

Konstrukční návrh vstřikovací formy

Přemysl Vaculín

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:	Přemysl Vaculín
Osobní číslo:	T18228
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Konstrukční návrh vstřikovací formy

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Proveďte konstrukci 3D modelu vstřikovaného plastového dílu.
3. Navrhnete 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:

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

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

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

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

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, 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

Bakalářská práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro plastový díl do světlometu automobilu. Práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou. Teoretická část se zabývá popisem problematiky technologie vstřikování a zásadami konstrukce vstřikovacích forem. V praktické části jsou zmíněny základní charakteristiky materiálu, ze kterého je výstřik vyroben. Převážná část je věnována samotné konstrukci vstřikovací formy. V seznamu příloh je přiložena výkresová dokumentace.

Konstrukce vstřikovací formy je provedena v programu Catia V5R19 s využitím normálií od firmy Meusburger.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, výrobky z plastů, konstrukce formy.

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with the construction of an injection mold for a plastic part in a car headlight. This work is divided into two parts, theoretical and practical. The theoretical part describes an injection molding technology and the principles of construction of injection molds. The practical part describes the basic characteristics of the material from which the product is made. The major part is devoted to the construction of the injection mold itself. Drawing documentation is attached to the list of attachments.

The construction of the injection mold is performed in the Catia V5R19 program using standards from the Meusburger company.

Keywords: injection molding, injection mold, plastics products, mold construction.

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Václavu Janošíkovi, Ph.D., za jeho odborné vedení a pomoc při psaní této práce.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 VSTŘIKOVÁNÍ	11
1.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	11
1.1.1 Strojní časy	12
1.1.2 Doba vstřikování	12
1.1.3 Doba dotlaku	13
1.1.4 Doba plastikace	14
1.1.5 Doba chlazení.....	14
1.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	15
1.2.1 Vstřikovací jednotka	16
1.2.2 Uzavírací jednotka	16
1.2.3 Vstřikovací tryska	16
1.3 POLYMERNÍ MATERIÁLY VHODNÉ PRO VSTŘIKOVÁNÍ	17
1.3.1 Termoplasty.....	17
1.3.2 Reaktoplasty	19
1.3.3 Elastomery.....	19
1.3.4 Termoplastické elastomery	19
1.4 VADY VZNIKAJÍCÍ PŘI VSTŘIKOVÁNÍ.....	20
2 VSTŘIKOVACÍ FORMA	24
2.1 RÁM FORMY	24
2.2 VTOKOVÉ SYSTÉMY	25
2.2.1 Studené vtokové systémy	26
2.2.2 Horké vtokové systémy	27
2.3 TEMPERAČNÍ SYSTÉMY.....	28
2.4 ODVZDUŠŇOVACÍ SYSTÉMY	30
2.5 VYHAZOVACÍ SYSTÉMY.....	31
2.5.1 Mechanické vyhazování.....	31
2.5.2 Hydraulické vyhazování.....	33
2.5.3 Vzduchové vyhazování	33
2.6 MATERIÁLY VHODNÉ PRO VÝROBU VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	34
II PRAKTICKÁ ČÁST	35
3 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	36
4 POUŽITÝ SOFTWARE	37
4.1 CATIA V5R19	37
4.2 DATABÁZE NORMALIZOVANÝCH DÍLŮ MEUSBURGER	37
4.3 DATABÁZE NORMALIZOVANÝCH DÍLŮ HASCO	37

5	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	38
5.1	MATERIÁL VÝSTŘIKU	38
5.2	NÁSOBNOST FORMY	39
5.3	VÝPOČTY PRO VÝBĚR VSTŘIKOVACÍHO STROJE	40
	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	41
6	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	42
6.1	ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU	42
6.2	VTKOVÝ SYSTÉM	43
6.3	KONSTRUKCE TVAROVÝCH ČÁSTÍ	44
6.4	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	45
6.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	47
6.6	RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY	48
6.7	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	51
6.8	TRANSPORT FORMY	51
	ZÁVĚR	52
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	53
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	55
	SEZNAM OBRÁZKŮ	56
	SEZNAM TABULEK.....	58
	SEZNAM PŘÍLOH.....	59

ÚVOD

Konvekční materiály, jako je dřevo nebo kov, jsou v poslední době nahrazovány polymerními materiály. Polymerní materiály se dají zpracovávat různými technologiemi. Nejčastěji využívanou technologií je vstřikování. Tato technologie umožňuje vyrobit výrobky s vysokou přesností a velmi kvalitním povrchem. Technologie vstřikování polymerních materiálů se ve značné míře využívá z důvodu efektivity výroby a nízké ceny vstřikovaných dílů. V automobilovém průmyslu je například polymerními materiály nahrazováno sklo pro použití ve světlometech.

Aby byl vyroben výrobek požadovaných vlastností a rozměrů, je nejprve nutné vyrobit vstřikovací formu. Výroba vstřikovací formy je z hlediska výroby velmi složitý a cenově nákladný proces. Vstřikovací forma musí zohledňovat všechny požadavky na výrobek.

Cílem bakalářské práce bude návrh formy pro výrobu součástky do světlometu automobilu. Díl a forma budou modelovány v CAD programu CATIA V5 2020.

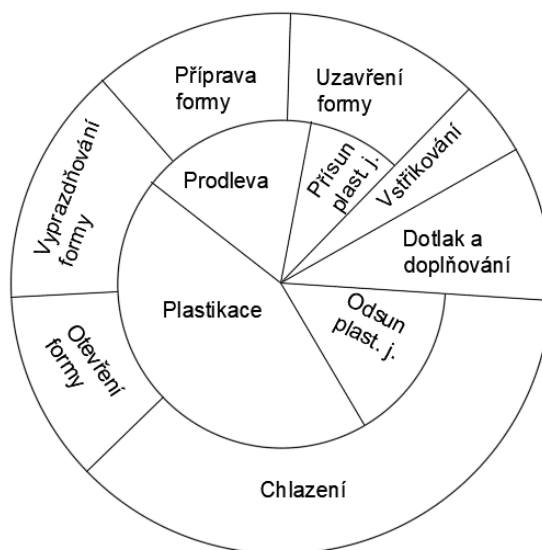
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je cyklický tvářecí proces, při kterém se materiál v plastickém stavu přivádí do uzavřené dutiny kovové formy za vysoké rychlosti a tlaku. Dutina kovové formy může udávat tvar konečného výrobku anebo tvar polotovaru. Vstřikování patří mezi nejdůležitější procesy zpracování plastů. Až 30 % termoplastů se vyrábí touto metodou. Mezi hlavní výhody vstřikování se řadí schopnost vyrobit náročné součásti s vysokou přesností a s velmi kvalitním povrchem. Naopak mezi nevýhody patří např. vysoké finanční náklady na vstřikovací zařízení a složitost výroby kvalitních forem pro vstřikování. [1,2]

1.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus se skládá z několika po sobě jdoucích operací (Obr. 1). Nejprve dochází k nasypání granulí do násypky, ze které je materiál odebírán do pracovní části stroje. K odebírání granulátu dochází za pomoci šneku. Následně je materiál dopraven do plastikační komory, kde působením tepla a tření vzniká tavenina. Dále je tavenina vstřikovaná do dutiny formy. Tavenina celou dutinu formy zaplní a získá finální tvar a objem. Po zaplnění formy následuje dotlak. Dotlak slouží k uchování rozměrů a má zabránit velkému smrštění. Doba chlazení u většiny vstřikovaných výrobků je zhruba 60 % z celkového času cyklu. Po chlazení se forma otevře a výstřik je z formy vyhozen pomocí vyhazovačů. Celý proces se neustále opakuje. [1,3,4,5]



Obr. 1: Schéma vstřikovacího cyklu [5]

1.1.1 Strojní časy

Do strojních časů se řadí zavření vstřikovací formy, přisunutí a odsunutí vstřikovací jednotky a otevření vstřikovací formy. Délka strojních časů závisí na rychlosti práce a pohybů vstřikovacího stroje vztažená k dráze, kterou musí vstřikovací forma urazit. Aby byl výstřik z formy bez problému vyjmut, musí být dráha dostatečně velká. Forma se po celé dráze nepohybuje konstantní rychlostí. Velkou rychlostí se pohybuje při zavírání, ale těsně před dosednutím se rychlost zmenší z důvodu měkkého dosednutí formy. U otevírání formy je to obdobné, jen rychlost se sníží u dorazu, aby vyhození výstřiku proběhlo pomalu.

