

Konstrukce vstřikovací formy pro termoplastický díl

Antonín Lankaš

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Antonín Lankaš**
Osobní číslo: **T17194**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Konstrukce vstřikovací formy pro termoplastický díl**

Zásady pro vypracování

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

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

Seznam doporučené literatury:

- BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů. 2. upr. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999.
- BOBČÍK, L. Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů. Díl 2. Brno: Uniplast, 1986.
- NEUHÄUSL, E., ZEMAN, I.: Vstřikování plastů-teorie a praxe: Základní kurs. Interní dokument fy PLAST FORM SERVICE, s.r.o., Praha, 2006
- MAŇAS, M., VLČEK, J. Aplikovaná reologie. Zlín : UTB, 2001.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Janošík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Ve Zlíně dne 10. března 2020

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 užit 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, považuji 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 bakalářská práce se zabývá technologií vstřikování a konstrukcí vstřikovací formy pro polymerní díl. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část obsahuje současný stav v oblasti vstřikování, popis samotné technologie, konstrukční zásady pro návrh výrobku a konstrukci formy a popis konkrétních částí formy. V praktické části je pojednáváno o popisu navrhovaného výrobku, návrh řešení a konstrukci formy. Zkonstruovaná forma a výkresová dokumentace je vytvořena v programu Catia V5R19 a pro normálie byl zvolen katalog společnosti Meusburger.

Klíčová slova: Vstřikování, vstřikovací forma, konstrukce, plastikační jednotka

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with injection technology and injection mold design for polymer part. The thesis is divided into theoretical part contains the current state in the field of injection molding, technology description, design principles for product design and mold construction and description of specific parts of the mold. The practical part dealt with the description of the proposed product, the design of the solution and the construction of the mold. The designed form and drawing.

Keywords: Injection molding, injection mold, injection molding machine

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu Ph.D, Ing. Václavovi Janošíkovi za velkou pomoc a rady, které mi poskytl při konstrukci výrobku a formy. Dále bych chtěl poděkovat mé mamě za to, že za mnou celou dobu stála v dobrém i ve zlém a měl jsem díky ní možnost studovat na vysoké škole.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 SOUČASNÝ STAV	11
2 PRINCIP TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	13
2.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ.....	14
2.2 VLASTNOSTI POLYMERŮ.....	16
2.3 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	17
2.4 VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	19
2.4.1 Vstřikovací jednotka.....	20
2.4.1.1 Šnek.....	20
2.4.1.2 Zpětný uzávěr šneku.....	21
2.4.1.3 Poměr délky a průměru šneku.....	21
2.4.1.4 Ohřev polymeru.....	22
2.4.1.5 Vstřikovací tryska.....	22
2.4.2 Uzavírací jednotka.....	22
2.4.3 Řízení a regulace vstřikovacích strojů.....	23
3 NÁVRH VÝROBKU	24
3.1 DĚLÍCÍ ROVINA.....	24
3.2 TLOUŠŤKA STĚN.....	25
3.2.1 Optimalizace tloušťky stěny.....	25
3.2.2 Deformace stěny.....	25
3.2.3 Řešení hran a rohů.....	26
3.3 ŽEBRA.....	27
3.4 ÚKOSY A PODKOSY.....	28
4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	29
4.1 POŽADAVKY PRO VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	30
4.2 KONSTRUKČNÍ NÁVRH FORMY.....	30
4.2.1 Zaformování výstřiku.....	31
4.2.2 Dutina formy.....	31
4.2.3 Násobnost formy.....	32
4.3 VTOKOVÉ SYSTÉMY FOREM.....	33
4.3.1 Studené vtokové systémy.....	33
4.3.1.1 Druhy vtoků.....	34
4.3.2 Vyhřívané vtokové soustavy.....	37
4.4 TEMPERAČNÍ SYSTÉMY.....	38
4.4.1 Charakteristika temperačního systému.....	38
4.4.2 Temperační prostředky.....	38
4.5 VYHAZOVCÍ SYSTÉMY.....	39
4.5.1 Mechanické vyhazování.....	40
4.5.2 Pneumatické vyhazování.....	43
4.5.3 Hydraulické vyhazování.....	44

4.6	ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	44
4.6.1	Odvzdušnění v dělicí rovině.....	45
4.6.2	Umístění odvzdušňovacích kanálů.....	45
4.7	RÁMY VSTŘIKOVACÍCH FOREM	45
4.8	MATERIÁLY PRO URČITÉ ČÁSTI FOREM	46
II	PRAKTICKÁ ČÁST	47
5	STANOVENÍ SÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	48
6	VOLBA MATERIÁLU	49
7	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	50
8	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	51
8.1	POUŽITÉ PROGRAMY.....	51
8.2	VOLBA DĚLÍCÍ ROVINY	51
8.3	NÁSOBNOST FORMY	52
8.4	VSTŘIKOVACÍ FORMA	53
8.5	TVAROVÉ VLOŽKY.....	54
8.6	PRAVÁ STRANA FORMY	54
8.7	LEVÁ STRANA FORMY.....	55
8.8	VTKOVÝ SYSTÉM.....	56
8.9	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	57
8.10	BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ	57
8.11	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	60
8.12	TRANSPORTNÍ SYSTÉM	62
	ZÁVĚR.....	64
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	66
	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	69
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	71
	SEZNAM TABULEK.....	72
	SEZNAM PŘÍLOH.....	73

ÚVOD

Polymery jsou materiály, které jsou stále častěji využívaným materiálem v různých odvětvích průmyslu. Díky dobrým vlastnostem lze polymery nahradit i materiály jako je ocel, dřevo, sklo a jiné. Nejvhodnější metodou pro zpracování polymerů je vstřikování, pomocí kterého lze vyrobit součásti složitých, které by obráběním kovu nebylo možné vytvořit. Vstřikování je proces, při kterém je tavenina vstřikována pod tlakem do ocelové dutiny formy, která má tvar negativu daného výrobku. Velkou výhodou je plná automatizace, která umožňuje rychlou výrobu za krátký čas. Nástrojem při vstřikování je vstřikovací forma, kterou je potřeba navrhnout tak, aby byla výroba vstřikováním co nejvíce optimální.

Tato bakalářská práce se zabývá samotnou metodou vstřikování a konstrukcí vstřikovací formy. Skládá se z teoretické a praktické části. Teoretická část pojednává o metodě vstřikování, současném stavu a konstrukci samotné vstřikovací formy. Praktická část pak pojednává o návrhu vstřikovací formy pro zadaný polymerní díl.

Při návrhu vstřikovacích forem jsou využívány 3D softwary, pomocí kterých lze formu navrhnout a následně provést řadu analýz, díky kterým je zaručena správná funkce formy. Velkým pomocníkem při konstrukci jsou také digitální knihovny normalizovaných součástí, které poskytují větší výrobci normálí, jako je Hasco a Meusburger.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SOUČASNÝ STAV

V současné době jsme obklopeni spoustou předmětů různých tvarů a rozměrů, které jsou vyrobeny ze široké škály materiálů. S postupem doby a pokrokem technologií je spousta těchto materiálů nahrazena polymery, protože s pokrokem technologií lze splnit požadované mechanické vlastnosti a estetickou stránku. Nejpoužívanější metodou pro zpracování polymerů je vstřikování, pomocí kterého se dá vyrábět stále širší spektrum výrobku v různých odvětvích, jako je například automobilový průmysl, elektrotechnika, optika a jiné. V dřívější době byly pomocí této metody vyráběny pouze jednoduché díly středních a větších rozměrů, na které nebyly kladeny tak vysoké nároky ohledně mechanických vlastností a vzhledu. V současnosti tomu už tak není. Metodou vstřikování lze vyrábět například i díly velmi malých rozměrů, jako je například malá LED dioda, která je využívána hlavně v oblasti elektrotechniky.

Díky vývoji technologie, lze pro výrobu miniaturních dílů využít metody mikrovstřikování, která umožňuje vstřikování velmi malých dávek hmoty, díky které lze dosáhnout u výrobku velmi malých a přesných rozměrů, což umožňuje jednodušší výrobu elektronických komponentů. [1]

Vývoj vstřikování šel ještě dál a v oblasti elektrotechniky vědci začali také vyvíjet kompozitní materiály, ze kterých lze vystřikováním vyrábět polymerní vodivé součástky malých rozměrů, které mohou nahradit kovové obvody zejména v mikro kompozitech. Polymerní vodiče totiž obsahují vodivá plniva formou měděných mikrovláken a uhlíkových nanotrubic, které zvyšují vodivost až o dva řády. Díky této metodě s kombinací mikrovstřikování lze vyrábět také komponenty s velmi malou a složitou geometrií. [2]

Jak již bylo zmíněno, elektrotechnika je pouze jedno z odvětví, ve kterém je vstřikování polymerů využíváno. Dalším odvětvím, ve kterém vstřikování zjednodušilo výrobu, je optika. Jeden z nejsložitějších výrobků v optice je čočka, na kterou jsou kladeny velmi vysoké nároky na přesnost rozměrů a funkčnost. Díky mikrovstřikování a nové studii lze v současné době vyrábět například bi-asférickou čočku za pomoci hybridních a umělých neuronových sítí. Tato bi-asférická čočka z polykarbonátu je velmi složitá na výrobu, protože je velmi důležité docílit minimálního objemového smrštění, aby bylo docíleno požadované kvality a přesných rozměrů. Pro tento proces je použita metoda hybridních, umělých neuronových sítí a optimalizace částicových rojů, díky které bylo docíleno přesné polymerní čočky s nerovnoměrnou tloušťkou. [3]

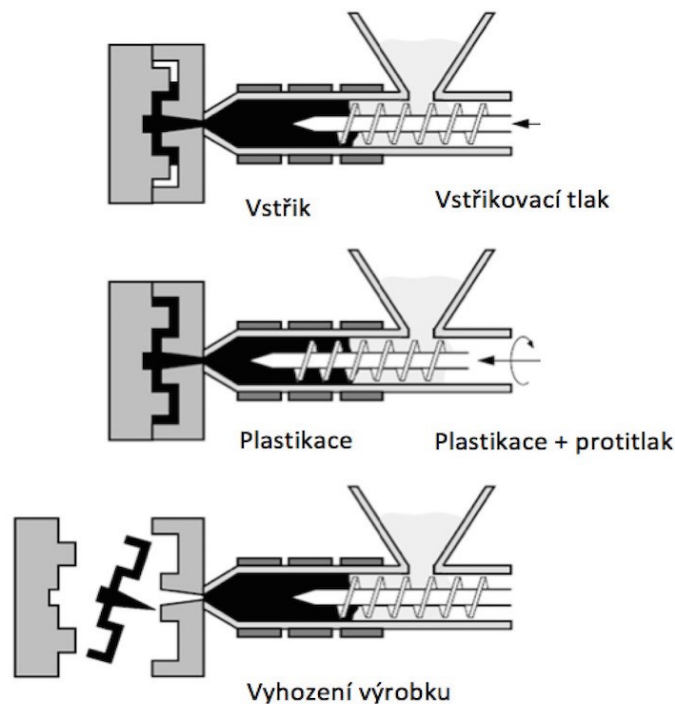
Inovace přichází i u samotného způsobu vstřikování, konkrétně je řeč o více složkovém vstřikování, které umožňuje vytvoření dílu, který je složen z více různých materiálů. Tato technologie vícesložkového vstřikování má výhodu v lepší konstrukci a hlavně funkci daného dílu, na který jsou kladeny specifické nároky. Díky možnosti vstříknout různé materiály pomocí jedné plastikační jednotky je také velmi zjednodušena automatizace celého procesu vstřikování, protože díl nemusí být složen z několika částí a je možno ho vytvořit naráz a to bez větších obtíží. Technologii vícesložkového vstřikování lze následně kombinovat s dalšími technologiemi, jako je například mikrovstřikování nebo vstřikování s podporou vody a plynu. [4]

Velkou roli ve vstřikovacím cyklu hraje i samotný materiál, který je možno díky inovacím upravit tak, aby bylo dosaženo lepších vlastností a případné optimalizaci vstřikovacího cyklu. Jako příklad se dá uvést nedávná studie mikrobuněčného procesu napěňování polymeru ho materiálu. V tomto procesu se vytváří uvnitř materiálu mikropóry a výsledkem této metody je menší velikost a vyšší hustota buněk, než při stávajícím pěnicím procesu. Výsledný polymer je tak odlehčen o 10 až 15% a jeho materiálové vlastnosti jsou podstatně vylepšeny. Krom vlastností lze aplikací metody MCP snížit dobu dotlaku a tím zkrátit celý vstřikovací proces. [5]

Za poslední dobu dosáhly zlepšení také samotné aplikace a metody získávání údajů o stavu vstřikovacího stroje a cyklu. Pro lepší automatizaci a optimalizaci výroby je potřeba, aby firma měla kompletní přehled nad výrobou i třeba na větší vzdálenost a mohla tak kontrolovat centrálně údaje o procesech. Jako příklad inovací v tomhle směru je možno uvést koncept Digital Twin, která umožňuje kombinaci informační technologie a provozní technologie k vytvoření simulace. Koncept obsahuje tři hlavní části: proces v reálném fyzickém prostoru, virtuální proces a přenos dat mezi fyzickým a virtuálním prostorem. Digitální prostor pak lze definovat jako replikaci reálného výrobního procesu, který je následně využíván pro optimalizaci procesu, monitorování a diagnostiku pomocí umělé inteligence a softwarové analýzy. Inovace je ideální pro řízení výroby na dálku. [6]

2 PRINCIP TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

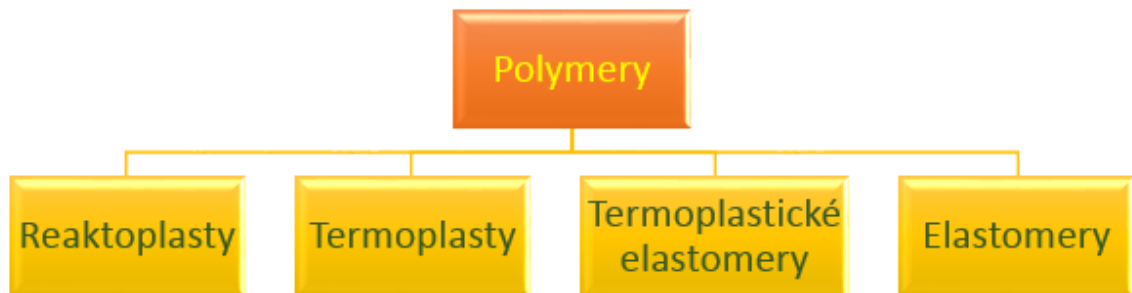
Technologie vstřikování je způsob zpracování polymerů a kompozitů, při kterém je potřebná dávka zpracovaného materiálu ve formě taveniny vstříknuta pomocí šneku nebo pístu velkou rychlostí z plastikační jednotky do uzavřené dutiny vstřikovací formy, kde v důsledku odvodu tepla ztuhne v konečný výrobek. Plastikační komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba vstřikovaného materiálu je během vstřikovacího cyklu neustále doplňována. [7]



Obr. 1 – Vstřikování [7]

Recyklát nebo granulát je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení polymer taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a získá její tvar a objem. Následuje dotlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Polymer předává formě teplo a postupným ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý proces se cyklicky opakuje.[7]

2.1 Rozdělení polymerů



Obr. 2 – Rozdělení polymerů [11]

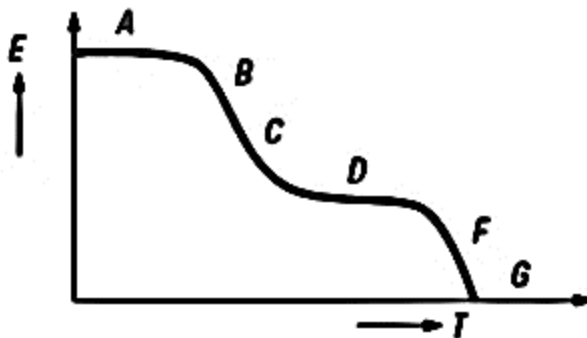
Polymery jsou chemické látky obsahující ve svých obrovských molekulách většinou atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, ale i dusíku, chloru a jiných prvků. Za normálních teplot jsou v tuhém stavu. Za zvýšené teploty přechází do stavu kapalného (taveniny), což umožňuje udělit polymerní tavenině tvar výrobku. [8]

Za běžných podmínek většinou tvrdé, houževnaté nebo křehké. Zahřátím mohou být polymery taveny. Na základě možného opakování tavení rozdělujeme polymery na **termoplasty** (opakovaně tavitelné) a **reaktoplasty** (tavitelné pouze jednou), které tvrdnou vlivem síťování, obvykle za působení tepla a tlaku. **Elastomery** jsou vyznačovány velmi vysokou elasticitou a lze je při zatížení lehce zdeformovat bez trvalého poškození. Největší podmožinu elastomerů tvoří kaučuky, ze kterých se následně vyrábí pryž. [8]

Z jednotlivých skupin jsou nejrozšířenější termoplasty. Tyto lineární či rozvětvené polymery, jejichž řetězce tvoří jen jeden druh základní chemické skupiny, se nazývají homopolymery. Dále kopolymery, které jsou složeny z více druhů základních chemických skupin. Z hlediska vnitřní struktury se termoplasty dělí na:

- Amorfni, jejichž řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádány.
- Semikrystalické, kde je podstatná část řetězců pravidelně a těsně uspořádána a tvoří krystalické útvary. Zbytek má amorfni uspořádání.

Využitelnost výrobků z amorfni polymerů je v oblasti pod teplotou skelného přechodu (T_g). Polymer je v tomto stavu pevný. Zvyšováním teploty nad T_g postupně slábnou kohezni síly mezi makromolekulami a plast přechází do plastické oblasti až do viskózního stavu, kdy se zpracovává. [9]

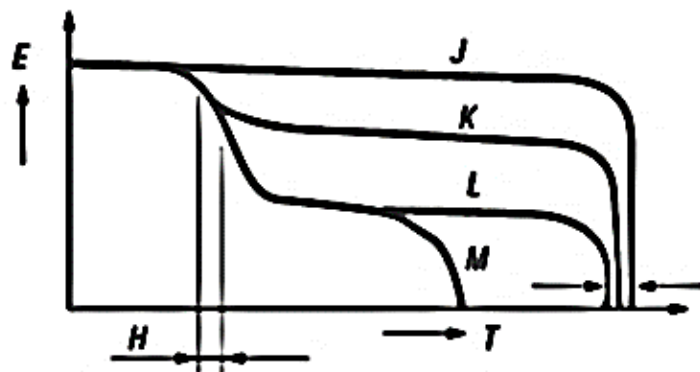


Obr. 3 – Amorfni polymery [21]

E – modul pružnosti, T – teplota

*A – skelný stav, B – oblast skelného přechodu, C – kožovitá oblast, D – kaučukovitý stav,
F – visko-elastický tok, G – tok polymerní amorfni taveniny*

U semikrystalických polymerů jsou části makromolekul vázány pevněji v lamélách a ve sférolitech krystalické fáze. Zvyšováním teploty se nejprve uvolní část makromolekul z amorfni oblasti, poté i ostatní. To je doprovázeno značným objemovým nárůstem. Použití plastu tohoto typu je v oblasti nad teplotou T_g , protože mají výhodnou kombinaci pevnosti a houževnatosti nad touto teplotou. [9]



Obr. 4 – Semi-krystalické polymery [21]

E – modul pružnosti, T - teplota

H – rozmezí skelného přechodu, J – termoplasty s vysokým obsahem krystalického podílu,
 K – termoplasty se středním obsahem krystalického podílu, L – termoplasty s nízkým obsahem
krystalického podílu, M – amorfni termoplasty, I – rozmezí tání krystalického podílu

2.2 Vlastnosti polymerů

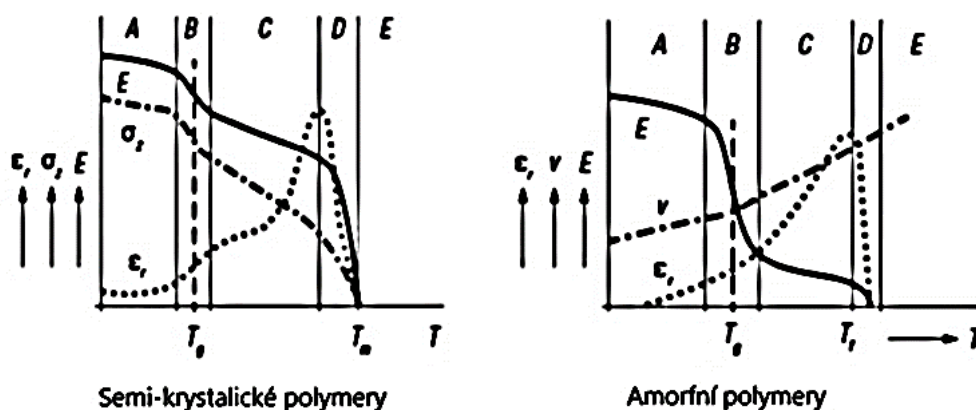
Jednotlivé typy polymerů mají své charakteristické i funkční zpracovatelské vlastnosti, které jsou ovlivňovány strukturou daného polymeru (polymerační stupeň, molární hmotnost atd).

