro výrobu forem se tedy používají materiály, které splňují provozní požadavky. Obvykle se dává přednost materiálům univerzálních typů s širokým rozsahem užitných vlastností. Mezi takové materiály patří [7]:

- oceli vhodných jakostí,
- neželezné slitiny kovů (Cu, Al ...),
- ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé ...).

Nejvýznačnějším druhem používaných materiálů jsou bezesporu oceli. Pro svou vysokou pevnost a další mechanické vlastnosti se dají jen stěží nahradit. Nicméně jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci, proto je třeba věnovat pozornost i jiným druhům materiálů s jejich specifickými vlastnostmi (tepelně vodivé, izolační atd.). Od použitých materiálů na výrobu forem se vyžaduje [7]:

- dostatečná mechanická pevnost,
- dobrá obrobiteľnosť,
- odolnosť vůči oděru,
- odolnosť vůči korozi a chemickým vlivům polymerů,
- vyhovující kalitnosti a prokalitnosti,
- stálost rozměrů a minimální deformace pro kalení.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pro bakalářskou práci byly stanoveny tyto cíle:

- vypracování literární studie na dané téma,
- tvorba 3D modelu zadaného dílu,
- návrh vstřikovací formy pro zadaný díl,
- náčrt 2D řezu vstřikovací formy včetně příslušných pohledů a kusovníku,
- analýza vhodnosti umístění vtokového ústí.

V praktické části bakalářské práce byl vytvořen 3D model počítačové myši a navrhnut 3D model vstřikovací formy. Dále byl vytvořen 2D řez vstřikovací formy s opozicováním a příslušným kusovníkem. Vstřikovací forma i daný model byly vytvořeny ve studentské verzi programu Catia V5R20, kde k sestavení formy byly použity normálie z elektronického katalogu Hasco. Nakonec byla provedena analýza vhodnosti umístění vtokového ústí.

6 SPECIFIKACE VÝROBKU

Vstřikovaným výrobkem je díl počítačové herní myši, která je ergonomicky tvarovaná s možností podsvícení díky designově zvoleným tvarům na pravé i levé straně. Jedná se o pohledový díl, proto musí být výrobek bez pohledových vad. S tím souvisí i požadovaná kvalita povrchu tvarových dutin formy. Základní rozměry výrobku jsou (130 x 70 x 30) mm a materiál byl zvolen ABS černé barvy.



Obr. 19 Pohledová plocha výrobku



Obr. 20 Nepohledová plocha výrobku

6.1 Materiál výrobku

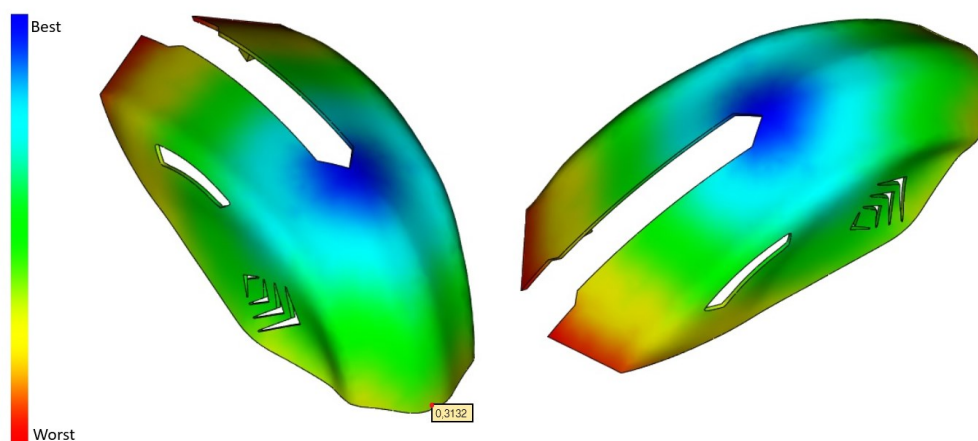
Pro daný díl byl zvolen materiál ABS MAGNUM od firmy Trinseo. Tento termoplastický průmyslový kopolymer se hojně využívá při výrobě nábytku, lahví, lego kostek, či v 3D tisku. Mezi jeho vlastnosti patří vysoká tuhost, houževnatost, odolnost proti vysokým teplotám. Materiál je málo nasákový a zdravotně nezávadný. Je taktéž odolný vůči olejům, tukům, kyselinám, hydroxidům a uhlovodíkům. Materiál je možné zpracovávat do teploty 280 °C. Při vyšších teplotách se začne rozkládat.

Tab. 2 Vlastnosti materiálu ABS MAGNUM 8434

Parametr	Hodnota	Jednotka
Hustota	1,05	g/cm ³
Rozsah smrštění	0,4 - 0,7	%
Teplota skelného přechodu	105 - 115	°C
Teplota tání	145	°C
Doporučená teplota taveniny	210 - 250	°C
Doporučená teplota formy	15 - 85	°C
Modul pevnosti v ohybu	2300	MPa
Modul pružnosti v tahu	2400	MPa
Index toku taveniny (220 °C/10 kg)	13	g/10min

6.2 Analýza vhodnosti umístění vtokového ústí

V programu Autodesk Moldflow Insight 2016 byla provedena analýza vhodnosti vtokového ústí. Bylo zjištěno, že zvolené vtokové ústí je vhodné ze 31 %. Vhodnější umístění ukazuje sytě modré místo na výrobku (obr. 21). Takové místo nemohlo být zvoleno, jelikož se jedná o pohledový díl a na výrobku by zůstaly stopy po vtoku.



Obr. 21 Výsledek analýzy vhodnosti vtokového ústí

7 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Podle rozměrů formy a technologických parametrů byl k procesu vstřikování zvolen vstřikovací stroj ARBURG s označením ALLROUNDER 420 C. V tab. 3 jsou shrnuty základní parametry stroje.

Tab. 3 Základní parametry vstřikovacího stroje Arburg ALLROUNDER 420C

Parametr	Hodnota	Jednotka
Maximální uzavírací síla	1000	kN
Velikost upínací desky	570x570	mm
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	420x420	mm
Minimální výška formy	250	mm
Maximální objem vstřikování dávky	188	cm ³
Maximální vstřikovací tlak	2500	bar
Maximální otevření	500	mm
Maximální zdvih vyhazovače	175	mm
Celkový příkon stroje	3,9	kW
Maximální přitlačná síla trysky	60	kN

Podstatné údaje vstřikovaného výrobku:

- Velikost formy: 546x396 mm
- Objem jednoho vstřikovaného výrobku včetně vtokového zbytku: 26,7 cm³
- Hmotnost jednoho vstřikovaného výrobku včetně vtokového zbytku: 27 g

Na základě těchto parametrů byl zvolen daný vstřikovací stroj, jelikož splňoval všechna kritéria k dosažení kvalitního vstřikovaného výrobku.