V současné době se snaží výrobci strojů zkrátit strojní časy na minimum, např. zvýšením rychlosti pohybu vstřikovacího stroje. [1,7,9]

1.1.2 Doba vstřikování

Doba vstřikování musí proběhnout ve velmi krátkém časovém úseku (od zlomku sekundy až řádově k jednotkám sekund), aby nedocházelo k zatuhnutí čela taveniny vstřikovaného polymeru. Rychlost vstřikování (rychlost pohybu šneku vpřed) ovlivňuje dobu plnění dutiny formy. Doba vstřikování je závislá na velikosti a tvaru výstřiku; materiálu, který je vstřikován; vtokovém systému a technologických podmínkách. Délka vstřikování se odvíjí od velikosti a náročnosti výstřiku.

Je důležité zvolit optimální vstřikovací rychlost, kterou je možné určit z tzv. viskózní křivky. Špatně zvolená rychlost vstřikování může vést k výrazným změnám viskozity. Větší vstřikovací rychlost má za následek lepší tekutost taveniny a větší orientaci makromolekul. Při velmi vysoké vstřikovací rychlosti může dojít k degradaci a vzniku dalších vad, které znehodnocují konečný výrobek. [1,2,9]

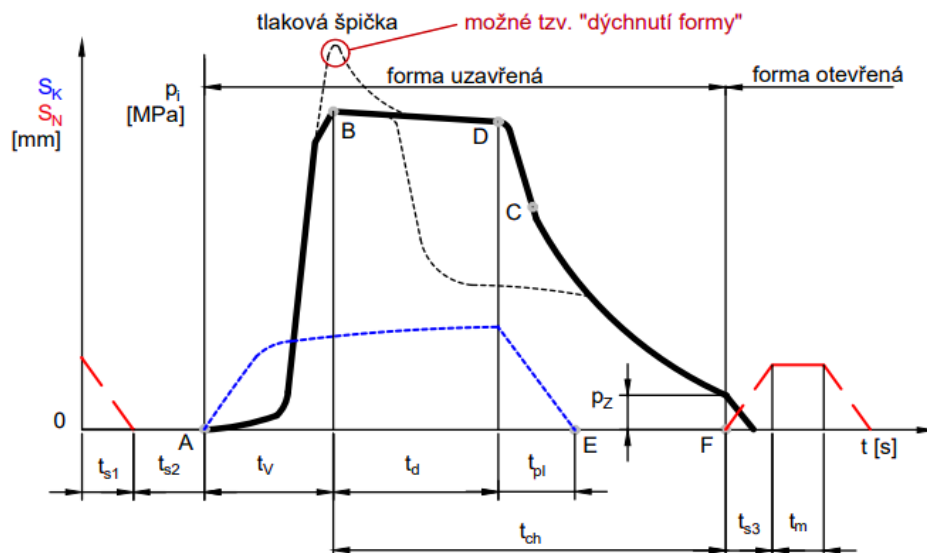
1.1.3 Doba dotlaku

Po vstříknutí taveniny do dutiny formy následuje dotlak. Tím se rozumí stlačení hmoty v dutině formy, kdy tlak prudce stoupne a rychlost klesne. Pokud by se tak nestalo, mohlo by dojít ke zvětšení hmotnosti a rozměrů výstřiku a k velkému namáhání formy, při kterém by mohlo dojít ke vzniku velkého pnutí ve výrobku, k prasknutí formy, anebo k pružnému prohnutí formy, tzv. dýchnutí (Obr. 2). Aby nedocházelo k těmto jevům, sníží se vstřikovací tlak, přepne se na tzv. dotlak.

Způsoby, kterými se přepne na dotlak:

- podle dráhy šneku,
- podle vstřikovacího času,
- podle tlaku ve formě,
- podle tlaku v hydraulice,

Pokud se přepne na dotlak pozdě, tlak stoupne příliš vysoko a dojde k jevům, které byly popsány výše. Naopak při předčasném přepnutí může vzniknout nedostříknutý výrobek. Dotlak má zásadní vliv na výsledné vlastnosti výstřiku (hmotnost a kvalita výrobku). [1,7]



Obr. 2: Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během vstřikování [1]
 S_K – pohyb šneku, S_N – pohyb nástroje

1.1.4 Doba plastikace

Plastikace je proces, při kterém dochází k zplastikování polymeru a k homogenizaci taveniny. Zhomogenizovaná tavenina je dopravena před čelo šneku, tzv. polštáře. K plastikaci a homogenizaci dochází působením tepla, které je dodáváno ze 30 % z elektrického odporového topení a ze 70 % z tření hmoty při hnětení. Při plastikaci je potřebné dosáhnout požadované teploty taveniny, která je specifická pro každý materiál a má vliv na viskozitu taveniny, velikost tlaku ve formě, dobu vstřikování, dotlaku a chlazení.

Objem zplastikované dávky taveniny polymeru zajišťuje jak naplnění dutiny vstřikovací formy, tak naplnění vtokového systému, ale také objem taveniny polymeru pro kompenzaci změny objemu, ke které dochází v důsledku smrštění. Velikost objemu taveniny polymeru je dána součtem objemů dutiny vstřikovací formy, objemem vtokových systémů a objemem polštáře.

Doba plastikace neovlivňuje délku výrobního cyklu, jelikož k plastikaci dochází během fáze chlazení vstřikovacího cyklu. Při chladnutí výstřiku dochází k přípravě potřebného množství taveniny polymeru pro následující výrobní cyklus. [1,7]

1.1.5 Doba chlazení

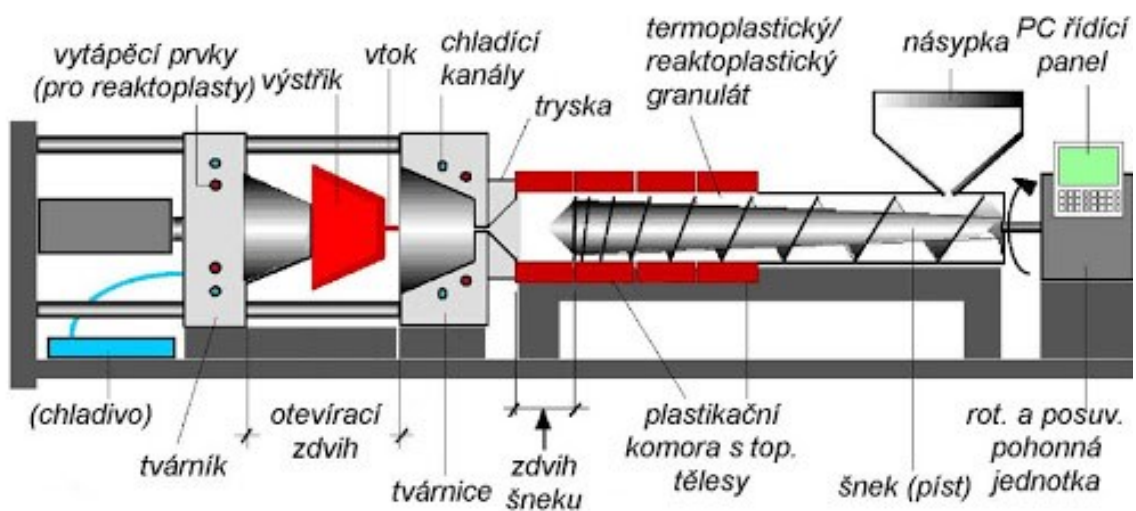
Doba chlazení zabírá největší část vstřikovacího cyklu. Doba chlazení se pohybuje od několika sekund po několik minut. Délka chlazení se odvíjí od velikosti a složitosti výstřiku, druhu vstřikovaného materiálu, teploty taveniny a teploty formy. K chlazení taveniny dochází v dutině formy obvykle průtokem chladícího média. Z ekonomického pohledu by měla být doba chlazení co nejkratší, ale zároveň by neměla ovlivňovat konečné a užité vlastnosti výstřiku.