Mohou se částečně měnit nebo upravovat pomocí přísad. Z funkčního hlediska se u polymerů hodnotí především:

- Mechanická pevnost při dlouhodobém nebo krátkodobém statickém i dynamickém zatížení.
- Elektrické vlastnosti jako je dielektrická pevnost, vodivost atd.
- Chemické odolnosti oproti různým chemickým činidlům, pro potravinářské účely.
- Optické vlastnosti jako je průhlednost, barva, lesk atd.

Charakteristika ze zpracovatelského hlediska:

- Tekutost, která ovlivňuje tloušťku stěny výrobku, koncepci zaformování i velikost vtoků. Tím je ovlivněna teplota formy.
- Velikost smrštění, která určuje výrobní přesnost výrobku.
- Citlivost na technologické parametry výrobního zařízení atd. [9]



Obr. 5 – Vlastnosti polymerů [21]

T_g – teplota skelného přechodu, T_f – teplota tečení, T_m – teplota tání krystalického podílu T_g (termoplastické směsi) křivky závislosti mají dvě přechodové oblasti B v závislosti na T_g jednotlivých složek, E1 – vysoký obsah krystalického podílu, E2 – střední, E3 – nízký, A – sklovitá oblast, B, D – přechodové oblasti, C – kaučukovitá oblast, E – oblast viskózního toku. Amorní materiály: A – oblast použití, C – oblast tvarování, D – oblast vyfukování, C, D – oblast vytlačování, vstříkování. Semi-krystalické polymery: A, B, C – oblast použití, C, D – oblast tvarování, vyfukování, E – oblast vytlačování, vstříkování

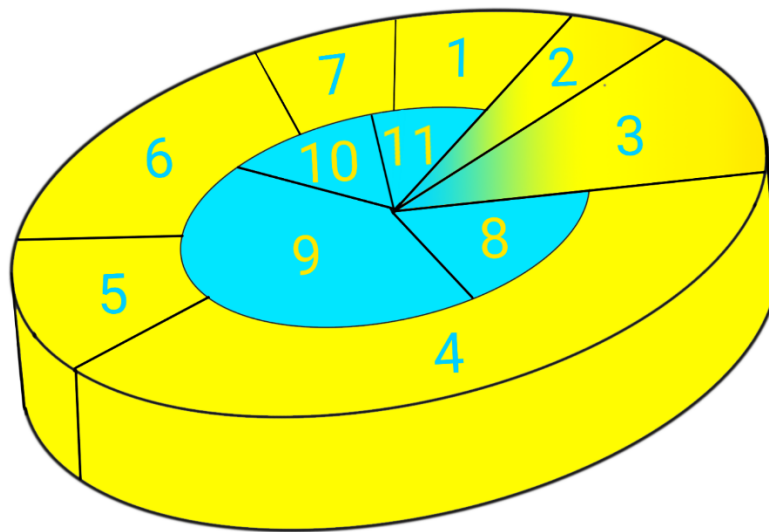
2.3 Vstříkovací cyklus

Vstříkovací cyklus je tvořen sledem přesně specifikovaných úkonů. Jedná se o proces, při kterém polymer prochází teplotním cyklem. Za počátek cyklu se dá považovat okamžik, kdy dojde k uzavření formy. Na počátku vstříkovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma je otevřená. V nulovém čase dostane stroj impuls k zahájení vstříkovacího cyklu, pohyblivá část formy se přisune k pevné, forma se zavře a uzamkne. Tyto činnosti je nutné odlišit, protože na přisouvání formy se musí vynaložit jen malá přisouvací síla, zatímco na uzamknutí je nutno vynaložit značně vyšší uzavírací sílu, protože musí být zaručeno, že se forma vlivem tlaku taveniny při vstříkování neotevře. Následuje pohyb šneku v tavicí komoře a začíná vstříkování taveniny v plastickém stavu do dutiny formy. Po naplnění formy je tavenina v dutině vlivem dotlakové fáze dosáhne maximální hodnoty. [12]

Jakmile tavenina vstoupí do dutiny formy, začne předávat teplo vstříkovací formě a chladne. Doba chlazení je závislá na teplotě formy a tloušťce stěny výrobku. Během chlazení se

hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem. Aby se na výstřiku netvořily propadliny a sraženiny, je nutno zmenšování objemu kompenzovat dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy (dotlak). Dotlak může být po celou dobu stejně vysoký jako maximální tlak nebo se může po několika sekundách snížit a další chlazení probíhá při sníženém tlaku. [12]

Po dotlaku začíná plastikace nové dávky polymeru. Šnek se začne otáčet a pod násypkou nabírá granulát, který plastikuje a vytlačuje ji do prostoru před čelem šneku. Současně ustupuje dozadu, přičemž musí překonávat zpětný tlak. Výška zpětného tlaku ovlivňuje dobu plastikace a tím i kvalitu prohnětení roztaveného materiálu. Dále může následovat odsunutí plastikační jednotky od formy. Během pokračujícího chlazení tlak ve formě dále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku, což je tlak, pod kterým se hmota nachází ve formě těsně před jejím otevřením. Po dokonalém zchlazení výstřiku se forma otevře a výstřik se vyhodí z formy.[12]



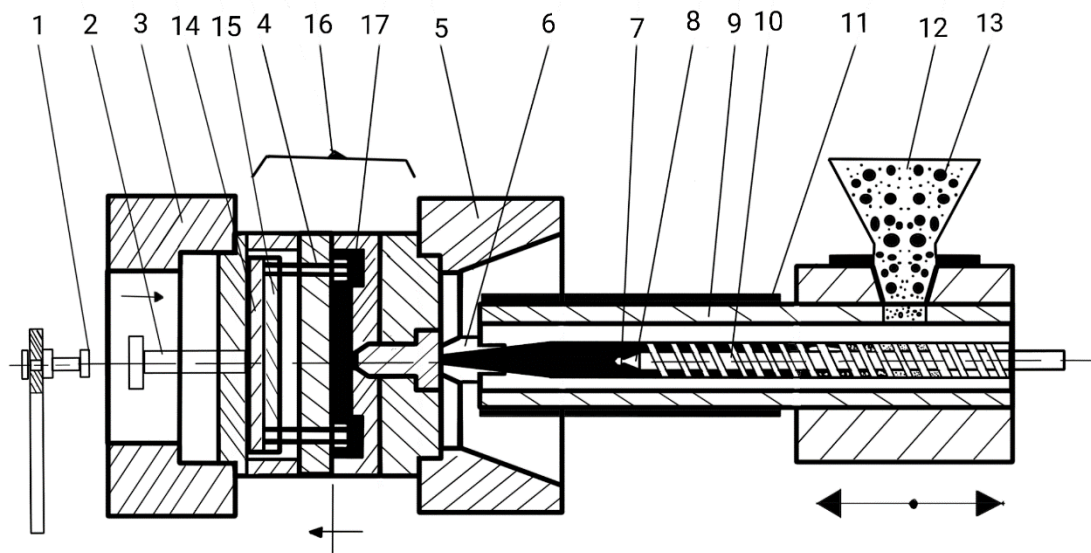
Obr. 6 – Vstřikovací cyklus [22]

Vstřikovací forma: 1 – uzavření, 2 – vstříknutí, 3 – dotlak, 4 – chlazení, 5 – otevření formy, 6 – vyprázdnění formy, 7 – příprava formy. Plastikační jednotka: 2 – vstříknutí, 3 – dotlak, 8 – odjezd plastikační jednotky, 9 – plastikace, 10 – prodlewa, 11 – příjezd plastikační jednotky

2.4 Vstřikovací stroje

Vstřikovací stroje jsou primárně určeny pro zpracování polymerních materiálů, především v podobě granulí. Polymery a směsi mohou být také dodávány ve formě prášku či hmoty těstovinnové konzistence. Na těchto strojích lze zpracovávat i kapalinné systémy. Vstřikovací stroje lze dělit do skupin dle různých kritérií: [15]

- Pohonu zajišťující pohyb v hlavních osách (hydraulické, elektrické a kombinace obou způsobů).
- Pracovního členu v plastikační komoře (pístové, šnekové).
- Směru posuvu desky uzavírací jednotky (horizontální, vertikální).
- Typu zpracovaného materiálu (pro termoplasty, reaktoplasty a kaučuky).
- Počtu desek uzavírací jednotky (dvoudeskové, třideskové).
- Počtu šneků (jednošnekové, dvoušnekové).
- Použití předplastikace ve vstřikovací jednotce (s předplastikací, bez předplastikace).
- Maximální síly, kterou je schopna uzavírací jednotka vyvinout. [15]



Obr. 7 – Vstřikovací stroj [12]

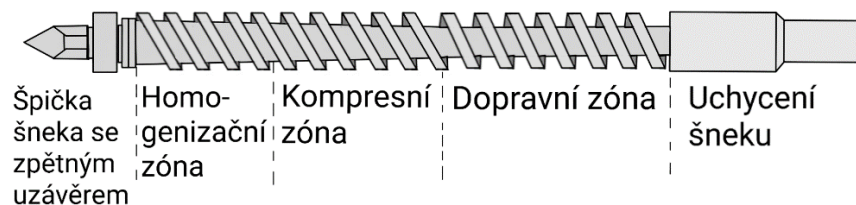
1 – doraz, 2 – tyč vyhazovače, 3, 5 – upínací desky, 4 - vyhazovače, 6 – vstřikovací tryska, 7 – špice šneku, 8 – zpětný uzávěr, 9 – tavící komora, 10 – šnek, 11 – topná tělesa, 12 – násypka, 13 – granule plastu, 14 – deska vyhazovačů, 15 – kotevní deska, 16 – forma, 17 – výstřik

2.4.1 Vstřikovací jednotka

Základní funkcí standartní vstřikovací jednotky určené pro zpracování termoplastů je převedení polymeru v tuhém stavu do vysoce viskózní taveniny a následný přesun do tvarové dutiny vstřikovací formy se zajištěním maximální tvarové a rozměrové přesnosti. Nejrozšířenějším typem určeným pro zpracování polymerů jsou vstřikovací jednotky se šnekem, který rotuje kolem své osy a axiálně se pohybuje vpřed a vzad. Vstřikovací jednotka je připevněna k posuvné konzoli, která zajišťuje její pohyb, konkrétně přísun trysky vstřikovací jednotky ke vtokové vložce vstřikovací formy a vybudování a udržení potřebné přitlačné síly. [16]

2.4.1.1 Šnek

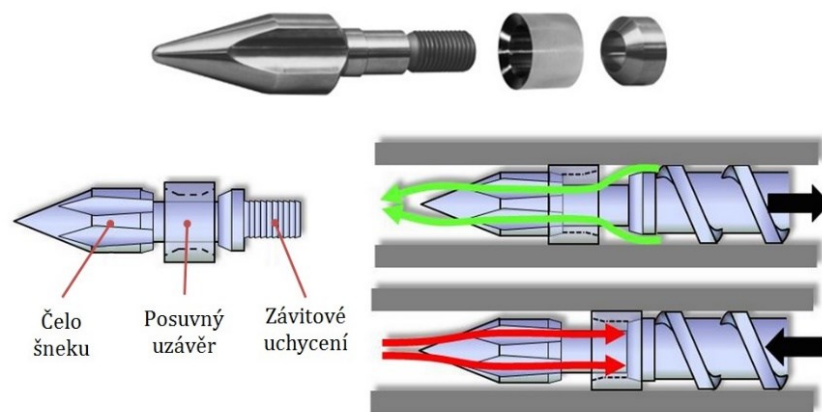
Šnek je pracovním členem zajišťující během procesu vstřikování mnoho funkcí. Profil standartních šneků není jednotný po celé délce. Šroubovice na povrchu není všude stejně hluboká a má i proměnné stoupání. Standartní šneky, určené pro zpracování termoplastů se skládají ze tří odlišných zón. První zóna se nachází pod násypkou a je označována jako dopravní nebo vstupní. Zde je hloubka závitů šroubovice šneku největší. Hlavní funkcí vstupní zóny je odebírání granulátu z násypky a jeho přesun do následující oblasti. Ve druhé části šneku se stoupání i hloubka šroubovice šneku postupně zmenšují. Materiál je v této části intenzivně stlačován, proto je zóna označována jako kompresní. Poslední pásmo šneku se nazývá homogenizační. Především má zajistit intenzivní promíchání a prohnětení taveniny polymeru. Délka jednotlivých zón je individuální a odvíjí se od typu polymeru. [16]



Obr. 8 – Šnek [16]

2.4.1.2 Zpětný uzávěr šneku

Důležitou částí šneku je jeho zakončení, které hraje úlohu při plastikaci materiálu a při vstřikování taveniny do formy. Vstřikování se děje axiálním posuvem šneku vpřed. Tím se tavenina v prostoru mezi šnekem a tryskou stlačuje značnou silou a při tom má snahu téci šnekovým kanálem zpět směrem k násypce. Tím se ovšem ztrácí část vstřikovací kapacity. Proto se zakončení šneku konstruuje tak, aby se tomuto jevu zabránilo. Existují různá řešení, jako je tupé zakončení šneku nebo prodloužené zakončení špičky šneku, ale nejspolehlivější je zakončení se zpětným uzávěrem. Ten je řešen tak, že tavenina může během plastikace uzávěrem protékat do zásobního prostoru mezi šnekem a tryskou. Při axiálním pohybu šneku dopředu se však kanálek ve ventilu uzavře a zpětný tok taveniny je znemožněn. [14]



Obr. 9 – Zpětný uzávěr šneku [16]

2.4.1.3 Poměr délky a průměru šneku

Mezi nejdůležitější charakteristiky šneku patří poměr délky ku průměru šneku (L/D). Tento poměr je specifický pro různé typy materiálů. Pro termoplasty se poměr L/D pohybuje v rozmezí 19 až 22:1. [16]

Delší šneky jsou využívány především pro rychlou přípravu většího objemu taveniny (22 až 26:1). Tyto šneky se používají, pokud je nutno materiál ve vstřikovací jednotce intenzivně promíchat (jsou-li do základního polymeru před zpracováním přidávána ještě aditiva) [16]

2.4.1.4 Ohřev polymeru

Teplu potřebné k plastikaci polymeru je dodáváno jednak z odporových topných pásů, jednak vlivem disipace. Poměr obou množství tepla závisí na konstrukci šneku, na počtu otáček šneku a na druhu polymeru. Tavicí komora je obvykle rozdělena na nejméně tři topné zóny samostatně vytápěné a se samostatnou regulací teploty. Nejnižší teplota se nastavuje v pásu u násypky, aby nedošlo k předčasnému tavení materiálu a nevyšší u trysky. Tryska u větších strojů je vyhřívaná a regulovaná nezávisle.[14]

2.4.1.5 Vstřikovací tryska

Plastikační jednotka je zakončena vstřikovací tryskou. Trysky se konstruují buď jako otevřené (pro vysoce viskózní materiály) s otvorem o průměru 3 až 8 mm, nebo jako uzavíratelné, které se otevřou pouze při dosedu vstřikovací jednotky na formu. Tryska zajišťuje spojení mezi komorou a formou, protože přivádí taveninu do vtokových kanálů ve formě. [12]

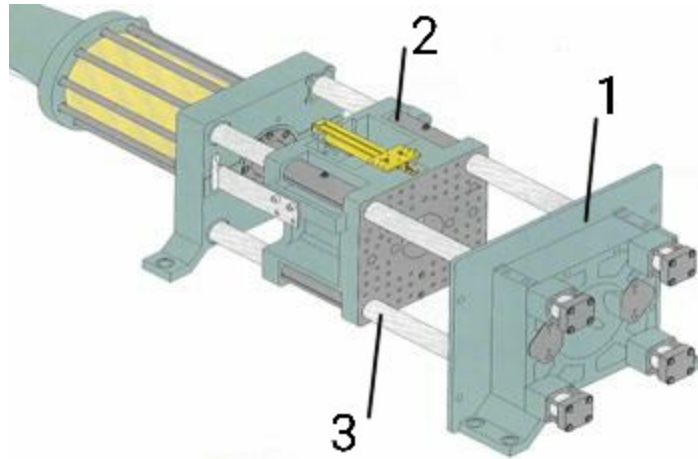
2.4.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zavírat a otevírat formu dle procesu vstřikování a zajistit uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela. Při činnosti formy je nutno rozlišovat sílu přisouvací a sílu uzavírací. Současné moderní stroje mají programovatelnou rychlost a sílu uzavírání vstřikovací formy [12]

Uzavírací jednotka se skládá z těchto hlavních částí:

opěrné desky pevně spojené s ložem stroje, pohyblivé desky, na kterou je upnuta pohyblivá část formy, upínací desky s otvorem pro trysku stroje, na kterou se připevní nepohyblivá část vstřikovací formy, vedení pro pohyblivou desku, uzavíracího a přidržovacího mechanismu. [12]

U vstříkovacích strojů je možno použít různé uzavírací systémy, které mohou být konstruovány jako hydraulické, mechanické, kombinace hydraulického a mechanického a elektrické. [12]



Obr. 10 – Uzavírací jednotka [12]

1 – pevná část stroje, 2 – pohyblivá část stroje, 3 – vodící tyče

2.4.3 Řízení a regulace vstříkovacích strojů

Řízení a regulaci je nutno považovat za neoddělitelnou součást funkce vstříkovacího stroje. Rozumí se tím nastavení, snímání a sledování strojních a technologických parametrů s jejich následnou regulací. Jedná se o teplotu jednotlivých zón tavicí komory, teplotu formy, tlak hydraulické kapaliny při vstříkování a při dotlaku nebo při protitlaku, jednotlivé časové úseky pracovního cyklu, vstříkovací rychlost, rychlost zavírání a otevírání formy a další. [14]