Obr. 22 Vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 420C [28]

7.1 Výpočet parametrů stroje

7.1.1 Určení množství polymeru nutného pro jeden zdvih

$$M = 1,2 \cdot (G \cdot n + A) \quad (1)$$

$$M \leq M_S \quad (2)$$

M – hmotnost polymeru nutného pro jeden zdvih [g]

G – hmotnost výstřiku [g]

n – násobnost formy

A – hmotnost vtokového systému [g]

M_S – maximální hmotnost polymerní taveniny dodaná strojem [g]

$$M = 1,2 \cdot (11 \cdot 2 + 5) = 32,4 \text{ g} \quad (3)$$

Hodnoty $G = 11 \text{ g}$ a $A = 5 \text{ g}$ byly získány z analýzy 3D modelu programem Catia V5R20.

Hodnota hmotnosti $32,4 \text{ g}$ při hustotě $1,05 \text{ g/cm}^3$ odpovídá objemu $30,86 \text{ cm}^3$.

7.1.2 Určení plastikační doby pro jeden zdvih

$$t_{pl} = \frac{3,6 \cdot M}{Q} \quad (4)$$

t_{pl} – plastikační doba pro jeden zdvih [s]

M – zdvihová hmotnost polymeru

Q – plastikační výkon stanovený výrobcem stroje [kg/hod]

$$t_{pl} = \frac{3,6 \cdot 32,4}{12,5} = 9,33 \text{ s} \quad (5)$$

8 KONSTRUKCE FORMY

Konstrukce vstřikovací formy se odvíjí od velikosti a složitosti tvarových částí, které udávají konečný tvar výrobku. Celkové rozměry formy jsou 396 x 546 x 306 mm. Pro zjednodušení konstrukce a zrychlení procesu modelace i výroby byly vybrány normalizované díly z el. katalogu firmy Hasco.

8.1 Zaformování výrobku

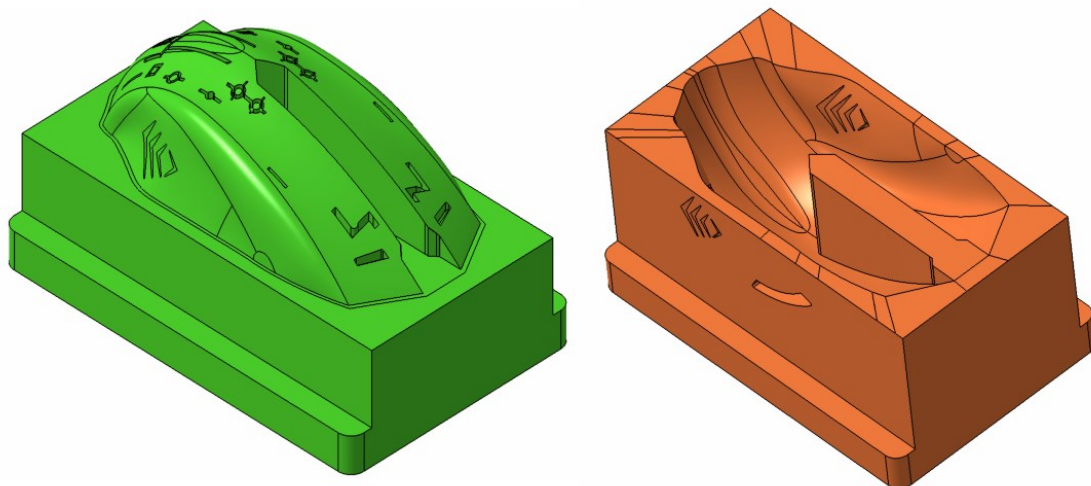
Jedním z nejdůležitějších faktorů při konstrukci formy je volba dělicích rovin. Hlavní dělicí rovina je rovnoběžná s upínáním formy a byla zvolena tak, že celý výrobek je zapuštěn v tvárnici. Díky takovému umístění dělicí roviny je možné se vyvarovat vzniku ořepů a dalších vzhledových nedostatků.

Vzhledem k použití bočního odformování bylo zapotřebí vytvořit i vedlejší dělicí roviny, které jsou kolmé k hlavní dělicí rovině.

8.2 Hlavní tvarové části formy

Hlavní tvarové části formy tvoří tvárník a tvárnice, což jsou negativy vstřikovaného dílu. Jejich dutina byla zvětšena o hodnotu smrštění. Tvárník i tvárnice byly opatřeny osazením, aby se mohli posléze vkládat do vyfrézovaných děr v deskách jako samostatný díl. Tato varianta je ekonomicky výhodnější z důvodu možnosti výměny tvarových částí při opotřebení.

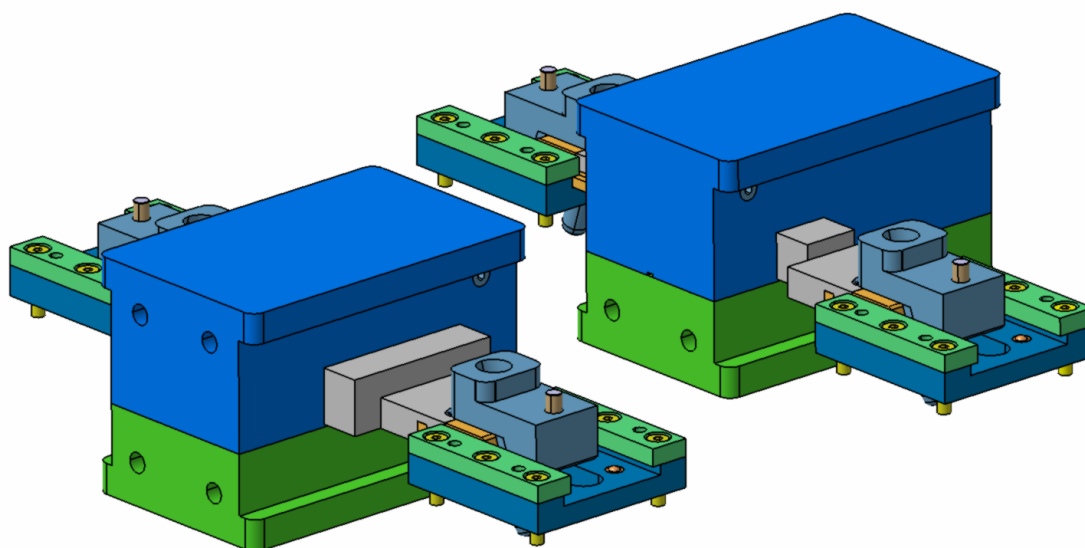
Tvárnice je umístěna v pravé nepohyblivé části formy a tvoří dutinu formy. Tvárník byl umístěn v levé pohyblivé části formy.