Chlazení výstřiku započne během fáze vstřikování a pokračuje během dotlaku. Fáze chladnutí má významný vliv na strukturu výstřiku, zejména na orientaci makromolekul, krystalizaci a vnitřní pnutí, ale i na kvalitu povrchu. [1,7]

1.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj (*Obr. 2*) slouží ke zpracování polymeru, který je nejčastěji v podobě granulí. Současné vstřikovací stroje jsou plně automatické a díky této vlastnosti jsou velmi produktivní. Pořizovací cena vstřikovacího stroje bývá z pravidla vysoká, tudíž tato technologie není vhodná pro malovýrobu, ale spíše se uplatňuje ve velkovýrobě. Vstřikovací stroje se dělí podle [4,5]:

- Podle pohonu (hydraulické, elektrické, hybridní).
- Podle posuvu desky (horizontální, vertikální a kombinovaný).
- Podle typu vstřikovaného polymeru (termoplasty, reaktoplasty nebo elastomery).
- Podle počtu šneků (jednošnekové, vícešnekové).



Obr. 3: Schéma vstřikovacího stroje [1]

1.2.1 Vstříkovací jednotka

Vstříkovací jednotka má za úkol daný polymer ohřát na teplotu, při které přechází na taveninu a je možné ho vstříkovat do dutiny formy. Další úkol vstříkovací jednotky je dopravit taveninu za velké rychlosti a tlaku do formy.

Mezi hlavní části vstříkovací jednotky se řadí tavící komora, vstříkovací tryska, ohřev a šnek vstříkovacího stroje. Nejvíce používané vstříkovací jednotky jsou se šnekem, který koná rotační a posuvný pohyb. Pohyb šneku je zajištěn pomocí posuvné konzoly, jejímž úkolem je přisunovat trysku vstříkovací jednotky ke vtokové vložce vstříkovací formy a vybudovat a udržet potřebnou přitlačnou sílu. Konstrukce vstříkovací jednotky by měla být navržena, tak aby byl dopravovaný materiál co nejsnadněji a nejrychleji dopraven do dutiny formy. [1,8]

1.2.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka slouží k zprostředkování požadovaného pohybu formy, a především k uzavření formy dostatečnou uzavírací silou. Rychlost a sílu uzavírání formy lze nastavit. Síla potřebná k uzavření formy je vyvolána mechanicky, hydraulicky, anebo kombinací mechanické a hydraulické síly. Mezi základní prvky uzavírací jednotky patří: opěrná deska pohyblivá deska, vodící sloupky a upínací deska. Velmi důležitou součástí uzavírací jednotky je vyhazovací systém formy. [4,6]

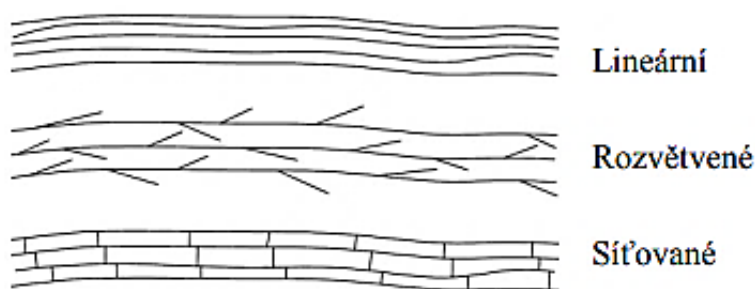
1.2.3 Vstříkovací tryska

Vstříkovací tryska zajišťuje spojení vstříkovací formy a vstříkovací jednotky. Vstříkovací jednotka má funkci přesného usazení vstříkovací jednotky do vtokové vložky formy. Důležitá je přitlačná síla, která působí na trysku, aby nedocházelo k únikům taveniny mezi vstříkovací jednotkou a vtokovou vložkou. Tryska se může rozdělit na vstříkovací trysku s rádiusem na konci špičky nebo na trysku bez rádiusu. Rádus na špičce trysky se používá v případě, kdy dochází ke vstříkování do vtokové vložky. K trysce bez rádiusu na špičce se přikláníme tehdy, pokud dochází ke vstříkování do dělicí roviny. Rádus by působil na dělicí rovinu jako klín a rozevíral by ji. [8]

1.3 Polymerní materiály vhodné pro vstřikování

Polymerní materiály jsou vysokomolekulární látky, které jsou tvořeny velkými molekulami – makromolekulami. Makromolekuly vznikají spojením velkého počtu opakujících se částí – merů. Mery jsou zůstatky monomerů.

Polymerní materiály jsou tvořeny dlouhými makromolekulárními řetězci. Složení meru a délka řetězce udávají vlastnosti polymerního materiálu. Řetězce makromolekul mají různé tvary a podle tvaru se dělí na: [10,11]



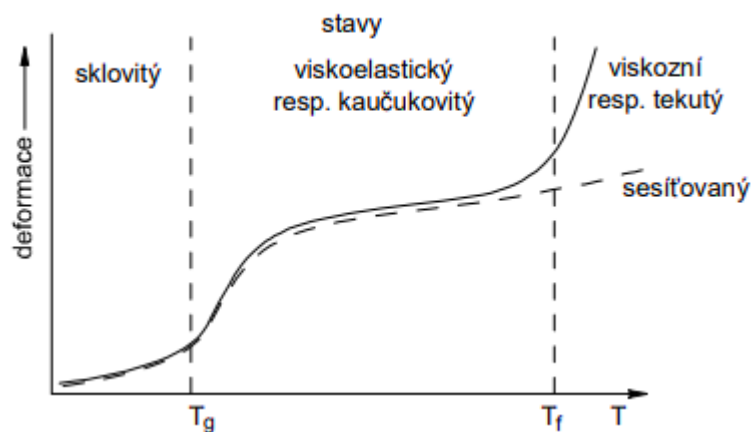
Obr. 4: Rozdělení polymerů podle řetězce [11]

1.3.1 Termoplasty

Termoplasty při zahřátí měknou (přechod do plastického stavu) a jdou snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Ochlazením pod teplotu tání přechází do tuhého stavu. U termoplastů nedochází při ohřívání k žádným změnám v chemické struktuře, proto proces měknutí a tuhnutí lze provádět teoreticky do nekonečna.

Do termoplastů patří větší množství zpracovatelských polymerů jako například: polypropylen (PP), polystyren (PS), polyethylen (PE), polyvinylchlorid (PVC), polymethylmethakrylát (PMMA), polyoxymethylen (POM) a další. Termoplasty se rozdělují podle struktury na:

- **Amorfni** – Řetězce amorfních polymerů mají nahodilou konformaci, skládají se ze vzájemně propletených klubek. Zapletení klubek vzrůstá s rostoucí molekulovou hmotností a ovlivňuje vlastnosti polymeru jak v pevném stavu, tak v tavenině. Tepelný pohyb jednotlivých segmentů, ze kterých jsou amorfni polymery složeny, snadněji překonává mezimolekulární síly. Obr. 5 zobrazuje tři oblasti chování amorfniho polymeru.



Obr. 5: Tři oblasti chování amorfniho polymeru [9]

T_g – teplota skelného přechodu; T_f – teplota tečení

Stav sklovitý – Nachází se pod T_g . Jednotlivé segmenty se nepohybují. K tepelnému pohybu dochází pouze pomocí vibrací, rotací a osilací atomů a malých skupin.

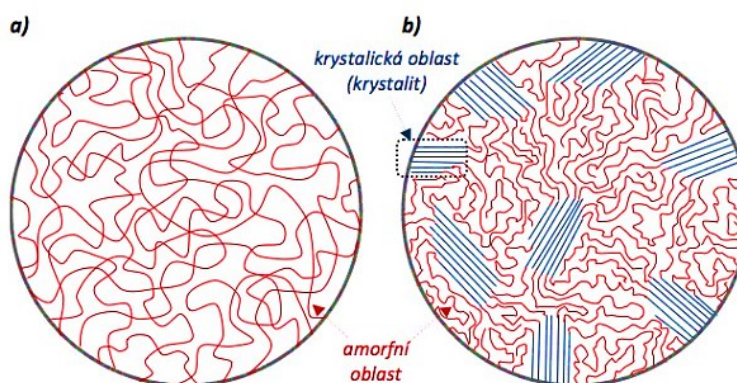
Polymer se při nárazu chová křehce.

Stav viskoelastický – Nachází se mezi T_g a T_f . Nad T_g se začíná uvolňovat tepelný pohyb segmentů. Polymer se při nárazu chová pružně, zpožděně pružně a houževnatě. Kaučuky se chovají viskoelasticky.