3 NÁVRH VÝROBKU

Nejdůležitější částí návrhu plastového dílu je jeho správná konstrukce, a to jak z hlediska funkčního, tak i z hlediska technického. [17]

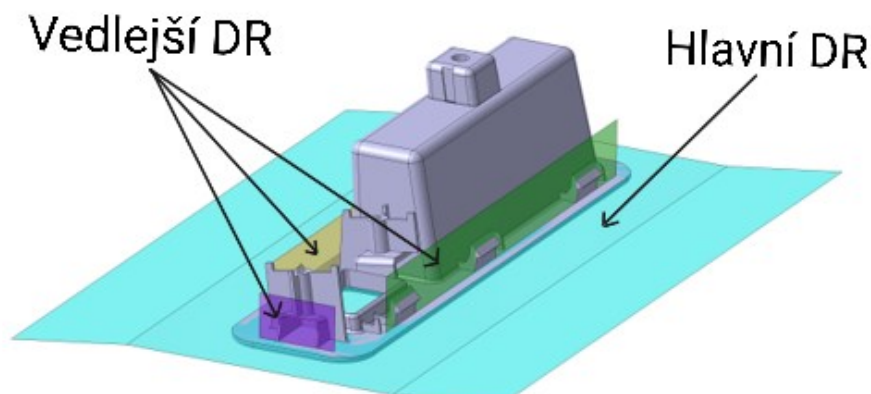
Z pohledu tvarové a rozměrové přesnosti je jednou z nejdůležitějších zásad při konstrukci výstřiků zásada rovnoměrnosti tloušťky stěn a správný způsob jejich žebrování. Požadavek stejné tloušťky stěn vychází z poznatku, že pro jakékoliv vstřikovací materiály platí, že se zvyšující se tloušťkou stěny výstřiku roste v daném místě smrštění. [21]

Smrštění je objemová změna a ta nutně, při rozdílné tloušťce stěn, vede k deformacím a propadlinám. Ke stanovení rozměrů tvářecích částí jsou k dispozici hodnoty, uvedené v normách ISO. [21]

3.1 Dělicí rovina

Dělicí rovina je plocha, ve které na sebe dosedají části formy při uzavření dutiny formy. Vzhledem k výrobku se umísťuje tak, aby bylo nejjednodušší vyjímání z dutiny formy a stopa po dělicí rovině nepůsobila funkční nebo estetické závady výrobku. Dělicí roviny rozlišujeme jako hlavní a vedlejší dělicí rovinu. [18]

Hlavní dělicí rovina je rovina, která je kolmá ke směru uzavírání formy. Ostatní dělicí roviny jsou pak vedlejší a používají se v případě, kdy jsou u výrobků boční otvory, nálitky, zápichy a podobně. Zpravidla se dělicí rovina umísťuje do hrany nebo vypouklé plochy výrobku.[18]



Obr. 11 – Dělicí rovina [16]

3.2 Tloušťka stěn

Tloušťka stěny musí splňovat požadavek funkční (tuhost a pevnost). Tuhost je spolu s pevností závislá na volbě materiálu a tloušťce stěny, respektive tvaru namáhaného profilu.[17]

Musí také splňovat technický požadavek a to z hlediska tečení plastu ve formě. Tato charakteristika je dána poměrem délky tečení a tloušťky stěny, která je dána výrobcem materiálu. [17]

3.2.1 Optimalizace tloušťky stěny

Parametr, který nejvíce ovlivňuje optimální výrobu plastového dílce, je tloušťka stěny. A to jak z pohledu zaplnění dutiny formy, tak i z pohledu deformací. Účinku, kterého se dosahuje změnami tlouštěk stěn, se dá velmi těžce dosáhnout jinými technologickými parametry, jako teplotami formy, teplotami taveniny, umístění vtoku ústí a jejich dimenzováním (vstřikovací tlak, dotlak). Proto je důležité, aby konstrukce dílu po jeho vymodelování byla podrobena počítačové simulaci. [17]

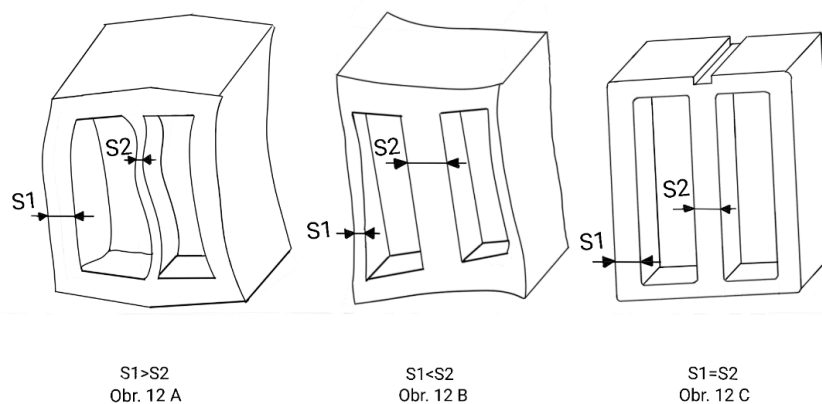
3.2.2 Deformace stěny

Při rozdílných tloušťkách stěn, tj. při rozdílných smrštěních.

Obrázek 12A – znázorňuje deformace při slabé stěně přepážky, které se oproti obvodovým stěnám méně smrští a dříve se ve formě zchladí

Obrázek 12B – je opakem, při silnější stěně přepážky

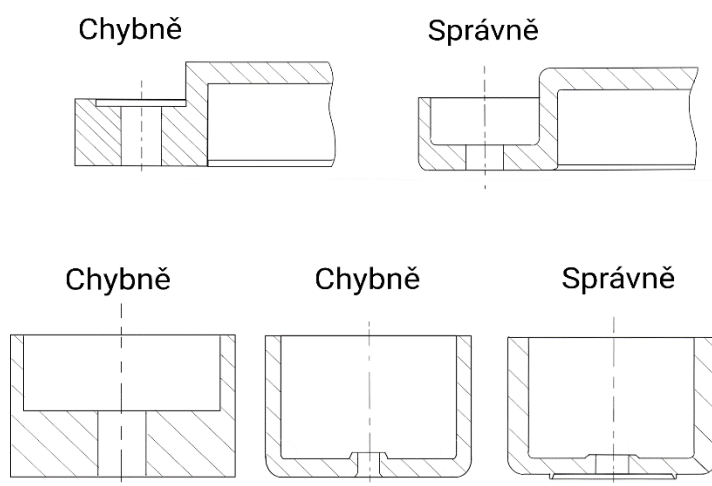
Obrázek 12C – na obrázku je znázorněna možnost eliminace vtaženiny, nahoře drážka, nebo zúžení stěny S_2 v napojení na obvodovou stěnu S_1



Obr. 12 – Deformace stěn [17]

3.2.3 Řešení hran a rohů

Zaoblením hran a rohů je zlepšen tok materiálu v dutině formy, usnadňuje vyjímání výrobků a snižuje zbytkové vnitřní pnutí. Zaoblením lze také dosáhnout lepšího estetického účinku. Ostré hrany se špatně vyrábějí a jsou náchylné k poškození z důvodu nerovnoměrného odvodu tepla. Zaoblením hran a koutů se dá zvýšit tuhost výrobku. [18]



Obr. 13 – Řešení hran a rohů [17]

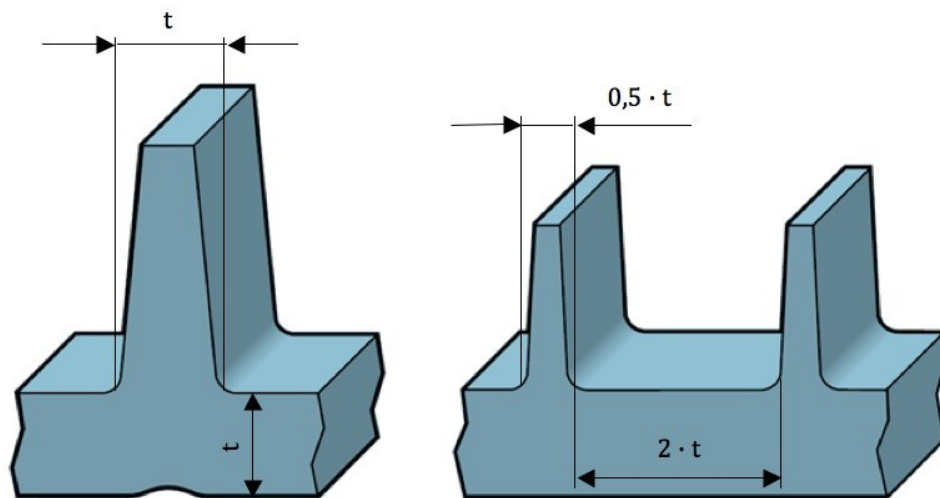
3.3 Žebra

Žebra se využívají ke zvýšení pevnosti a tuhosti výrobků. Z technického hlediska musí mít určitý poměr k hlavní tloušťce stěny. [17] Podle účelu se žebra rozdělují na technická, technologická a ozdobná. [18]

Technická žebra zvyšují pevnost a tuhost výrobku. Rozměry souvisí s vlastnostmi vstříkovaného materiálu. Výška žebra by měla být co nejvyšší a u kořene by mělo být zaobleno. Místo příliš tlustých žebel se v rámci úspory a odlehčení volí raději několik menších žebel. [18]

Technologická žebra se na výrobku umísťují vzhledem ke zjednodušení výroby. Hlavní funkcí technologických žebel je zlepšit tok taveniny v dutině formy, bránit zborcení výrobku a případně zakrýt povrchové vady. [18]

Ozdobná žebra se převážně používají pouze pro zlepšení vzhledu daného výrobku [18]



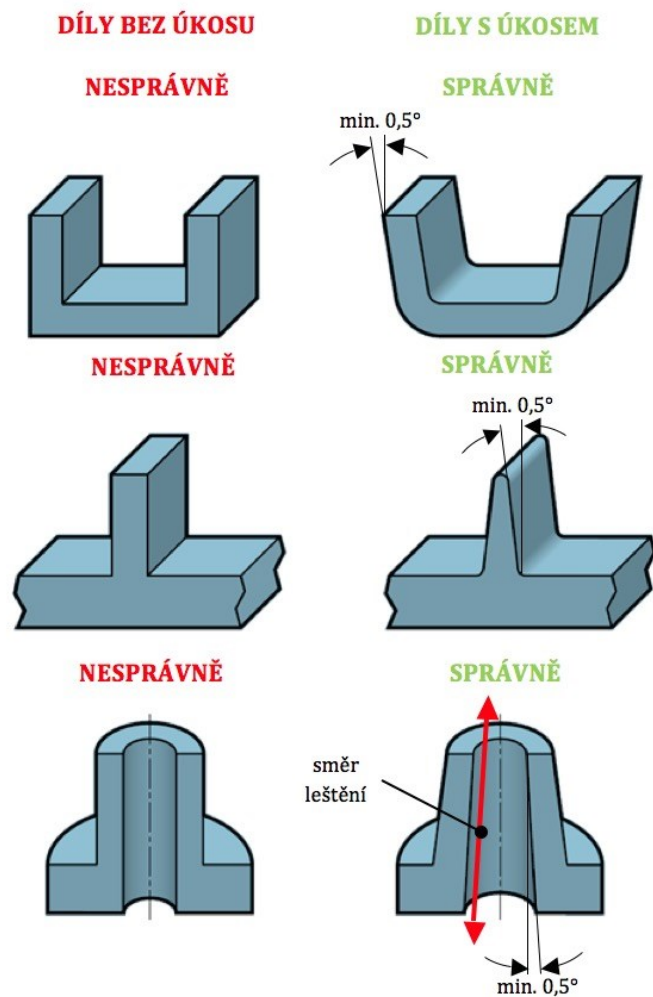
Obr. 14 – Žebra [16]

3.4 Úkosy a podkosy

Úkosem je myšlen mírný sklon stěn v dutině formy, který usnadňuje vyjímání výrobku. Úkos musí být na všech plochách, které jsou kolmé k dělicí rovině. Vzhledem ke smrštění materiálů bývají úkosy na vnitřních stěnách zhruba dvakrát větší, než na vnějších. [18]

Velikost úkosu úzce souvisí také se způsobem vyhazování. Pokud je vnější úkos nulový, výrobek zůstane v tvárnici a je potřeba použít vyhazování pomocí kolíků nebo stírací desky. Hodnota úkosu se volí na základě výšky výrobku a také na ostatních rozměrech. S rostoucí výškou se úkos zpravidla zvyšuje. [18]

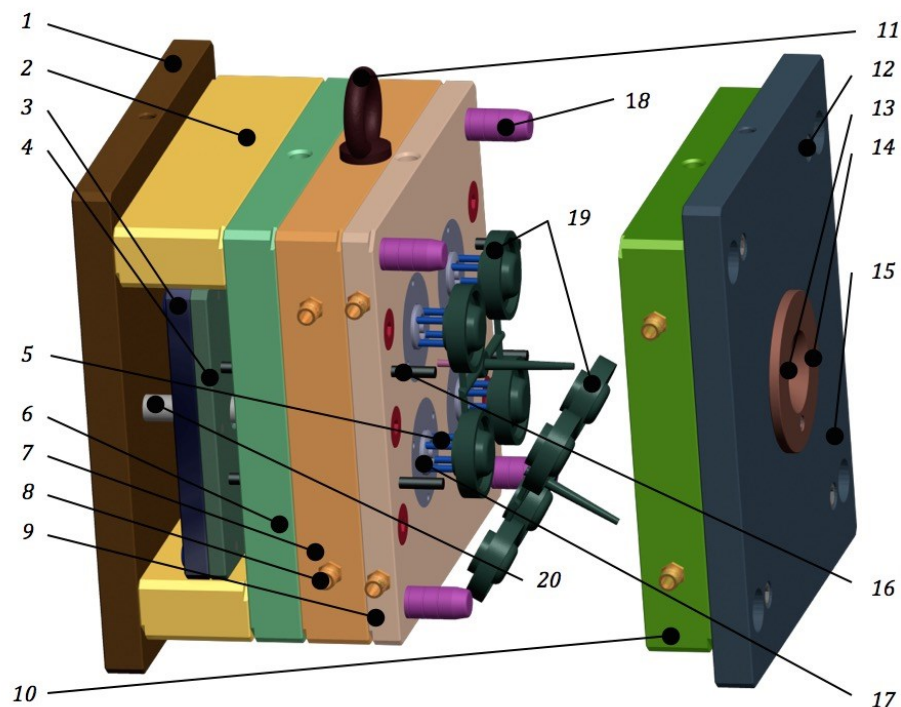
Podkosy jsou ohledně funkčnosti opakem úkosů. Zabraňují vyjímání výrobků z formy. V určitých případech se volá záměrně tak, aby výrobek zůstal na jedné části formy, kde je pak zajištěn adekvátní vyhazovací systém. Podobně je to i u výstupků, náliček, zápichů a podobně. [18]



Obr. 15 – Úkosy a podkosy [16]

4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací formy je komplexní systém, který musí splnit současně mnoho požadavků, vycházejících z procesu vstřikování polymerů. Primární funkcí formy je doprava roztaveného polymeru do dutiny formy a její naplnění. Tvar budoucího dílu odpovídá tvaru dutiny formy. Sekundární funkcí vstřikovací formy je efektivní odvod tepla, přivedeného taveninou polymeru. Dále musí vstřikovací forma zajistit bezpečné, rychlé a v krátké periodě opakující se vyjmutí dílu. [16]



Obr. 16 – Otevření vstřikovací forma [16]

1 – upínací deska pohyblivé části, 2 – rozpěrka, 3 – hlavní vyhazovací deska, 4 – přidržovací vyhazovací deska, 5 – vyhazovač, 6 – podpěrná deska, 7 – opěrná deska, 8 – přípojka chlazení, 9 – kotevní deska levá, 10 – kotevní deska pravá, 11 – manipulační oko, 12 – hlavní montážní šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek pevné části formy, 15 – upínací deska pevné části formy, 16 – vraccí kolíky, 17 – pevné jádro, 18 – vodící sloupky, 19 – vstřikovaný díl, 20 – podpěrné válce

4.1 Požadavky pro vstřikovací formy

Výroba dílů vstřikováním probíhá na vstřikovacím stroji a ve formě v krátkém čase, za působení dostatečného tlaku a teploty a dalších nutných parametrů. Z toho vyplývají základní požadavky na stroj a formu, které spolu úzce souvisí. [9]

U formy se vyžaduje:

- Vysoká přesnost a požadovaná jakost funkčních ploch zhotovené dutiny formy a ostatních funkčních dílů.
- Maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy i celků, pro zachycení potřebných tlaků.
- Správná funkce formy, vhodný vtokový systém, vyhazování, odzdušnění, temperování a podobně.
- Optimální životnost zaručená konstrukcí, materiálem i výrobou. [9]

4.2 Konstrukční návrh formy

Jsou-li všechny potřebné technické údaje pro návrh formy k dispozici, následuje vypracování konstrukčního návrhu formy, který předchází vlastní konstrukci. Je často vyžadován nejen jako podklad pro konstrukci, ale také pro posouzení pracnosti a stanovení nákladů na formu. [9]

Taková činnost představuje:

- Posoudit tvar a rozměry dílu, který se má vyrábět.
- Přihlédnout ke specifickým podmínkám pro zpracovaný druh polymeru.
- Zaformování výstřiku a určení jeho dělicí roviny.
- Umístit vtok se svým ústím a polohu vyhazovačů. [9]

Z takto vyhodnocené a umístěné tvarové dutiny téměř vyplyne koncepce formy. Doplňujícími údaji jsou násobnost formy, vyhazovací a temperační systém, vratná a vodící funkce rámu formy. [9]

Vypracovaný konstrukční návrh formy je podkladem pro samotnou konstrukci. [9]

4.2.1 Zaformování výstřiku

Správné zaformování výstřiku a vhodná volba dělicí plochy náleží k rozhodujícím zásadám konstrukce formy. Umožňuje dodržet tvar a rozměry výstřiku i ekonomiku výroby. Vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu. Dělicí rovina bývá zpravidla jako rovina, rovnoběžná s upínáním formy. Může však být i šikmá, nebo různě tvarovaná, případně vytváří u výstřiků s bočními otvory hlavní a vedlejší roviny. Taková koncepce způsobuje obtížnější výrobu formy. [9]

Je potřeba, aby dělicí rovina:

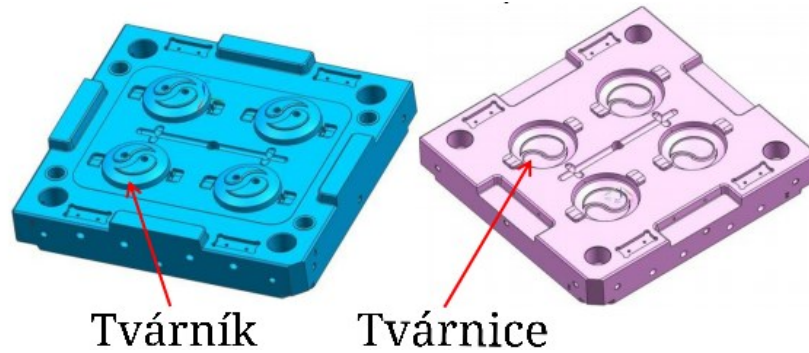
- Umožnila snadné vyjímání výstřiku z formy.
 - Byla pravidelná, jednoduchého geometrického tvaru a snadno vyrobitelná.
 - Byla umístěna tak, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů a souosost výstřiku, pokud je v obou polovinách formy.
 - Stopa po dělicí rovině nesmí být příčinou funkčních nebo vzhledových závad.
 - U více dělicích rovin volit koncepci s ohledem na jejich nejmenší počet.
- [9]