Obr. 23 Tvárník a tvárnice

8.3 Posuvné čelisti

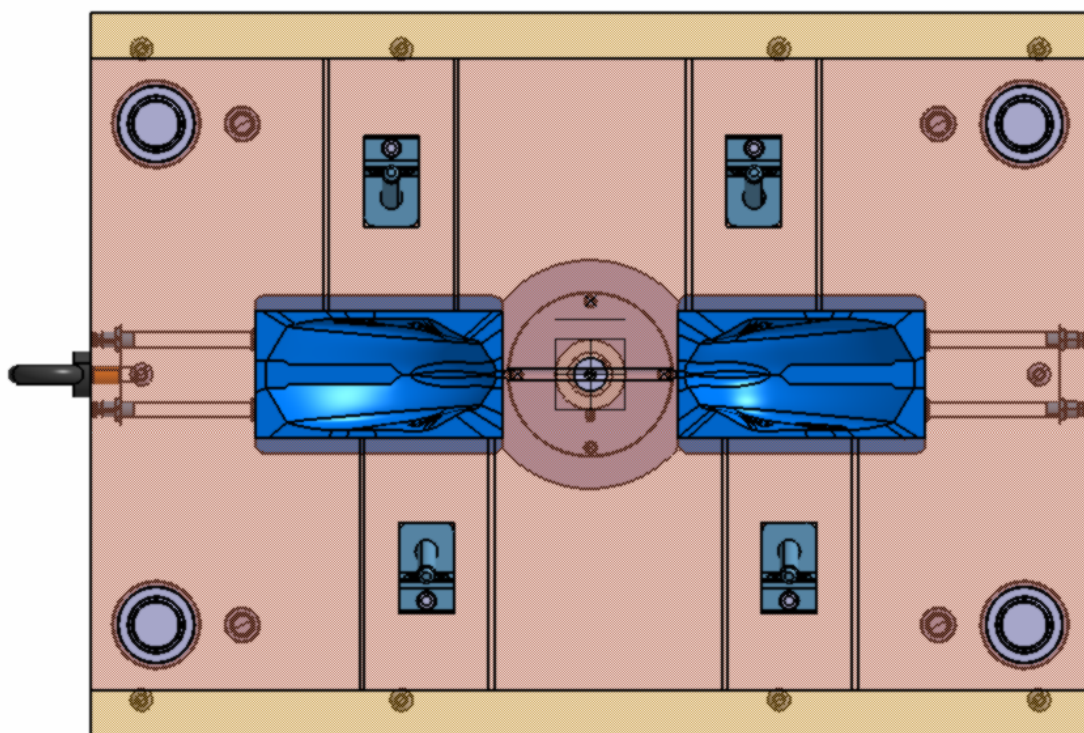
Boční části výrobku formují posuvné čelisti. Pohyb a vedení čelistí je zjištěn pomocí vodících kostek. Tvarová čelist je upevněna na posuvnou kostku, která se pohybuje ve vodící liště pomocí šikmých čepů. Vodící lišta je osazena pružícími přitlačnými kusy s plochou hlavou, které zajišťují zastavení tvarových čelistí v takové poloze, ve které zamezí samovolnému pohybu. Tvarové čelisti jsou připevněny k posuvné kostce šroubovým spojením.



Obr. 24 Posuvné čelisti

8.4 Násobnost formy

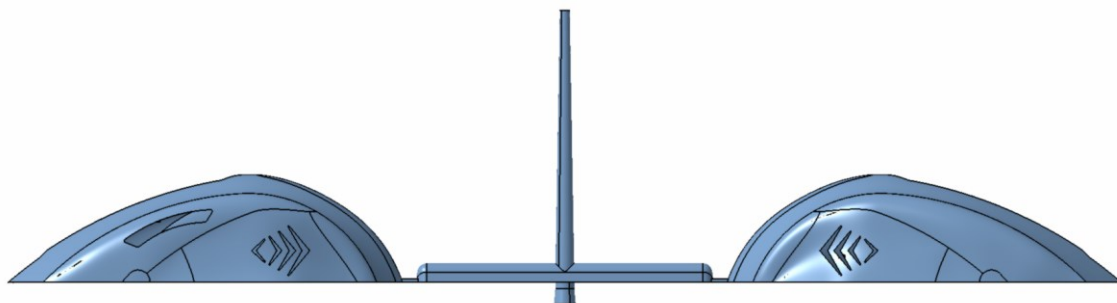
Násobnost formy určuje, kolik výrobků bude vyhozeno za jeden pracovní zdvih. Z ekonomického důvodu by násobnost formy měla být co nejvyšší, naopak z důvodu kvality a přesnosti výrobku by měla být násobnost zvolena co nejnižší. V tomto případě byla násobnost formy byla zvolena s ohledem ke složitosti a velikosti výrobku. Daná součást je tvarově náročná, a proto s přihlédnutím na kvalitu a přesnost výstřiku byla zvolena forma dvojnásobná.



Obr. 25 Násobnost formy – pohled na pravou nepohyblivou část formy

8.5 Vtokový systém

Vtokový systém zajišťuje vedení proudu roztaveného plastu od vstřikovacího stroje do dutin formy. U vícenásobných forem musí tavenina dorazit ke všem ústím vtoku za stejného tlaku i času. Pro danou formu byl zvolen studený vtokový systém, který je v podobě kruhového průřezu se zkosením. Vtokové ústí je štěrbinově zúžené, tím se zvýší klesající teplota taveniny před vstupem do tvarové dutiny.