Stav viskózní – Nachází se nad T_f . Jednotlivé segmenty překonávají mezimolekulární síly a účinkem vnější síly následně polymer teče.

- **Semikrystalické** – Semikrystalické polymery se vyznačují uspořádaným uložením řetězců v prostoru. Při zvyšující se teplotě je pohyb segmentů blokován až do teploty tání (T_m), kdy se uspořádaný systém rozpadá a vzniká tavenina. Jedná se o fázový přechod 1. řádu.

Semikrystalické polymery obsahují jak fázi krystalickou, tak fázi amorfní, neboť reálně neexistuje čistý krystalický stav polymeru (Obr. 6). Rozložení těchto fází v prostoru závisí na obsahu krystalické fáze. [1,9,11,12]



Obr. 6: Schéma nadmolekulární struktury polymerů [12]
a) amorfní; b) semykrytalické

1.3.2 Reaktoplasty

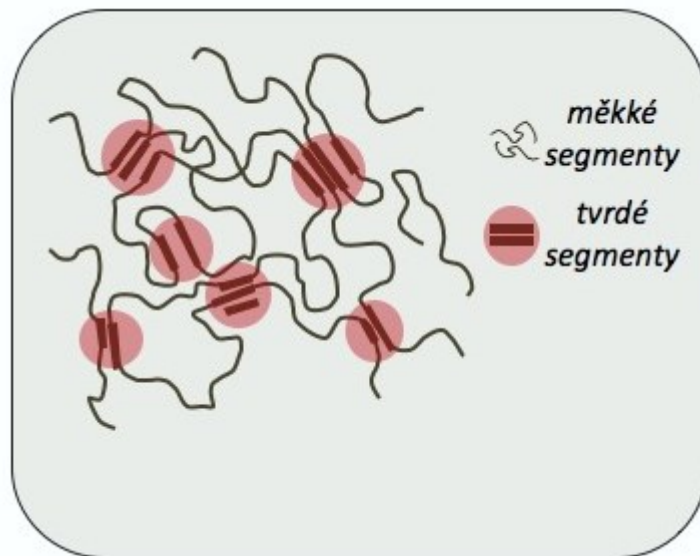
Reaktoplasty neboli termosety jsou polymery, které se dají tavit a tvarovat jen určitou dobu po zahřátí. Při dalším zahřívání dochází k chemickým reakcím – vytvrzování (prostorovému zesíťování struktury). Vytvrzené plasty nejdou opakovaně rozpustit ani roztavit, při dalším ohřevu by došlo k rozpadu (degradaci) výrobku. Do reaktoplastu se řadí fenolformaldehydové hmoty, polyesterové hmoty, epoxidové pryskyřice, a další. [1,11,12]

1.3.3 Elastomery

Elastomery se chovají rovněž při ohřívání jako reaktoplasty, které při zahřívání měknou a jdou tvářet, ale jen po určitou dobu. Při dalším zahřívání dochází k chemické reakci – vulkanizaci (prostorovému zesíťování struktury). Při dalším ohřevu elastomery pouze degradují. [1,11]

1.3.4 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery jsou materiály, které se vyznačují jednoduchou zpracovatelností termoplastů a fyzikálními vlastnostmi elastomerů. Vlastnosti těchto materiálů jsou zapříčiněny přítomností tvrdých a měkkých segmentů, které jsou vzájemně nemísitelné. Měkké segmenty jsou pohyblivé a jejich důsledkem je vysoká elasticita materiálu. Tvrdé segmenty tuto pohyblivost omezují a vytvářejí chemické vazby. [12]



Obr.7: Schéma struktury termoplastického elastomeru [12]

1.4 Vady vznikající při vstřikování

Technologie vstřikování je komplikovaný proces, při kterém rozhoduje mnoho faktorů. I přes značné znalosti v této problematice může docházet k různým vadám. Vady se dělí na:

- Zjevné (vady, které jsou viditelné).
- Skryté (vady, které nejdou vidět, ale mají vliv na vlastnosti výstřiku).

Přestříky, přetoky

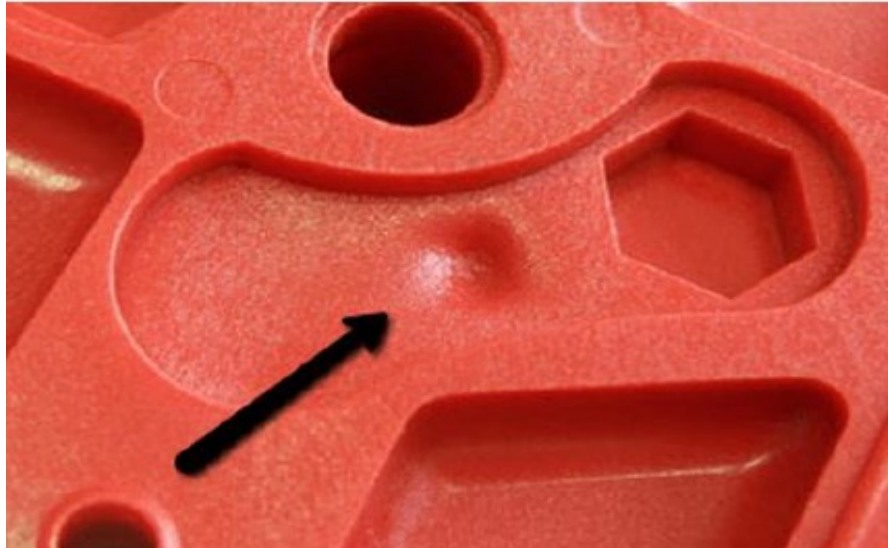
Příčiny: Vysoký index toku taveniny, vysoký vstřikovací tlak, vysoká vstřikovací rychlost, vysoká teplota vstřikovací formy, vysoká teplota taveniny, špatné uzavírání formy příčinou nepřesné dělicí roviny, znečištěná nebo poškozená dělicí rovina, předimenzování odvzdušňovacího systému.

Nedostříknuté výrobky

Příčiny: Vysoká viskozita taveniny, nízký vstřikovací tlak, nízký dotlak, nízká teplota taveniny, nízká teplota formy, nízká vstřikovací rychlost, nízká dávka taveniny, nevhodně navržený vtokový nebo temperační systém, nevyhovující plastikační výkon.

Propadliny, lunkry

Příčiny: Nízký index toku taveniny, netěsnící uzávěr šneku, předčasné zatuhnutí taveniny v trysce, nízká teplota formy nebo taveniny, nízká doba ochlazování výstřiku, malá dávka granulátu, nízký protitlak, zatékání taveniny na trysce, malý plastikační výkon, nedostatečně naddimenzovaný vtokový systém.



Obr. 8: Propadlina na výrobku [13]

Studené spoje

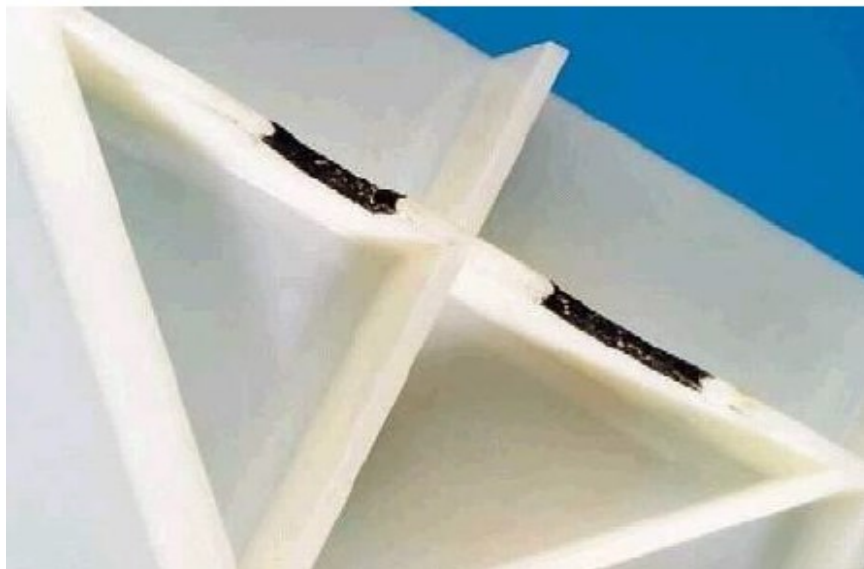
Příčiny: Poloha ústí vtoku je nevhovující, nízká vstřikovací rychlost, nízká teplota formy nebo taveniny, nevhodně navržený vtokový systém, nedostatečná uzavírací síla vstřikovacího stroje, nevhovující odzdušnění v místě vtoků více proudů tavenin.