Důležitou úlohu hraje dělicí rovina i při odvzdušňování dutin formy. [9]

4.2.2 Dutina formy

Dutina formy se skládá ze dvou částí. První částí je dutina v tvárnici a druhou částí je dutina v tvárniku. Dutina odpovídá tvaru negativu vstřikovaného dílu před smrštěním. Je tvořena 3D plochami, které vzniknou ořezáním nebo odečtením ploch od těla vstřikovaného dílu (zvětšeného o smrštění) od bloků nástroje. [19]

Na rozhraní, kde přechází tvarová plocha dutiny tvárniku do dutiny tvárnice je dělicí rovina. Tvárník a tvárnice se stýkají v dělicí rovině. [19]



Obr. 17 – Tvárník a tvárnice [19]

Povrch i rozměry výstřiku jsou dány přesností tvarové dutiny a kvalitou její plochy. Přesnost dutiny se pohybuje v rozmezí IT 8 až IT 10 a ovlivňují ji tři činitele: [9]

- Smrštění plastu.
- Výrobní tolerance.
- Opotřeбенí dutiny formy. [9]

Nejčastější příčinou chybného dimenzování rozměru je především nepřesný odhad smrštění daného rozměru v průběhu tváření plastu. [9]

Velikost smrštění ovlivňuje:

- Tvar výstřiku.
- Konstrukce formy.
- Technologie vstřikování. [9]

4.2.3 Násobnost formy

Volba optimální násobnosti formy vyžaduje správné vyhodnocení jednotlivých činitelů, kteří ji ovlivňují. [14]

Posuzuje se z hlediska:

- Charakteru a přesnosti výstřiku.
- velikosti a kapacity vstřikovacího stroje.
- Požadovaného množství a termínu dodávky.
- Ekonomiky výroby. [14]

Tvarově náročné a velkorozměrové výstřiky představují složitou výrobu formy. Proto se většinou vyrábějí v jednonásobných formách. Podobně také z hlediska kvality a přesnosti výstřiku je žádoucí, aby násobnost formy byla co nejnižší. Nepřesnosti tvarových dutin spolu s technologickými podmínkami vstřikování, zavádí do produkce chyby, které ovlivňují přesnost výstřiku z jednotlivých tvarových dutin. [14]

Vstřikovací stroje se svými technickými parametry podstatně ovlivňují násobnost formy. Musí dostatečně a s rezervou naplnit formu. Rezerva objemu taveniny a uzavírací síly má být zhruba 20%. [14]

Vstřikovací stroj ovlivňuje násobnost formy:

- Vstřikovací kapacitou.
- Plastikačním výkonem.
- Velikostí uzavírací síly.
- Termínem výroby.
- Ekonomickým hlediskem. [14]

4.3 Vtokové systémy forem

Úkolem vtokové soustavy je zajistit dopravu taveniny polymeru z plastikační komory do dutiny formy. Vlastní vtok (ústí) by měl být dimenzován tak, aby umožnil maximální dobu působení dotlaku, k vyrovnání objemové kontrakce. [17]

Vtok by měl být ideálně směřován do nejtlustšího místa (stěny) výrobku. [17]

4.3.1 Studené vtokové systémy

Vtokový systém formy zajišťuje při vstřiku vedení proudu roztaveného polymeru od vstřikovacího stroje do tvářecí dutiny formy. Naplnění termicky homogenní taveninou má proběhnout v nejkratším čase a s minimálními odpory. [9]

Průtok taveniny vtokovým systémem je provázen složitými tepelně-hydraulickými poměry. Tvar a rozměry vtoku spolu s umístěním jeho ústí ovlivňují: [9]

- Rozměry, vzhled a vlastnosti výstřiku.
- Spotřebu materiálu.
- Náročnost zpracování na začátek výstřiku.
- Energetickou náročnost výroby. [9]

Zásadní rozdíly v celkovém uspořádání vtokového systému jsou dány především konstrukcí formy a její násobností. U vícenásobných forem má tavenina dorazit ke všem ústím vtoku za stejného tlaku a současně. [9]

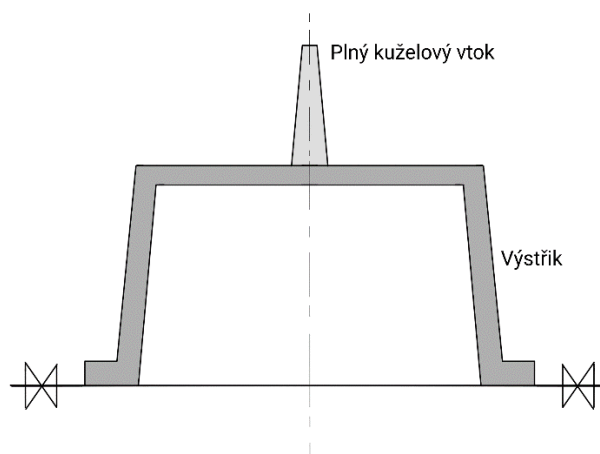
Při volbě určitého vtokového systému se vychází z toho, že tavenina se vstříkuje velkou rychlostí do relativně studené formy. Během průtoku studeným vtokovým systémem viskozita taveniny na vnějším povrchu prudce roste, nejnižší je uprostřed. Vysoká viskozita vyžaduje vysoké tlaky v systému (40 až 200 MPa). [9]

Ztuhlá povrchová vrstva taveniny vytváří tepelnou izolaci vnitřnímu proudu taveniny. Za tohoto stavu se zaplní celá dutina. V okamžiku zaplnění vzroste prudce odpor a sníží se průtok. V dutině formy nastává postupné tuhnutí taveniny odvodem tepla do stěn formy. Další doplňování taveniny může nastat jen jejím elastickým stlačením. Ve vtokových ústích také zároveň dochází k vývinu tepla vlivem tlaku a tím oddálení ztuhnutí taveniny. [9]

Při proudění taveniny vtokovým systémem dochází také vlivem tření k vývinu tepla, které koncentruje do míst nejvyššího smykového napětí. Tam může dojít k výraznému nárůstu teploty až o 200°C. I když je zvýšení teploty pouze krátkodobé, u citlivých polymerů může dojít k jejich degradaci. [9]

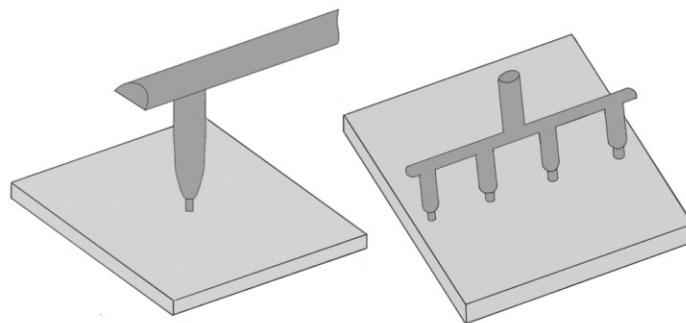
4.3.1.1 Druhy vtoků

Plný kuželový vtok – přivádí taveninu do tvarové dutiny formy bez zúženého vtokového ústí. Používá se převážně u jednonásobných forem se symetricky uloženou dutinou. Je vhodný především pro tlustostěnné dílce. Z hlediska působení dotlaku je velmi účinný, protože vtok tuhne ve formě jako poslední. [9]



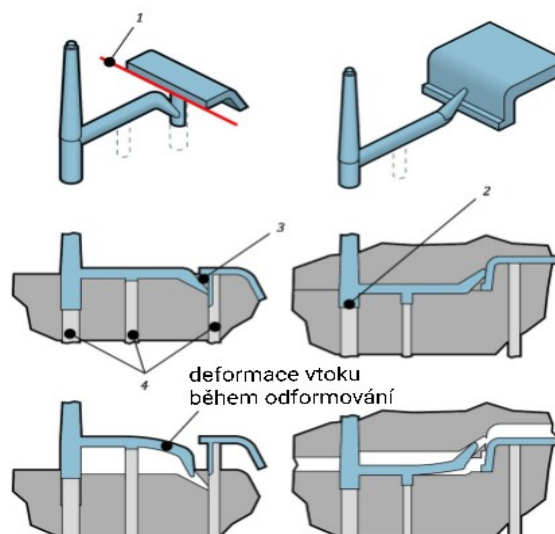
Obr. 18 – Plný kuželový vtok [20]

Bodový vtok – Tento typ vtoku, umístěný obvykle na dně tvaru ve tvárnici, vyžaduje tzv. třídeskový systém konstrukce. To je forma se dvěma dělicími rovinami, jedna pro vypadnutí vtokového zbytku a druhá pro výlisky. Dnes jsou často nahrazovány horkou vtokovou soustavou, protože nejsou spolehlivé v automatickém chodu. [17]



Obr. 19 – Bodový vtok [17]

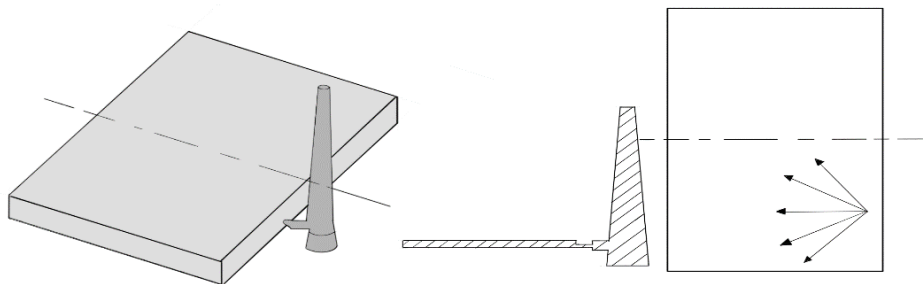
Tunelový vtok – Je zvláštní případ bodového vtoku, který má tu výhodu, že vtokový zbytek může ležet ve stejné dělicí rovině, jako vstříkovaný dílec. Umístění může být v pevné i v pohyblivé části formy. Není proto nutné konstruovat formu s více dělicími rovinami. Předpokladem dobré funkce je existence ostré hrany, která odděluje při odformování vtokový zbytek od dílce. [9]



Obr. 20 – Tunelový vtok [16]

1 – dělicí rovina, 2 – přidržovač vtoku, 3 – řezná hrana, 4 – vyhazovače

Boční vtok – Je také typem se zúženým vtokovým ústím, které leží v dělicí rovině. Průřez bývá obvykle obdelníkový, ale může být i jiný (kruhový, lichoběžníkový). Je nejrozšířenějším a nejpoužívanějším vtokovým ústím. Při odformování zůstává zpravidla výstřik od vtokového ústí neoddělený. Při automatickém cyklu se řeší jeho oddělování zvláštním odřezávacím zařízením, které je součástí formy. [9]



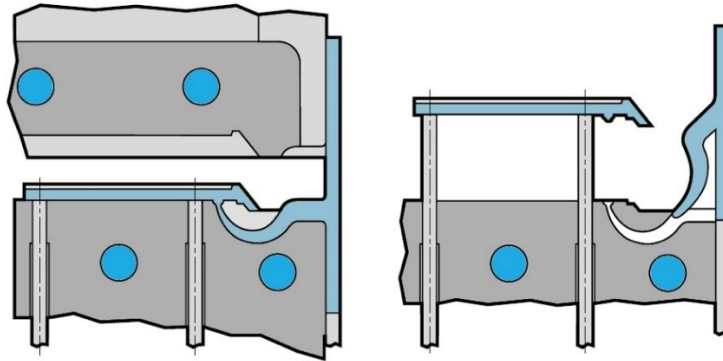
Obr. 21 – Boční vtok [17]

Filmový vtok – Je nejpoužívanější ze skupiny bočních vtokových ústí hlavně k plnění kruhových a trubicových dutin s vyššími požadavky na kvalitu. Řadí se k nim také vtoky diskové, prstencové, deštníková a další. [9]

Od filmového vtoku se vyžaduje:

- Malé vnitřní pnutí.
- Odstranění studených spojů.
- Vyvážení tlaku, kterým proudící tavenina působí na jádra nebo zálisky.
- Zmenšení rychlosti taveniny vstupující do dutiny formy.
- Zmenšení odporu vtokového systému. [9]

Banánový vtok – Je typ ústí, který umožňuje plnění dutiny formy ze strany, která je protilehlá ke straně, ve které probíhá plnění. Výhodou vtoků je možnost vtokového ústí do nepohledové strany vstříkovaného dílu. Vzhledem ke složitému tvaru je nutno otvor vytvořit za pomoci elektroerozivního obrábění. [16]



Obr. 22 – Banánový vtok [16]

4.3.2 Vyhříváné vtokové soustavy

Vyhříváné vtokové soustavy zaujímají v průmyslu zpracování plastů, při konstrukci forem, stále větší a větší uplatnění proti klasickým vtokovým soustavám. Je to dáno nespornými výhodami, jež jsou dány neustálým vývojem těchto systémů pro nové výrobní aplikace a používané hromadné a technické typy polymerů. [17]

Výhody proti studeným vtokovým soustavám s vtokovým zbytkem:

- Umožňují automatizaci výroby.
- Podstatně zkrátily výrobní cykly.
- Vyloučily odpad vtokových soustav.
- Snižují náklady na dokončovací operace.
- Odpadá manipulace a regenerace vtokových zbytků.

Současné vyhříváné vtokové soustavy mají vyhříváné trysky, které jsou charakterizovány minimálním úbytkem tlaku i teploty v systému s optimálním tokem taveniny. To umožnila především výroba vysokovýkonných a minimálních topných těles a některých dalších dílů. [9]

Technologie vstříkování s použitím vyhříváné vtokové soustavy spočívá v tom, že tavenina po naplnění formy zůstává v celé oblasti vtoku až do ústí formy v plastickém stavu. To

umožňuje použít jen bodové vyústění malého průřezu, které je vhodné pro širokou oblast vyráběných dílců. I přes malý průřez vtoku je možné částečně pracovat s dotlakem. [9]

4.4 Temperační systémy

Temperace souží k udržování konstantního teplotního režimu formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Děje se tak ochlazováním, případně vyhříváním celé formy nebo její části. [9]

4.4.1 Charakteristika temperačního systému

Ohřívání, případně ochlazování formy na předepsanou teplotu záleží na energetické bilanci formy i okolního prostředí. Teplo z formy je odváděno a přiváděno především temperačním systémem. [9]

Teplota forem a zvláště jejich dutin není během vstřikování konstantní. Po vstřiku nejprve stoupá a poté klesá v důsledku odvodu tepla temperačním systémem. Pro správné optimalizování temperačního procesu by mělo být kolísání teplot co nejmenší. Proto je potřeba správně zvolit velikost a rozmístění kanálů i rychlost a správné nastavení teploty temperačního média.[9]

Temperační systém je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými proudí vhodná kapalina, která udržuje teplotu temperovaných částí. U polymerů o vyšší teplotě se používá pro ohřev většinou elektronické vytápění formy. [9]

Temperační systém bývá umístěn:

- V pevné (vtokové) části formy.
- V pohyblivé části formy.

4.4.2 Temperační prostředky

Představují média, která svým působením umožňují ve formě pracovat v optimálních tepelných podmínkách. [9]

Rozdělují se na:

- Aktivní, které působí přímo ve formě. Teplo do formy přivádí a odvádí.
- Pasivní, které svými fyzikálními vlastnostmi ovlivňují tepelný režim formy. [9]

Aktivní prostředky představují kapaliny, které proudí nuceným oběhem temperačními kanálky, vytvořenými uvnitř formy. Dochází k přestupu tepla mezi formou a kapalinou.

Obvykle používané kapaliny [9]

Voda – Výhodou vody je vysoký přestup tepla, nízká viskozita a cena. Je také ekologicky nezávadná, ale lze ji použít pouze do 90°C. [9]

Oleje – Oproti vodě je hlavní výhodou olejů možnost temperace i nad 100° C, ale mají zhoršený přestup tepla. [9]

Glykoly – Oproti předchozím kapalinám omezuje korozi a ucpávání systému, ale kvůli stárnutí je nutno glykoly častěji měnit a také znečišťují prostředí. [9]

Vzduchu se používá buď jako volného proudění, nebo nuceného proudění působením přetlaku či dotlaku. Vzhledem k malé účinnosti je chlazení vzduchem chovné jen v případech, kdy použití kapaliny není pro nedostatek prostoru možné. [9]

Při vyšší požadované teplotě, kdy ztráty do okolí jsou větší, než teplo dodané vstříkovaným polymerem se používají topné elektrické články. Většinou se používají topné patrony a prstencová topná tělesa s větší povrchovou zátěží, které umožňují v relativně malých objemech předat značné množství energie do vytápěné části formy. [9]

Pasivní temperační prostředky působí na formu svými fyzikálními vlastnostmi a lze je rozdělit na:

- Tepelně izolační materiály, které se využívají především pro omezení přestupu tepla do upínacích desek a to v případě, kdy je požadována vysoká teplota formy. Volí se různé pevnostně a tepelně odolné materiály na bázi vyztužených reaktoplastů, či nekovových anorganických látek. [9]
- Tepelně vodivé materiály se využívají k odvodu respektive přívodu tepla z míst jiným způsobem obtížně temperovatelných (tenké tvárníky, vtokové trysky) do míst, kde již lze odvod a přívod tepla zajistit obvyklým způsobem. [9]

4.5 Vyhazovací systémy

Vyhazovací systém vstříkovací formy je zodpovědný za odformování vstříkovaného dílu z dutiny poté, co je forma otevřena. Komplexnost vyhazovacího systému se může výrazně lišit podle požadavků konkrétní procesní aplikace. [16]

Vyhazování má dvě fáze:

- Dopředný pohyb, vlastní vyhazování.
- Zpětný pohyb, návrat vyhazovacího systému do původní polohy. [9]

Základní podmínkou dobrého vyhazování dílce je hladký povrch a úkosovitost jejich stěn ve směru vyhazování. Úkosy by neměly být větší, než 30° . Vyhazovací systém musí dílec vysouvat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho přičení, a tím ke vzniku trvalých deformací nebo k jinému poškození. [9]

Základní rozdělení vyhazovacích systémů je:

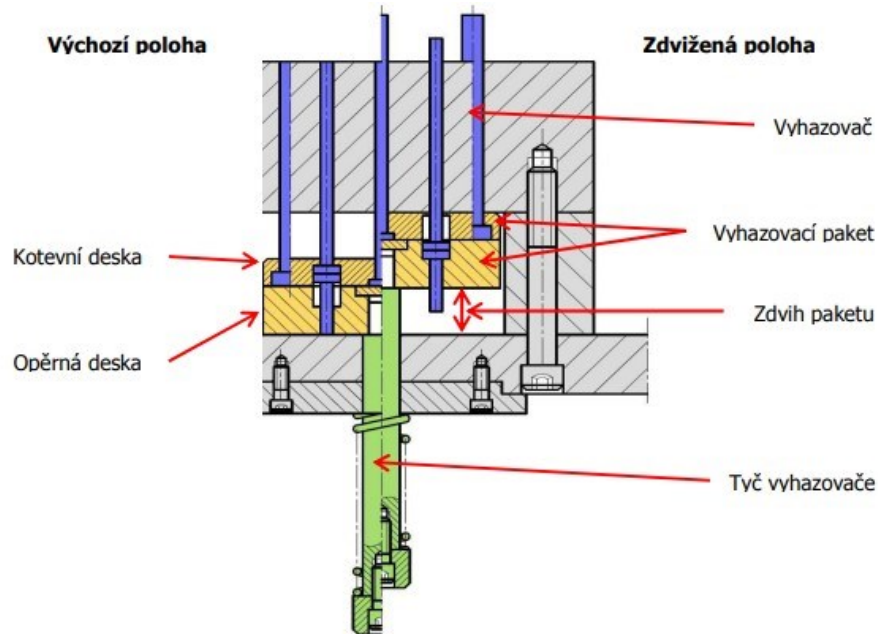
- Mechanické (vyhazovací kolíky, stírací deska a šikmé vyhazování)
- Pneumatické.
- Hydraulické. [14]

4.5.1 Mechanické vyhazování

Je nejrozšířenějším vyhazovacím systémem. Používá se všude, kde je to možné, protože oproti ostatním způsobům je nejjednodušší ohledně konstrukce. [14]

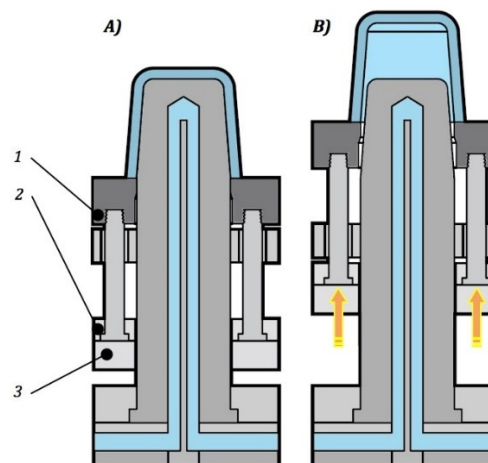
Vyhazovací kolíky – Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků je nejčastějším a nejlevnějším typem vyhazování. Uvedený systém se používá tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku, ve směru vyhození. Je výrobně jednoduchá a funkčně zaručená. Správná volba tvaru vyhazovacího kolíku a jeho vhodné umístění umožní snadné vyhození dílce bez poškození. [14]

Vyhazovací kolíky by měly být dostatečně tuhé a snadno výrobitelné. Jsou obvykle válcové, ale mohou mít i jakýkoliv jiný tvar. [14]



Obr. 23 – Vyhazovací kolíky [23]

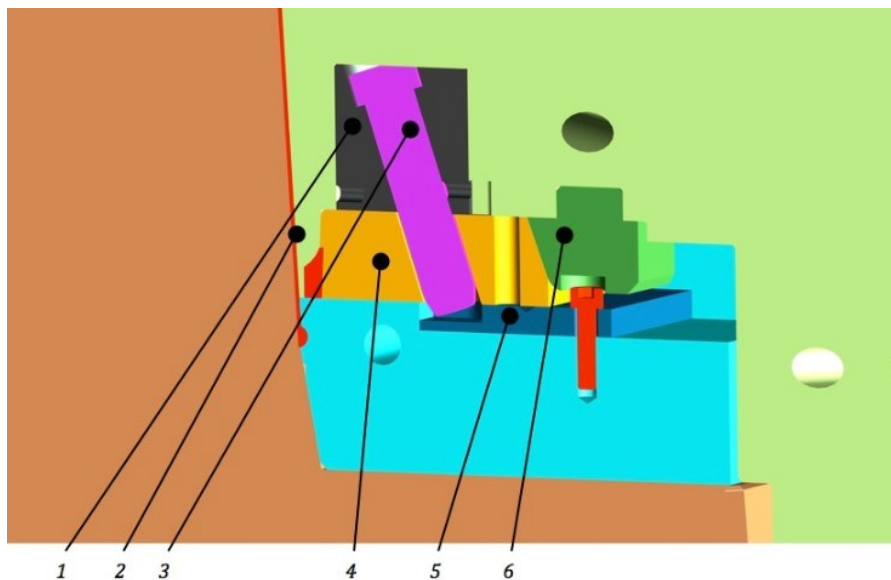
Vyhazování stírací deskou – Představuje stahování dílce z tvárníku po celém jeho obvodu. Vzhledem k velké vyhazovací ploše, nezanechává na dílci stopy po vyhazování. Jeho deformace jsou pak velmi minimální a stírací síla velmi velká. Používá se především u tenkostěnných dílců, kde vzniká nebezpečí deformace, nebo u rozměrných, které vyžadují velkou vyhazovací sílu. Stírání je vhodné jen tehdy, dosedá-li dílec na stírací desku v rovině nebo je jeho plocha mírně zakřivena. [14]



Obr. 24 – Stírací deska [16]

1 – stírací deska, 2 - přidržovací stírací desky, 3 – hlavní vyhazovací deska, A – vyhazovací systém v zadní pozici, B – vyhazovací systém v pohybu do přední pozice

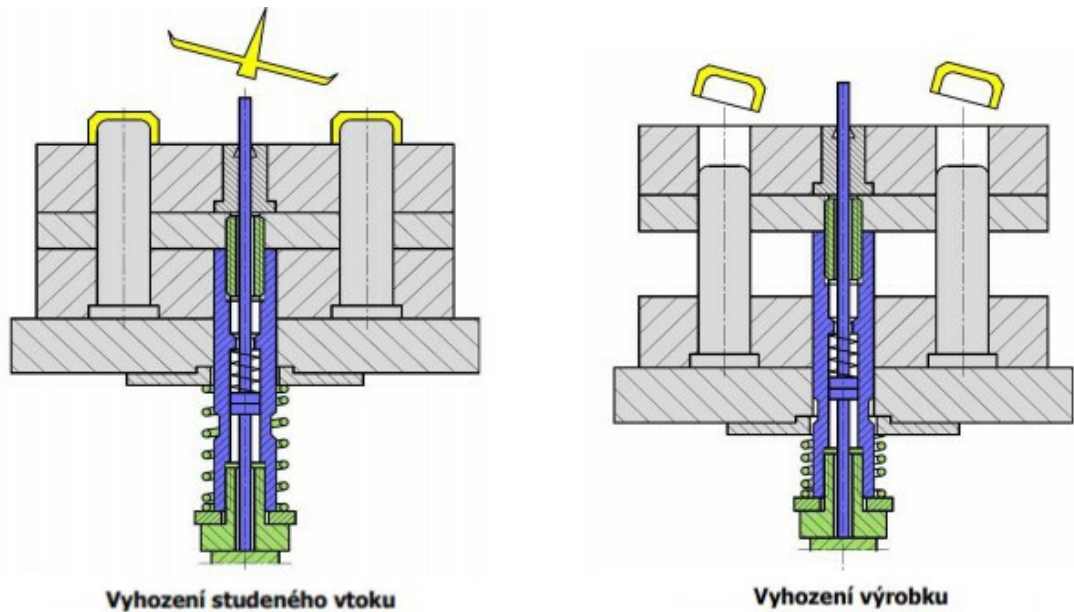
Šikmé vyhazování – Vyhazování pomocí šikmých kolíků je speciálním způsobem mechanického vyhazování. Vyhazovací kolíky nejsou kolmé k dělicí rovině, ale jsou k ní uloženy pod různými úhly. Využívají se u malých a středně velkých dílců s mělkým vnitřním nebo vnějším zápichem. [14]



Obr. 25 – Šikmé vyhazování [16]

1 – uložení šikmého kolíku, 2 – vstřikovaný díl, 3 – šikmý kolík, 4 – pohyblivé jádro,
5 – vedení pohyblivého jádra, 6 – klínování pohyblivého jádra

Dvoustupňové vyhazování – Je kombinace dvou vyhazovacích systémů, které se vzájemně ovlivňují. Způsob umožňuje vyhazovat dílce s rozdílným časovým rozložením vyhazovacího zdvihu i jeho délky. Proto se s výhodou používá například při šikmém vyhazování dílců se zápichem. [14]

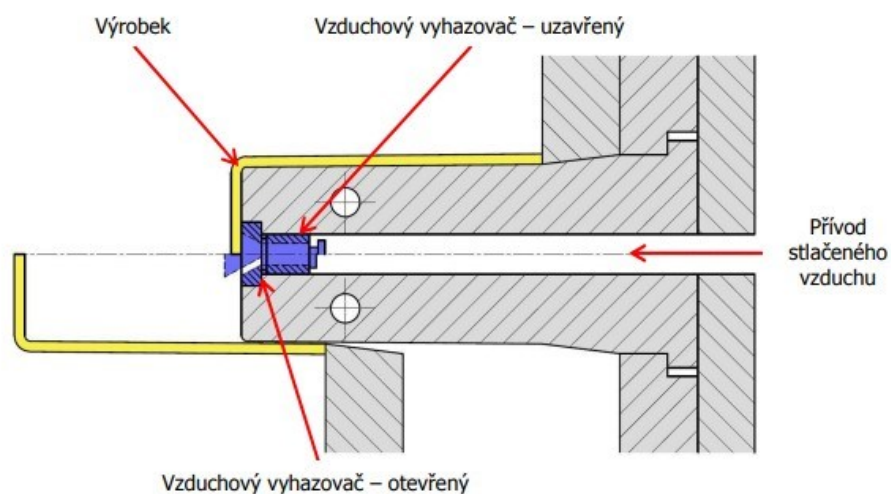


Obr. 26 – Dvoustupňové vyhazování [23]

4.5.2 Pneumatické vyhazování

Je vhodným systémem pro vyhazování tenkostěnných dílců větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhazování odvdušnit, aby se nedeformovaly. Tento způsob není tak častý, ale pro výše uvedené dílce je velmi výhodný. Běžné mechanické vyhazování u větších dílců vyžaduje velký zdvih vyhazovače a tím by značně narostla délka formy. [14]

Pneumatické vyhazování zavádí stlačený vzduch mezi dílec a líc formy. Tím se umožní rovnoměrné oddělení dílce od tvárníku. Vyloučí se místní přetížení a nevzniknou stopy po vyhazovačích. [14]

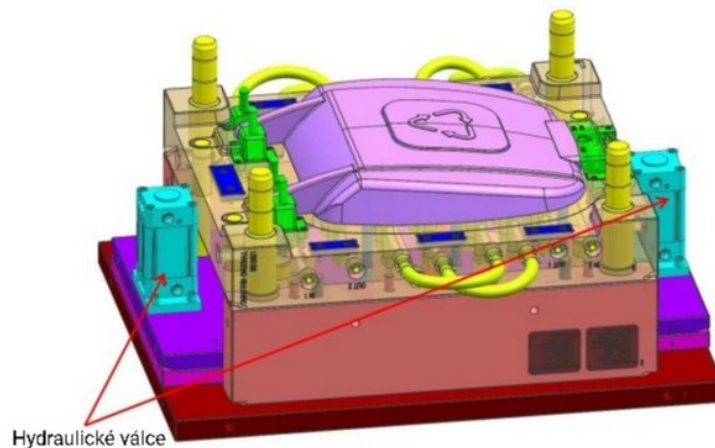


Obr. 27 – Pneumatické vyhazování [23]

4.5.3 Hydraulické vyhazování

Bývá součástí vstřikovacího stroje a používá se především k ovládní mechanických vyhazovačů, které nahrazuje pružnějším pohybem a velkou flexibilitou. Hydraulické jednotky, zabudované přímo ve formě se vyskytují již méně. Spíše se používají k ovládní bočních posuvných čelistí. [14]

Používaný hydraulický vyhazovač se vyrábí většinou jako uzavřená hydraulická jednotka, která se zabuduje přímo do připravovaného místa ve formě. S její pomocí se přímo ovládají vyhazovací kolíky, stírací desky a jiné. [14]



Obr. 28 – Hydraulické vyhazování [23]

4.6 Odvzdušnění forem

Odvzdušnění tvarových dutin forem zdánlivě nepatří k dominantním problémům při navrhování forem. Jeho důležitost obvykle vyplyne až při zkoušení hotového nástroje, kdy odvzdušnění lze někdy zhotovit snadno, jindy je však jeho vyřešení obtížné. Nezbytná znalost některých zákonitostí při plnění formy ušetří pracovníkům mnoho starostí. [9]

Dutina formy je před vstřikováním naplněna vzduchem. Při jejím plnění taveninou je třeba zajistit únik vzduchu a případných zplodin. Čím vyšší je rychlost plnění, tím je potřeba zajistit účinnější odvzdušnění tvarové dutiny. [9]

Nejčastějším jevem při rychlém plnění je stlačení vzduchu, který se vlivem vysokého tlaku silně ohřívá a způsobuje tzv. Dieselův efekt (spálené místo po výstřiku). To obvyčně není ze z hledových nebo pevnostních důvodů přípustné. Proto musí být odvzdušnění účinné. [9]

4.6.1 Odvzdušnění v dělicí rovině

Pravděpodobně nejjednodušší možností zlepšení odvodu vzduchu z dutiny formy je umístění odvzdušňovacích ploch do dělicí roviny. Tyto jsou jednoduše vyrobitelné a představují přímou cestu pro taveninou vytlačovaný vzduch. [16]

Obecné zásady:

- Polymer s vyšší tekutostí vyžaduje menší rozměry odvzdušňovacího kanálu a naopak.
- Požadovaná intenzita odvzdušnění roste s objemem vstříkovaného dílu a rychlostí vstříkování taveniny do dutiny formy.
- Intenzitu odvzdušnění lze zvýšit vyšším počtem kanálů či jejich rozšířením.
- Nezvyšovat intenzitu odvzdušnění zvětšením šířky odvzdušňovacího kanálů nad předepsané hodnoty pro jednotlivé druhy materiálů. [16]

4.6.2 Umístění odvzdušňovacích kanálů

Odvzdušňovací kanály by měly být umístěny podél rozváděcích kanálů taveniny a v určité vzdálenosti od dutiny formy. Zejména je ale přítomnost kanálů důležitá v místě dutiny formy, které je zaplněno taveninou polymeru jako poslední. Jedná se zpravidla o místa s největší vzdáleností od ústí vtoku. Pokud poslední místo plnění není adekvátně odvzdušněné, může dojít k uzavření vzduchu v dutině, což může mít za následek neúplné naplnění dutiny formy a případný vznik spálenin polymeru v důsledku přehřátí uzavřeného vzduchu vlivem jeho externího stlačení. [16]

4.7 Rámy vstřikovacích forem

Rám formy je sestaven z jednotlivých desek a dalších dílů v pevnou a pohyblivou část. Tyto celky jsou vzájemně vedeny, ustředěny a někdy i spojeny pomocí vodících pouzder, kolíků a dalších součástí. [9]

Rozpěrky – doplňují rám formy v jeho pohyblivé a někdy i v pevné části. Jsou nutné, protože vytváří ve formě prostor pro umístění vyhazovacích desek a potřebný zdvih s vyhazovači. Také zmenšují stykovou plochu mezi funkční a upínací částí, aby tepelné

ztráty vedením při temperaturaci byly minimální. U forem s vyhřívanými tryskami vytváří prostor pro vytápěné rozvodné bloky. [9]

Vyhazovací desky – slouží k ukotvení, vedení, ovládní a zajištění vyhazovačů v jejich pracovním i zpětném pohybu. Používají se obvykle v uspořádání jako deska kotevní a opěrná.

Středící kroužky – slouží k ustředění formy na stroj, ale také k jejímu zajištění proti případnému sklouznutí z desky stroje při manipulaci. Z těchto důvodů mají být u obou polovin formy středící kroužky. [9]

4.8 Materiály pro určité části forem

Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkční. Proto vyžadují i svoje specifické požadavky na volbu materiálu, ze kterého budou vyrobeny. Jejich vývěr a doporučená řada má odpovídat požadované funkci součásti, s pohledem na opotřebení a životnost. [9]

Od použitých materiálů pro formy se vyžaduje především:

- Dostatečná mechanická pevnost.
- Zvýšená odolnost proti oděru.
- Odolnost proti korozi a chemickým vlivům polymeru.
- Vyhovující kalitelností a prokalitelností.
- Stálost rozměrů a minimálními deformacemi při kalení. [9]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ SÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V Bakalářské práci jsou stanoveny tyto cíle:

- 1) Vypracujte literární studii na dané téma.
- 2) Proveďte konstrukci 3D modelu vstřikovaného plastového dílu
- 3) Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl
- 4) Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovník.

Teoretická část bakalářské práce je rozdělena na několik částí, které postupně popisují současný stav ve vstřikování, princip vstřikování polymerů, zásady pro konstrukci výrobku a formy a rozbor jednotlivých součástí forem.

Cílem praktické části je navrhnout vstřikovací formu, která je vhodná pro výrobu zadaného dílu. V úvodu praktické části je znázorněn a popsán navrhovaný díl. Následuje volba materiálu výrobku se stručným popisem vlastností, volba vstřikovacího stroje, která závisí na požadovaných technických parametrech (objem vstřikovaného materiálu, velikost uzavírací síly, prostor pro upnutí navrhnuté formy). Ve zbytku praktické je vyřešena násobnost formy, rozvržení dělicích rovin a jsou popsány konkrétní části navrhnuté formy. Při návrhu výrobku a vstřikovací formy byl využit program CATIA V5R19 a katalogy firem HASCO a MEUSBURGER, ze kterých byly využity normálie.

V závěru praktické části této bakalářské práce byl poté návrh výrobku a formy zhodnocen a byl proveden rozbor řešení jednotlivých částí.

6 VOLBA MATERIÁLU

Materiál pro výrobek byl zvolen polypropylen, plněný 40% mastkem od společnosti SABIC. SABIC® PPcompound 19T1040 je polypropylenový homopolymer s obsahem 40% mastku. Tento materiál s vysokou výplní zlepšuje tuhost materiálu. V kombinaci s vysokým průtokem a dobrou tepelnou stabilitou je materiál velmi vhodný pro vstřikování. Polymer s označením 19T1040 je využíván zejména pro automobilový průmysl.

Vzhledem k vlastnostem vstřikovaného materiálu byla dutina formy zvětšena o 1%.

Tab. 1 – Vlastnosti materiálu

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka
Fyzikální		
Hustota	1,25	g/cm ³
Mechanické		
Pevnost v tahu	32	MPa
Prodloužení v tahu	3	%
modul pevnosti v tahu	3200	MPa
modul pevnosti v ohybu	3600	MPa
Teplotní		
Tlak vstřikování	69 - 105	Mpa
Teplota formy	15 - 60	°C
Teplota taveniny	210 - 270	°C
Hodnota smrštění	0,8 - 1,25	%

7 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Vzhledem k finálním rozměru formy 696 mm x 446 mm x 372 mm a objemu jedné dávky 82,5g byl zvolen elektrický vstřikovací stroj Allrounder 720 A od firmy Arburg.