Obr. 26 Studený vtokový systém

8.5.1 Vtoková vložka

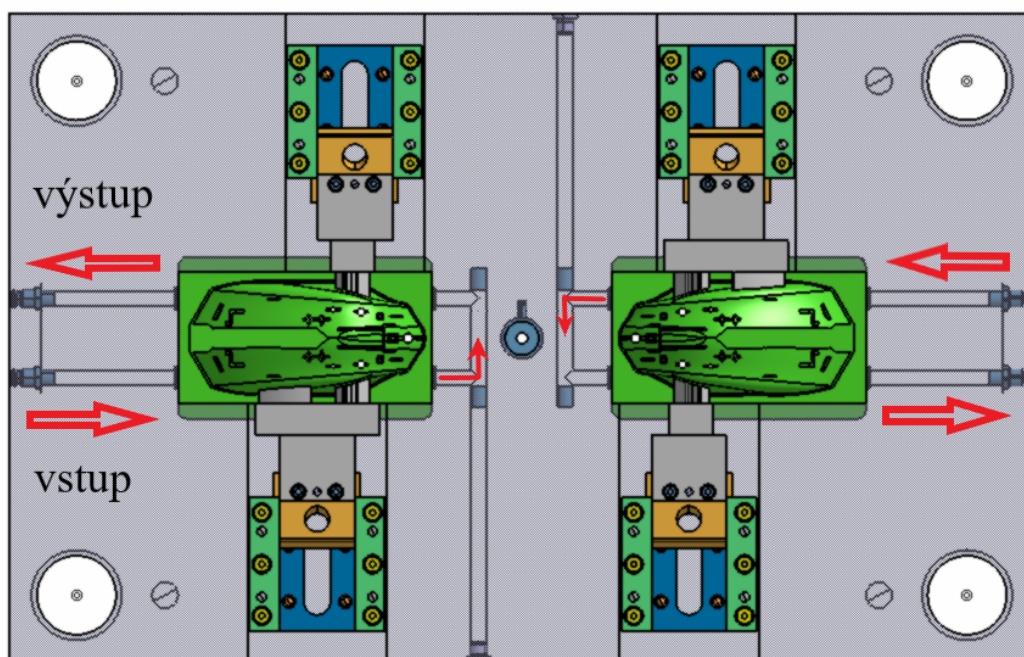
Vtoková vložka byla zvolena z katalogu Hasco. Jedná se o normalizovanou součást Z511 a je zajištěna proti pootočení pomocí normalizovaného kolíku Z25.

8.5.2 Přidržovač vtoku

Přidržovač vtoku se nachází v levé pohyblivé části formy. Tvoří záměrně vyrobený podkos, díky tomuto tvaru drží při otevření formy ztuhlý výrobek na správné straně formy. Následně je výrobek vyhozen vyhazovacími kolíky. Pro přidržení vtoku byl zvolen normalizovaný přidržovač vtoku Z53 zajištěný proti pootočení s pomocí kolíku Z25.

8.6 Temperace

Významným faktorem ovlivňujícím výrobní proces je teplota vstřikovací formy. Zajišťuje konstantní teplotní pole a odvod tepla z tvarové dutiny. Proto byly navrženy dva temperační okruhy. Oba okruhy procházejí levou i pravou kotevní deskou a danými tvarovými částmi. Průměr vrtaných temperačních kanálků byl zvolen 8 mm. Temperační kanálky byly umístěny vzhledem k velkému množství vyhazovacích kolíků tak, aby nezasahovali do vyhazovacího systému. Přívod temperačního média je zajištěn rychlospojkami Z81. Správný směr toku temperačního média zajišťují ucpávky Z942 a vnější uzavírací šroub. Těsnění tvarových částí a kotevních desek zajišťují těsnící „O“ kroužky Z98.



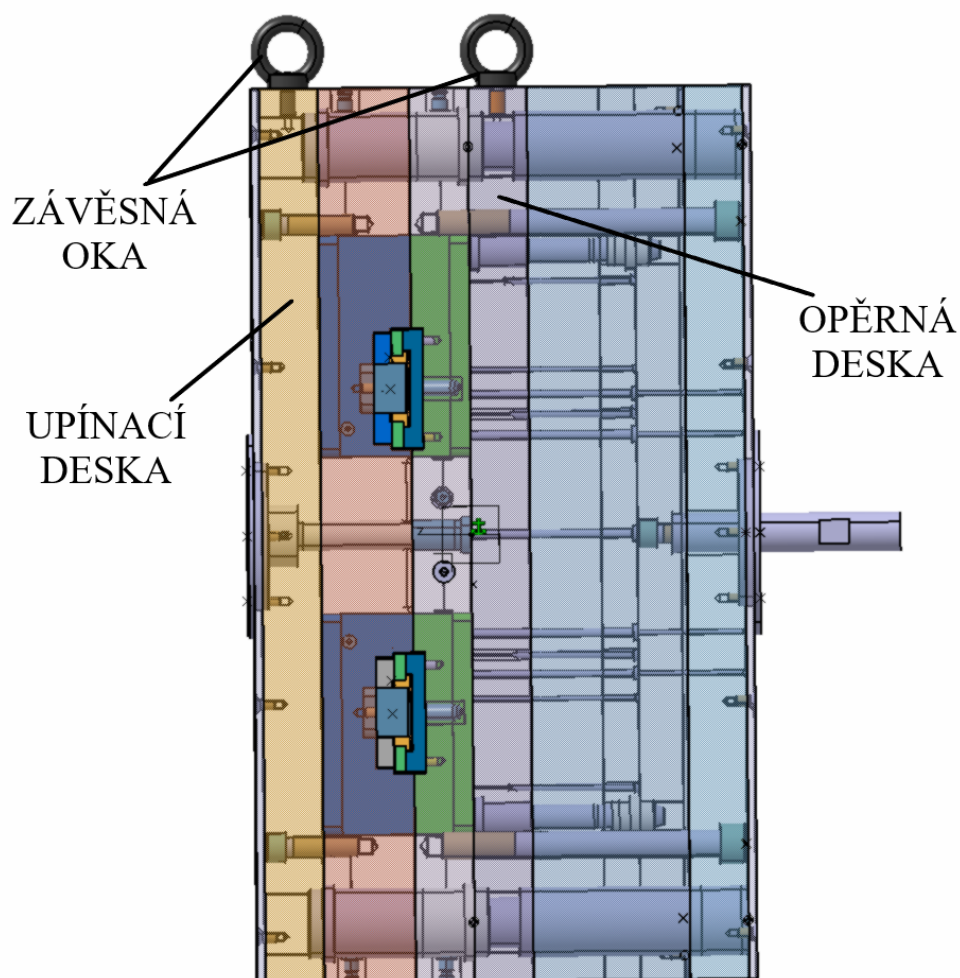
Obr. 27 Zobrazení toku chladícího média levou kotevní deskou formy a tvárníky

8.7 Odvzdušnění formy

Vstupující tavenina do dutiny formy velmi rychle před sebou vytlačuje vzduch, který zůstal po uzavření formy v dutině. Stlačený vzduch může způsobit na výrobku spálená místa. Odvzdušnění formy zajišťuje v tomto případě nepřesnost usazení tvarových ploch a bočních čelistí. Tím pádem vzniká velmi malá mezera, která umožňuje únik přebytečného vzduchu z dutiny formy. Pokud se takový způsob odvzdušnění prokáže jako nedostatečný je nutno vyrobit odvzdušňovací systém dodatečně.