Obr. 9: Studené spoje na výrobku [13]

Spálení materiálu zapříčiněné kompresí vzduchu (dieseľefekt)

Příčiny: Nízká viskozita taveniny, vysoká uzavírací síla vstřikovacího stroje, vysoká vstřikovací rychlost, vysoký objemový průtok, nevhodně zvolená poloha vtokového ústí, špatné odvzdušnění formy.



Obr. 10: Dieseleľefekt na výrobku [13]

Šmouhy

Příčiny: Nedostatečně očištěný granulát nebo drť, vysoká vstřikovací rychlost nebo teplota taveniny, nevhodně zvolený systém horkých vtoků, nevhodná plastikační jednotka (tvoří tzv. mrtvé kouty).

Stopy vlhkosti

Příčiny: Vlhkost granulátu, drtě nebo recyklátu; špatné skladování granulátu (v chladu nebo vlhku).

Deformovaný výstřik při jeho vyhození z formy

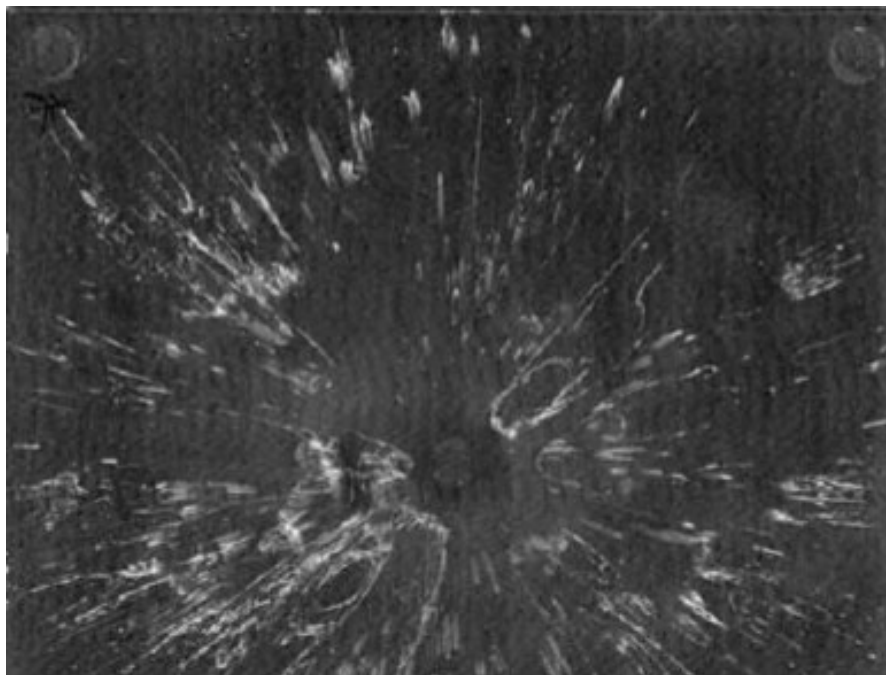
Příčiny: Brzké vyhození výstřiku z formy (nedostatečné chlazení); špatně zvolený vyhazovací systém (nepůsobí současně); svírání výstřiku při jeho vyhození; nízká uzavírací síla stroje; rozdíly v tloušťce stěn, které vyvolávají rozdílné rychlosti toku v dutině formy (smrštění).

Bublinky

Příčiny: Vlhkost granulátu, vysoká teplota taveniny, vysoká vstřikovací rychlost, netěsnost vstřikovací jednotky, nevhodně zvolená vtoková soustava, rozměry odvzdušňovacích kanálků jsou nevyhovující.

Stříbření

Příčiny: Nedostatek vnitřního maziva, vysoká teplota taveniny, vysoké otáčky šneku, vysoký protitlak, vysoká vstřikovací rychlost, malý průměr vstřikovací trysky, nevhodná volba ústí vtoku, nedostatečná regulace horkých rozvodů a trysek. [6,11.13]



Obr. 11: Stříbrné pruhy na výrobku [13]

2 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je sestavena z mnoha dílů. Jejím hlavním úkolem je dát tavenině výsledný tvar a zchladit ji do tuhého stavu. Tvar výstřiku určuje dutina formy, důležité je zohlednit smrštění polymeru. Další funkce formy jsou odvod tepla přivedeného z taveniny a rychlé a bezpečné vyhození výstřiku. Forma musí odolávat velikým silám, které mohou způsobit otevření nebo poškození vstřikovací formy.

Forma by měla odpovídat těmto parametrům:

- Vysoká přesnost opracování funkčních ploch.
- Vysoká životnost použitých materiálů.
- Vhodně zvolený vtokový systém, vyhazovací systém, temperace atd.
- Vysoká pevnost a tuhost formy.
- Bezporuchovost formy. [2,11,14]

Dělení forem:

- Dle zaformování (dvoudeskové, třideskové, etážové, vytáčecí apod.).
- Dle násobnosti formy (jednonásobné a vícenásobné).
- Dle konstrukce vstřikovacího stroje (vstřikování probíhá kolmo na dělicí rovinu nebo se vstřikuje do dělicí roviny). [4]

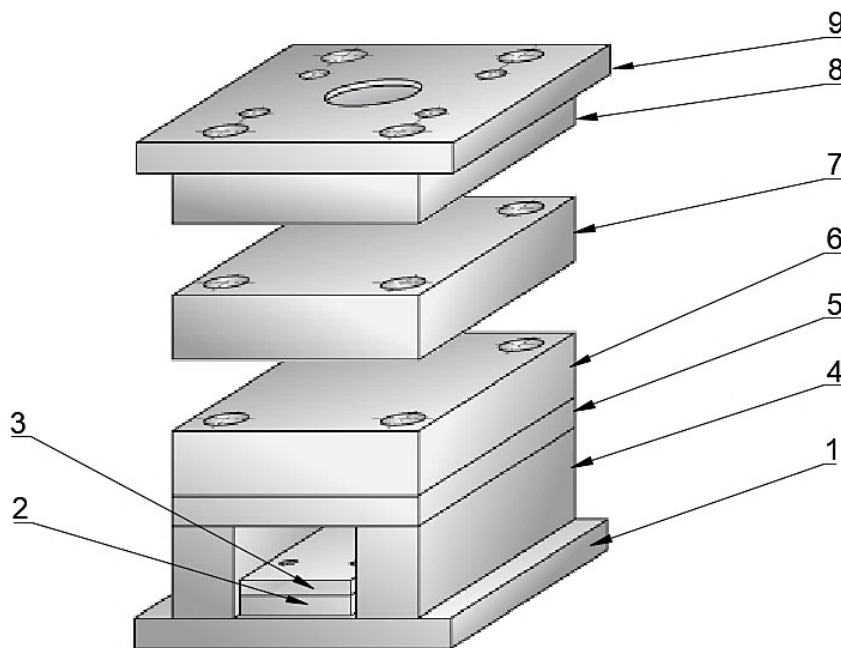
2.1 Rám formy

Rám forem se skládá z desek, vodících a středících prvků a spojovacích prvků. V rámu formy se nachází tvarová dutina a tvarové části. Rám formy je rozdělen na dvě části, jedna část je pohyblivá, druhá nepohyblivá.

Rámy musí dodržovat určité podmínky:

- Přesné dosednutí na vstřikovací lis.
- Správné a spolehlivé upnutí.
- Pohyb pohyblivých částí formy musí být přesný.
- Jednoduchost a spolehlivost, co se týče tvarových a funkčních prvků.
- Správná funkce systému (temperačního, vyhazovacího apod.).