Výpočet vstřikované dávky

Objem výrobku a rozvodných kanálků byl určen pomocí funkce v programu CATIA V5R19.

$$V = 65,9 \text{ cm}^3 \quad (7.1)$$

$$\rho = 1,25 \text{ g/cm}^3 \quad (7.2)$$

$$m = \rho * V = 65,9 * 1,25 = 82,38 \text{ g} \quad (7.3)$$

Tab. 2 – Parametry vstřikovacího stroje

Parametr	Hodnota	Jednotka
Maximální velikost upínací desky	720 x 720	mm
Maximální délka formy	600	mm
Maximální zdvih vyhazovačů	250	mm
Průměr šneku	35	mm
Poměr šneku	17	-
Maximální uzavírací síla	3200	kN
maximální vyhazovací síla	86	kN
Maximální vstřikovací tlak	147	MPa
Maximální objem vstřikované dávky	115	cm ³
Maximální kroučící moment šneku	290	Nm



Obr. 29 - Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 720A

8 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

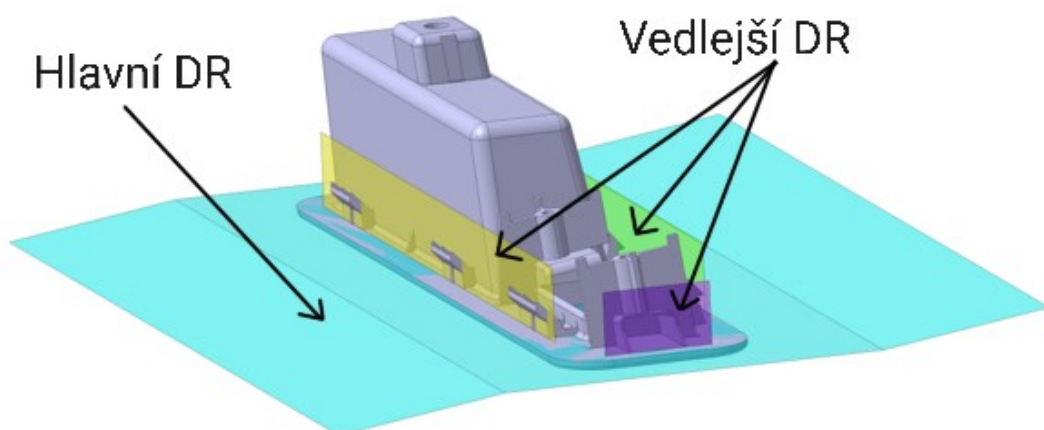
8.1 Použité programy

CATIA V5R19

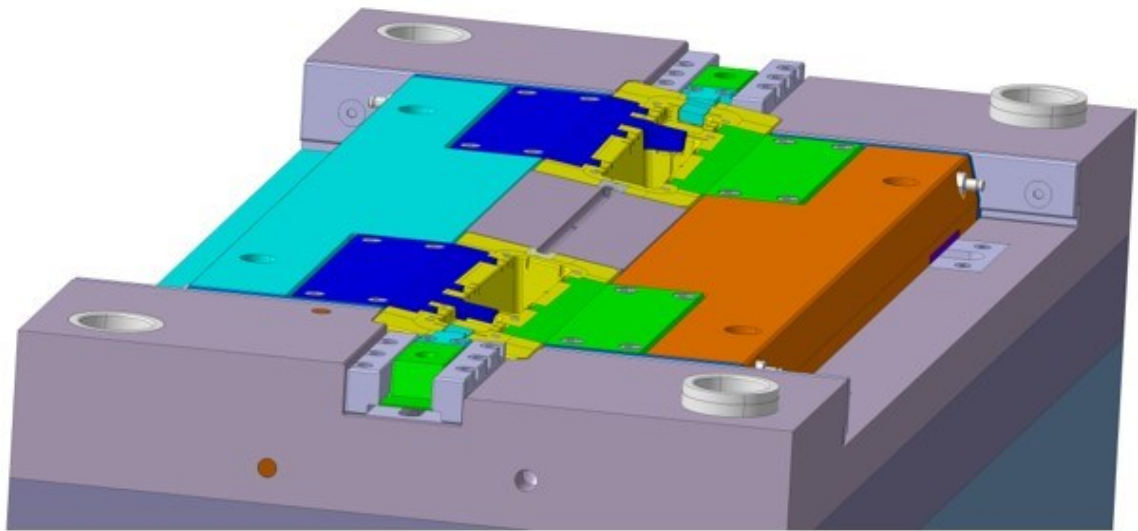
Program CATIA je ve světě velmi používaný software v oblasti CAD/CAM/CAE technologií. Poskytuje funkce, které jsou vhodné pro vytvoření konstrukčního návrhu, analýzy a vytvoření výkresové dokumentace. Základem softwaru je 3D virtuální prostor, ve kterém lze vytvořit model konkrétních dílů nebo komplexních sestav jako je například vstřikovací forma.

8.2 Volba dělicí roviny

Jelikož je tvar výrobku poněkud složitější, bylo potřeba zvolit více dělicích rovin pro lepší odformování. Hlavní dělicí rovina výrobku je umístěna rovnoběžně se spodní nepohledovou stranou výrobku a samotný výrobek je ve tvarové vložce natočen tak, aby byly ideální podmínky pro odformování a vyhození výrobku z tvarové dutiny. Na základě tohoto umístění a natočení je hlavní dělicí rovina ve formě lomená. Vzhledem k tvaru pružných háčků a dvou malých dutin ve výrobku bylo potřeba zvolit ještě tři vedlejší dělicí roviny. Každá vedlejší dělicí rovina je umístěna na jedné straně výrobku s tím, že čtvrtá strana výrobku bude sloužit pro vtok taveniny do dutiny.



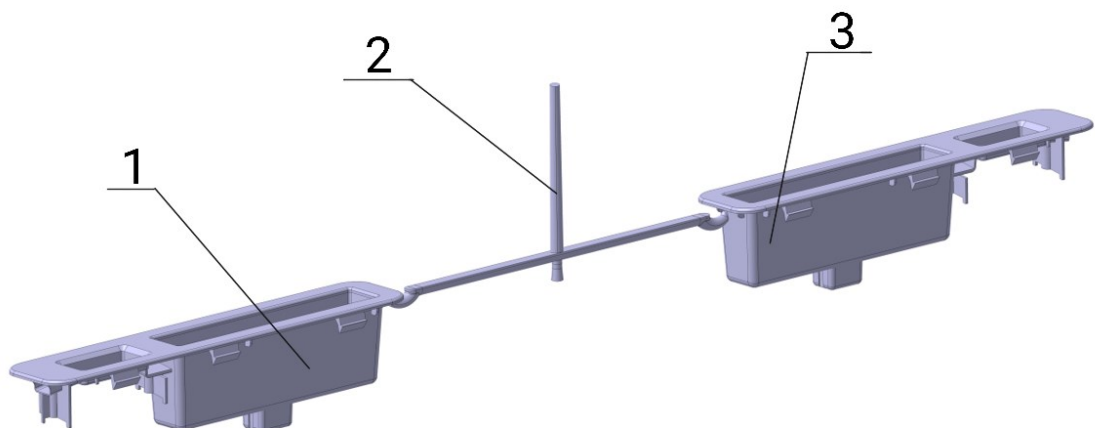
Obr. 30 - Dělicí roviny



Obr. 31 – Pohled do dělicí roviny formy

8.3 Násobnost formy

Základní aspekty pro vhodnou volbu násobnosti jsou složitost vstříkovaného výrobku, náročnost formy a ekonomické hledisko. Proto byla zvolena dvounásobná forma, protože vstříkovací forma bude sloužit pro výrobu levého a pravého panelu. Dalším důvodem je fakt, oba výrobky (levý a pravý) obsahují tři boční tvárníky a proto by větší násobnost z hlediska konstrukce byla velmi obtížná.

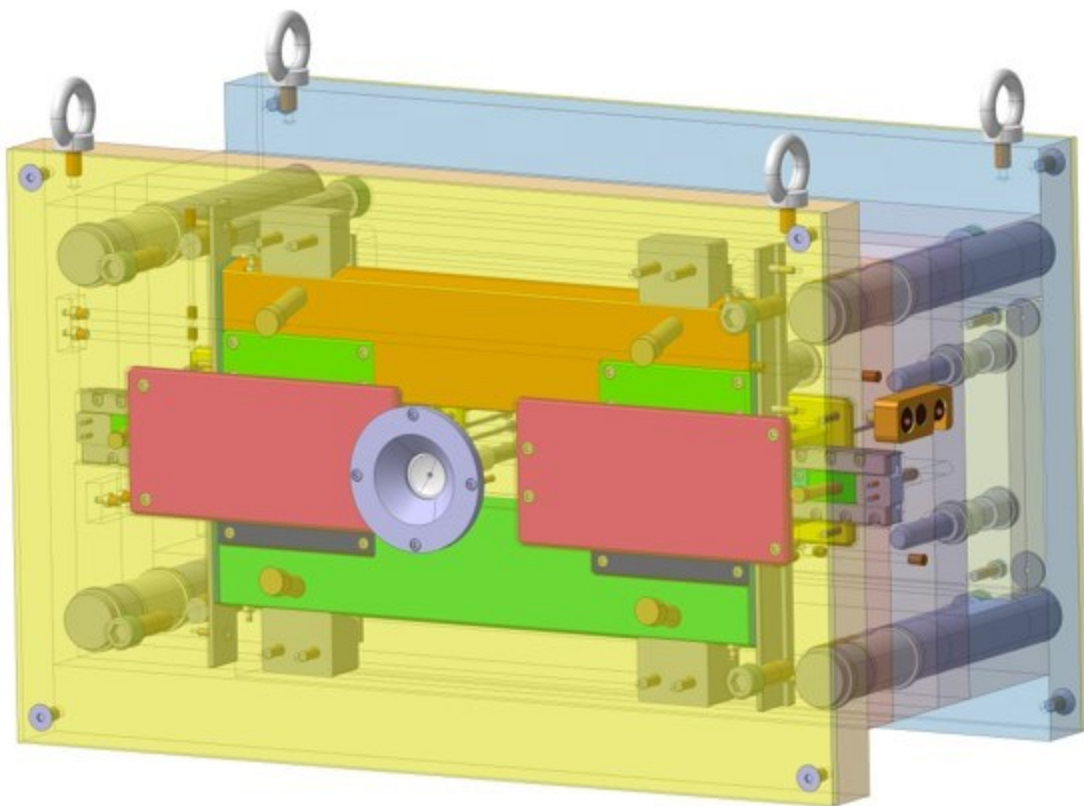


Obr. 32- Násobnost formy

1 – Levý výrobek, 2 – vtokový zbytek, 3 – pravý výrobek.

8.4 Vstřikovací forma

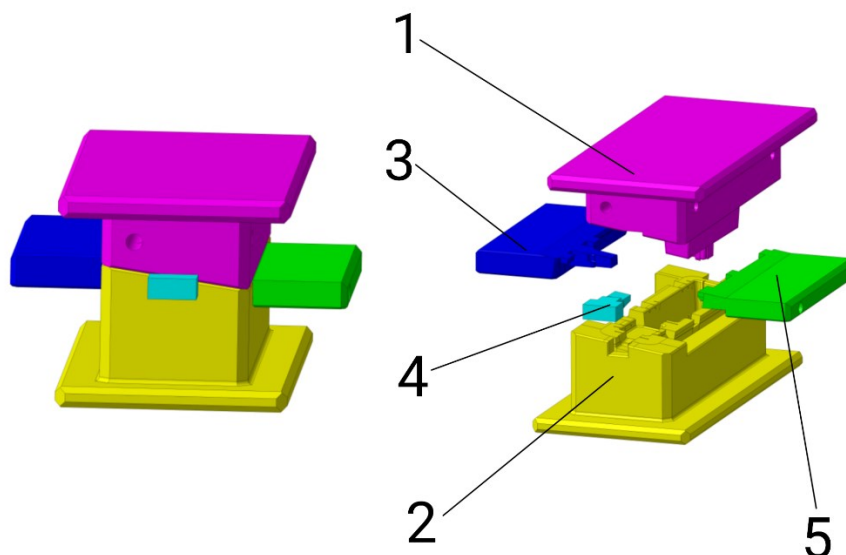
Vstřikovací forma je komplexní systém, který obsahuje spoustu součástí. Primární funkce vstřikovací formy je doprava taveniny do dutiny formy, která zajistí finální tvar výrobku. Vedlejší funkce je vhodný odvod tepla a rychlé a správné vyjmutí výrobku ven z formy. Je potřeba také zajistit optimální a rychle se opakující periodu procesu vstřikování. Forma se skládá ze tří hlavních částí: Pravé strany (strana trysky), levé strany (strana vyhazovače) a vyhazovacího systému. Obecně je při konstrukci formy nejvýhodnější využít co nejvíce normálií od firem, jako je například Meusburger, Hasco a další, aby byl proces konstrukce zjednodušen. V případech, kdy je při konstrukci neobvyklé řešení je potřeba vyrobit součásti na zakázku. Záleží pak už jen na tom, zda se to vyplatí nebo by bylo možné řešení zjednodušit s využitím normalizovaných součástí. Vzhledem k vysokému počtu bočních čelistí v této formě (tři čelisti pro levý kryt a tři čelisti pro pravý kryt) bylo řešení zjednodušeno spojením sousedních čelistí do jedné a tak byl snížen počet součástí.



Obr. 33 - Vstřikovací forma

8.5 Tvarové vložky

Tvarové vložky jsou negativem vstříkovaného výrobku. Dohromady tak tvoří dutinu formy. Při návrhu tvarových vložek je potřeba zohlednit smrštění materiálu, což je podrobněji uvedeno v kapitole Volba materiálu. Hlavní výhodou tvarových vložek je hlavně z hlediska ekonomiky, protože není nutno vyrábět celou kotevní desku z nástrojové oceli a stačí, aby z nástrojové oceli byly pouze tvarové vložky. Délky posuvů pro správné odformování boční odformování jsou: 7 mm pro zelenou tvarovou vložku, 19,5 mm pro světle modrou tvarovou vložku a 24,5 mm pro tmavě modrou tvarovou vložku.

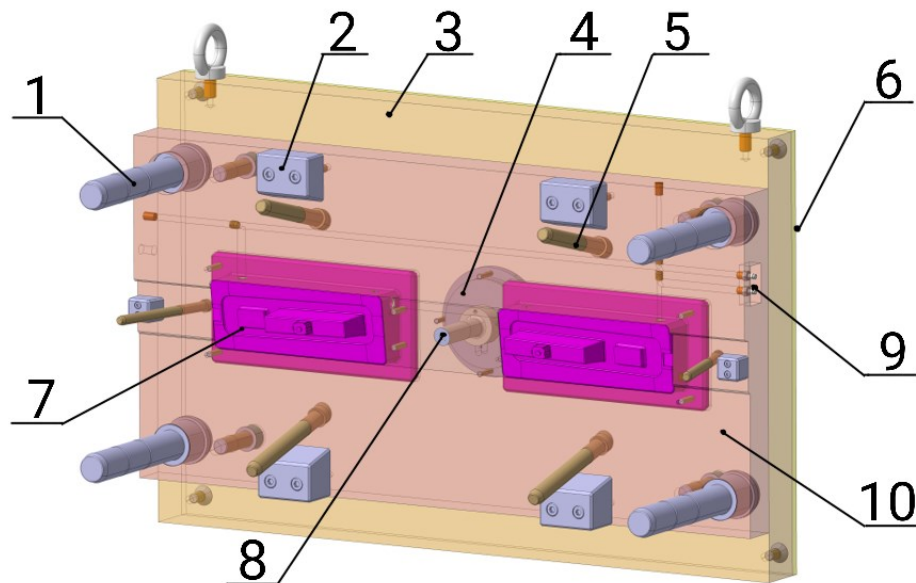


Obr. 34 - Tvarové vložky

1 – Tvárník. 2 – tvárnice, 3, 4, 5 – boční tvarové vložky

8.6 Pravá strana formy

Pravá strana formy slouží primárně k dopravě taveniny do dutiny. Obsahuje izolační desku, upínací desku a kotevní desku. Izolační deska díky nízké tepelné vodivosti slouží k zabránění prostupu tepla do vstříkovacího stroje a upínací deska slouží k upnutí do stroje pomocí upínek. V kotevní desce jsou usazeny vodící a šikmé čepy, tvárníky, klíny a jsou zde vyvrtané temperační kanálky.

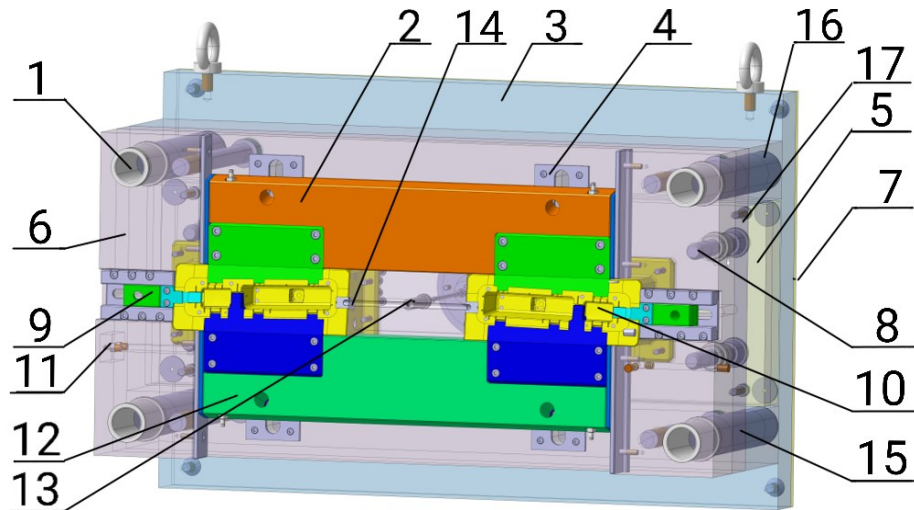


Obr. 35 - Pravá strana formy

1 – Vodící čep, 2 – klín, 3 – upínací deska, 4 – středící kroužek, 5 – šikmý kolík, 6 – izolační deska, 7 – tvárník, 8 – vtoková vložka, 9 – násada na hadici, 10 – kotevní deska.

8.7 Levá strana formy

Levá strana obsahuje izolační desku, upínací desku, dvě rozpěrné desky, opěrnou desku a kotevní desku. V levé straně formy je také upevněn vyhadzovací systém, který obsahuje kotevní a opěrnou vyhadzovací desku, ve kterých jsou upevněny vyhadzovače. Dále jsou zde upevněny středící trubky, které prochází všemi deskami levé části formy. Slouží k vystředění vodících čepů, které jsou upevněny v pravé části formy. V kotevní desce obsahuje vyvrtané temperační kanálky a jsou zde upevněny tvárnice a všechny boční čelisti, vtokové vložky s banánovým vtokem a přídržovač vtoku. V upínací desce jsou upevněny menší vodící čepy, které zajišťují správný pohyb vyhadzovacího systému.