8.8 Manipulace s formou

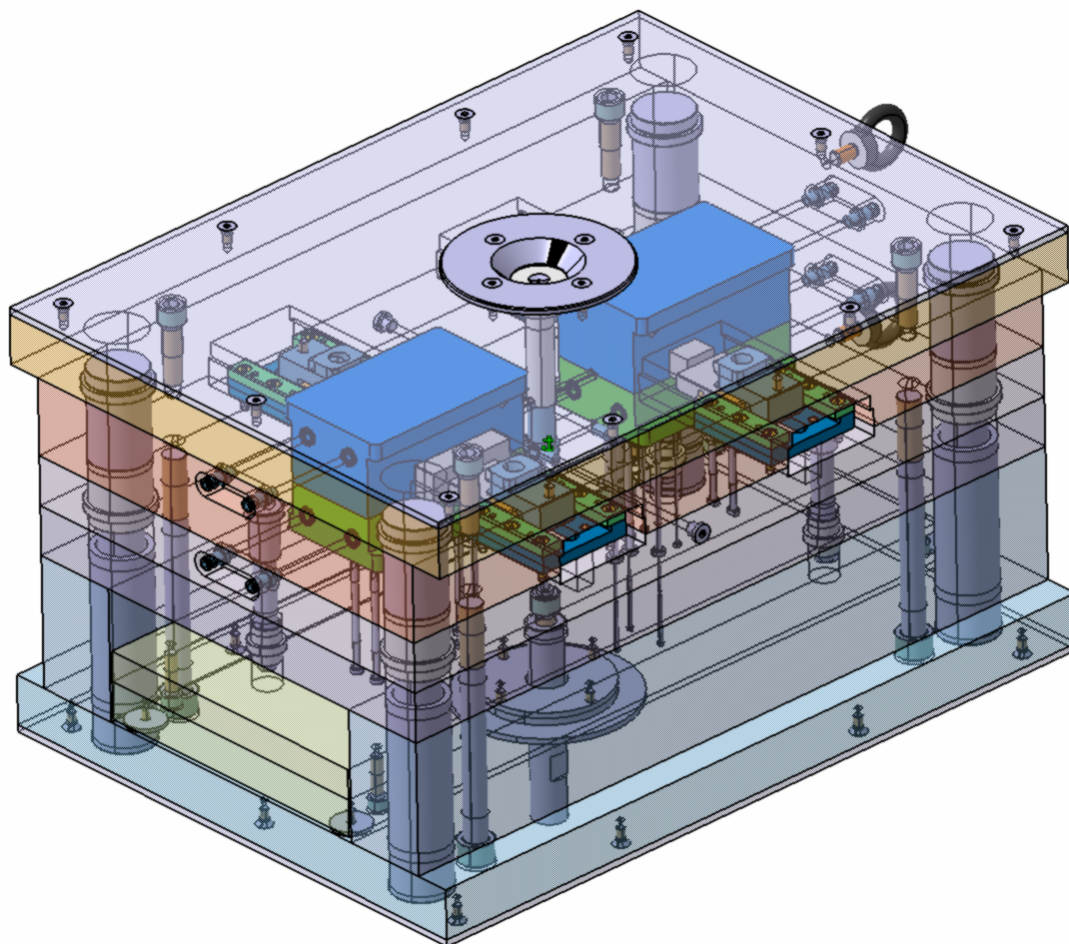
Vstřikovací forma je pro snadnější manipulaci opatřena párem závěsných ok. Z pevné strany je oko připevněno šroubovým spojením k upínací desce. Z pohyblivé strany je oko připevněno šroubovým spojením k desce opěrné. Závěsná oka jsou normalizované díly z el. katalogu Hasco s označením Z710.



Obr. 28 Umístění závěsných ok

8.9 Sestava formy

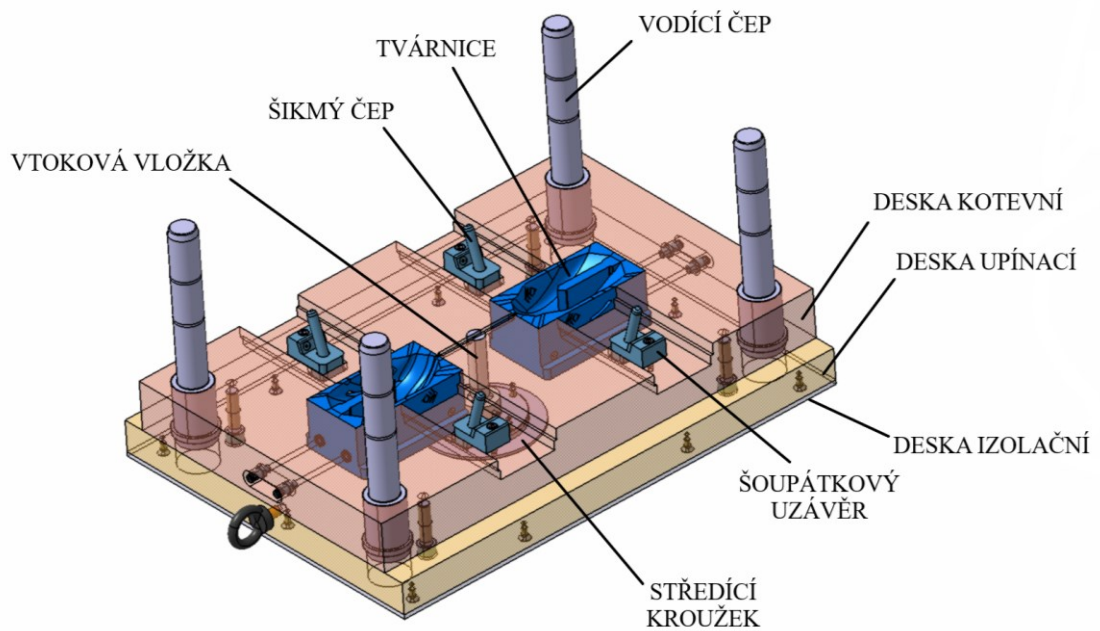
Vstřikovací forma se skládá ze tří částí: levé uzavírací části, pravé vstřikovací části a vyhazovacího systému. Levá strana formy je pohyblivá, zajišťuje otevírání a uzavírání formy. Pravá strana formy je pevná, slouží k upnutí formy na vstřikovací stroj. Vyhazovací systém vyhazuje díl poté, co je zchlazen na vyhazovací teplotu.