Rámy forem jsou odlišné v závislosti na tvaru vstřikovaného dílu. Pro formy se ve většině případů používají standardizované díly od výrobců jako Hasco, anebo Meusburger, neboť se vyplatí z ekonomických důvodů. [2,11,16]



*Obr. 12: Schéma rámu vstřikovací formy [15]
 1- upínací deska levá, 2- opěrná deska vyhazovací,
 3- kotevní deska vyhazovací, 4- rozpěrná deska, 5- opěrná deska,
 6- formovací deska levá, 7- formovací deska pravá,
 8- opěrná deska pravá, 9- upínací deska pravá*

2.2 Vtokové systémy

Hlavním cílem vtokové soustavy je zajistit přesun taveniny polymeru z plastikační jednotky do dutiny vstřikovací formy. Vtokový systém musí zajišťovat rovnoměrné a co nejrychlejší naplnění dutiny vstřikovací formy, jednoduché odtržení od výstřiku, a především nenáročné vyhození vtokového zbytku z formy. U vícenásobných forem je důležité, aby byly tvarové dutiny zaplněny současně a aby teplota taveniny a tlak byly neměnné.

Umístění tvarových dutin u vícenásobných forem se uspořádává do hvězdy nebo v řadě. V případě umístění v řadě se musí řešit korekce ústí vtoků. Korekce ústí vtoků se řeší změnou rozměrů rozváděcích kanálů směrem k více vzdáleným dutinám formy. Uspořádání do hvězdy se jeví jako lépe řešené, neboť k zaplnění jednotlivých dutin forem dochází ve stejný čas a při konstantním tlaku. Vtokové systémy rozdělujeme na studený nebo horký systém. [1,11,17]

2.2.1 Studené vtokové systémy

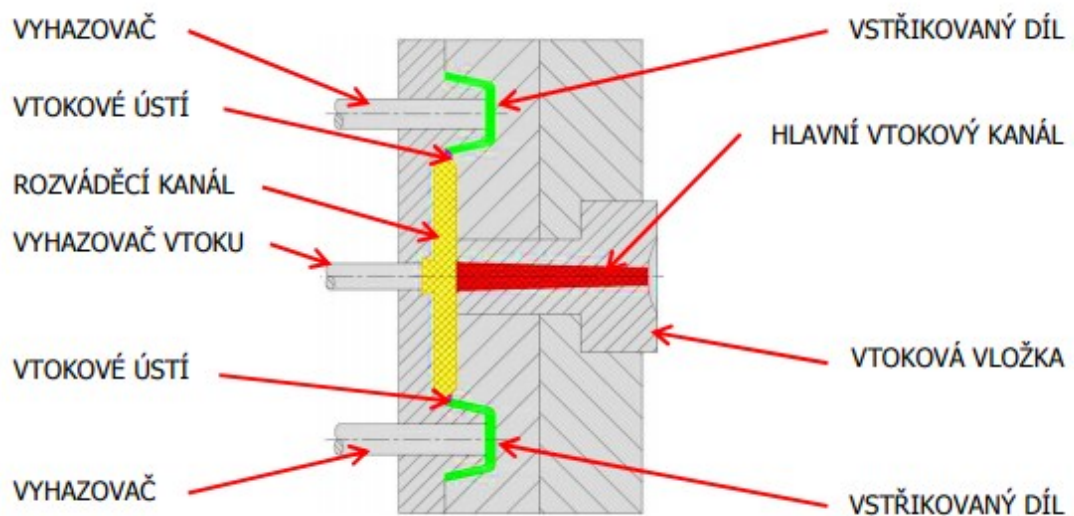
Při použití technologie studených vtokových systémů se ve formě nenachází vyhřívaná tryska. Tavenina, která směřuje ze stroje do formy, se dostává do nevyhřátého rozváděcího systému formy a začíná okamžitě chladnout. Výhodou studených vtokových systémů je nižší cena oproti horkým vtokovým systémům. Nevýhodou studených vtokových systémů je velké množství zbytkového materiálu, který se spotřebuje na vyplnění vtokového systému. Vtokový zbytek je bez využití vyhozen. V některých případech je možné zbytkový materiál rozdrtit a použít ho na další vstříkovaní.

Studený vtokový systém se skládá z:

- Vtokového kužele.
- Rozváděcího kanálku.
- Vtokového ústí.
- Přidržovače vtoku.

Obecné zásady při konstrukci studeného vtokového systému:

- Co nejkratší vzdálenost toku taveniny ze vstříkovacího stroje do dutiny formy, nejlépe bez tlakových a časových ztrát.
- Vhodná volba průřezu vtokových kanálků, určuje se podle použitého polymeru a vzdálenosti vtokové soustavy.
- Kruhový průřez kanálku je nejvhodnější, ale z výrobních důvodů se často volí lichoběžníkový tvar, který je jednodušší.
- Ostré hrany vtokových kanálků se zaoblí minimálně na $R = 1 \text{ mm}$.
- U přidržovače vtoku používat podkoso a dodržení minimálních úkosů $1,5^\circ$.
- Leštění kanálu na $Ra = 0,2$.
- Na zachycení studeného čela použít jímky. [2,11,18]



Obr. 13: Schéma studeného vtoku [18]

2.2.2 Horké vtokové systémy

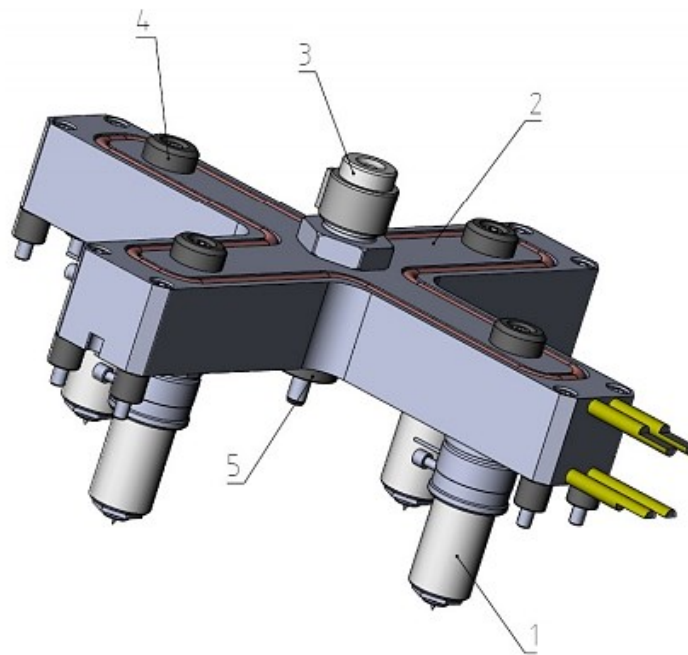
Horké vtokové systémy udržují taveninu při konstantní teplotě během vstřikování do dutiny formy. Tímto se zachová viskozita taveniny.

Výhodami horkého vtokového systému jsou:

- Vstřikování dílů s menší tloušťkou stěny.
- Eliminace množství odpadu z vtokového systému (až o 50 %).
- Kratší vstřikovací čas.
- Menší náklady na dokončení, nemusí se odstraňovat vtokové zbytky
- Regulace teploty a jednoduchá výměna poškozeného systému.

Nevýhodami jsou:

- Nelze uplatnit na všechny aplikace.
- Náročnost celého systému, nevyplatí se u malých sériích.
- Velké pořizovací náklady na formu. [2,11,17]



Obr. 14: Systém horkých trysek s trámecem [2]

1 – horká tryska; 2 – vyhřívavý trámec; 3 – vtoková vložka; 4 – podložka;
5 – středící kroužek

2.3 Temperační systémy

Úkolem temperačního systému je udržení konstantní teploty ve vstřikovací formě. Ve vstřikovací formě jsou vyvrtané kanálky, kterými proudí chladící médium. Temperace má vliv i na zaplnění tvarové dutiny, chlazení a tuhnutí polymeru. Pokud bude výstřik nerovnoměrně chlazen, může dojít k deformaci nebo k různým povrchovým vadám. Při vstřikování je důležité odvádět teplo a dodržet požadovanou teplotu pro každý další cyklus. Na délku chlazení a celkovou cenu dílce má výrazný vliv temperační systém. [1,11,19,20]