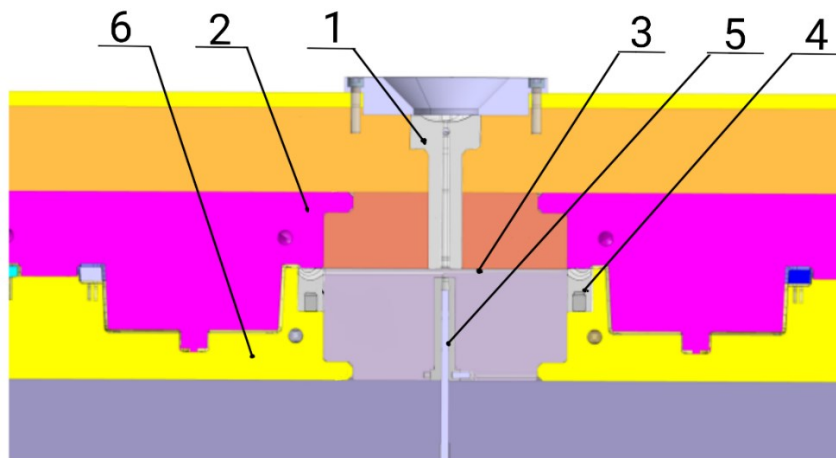


Obr. 36 - Levá strana formy

1 – Vodící pouzdro, 2 – boční čelist, 3 – upínací deska, 4 – kluzná destička, 5 – vyhazovací systém,
6 – kotevní deska, 7 – izolační deska, 8 – vodící čep, 9 – boční čelist, 10 – tvárnice,
11 – násada na hadici, 12 – boční čelist, 13 – přídržovač vtoku, 14 – vložka s vtokovým ústím,
15 – středící trubka, 16 – rozpěrná deska, 17 – opěrná deska.

8.8 Vtokový systém

V této vstřikovací formě byl zvolen studený vtokový systém s tunelovým ústím, díky kterému je zajištěno oddělení vtokového zbytku od výrobku při otevření formy. Další výhodou je možnost vtokového ústí do nepohledové části výrobku. Díky přídržovači vtoku je zajištěno vytažení vtokového zbytku z vtokové vložky. Vyhození vtokového zbytku pak zajištěno vyhazovačem.

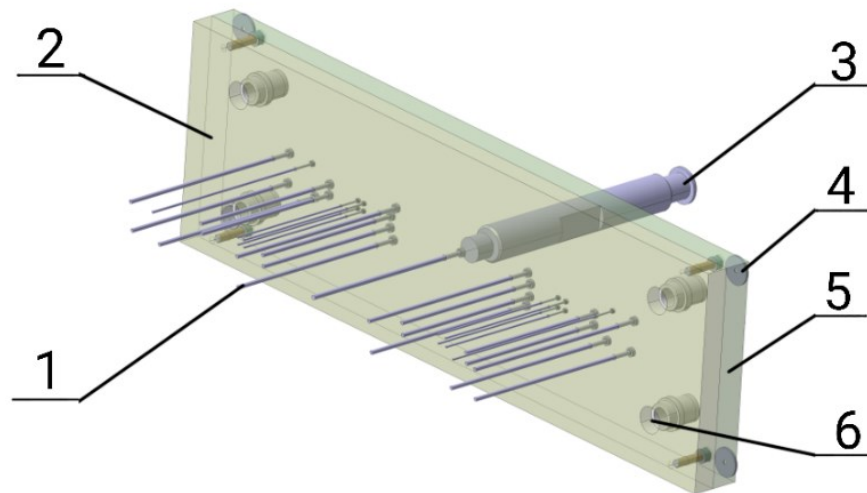


Obr. 37 - Vtokový systém

1 - Vtoková vložka, 2 – tvárník, 3 – rozvodný kanál, 4 – vložka s vtokovým ústím,
5 – přídržovač vtoku, 6 – tvárnice.

8.9 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém tvoří opěrná a kotevní vyhazovací deska, válcové vyhazovače a ovládací táhlo. V kotevní desce jsou upevněny vyhazovače, které se opírají o opěrnou desku. Kotevní a opěrná deska jsou spojeny pevně pomocí šroubů a jsou v nich vloženy vodící pouzdra, která středí vodící čepy. V opěrné desce jsou upevněny dosedací podložky.

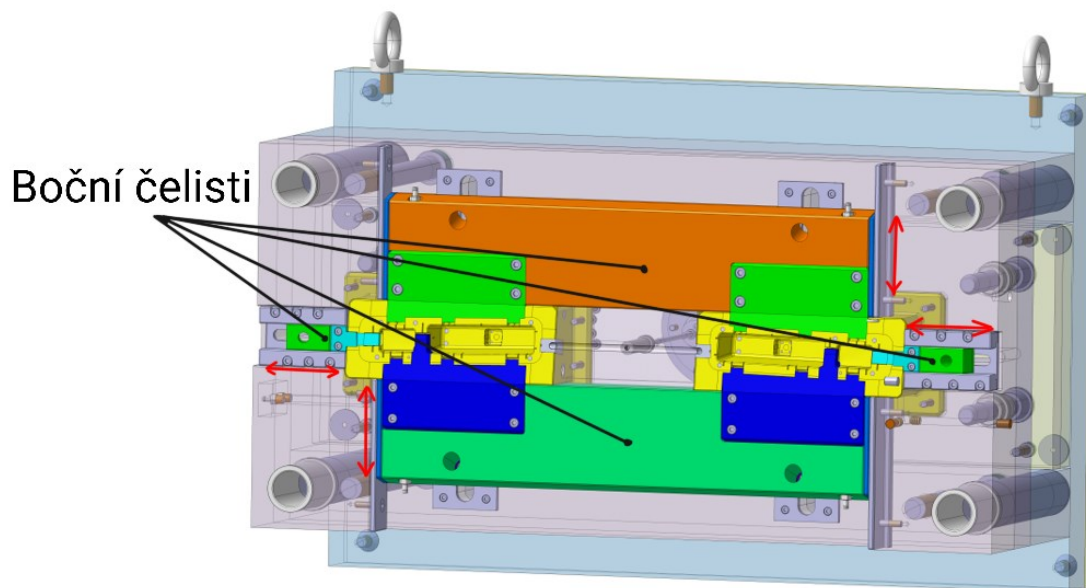


Obr. 38 - Vyhazovací systém

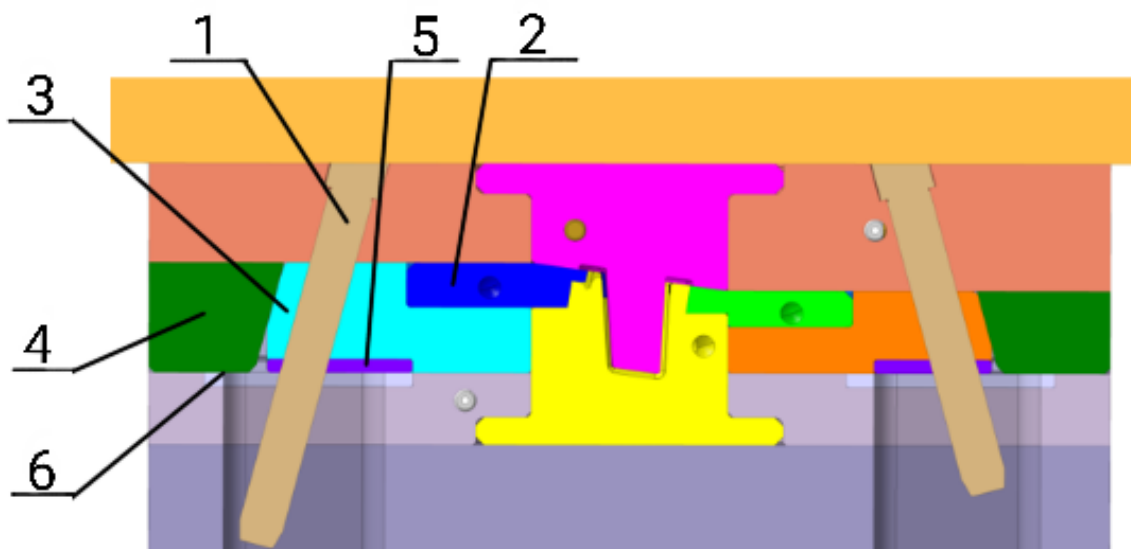
1 – Vyhazovač, 2 – kotevní deska, 3 – táhlo vyhazovače, 4 – dosedka, 5 – opěrná deska.

8.10 Boční odformování

Boční odformování slouží pro odformování vedlejších dělicích rovin. Je tvořeno tvarovými vložkami, připevněnými k posuvnému jezdcí, který jezdí po šikmém čepu. V krajních polohách je zabezpečené v jedné poloze šroubem s kuličkou a ve druhé poloze je zabezpečeno klínem, o který se jezdec opírá. Při konstrukci bočního odformování v této formě byly spojeny dvě sousední čelisti jedním posuvným jezdcem z důvodu snížení počtu šikmých čepů a součástek. Zbylé dvě malé čelisti jsou pak samostatně.

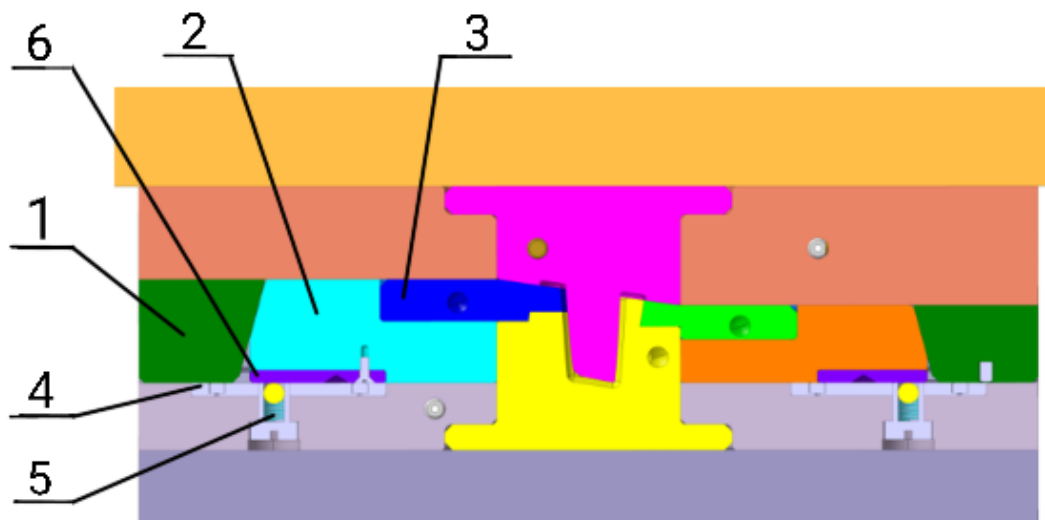


Obr. 39 - Boční čelisti



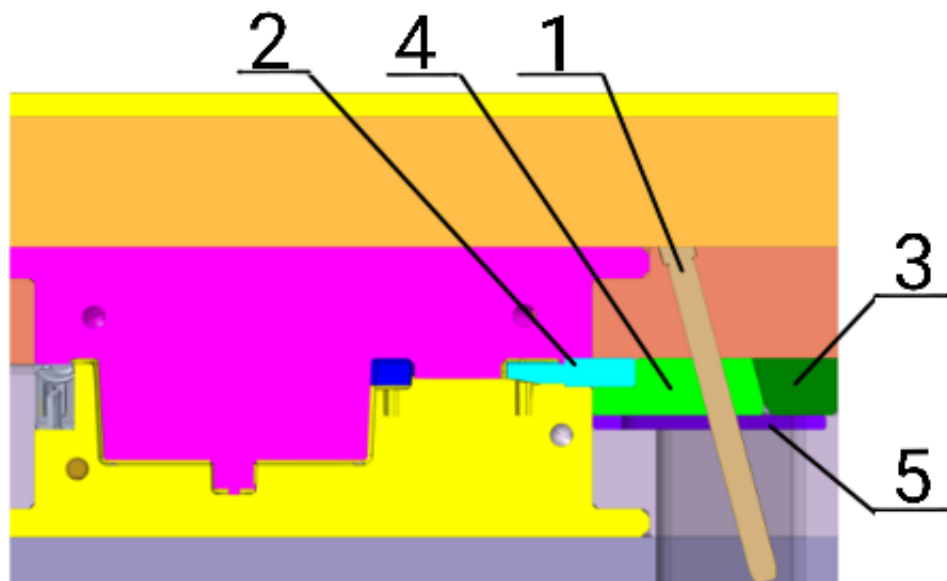
Obr. 40 - Boční odformování 1

1 – Šikmý kolík, 2 – tvarová vložka, 3 – posuvný jezdec, 4 – klín, 5 – kluzná destička,
6 – kluzná destička.



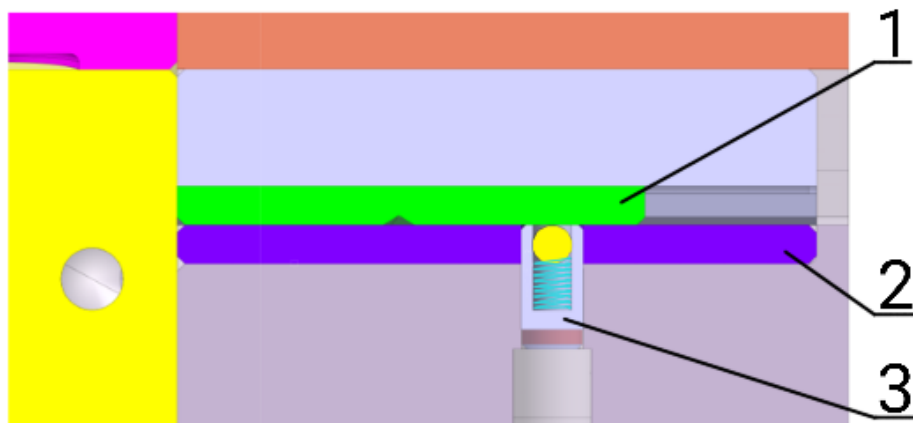
Obr. 41 - Zámek bočního odformování 1

1 – Klín, 2 – posuvný jezdec, 3 – tvarová vložka, 4 – kluzná destička, 5 – šroub s kuličkou,
6 – kluzná destička.



Obr. 42 - Boční odformování 2

1 – Šikmý kolík, 2 – tvarová vložka, 3 – klín, 4 – posuvný jezdec, 5 – kluzná destička.

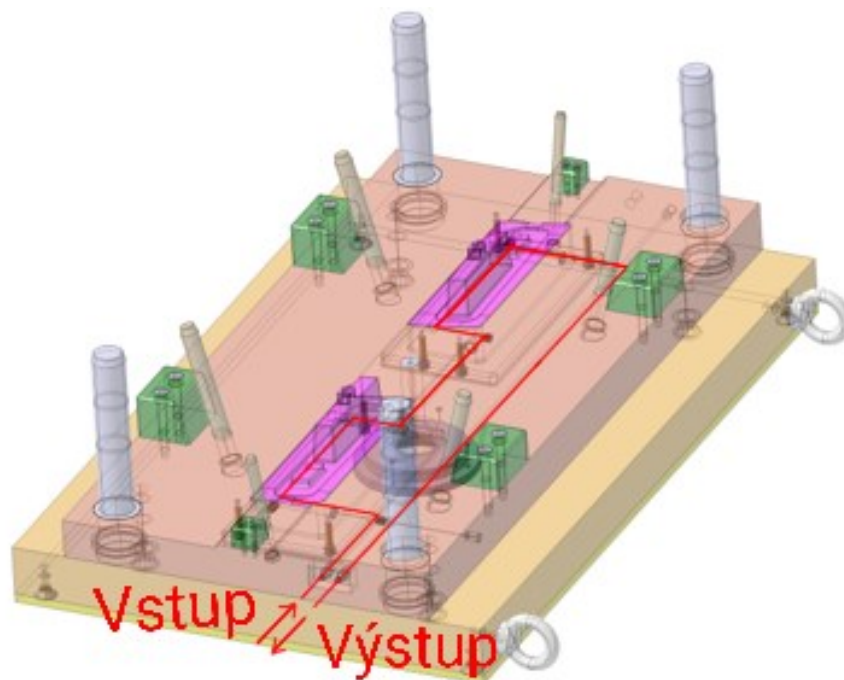


Obr. 43 - Zámek bočního odformování 2

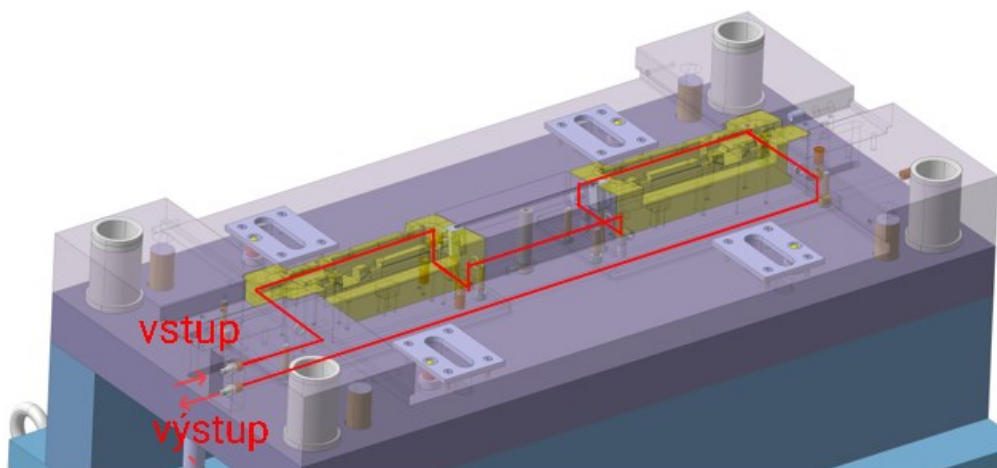
1 – Posuvný jezdec, 2 – kluzná destička, 3 – šroub s kuličkou.

8.11 Temperační systém

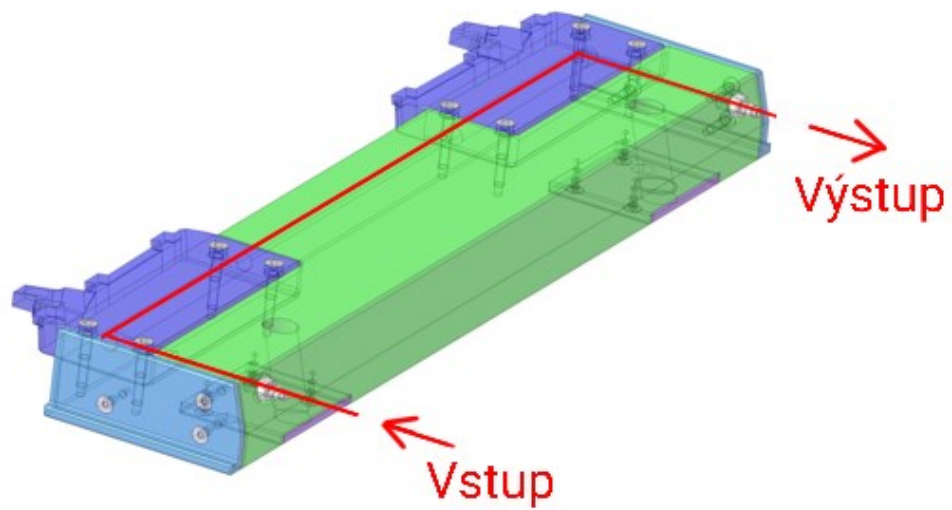
Temperační systém slouží k udržení konstantní teploty ve formě a k odvodu tepla. Tvoří ho soustava temperačních kanálků, které jsou vyvrtány v levé a pravé kotevní desce a ve tvarových vložkách. Vyvrtanými kanálky pak proudí temperační medium, které přivádí nebo odvádí teplo. V tomto konkrétním případě byla zvolena voda jako temperační medium. V této formě je temperační systém tvořen jedním okruhem v levé kotevní desce, druhým okruhem v pravé kotevní desce a dvěma menšími okruhy, které jsou umístěny ve spojených bočních čelistech. Okruhy jsou pak uzavřeny ucpávkami se závitem a zakončeny koncovkami, na které se upevní hadice s přívodem temperačního media.