Obr. 29 3D model formy

8.9.1 Pravá pevná část formy

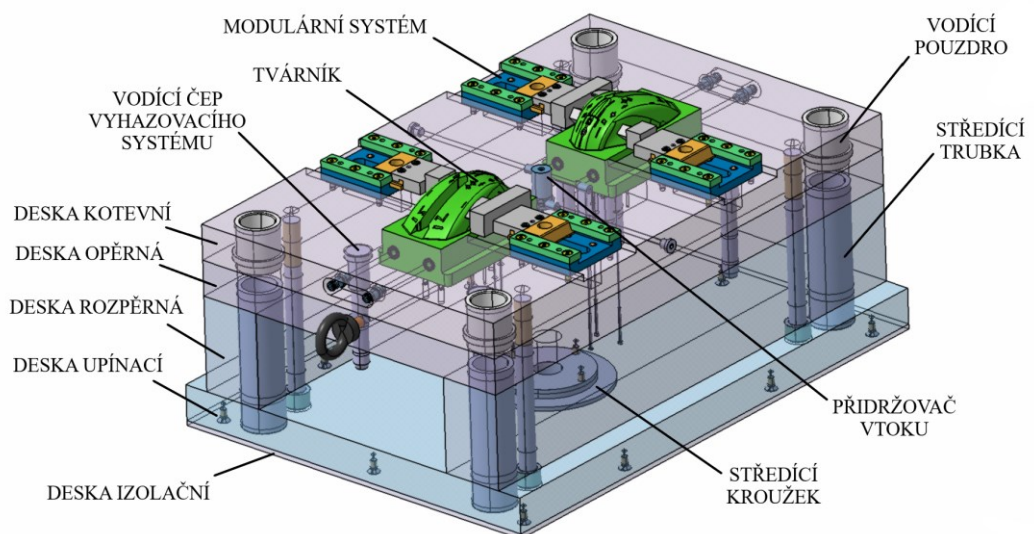
Pevnou vstřikovací část formy tvoří izolační deska, upínací deska, kotevní deska a tvárnice. Jednotlivé desky jsou spojeny normalizovanými šrouby, středícími a vodícími prvky (obr.30). V kotevní desce jsou upevněny šoupátkové uzávěry šroubovými spoji, v kterých jsou uloženy šikmé čepy. Kotevní deska je temperována. Deskami prochází vtoková vložka s označením Z511, na kterou dosedá tryska stroje.



Obr. 30 Pravá strana formy

8.9.2 Levá pohyblivá část formy

Levá část formy se skládá z izolační desky, upínací desky, dvou rozpěrných desek, opěrné desky a levé kotevní desky. Do frézovaných děr v kotevní desce jsou vloženy tvárníky. Desky jsou spojeny normalizovanými šrouby, středíci a vodíci prvky. Levá strana obsahuje přídržovač vtoku, který slouží k přidržení výrobku na správné straně formy. Jednotlivé prvky lze vidět na obr. 31. V kotevní desce je přišroubován posuvný modulární systém, který usnadňuje posuv čelistí.

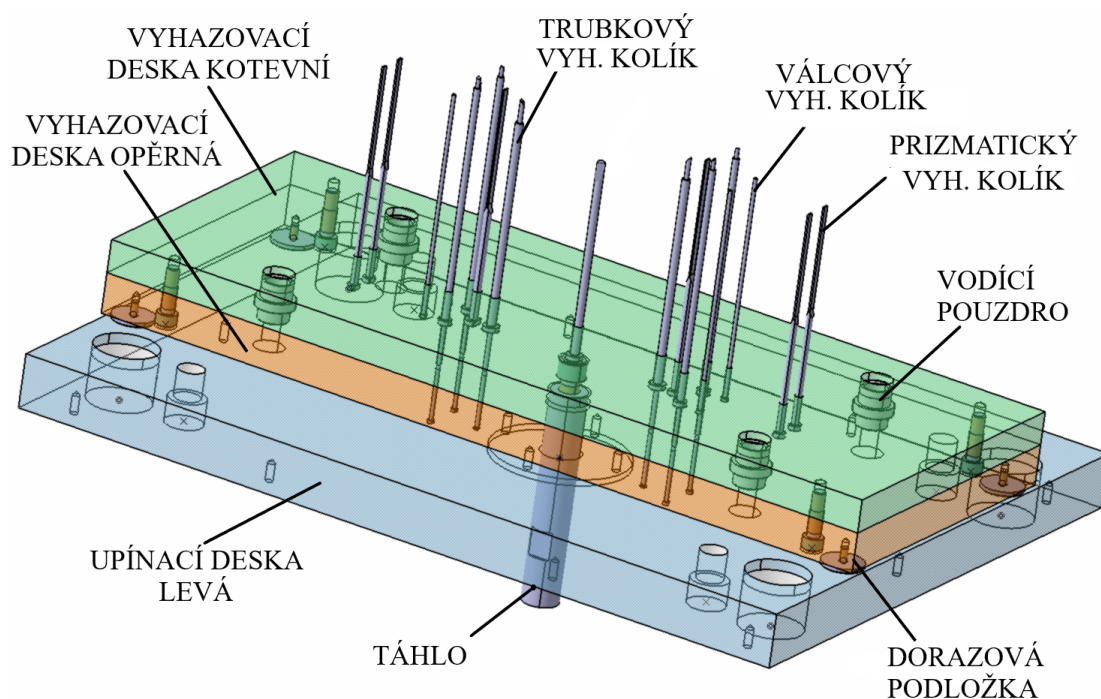


Obr. 31 Levá strana formy

8.9.3 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém odpovídá za odformování vstříkovaného dílu z dutiny poté, co je výrobek ochlazen na vyhazovací teplotu. Vyhazovací kolíky ústí do vnitřní plochy vstříkovaného dílu, která je nepohledová. Vnitřní části formy jsou opatřeny úkosy k usnadnění vyhazování. Na vyhození dílu se podílí celkem tři typy vyhazovacích kolíků – trubkový, prizmatický, válcový. Tyto vyhazovací kolíky jsou uloženy v kotevní desce a zajištěny deskou opěrnou. Jádrem trubkového vyhazovacího kolíku tvoří válcový vyhazovací kolík, který je upevněn v levé upínací desce, jak lze vidět na obr. 28. Jádrové válcové vyhazovací kolíky a prizmatické vyhazovací kolíky jsou zajištěny proti pootočení, jelikož jsou tvarově upravené kvůli zkoseným plochám na výstřiku a jsou jiného než kruhovitého průřezu. Množství vyhazovacích kolíků bylo voleno s ohledem ke složitosti tvaru výstřiku a zajištění spolehlivého vyhození vstříkovaného dílu.

Táhlo zajišťuje pohyb kotevní vyhazovací a opěrné desky. Vedení vyhazovacího systému je umožněno pomocí normalizovaných vodících čepů a středících pouzder. Táhlo bylo zvoleno s ohledem k parametrům vstříkovacího stroje.



Obr. 32 Vyhazovací systém s levou upínací deskou

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byl návrh vstříkovací formy pro díl počítačové myši. Konstrukce formy i samotného dílu byla sestavena ve studentské verzi programu Catia V5R20 za pomoci normálíí od firmy Hasco.