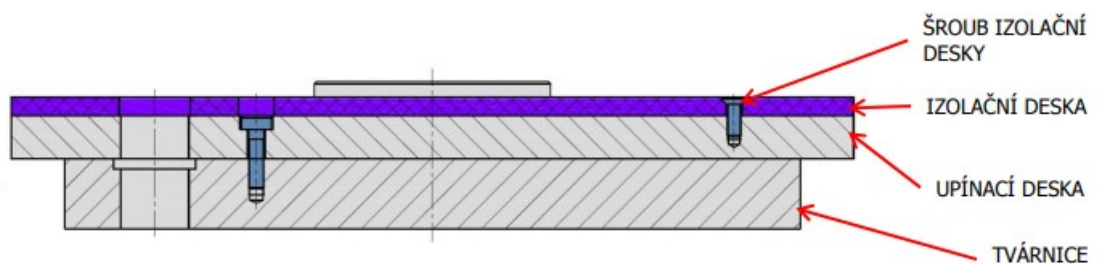
Temperace se dělí do dvou skupin:

- **Pasivní temperace** – Tento systém kombinuje tepelně vodivé a izolační materiály. Temperace tepelně vodivými materiály jsou určeny pro špatně dostupná místa jako např. tenké tvárníky. Tyto tvárníky mají malou plochu na odvod tepla, a tak musí být vyrobeny z vodivých materiálů. U forem, které se musí předehřát na požadovanou teplotu, se používají izolační materiály. V důsledku úniku tepla musí být formy zaizolované. K izolaci se používají především izolační desky, které neslouží pouze k izolaci upínacích desek, ale také boků formy na tvárníku a tvárnici.

- **Aktivní temperace** – Jedná se o temperaci, která za pomoci média odvádí nebo přivádí teplo do vstřikovací formy. Médium jako voda, vzduch, olej, pára, anebo glykoly, proudí kanálky ve formě. Podle potřeby se temperují obě části formy, pohyblivá i nepohyblivá. [19]

Zásady pro temperační systém:

- Optimální vzdálenost kanálu od tvarové dutiny formy, kvůli zachování tuhosti.
- Teplo musí být odváděno z vtoků vstřikovací formy.
- U chlazení musí médium proudit od nejteplejšího místo k nejchladnějšímu (u ohřívání naopak).
- Kanálky se volí kruhového průřezu kvůli nákladnosti na výrobu, je možnost vyrobit i jiné průřezy.
- Uspořádání kanálů se volí podle tvaru výstřiku.
- Nesmí se vytvářet mrtvé kouty, ve kterých se usazují nečistoty – vznik koroze.
- Kanály by neměly být menší než 6 mm, hrozí ucpání temperačního systému. U menších kanálů, než je 6mm je za potřebí použít upravenou vodu.
- Vysoké účinnosti temperačního systému dosáhneme pravidelným čištěním kanálu a použitím nerezových materiálů. [21,22]



Obr. 15: Schéma upevnění izolační desky na upínací desku [19]

2.4 Odvzdušňovací systémy

Odvzdušňovací systémy slouží k odstranění vzduchu z dutiny formy. Primární funkcí odvzdušňovacího systému je uvolnění vzduchu z dutiny formy. Při vstřikování je vzduch vtlačen do dutiny formy pomocí taveniny. Pokud se během plnění neodstraní veškerý vzduch z dutiny formy může dojít k několika vadám:

- Uzavřený vzduch může být příčinou nedostříknutého nebo nekvalitního dílce, kvůli zvýšenému tlaku v dutině formy.
- Při vysokém nárustu tlaku může dojít ke vznícení vstřikované taveniny (Dieselův efekt).
- U špatně odvzdušněné formy může docházet ke zpomalení toku taveniny v dutině formy. Z důvodu zachování času plnění se zvětší tlak plnění, a to způsobí vnitřní pnutí ve výstřiku a celkový nárůst hmotnosti.

Nejhůře jsou odvzdušňovány nové formy z důvodu dobře utěsněných a slícovaných desek. Časem se desky formy opotřebují a vzduch jimi bude lépe unikat.

Odvzdušnění forem je řešeno odvzdušňovacími kanálky, které jsou umístěny do dělicí roviny formy. Šířka odvzdušňovacích kanálků se liší podle použitého materiálu při vstřikování (*Tab. 1*). [2,11,20,23]

Tab. 1: Šířka kanálu podle použití materiálu. [2]

Typ použitého materiálu	Šířka odvzdušňovacího kanálu [mm]
POM	Do 0,05
ABS	Do 0,05
PC	Do 0,05
PS	Do 0,05
PA	0,02-0,03
PBT	Do 0,03
Strukturní pěny	Do 0,10

2.5 Vyhazovací systémy

Vyhazovací systém slouží k vyhození výstříku z dutiny formy bez jeho deformací. Úkolem systému je také zajištění odformování vtokového systému. Vyhazovací systém je složen ze dvou fází:

- Pohyb dopředný – zajišťuje vyhození výstříku z dutiny formy.
- Pohyb zpětný – zajišťuje navrácení do prvotní polohy.

Podmínky pro správné vyhození výstříku:

- Hladký povrch a úkos stěn po směru vyhazování.
- Úkosy stěn by neměly být menší než 30°.
- Výstřík se nesmí vzpříčit – rovnoměrné vyhození výstříku.

Vyhazovače obvykle zanechávají na finálním výrobku stopy, které jsou často nežádoucí z funkčního nebo estetického hlediska. K zabránění stop jsou vyhazovače umístěny na jinou stranu výstříku, kde už nejsou tak nežádoucí nebo dojde ke změně vyhazovacího způsobu, což ale může změnit celou koncepci formy. [21]

Obvyklý vyhazovací systém je složen z: vyhazovačů, kotevní desky vyhazovacího systému, přidržovací desky vyhazovacího systému, vracejících se kolíků, vodícího pouzdra, táhla desek vyhazovačů. [2]

2.5.1 Mechanické vyhazování

Mechanický způsob vyhazování je z praktických a ekonomických důvodů řazen mezi nejpoužívanější způsoby vyhazování.

Konstrukci mechanických vyhazovačů lze rozdělit na:

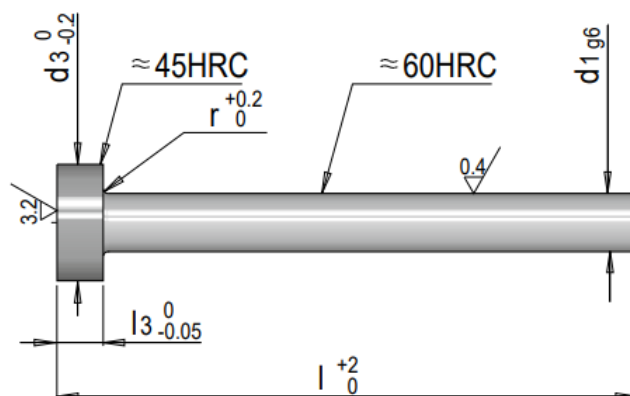
- Vyhazování za přítomnosti vyhazovacích kolíků.
- Vyhazování stírací deskou.
- Šikmé vyhazování.
- Postupné vyhazování.
- Speciální vyhazování.

Pokud je výstřík mělký, není za potřebí vyhazovačů, ale postačí na jeho odebrání z dutiny formy vyhození vtokového zbytku, který je s výstříkem spojený. [11,21]

Vyhazování pomocí vyhazovačů

Základním prvkem mechanického vyhazování jsou vyhazovací kolíky, které jsou obvykle válcového tvaru. Systém vyhazování pomocí vyhazovačů je považován za jeden z nejpoužívanějších a nejlevnějších způsobů vyhazování. Daný systém lze použít u forem, kde je možnost umístění vyhazovače proti ploše výstříku ve směru vyhození.

Aby nedocházelo k deformaci výstříku při jeho vyhození, vyhazovací kolík je opírá o stěnu nebo žebro výstříku. Vyhazovací kolíky není vhodné umísťovat na vzhledových plochách, neboť po nich zůstávají viditelné stopy na výstříku. K ukotvení vyhazovacích kolíků slouží vyhazovací desky. [14,21]



Obr. 16: Schéma válcového vyhazovače [15]

Vyhazování pomocí stírací desky

Při vyhazování pomocí stírací desky je výstřík stahován z tvárníku po celém jeho obvodu. Stírání je používáno v případě dosednutí výstříku na stírací desku v rovině nebo pokud je plocha výstříku mírně zakřivena. Díky velké styčné ploše nejsou na výstříku žádné viditelné stopy po vyhazování, deformace jsou minimální a stírací síla je velká. Pomocí stírací desky jsou vyhazovány především tenkostěnné a rozměrné výstříky, u kterých hrozí deformace, anebo vyžadují velkou vyhazovací sílu.