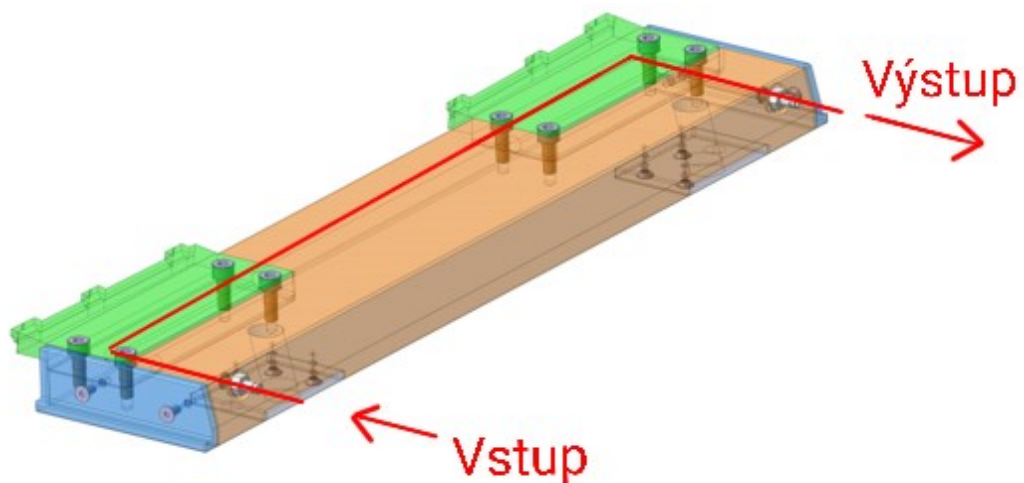
Obr. 44 - Temperace pravé strany



Obr. 45 - Temperace levé strany



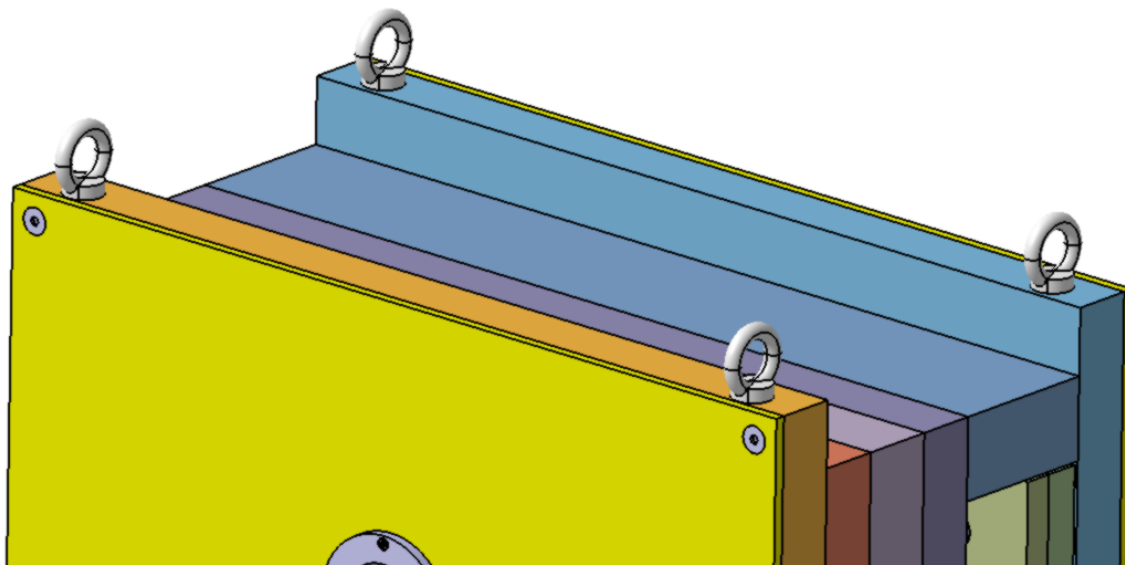
Obr. 46 - Temperace boční čelisti 1



Obr. 47 - Temperace boční čelisti 2

8.12 Transportní systém

Transportní systém je tvořen čtyřmi transportními oky, která jsou našroubována v upínacích deskách formy. Pro tuto formu bylo konkrétně zvoleno transportní oko od firmy HASCO s označením Z710/12, které má maximální nosnost 240 kg.



Obr. 48 - Transportní systém

ZÁVĚR

Cílem praktické části bakalářské práce bylo provést konstrukci 3D plastového dílu a následně provést konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl, nakreslit 2D výkresovou dokumentaci, ve které je znázorněn řez formou včetně příslušných pohledů a vypracovat kusovník.

S ohledem na využití výrobku byl zvolen materiál PP, plněný 40% mastkem, který je vhodný pro součásti v automobilovém průmyslu a má vhodně vstřikovací vlastnosti.

Vzhledem ke všem požadavkům (objem dávky, velikost formy, zdvih vyhazovače atd.) byl zvolen vstřikovací stroj Allrounder 720A od společnosti Arburg.

Při návrhu dělicí roviny bylo nutno zohlednit nutnost bočního odformování z důvodu složitějšího tvaru výrobku. Proto byla zvolena hlavní dělicí rovina a tři vedlejší dělicí roviny.

Z tohoto důvodu byla také zvolena dvounásobná forma, protože při více násobné formě by bylo velmi složité správně rozložit boční čelisti pro odformování.

Tvarová dutina formy je tvořena tvarovými vložkami, protože tato volba z ekonomického a praktického hlediska vycházela nejlépe. Díky tomu není nutno vyrábět kotevní desky z nástrojové oceli a při poškození lze vyměnit pouze jednotlivé vložky.

Vtokový systém byl zvolen studený a skládá se z vtokové vložky, rozvodného kanálku, vtokových vložek s banánovým ústím vtoku a kuželového přídržovače vtoku. Díky této koncepci bude vtokový zbytek přidržen v levé (pohyblivé) části formy a následně bude vyhozen pomocí vyhazovače. Banánové ústí vtoku bylo zvoleno z důvodu umístění vtoku do nepohledové strany výrobku.

Vyhození výrobku ven z formy je zajištěno 28 válcovými kolíky o průměru 2mm a 4mm.

Při konstrukci bočního odformování byly spojeny dvě sousední tvarové vložky pomocí velkého posuvného jezdce, díky čemuž byl snížen počet šikmých kolíků a také součástek, nutných pro zachování správné funkce. Dvě protilehlé čelisti byly ponechány samostatně z důvodu malého rozměru a také by spojení z konstrukčního hlediska možné nebylo. Zabezpečení bočního odformování je zajištěno klínem v jedné poloze a šroubem s kuličkou ve druhé poloze.

Temperace navrhované formy je tvořena vrtanými kanálky v kotevních deskách a tvarových vložkách. Z konstrukčního hlediska nebylo možné vytvořit pouze dva samostatné okruhy

v kotevních deskách. Proto byly vytvořeny dva okruhy pro kotevní desky a dva okruhy pro samostatné boční čelisti. Na základě vlastností vstříkovaného polymeru bude maximální teplota pro temperaci formy 60°C. Následně pak bude temperace sloužit pro odvod tepla z dutiny formy. Přechod kanálků z kotevní desky do tvarové vložky je zajištěn O-kroužkem. Jelikož se předpokládá, že vzduch stlačovaný taveninou bude unikat vůlemy mezi součástmi a deskami, nebylo vytvořeno žádné dodatečné odvzdušnění.

Návrh vstříkovací formy byl vytvořen v programu CATIA V5R19, protože tento program byl nejvhodnější volbou vzhledem k funkci mold tooling design a databázi normálí, která dost zjednodušila konstrukci samotné formy. Výkresová dokumentace pak byla vyhotovena ve stejném programu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Optimization of the Micro Molding of the Biconcave Structure* [online]. Indonésie: Fakulta strojních univerzit Indonésie, 2019, 2019(10 (2)) [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Fatahul_Arifin2/publication/332652083_Optimization_of_the_Micro_Molding_of_a_Biconcave_Structure/links/5cc1bd0ca6fdcc1d49aec413/Optimization-of-the-Micro-Molding-of-a-Biconcave-Structure.pdf
- [2] *Materialstoday communications* [online]. Nizozemsko: Elsevier BV, 2019, 2019(20) [cit. 2020-03-11]. ISSN 23524928. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492819303046>
- [3] *Mesasurement journal* [online]. Nizozemsko: Elsevier BV, 2019, 2019(134) [cit. 2020-03-11]. ISSN 0263-2241. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224118310030>
- [4] *INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL "MACHINES. TECHNOLOGIES. MATERIALS* [online]. Bulharská republika: Národní vojenská univerzita „VasilLevski“, Fakulta „Dělostřelectvo, protivzdušná obrana a SNS“, Šumen, 2019, 2019(13) [cit. 2020-03-11]. ISSN 1314 - 507X. Dostupné z: <https://stumejournals.com/journals/mtm/2019/3/118>
- [5] KIM, Hyun, Joo SOHN, Youngjae RYU, Shin KIM a Sung CHA. Warpage Reduction of Glass Fiber Reinforced Plastic Using Microcellular Foaming Process Applied Injection Molding. *Polymers* [online]. Korea: Škola strojního inženýrství, Univerzita Yonsei, 2019, 19. 2. 2019, 11(2) [cit. 2020-03-24]. DOI: 10.3390/polym11020360. ISSN 2073-4360. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2073-4360/11/2/360>
- [6] LIAU, Y, H LEE a K RYU. Digital Twin concept for smart injection molding. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. Velká Británie, 2018, 2018, 324 [cit. 2020-03-24]. DOI: 10.1088/1757-899X/324/1/012077. ISSN 1757-8981. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/1757-899X/324/i=1/a=012077?key=crossref.e2c41721388b486aa34a4f382d0665aa>
- [7] Publi.cz (kapitoly 1-4) [online]. Liberec, 2014 [cit. 2020-01-31]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Uvod.html>

- [8] MAŇAS, Miroslav a Jiří VLČEK. *Aplikovaná reologie*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-7318-039-1.
- [9] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. vyd. - Brno: UNIPLAST, 1999. 134 s.
- [10] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů*. 1. vyd. - Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [11] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [12] Technická univerzita Liberec: Katedra strojírenské technologie [online]. Liberec [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [13] MAŇAS, Miroslav a František TOMIS. *Výrobní stroje a zařízení: gumárenské a plastikářské stroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1990.
- [14] SOVA, Miloš. *Termoplasty v praxi: Praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. Verlag Dashöfer: Odborné nakladatelství technické literatury, 2001.
- [15] Publi.cz (kapitoly 1-14) [online]. Liberec, 2014 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/01.html>
- [16] Publi.cz (kapitoly 1-14) [online]. Liberec, 2014 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/01.html>
- [17] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-833-5.
- [18] TOMIS, František; HELŠTÝN, Josef. *Formy a přípravky*. 2. vydání. Brno: VUT, 1985. 374 s.
- [19] doc. Ing. Martin Hynek, Ph.D. a kolektiv: *Zaformování a odformování* [online]. 2013. Plzeň: Fakulta strojní západočeské univerzity v Plzni, 2013 [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Zaformovani_a_odformovani.pdf

- [20] Vliv umístění vtokového ústí na mechanické vlastnosti polymerního dílu [online]. Zlín, 2011 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/16063/petr_2011_dp.pdf?sequence=1. Diplomová práce. UTB - FT.
- [21] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [22] TOMIS, František. *Základy gumárenské a plastikářské technologie: Určeno pro posl. technologické fak. se sídlem v Gottwaldově*. 2., nezm. vyd. Brno: VUT, 1980. Učební texty vysokých škol.
- [23] doc. Ing. Martin Hynek, Ph.D. a kolektiv: *Vyhazovací sestava a vyhazovače* [online]. 2013. Plzeň: Fakulta strojní západočeské univerzity v Plzni, 2013 [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Vyhazovaci_sestava_a_vyhazovace.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 – Vstřikování [7]</i>	13
<i>Obr. 2 – Rozdělení polymerů [11]</i>	14
<i>Obr. 3 – Amorfni polymery [21]</i>	15
<i>Obr. 4 – Semi-krytalické polymery [21]</i>	16
<i>Obr. 5 – Vlastnosti polymerů [21]</i>	17
<i>Obr. 6 – Vstřikovací cyklus [22]</i>	18
<i>Obr. 7 – Vstřikovací stroj [12]</i>	19
<i>Obr. 8 – Šnek [16]</i>	20
<i>Obr. 9 – Zpětný uzávěr šneku [16]</i>	21
<i>Obr. 10 – Uzavírací jednotka [12]</i>	23
<i>Obr. 11 – Dělicí rovina [16]</i>	24
<i>Obr. 12 – Deformace stěn [17]</i>	26
<i>Obr. 13 – Řešení hran a rohů [17]</i>	26
<i>Obr. 14 – Žebra [16]</i>	27
<i>Obr. 15 – Úkoso a podkoso [16]</i>	28
<i>Obr. 16 – Otevření vstřikovací forma [16]</i>	29
<i>Obr. 17 – Tvárník a tvárnice [19]</i>	32
<i>Obr. 18 – Plný kuželový vtok [20]</i>	34
<i>Obr. 19 – Bodový vtok [17]</i>	35
<i>Obr. 20 – Tunelový vtok [16]</i>	35
<i>Obr. 21 – Boční vtok [17]</i>	36
<i>Obr. 22 – Banánový vtok [16]</i>	37
<i>Obr. 23 – Vyhazovací kolíky [23]</i>	41
<i>Obr. 24 – Stírací deska [16]</i>	41
<i>Obr. 25 – Šikmé vyhazování [16]</i>	42
<i>Obr. 26 – Dvoustupňové vyhazování [23]</i>	43
<i>Obr. 27 – Pneumatické vyhazování [23]</i>	43
<i>Obr. 28 – Hydraulické vyhazování [23]</i>	44
<i>Obr. 29 - Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 720A</i>	50
<i>Obr. 30 - Dělicí roviny</i>	51
<i>Obr. 31 – Pohled do dělicí roviny formy</i>	52
<i>Obr. 32- Násobnost formy</i>	52

<i>Obr. 33 - Vstřikovací forma</i>	53
<i>Obr. 34 - Tvarové vložky</i>	54
<i>Obr. 35 - Pravá strana formy</i>	55
<i>Obr. 36 - Levá strana formy</i>	56
<i>Obr. 37 - Vtokový systém</i>	56
<i>Obr. 38 - Vyhazovací systém</i>	57
<i>Obr. 39 - Boční čelisti</i>	58
<i>Obr. 40 - Boční odformování 1</i>	58
<i>Obr. 41 - Zámek bočního odformování 1</i>	59
<i>Obr. 42 - Boční odformování 2</i>	59
<i>Obr. 43 - Zámek bočního odformování 2</i>	60
<i>Obr. 44 - Temperace pravé strany</i>	61
<i>Obr. 45 - Temperace levé strany</i>	61
<i>Obr. 46 - Temperace boční čelisti 1</i>	62
<i>Obr. 47 - Temperace boční čelisti 2</i>	62
<i>Obr. 48 - Transportní systém</i>	63

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

MCP	Mikro buněčný proces napěňování
T _g	Skelný přechod
L	Délka
D	Průměr
Pa	Pascal
°C	Stupeň celsia
g	Gram
mm	Milimetr
CAD	Computer aided design
CAM	Computer aided manufacturing
CAE	Computer aided engineering
DR	Dělicí rovina
N	Newton

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Vlastnosti materiálu.....49

Tab. 2 – Parametry vstříkovacího stroje.....50

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Technický list vstříkovacího stroje

Příloha č. 2 – Výkresová dokumentace

- Pohled do pravé strany formy
- Pohled do levé strany formy
- 2D řez sestavou formy
- Kusovník součástí

Příloha č. 3 – CD, obsahující

- Bakalářská práce v PDF
- 3D model formy
- 3D model dílu
- Výkresová dokumentace

PŘÍLOHA Č. 1 – TECHNICKÝ LIST STROJE

Technical data

| 720 A

Machine model		720 A	720 A
EUROMAP size indication ¹⁾		3200-800	3200-1300
Clamping unit			
Clamping force	max. kN	3200	3200
Mould protection force	kN	1-80	1-80
Opening stroke	max. mm	600	600
Mould height	min.- max. mm	300-800	300-800
Daylight	max. mm	900-1400	900-1400
Distance between tie bars	mm	720 x 720	720 x 720
Platen size (hor. x vert.)	mm	1040 x 1040	1040 x 1040
Weight of mov. mould half	max. kg	2900	2900
Ejector force	max. kN	86	86
Ejector stroke	max. mm	250	250
Drives, other			
Dry cycle time for opening stroke ³⁾	s-mm	1,5-504	1,5-504
Total connected load ²⁾⁴⁾	kW	58	76
Colour: plastic coated, structure light gray / mint green / canary yellow			
Control cabinet			
Safety standard according to		DIN EN 60204	DIN EN 60204
Socket combination (1 single phase, 1 three-phase)		1 x 16 A	1 x 16 A
Injection unit			
		800	1300
Screw diameter	mm	45 / 50 / 55	55 / 60 / 70
Effective screw length	L/D	22 / 20 / 18	22 / 20 / 17
Screw stroke	max. mm	200	240
Calculated injection volume	max. cm ³	318 / 392 / 474	570 / 678 / 923
Shot weight	max. g PS	291 / 359 / 434	521 / 620 / 844
Material throughput ⁵⁾	max. kg/h PS	46 / 53 / 59	86 / 96 / 115
	max. kg/h PA 6.6	23 / 27 / 30	43 / 48 / 58
Injection pressure	max. bar	2470 / 2000 / 1650	2380 / 2000 / 1470
Holding pressure	max. bar	2000 / 1600 / 1260	1900 / 1600 / 1170
Injection flow	max. cm ³ /s	318 / 392 / 475	476 / 566 / 772
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 200	350 / 200
Circumferential screw speed	max. m/min	54 / 60 / 66	55 / 60 / 70
Screw torque	max. Nm	900 / 1000 / 1100	1510 / 1640 / 1920
Nozzle contact force	max. kN	70	90
Nozzle retraction stroke	max. mm	400	500
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	19,3 / 7	21,9 / 7
Installed nozzle heating power	kW	0,6	1
Machine dimensions and weights of the basic machine			
Net weight	aprox. kg	14800	16000
Electrical connection (pre-fused) ²⁾⁴⁾⁶⁾	Motor + Heating A	160	---
	Motor A	125	200
	Heating A	35	35

1) 1st figure: clamping force (kN).

2nd figure: max. dosage volume (cm³) x max. injection pressure (kbar).

2) Values refer to 400 V/50 Hz. The load is symmetrically distributed on three phases. The specified value applies to the basic machine.

One or two separate supply lines can be connected as an option (motor + controller/heating). Through options the connection value can be higher.

3) According to EUROMAP for basic machine.

4) Depending on number of axis drives.

5) Deviations are possible depending upon process settings and material type.

6) Certain combinations of additional machine equipment can make two separate supply lines absolutely necessary.

These technical data specifications refer to the state at the time of printing. We reserve the right to modify specifications in the interest of a continuous program of further development.