V teoretické části byla popsána základní problematika vstříkování, konstrukce vstříkovaných výrobků a konstrukce forem.

V praktické části byl vytvořen díl počítačové myši. Pro daný díl byl vybrán materiál ABS – Magnum 8434 především kvůli dosažení vysokého lesku a odolnosti vůči UV záření a různým chemikáliím. Při konstrukci formy bylo přihlíženo k tomu, že se jedná o pohledový díl, který by neměl obsahovat žádné pohledové vady. Následně byl vytvořen návrh tvářecího nástroje – vstříkovací formy.

Dle daného dílu byly vybrány příslušné rozměry formy. Z důvodu konstrukční složitosti a přesnosti dílu, byla navržena forma dvojnásobná – tzn. že na jeden zdvih se vyrobí 2 totožné díly. Dle velikosti formy byly vybrány a zabudovány spojovací a středící části, jako jsou vodící čepy, pouzdra, šrouby, středící kroužky a vodící trubky. Vedoucím práce byl zvolen studený vtokový systém. Pro boční odformování byly použity posuvné čelisti, které byly napojeny na modulární systém. Ten usnadňuje boční odformování. Pro vyhození výrobku byly zvoleny 3 typy vyhazovacích kolíků – prizmatický, válcový a trubkový, který funguje jako stírací deska a nezanechává stopy na výrobku. Dle parametrů formy byl zvolen vhodný vstříkovací stroj. Dále byla provedena analýza vtokového systému v programu Autodesk Moldflow Insight 2016, která odhalila, zda bylo vhodně zvoleno umístění vtokového ústí. Ukázalo se, že umístění vtokového ústí bylo vhodně zvoleno ze 31 %. Z 3D modelu formy byla vytvořena výkresová dokumentace s příslušným kusovníkem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK, L. a kol., *Formy pro zpracování plastů: I. Díl – Vstřikování Termoplastů*. 2. vydání – Brno: UNIPLAST, 1999. 134s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [2] LENFELD, P. *Technologie vstřikování II. Vstřikování plastů: Technická univerzita Liberec* [online]. [cit. 2020-11-22]. Dostupné z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/uvod.htm
- [3] BOBEK, J. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 2015. [cit. 2020-11-22]. ISBN 978-80-88-058-65-6. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/179/01.html>
- [4] SEIDL, M. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. [cit. 2020-11-22]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/181/Impresum.html>
- [5] BEMA Lanškroun s.r.o. *Vstřikování*. [online]. [cit. 2020-11-22]. Dostupné z WWW: <https://www.bema-la.cz/bema-vyroba/1-O-NAS/3-VSTRIKOVANI>
- [6] ZEMAN, L., *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN – technická literatura, 2009. 247s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [7] BOBČÍK, L., *Formy pro vstřikování plastů II. díl: Vstřikování termoplastů*. Brno: UNIPLAST, 1999. 214s.
- [8] D. M., BRYCE, *Plastic Injection Molding: manufacturing process fundamentals*. the United States of America: SMe. 1996. ISBN 0-87263-472-8.
- [9] BĚHÁLEK, L., *Polymery* [online]. [cit. 2021-01-27]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- [10] DUCHÁČEK, V., *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. [cit. 2021-01-27]. ISBN 80-708-0617-6.
- [11] *Engel* [online]. [cit. 2021-01-27]. Dostupné z WWW: <https://www.engelglobal.com/cs/cz/produkty/vstrikovaci-stroje/e-cap.html#highlights>
- [12] OMLSTED, B. A. a M. E. DAVIS. *Practical Injection Molding*. The United States of America. New York: Marcel Dekker, 2001. [cit. 2021-01-27]. ISBN 0-8247-0529-7.

[13] CHANDA M., a ROY S.K., *Plastics Technology Handbook: Plastic Engineering Series*. Fourth Edition. Clemson, South Carolina: Taylor & Francis Group. 2006. ISBN 978-0-8493-7039-7.

[14] ZEMAN, L., *Vstřikování plastů: teorie a praxe* [online]. Praha: Grada, 2018. [cit. 2021-01-28]. ISBN 978-80-247-2818-6.

[15] LANXESS Inc. *Engineering Plastics: Part and Mold Design* [online]. [cit. 2021-01-29]. Dostupné z WWW: https://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part_and_Mold_Design_Guide.pdf?docId=77015

[16] ŘEHULKA, Z. *Konstrukce vylisků z plastu a forem pro zpracování plastů*. SEKURKON, organizační a vzdělávací servis. ISBN 80-86604-18-7.

[17] ROSATO, D.V., D.V. ROSATO a M.G. ROSATO. *Injection molding handbook: 3rd Edition*. New York: Springer Science + Business Media New York, 2000. [cit. 2021-01-31]. ISBN 978-1-4615-4597-2.

[18] Hao Yu Technology. *Hot Runner Design. (HK)* [online]. [cit. 2021-02-01]. Dostupné z WWW: https://www.wellraintech.com/jszc_447.html

[19] Hot & Cold Runners For Injection Molding. *Creative Mechanisms Blog* [online]. [cit. 2021-02-01]. Dostupné z WWW: <https://www.creativemechanisms.com/blog/hot-cold-runners-for-injection-molding>

[20] LENFELD, P., *Technologie vstřikování* [online]. Pardubice 2015. [cit. 2021-02-02]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/184/Impresum.html>

[21] GOODSHIP, V. *Practical Guide to Injection Moulding: 2nd Edition*. 2017. UK: Smithers Rapra. ISBN 978-1-91024-294-0.

[22] WORTH, J. *Injection Molds 101: Cold Runner vs. Hot Runner Molds*. The Rodon Group [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z WWW: <https://www.rodongroup.com/blog/injection-molds-101-cold-runner-vs-hot-runner-molds>

[23] KRAHN, H., D. EH a H. VOGEL, *1000 Konstruktionsbeispiele für den Werkzeug – und Formenbau beim Spritzgießen*. Germany: Hanser, 2008. ISBN 978-3-446-41243-9.

[24] BEAUMONT, J.P., *Runner and Gating Design Handbook*. Munich: Hanser 2004. [cit. 2021-02-03]. ISBN 3-446-22672-9.

[25] HYNEK, M. *Horké vtoky: Západočeská univerzita v Plzni – Fakulta strojní* [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z WWW: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Horke_vtoky.pdf

[26] HYNEK, M. *Rámy vstřikovacích forem: Západočeská univerzita v Plzni – Fakulta strojní* [online]. [cit. 2021-02-03].

[27] HYNEK, M. *Vyhazovací sestava a vyhazovače: Západočeská univerzita v Plzni – Fakulta strojní* [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z WWW: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Vyhazovaci_sestava_a_vyhazovace.pdf

[28] ARBURG. *Allrounder 420 C*. [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z WWW: <https://www.arburg.com/cs/cz/cast-pro-novinare/tiskova-zpravy/bulletin/nI/149/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SAN	Styren akrylonitril.
PA	Polyamid
PC	Polykarbonát
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PBT	Polybutylen-terefralát
PP	Polypropylen
PE	Polyethylen
mm	Milimetr
MPa	Megapascal
Cu	Měď
Al	Hliník
g	Gram
bar	Jednotka tlaku
cm ³	Kubický centimetr
UV	Ultrafialové záření
kW	Kilowatt
min	Minuta
2D	Dvojměrný prostor
3D	Trojměrný prostor

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Vstřikovací cyklus [3]</i>	13
<i>Obr. 2 Vstřikovací stroj [3]</i>	14
<i>Obr. 3 Schéma makromolekuly [9]</i>	16
<i>Obr. 4 Základní rozdělení polymerů [9]</i>	17
<i>Obr. 5 Schéma nadmolekulární struktury polymerů a) amorfni b) semikrystalické [9]</i> .	17
<i>Obr. 6 Vliv tloušťky stěny na technologičnost výroby plastového dílu vstřikováním [3]</i>	22
<i>Obr. 7 Způsob optického zakrytí vzniklé propadliny [3]</i>	23
<i>Obr. 8 Základní rozměry žebra [3]</i>	23
<i>Obr. 9 Standardní dvounásobná forma se studeným vtokovým systémem [15]</i>	25
<i>Obr. 10 Základní princip vtokové vložky [3]</i>	29
<i>Obr. 11 Princip vyvážených rozvodných kanálů u vícenásobných forem [15]</i>	30
<i>Obr. 12 Vyhříváný vtokový systém [26]</i>	31
<i>Obr. 13 Ukázka šikmého vyhazovače [15]</i>	33
<i>Obr. 14 Dvoustupňové vyhazování [27]</i>	33
<i>Obr. 15 Princip funkce stírací desky [3]</i>	34
<i>Obr. 16 Nejdůležitější části formy [15]</i>	35
<i>Obr. 17 Doporučená konstrukce odvzdušňovacích kanálů [3]</i>	37
<i>Obr. 18 Porovnání efektu různého průměru temperačních kanálů [3]</i>	39
<i>Obr. 19 Pohledová plocha výrobku</i>	44
<i>Obr. 20 Nepohledová plocha výrobku</i>	44
<i>Obr. 21 Výsledek analýzy vhodnosti vtokového ústí</i>	45
<i>Obr. 22 Vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 420C [28]</i>	47
<i>Obr. 23 Tvárník a tvárnice</i>	49
<i>Obr. 24 Posuvné čelisti</i>	50
<i>Obr. 25 Násobnost formy – pohled na pravou nepohyblivou část formy</i>	51

<i>Obr. 26 Studený vtokový systém.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 27 Zobrazení toku chladícího media levou kotevní deskou formy a tvárníky.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 28 Umístění závěsných ok.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 29 3D model formy</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 30 Pravá strana formy</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 31 Levá strana formy</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 32 Vyhazovací systém s levou upínací deskou.....</i>	<i>56</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Příklad doporučených teplot v rámci vstřikování vybraných typů plastů [3]</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 2 Vlastnosti materiálu ABS MAGNUM 8434</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 3 Základní parametry vstřikovacího stroje Arburg ALLROUNDER 420C</i>	<i>46</i>

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha P I Materiálový list ABS MAGNUM 8434
- Příloha P II Výkresová dokumentace
- 2D řezy sestavou vstřikovací formy
 - Pohled do levé strany formy
 - Pohled do pravé strany formy
 - Kusovník 1
 - Kusovník 2
- Příloha P III CD obsahující:
- Bakalářskou práci v elektronické podobě
 - 3D model formy
 - 3D model výrobku
 - Výkresovou dokumentaci

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST ABS MAGNUM 8434

Distributed by  **RESINEX**

Wednesday, May 5, 2021

MAGNUM™ 8434

Trinseo - Acrylonitrile Butadiene Styrene

Units

Action

Legend ([Open](#))



General Information

Product Description

Overview:

MAGNUM™ 8434 is a medium heat ABS. It is suitable for interior automotive applications requiring high gloss.

Benefits:

- Lot to lot consistency allowing for optimal machine parameters settings from the start
- Low VOC allowing a better interior air quality facing increasing regulatory and OEMs constraints.
- Heat stability during wide range of processing temperatures: enhanced part design freedom

Applications:

- Various covered interior trims
- Painted Grilles and Other Exterior Trims

General

Material Status	• Commercial: Active
Availability	• Europe • Latin America • North America
Features	• Good Processability • High Heat Resistance • High Gloss • Paintable
Uses	• Appliances • Automotive Interior Parts • Automotive Applications • Toys
Automotive Specifications	• FORD WSS-M4D827-A3 • GM QK 002022 Color: Color: Natural Natural
Forms	• Pellets
Processing Method	• Injection Molding

ASTM & ISO Properties ¹

Physical	Nominal Value	Unit	Test Method
Density	1.05	g/cm ³	ISO 1183
Apparent (Bulk) Density	0.65	g/cm ³	ISO 60
Melt Mass-Flow Rate (MFR) (220°C/10.0 kg)	13	g/10 min	ISO 1133
Molding Shrinkage	0.40 to 0.70	%	ISO 294-4
Mechanical	Nominal Value	Unit	Test Method
Tensile Modulus	2400	MPa	ISO 527-2/1
Tensile Stress (Yield)	45.0	MPa	ISO 527-2/50
Tensile Strain (Yield)	2.7	%	ISO 527-2/50
Tensile Strain (Break)	15	%	ISO 527-2/50
Flexural Modulus ²	2300	MPa	ISO 178
Flexural Stress ²	70.0	MPa	ISO 178
Impact	Nominal Value	Unit	Test Method
Charpy Notched Impact Strength (23°C, Injection Molded)	16	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Thermal	Nominal Value	Unit	Test Method
Vicat Softening Temperature	100	°C	ISO 306/B50
Flammability	Nominal Value	Unit	Test Method
Flame Rating ³			UL 94
1.5 mm		HB	
3.0 mm		HB	

Processing Information

Injection	Nominal Value	Unit
Drying Temperature	80 to 90	°C
Drying Time	2.0 to 4.0	hr

Notes

¹ Typical properties: these are not to be construed as specifications.

² 2.0 mm/min

³ This rating not intended to reflect hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.

Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Seller assumes no obligation or liability for the information in this document. **NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.**