Pohyb stírací desky je vyvozen tlakem vyhazovacího systému nebo tahem ve speciálních případech, jako je rozevírání formy jeho pevnou deskou. Tlak vyhazovacího trnu ovládá stírací desku. Síla může být dále vyvozena pomocí pružin a hydraulickým nebo pneumatickým zařízením. [21]

Vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů

Vyhazovací kolíky jsou uloženy k dělicí rovině pod různými úhly. Vyhazováním pomocí šikmých vyhazovačů se vyhazují malé až středně velké výstřiky s mělkým vnitřním nebo vnějším zápichem. Použitím zápichu odpadá nutnost použití složitých posuvných čelistí s klínovým mechanismem. U výstřiku se zápichem vyhazovače šikmým pohybem uvolňují zvětšenou nebo zmenšenou část výstřiku při jeho současném vyhození. Zápich je vytvořen přímo na vyhazovači. [21]

Dvoustupňové vyhazování

U dvoustupňového vyhazování je nutnost použití dvou vyhazovacích systémů, které se vzájemně ovlivňují. Výhodou je vyhazování výstřiků s rozdílným časovým rozložením vyhazovacího zdvihu, a také jeho velikosti. Dvoustupňovým vyhazováním jsou vyhazovány slabostěnné výstřiky v kombinaci se stíráním s vyhazovacími kolíky nebo při použití šikmých vyhazovačů se zápichem. Tento způsob vyhazování se používá také při oddělování vtokových zbytků od výstřiků spolu s jejich vyhazováním – jedna skupina zdvojených vyhazovacích kolíků odstříhne vtoky, druhá skupina se zpožděným zdvihem výstřiky vyhodí. [21]

2.5.2 Hydraulické vyhazování

Používá se k ovládání mechanických vyhazovačů nebo posuvných čelistí. Hydraulické vyhazování se vyznačuje velkou vyhazovací silou a pomalejším chodem. [11]

2.5.3 Vzduchové vyhazování

Vzduchové vyhazování je vhodné pro vyhazování slabostěnných dílů ve tvaru nádob jako je např. kbelík. Vzduchové vyhazování umožňuje rovnoměrné vyhození výstřiku z dutiny formy a zároveň nevznikají na výstřiku stopy po vyhazovačích jako u mechanického vyhazování. Nevýhodou vzduchového vyhazování je, že jej nelze použít na veškeré tvary výrobků. Vzduch do formy vstupuje pomocí ventilu (talířový, jehlový nebo kolíky), který je otevírán tlakem vzduchu a zavírán pružinou. [21,24]

2.6 Materiály vhodné pro výrobu vstřikovacích forem

U vstřikovacích forem jsou kladeny velké nároky na kvalitu výstřiku a na životnost vstřikovací formy. Důležitým požadavkem je cena formy. Pro splnění těchto podmínek je třeba volit správné materiály. Materiály forem jsou ovlivněny určitými faktory jako:

- Volba vstřikovaného polymeru.
- Přesností výstřiku.
- Předem určenými podmínkami pro vstřikování.
- Vstřikovacím strojem.

K výrobě forem se používají materiály jako:

- Oceli určitých jakostí.
- Neželezné slitiny kovů (hliník, měď...).
- Materiály, které jsou tepelně nevodivé nebo izolační. [11,21,25]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cíle diplomové práce byly následující:

- Vypracovat teoretickou část diplomové práce na dané téma.
- Vymodelovat v 3D softwaru vstříkovaný díl.
- Vytvořit v 3D softwaru vstříkovací formu zadaného dílu.
- Nakreslit výkresovou dokumentaci sestavy.

V literární rešerši jsou popisovány jednotlivé oblasti, kterými se zabýváme při návrhu vstříkovací formy. Tato rešerše popisuje vstříkování i samotný návrh vstříkovací formy.

Pro vstříkovaný díl, který je součástí světla automobilu, byla vytvořena forma. Celý díl a forma byly tvořeny v programu Catia V5R19.

4 POUŽITÝ SOFTWARE

4.1 Catia V5R19

Catia je jeden z nejmodernějších a nejvyspělejších 3D programů na vývoj a konstrukci strojních součástí. Vývoj a následnou podporu programu zabezpečuje francouzská firma Dassault Systemes. Catia se nejvíce využívá v automobilovém a leteckém průmyslu. Verze V5 je vybavena různými moduly na konstrukci, vývoj, simulaci i výkresovou dokumentaci. Návrh výrobku a dělicí roviny byl proveden v modulu Core and Cavity, konstrukce tvarových desek byla provedena za pomoci modulu Part Desing a vstříkovací forma byla navržena v online databázi normálií od firmy Mesburger. Na jednu součástku (transportní pojistka) byl použit katalog normálií od firmy Hasco. Spojovací prvky byly vytvořeny v modulu Mold Tooling Desing.

4.2 Databáze normalizovaných dílů Meusburger

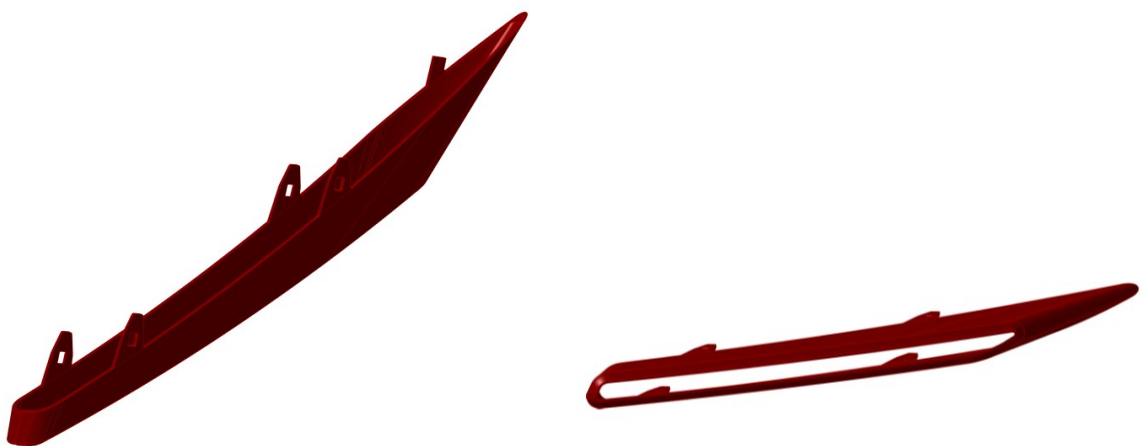
Online databáze normálií je katalog, který slouží klientovi pro rychlou a snadnou volbu potřebných dílů. Pro každou položku existuje tabulka, ze které lze vyčíst rozměry dílů i konstrukční řešení dané problematiky. Tyto normálie jdou snadno a rychle převést do 3D programu.

4.3 Databáze normalizovaných dílů Hasco

Jedná se o katalog normálií od firmy Hasco. Firma Hasco se zabývá dodáváním a výrobou normalizovaných součástí pro výrobu vstříkovacích forem. Použití normálií od firem Hasco či Meusburger značným způsobem urychlují práci při návrhu formy.

5 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstřikovaný výrobek je součástí světlometu pro automobil. Jedná se o lištu, ve které jsou zabudované ledky pro denní svícení automobilu. Jedná se tvarově náročný díl, který nemá jasně definovanou geometrii, tudíž je pro zaformování nutné použít více než jednu dělicí rovinu. Díl je opatřen 4 zácvaky, které slouží pro zacvaknutí dílu do celého těla světlometu. Rozměry výrobku jsou: 365x24x34 mm. Tloušťka stěny výrobku je 2,1mm.



Obr. 17: 3D model vstřikovaného dílu

5.1 Materiál výstřiku

Použitý materiál pro vstřikovaný výrobek je PC Makrolom 2205. Polykarbonát je amorfni termoplast, který se řadí mezi polyestery. Monomerem pro výrobu polykarbonátu je bisfenol A a fosgen. Polykarbonát se vyrábí polykondenzací za vniku NaCl, anebo na rozhraní fází mezi dvěma nemísitelnými rozpouštědly. Je to průhledný materiál, který se vyznačuje dobrými mechanickými vlastnostmi. Má dobrou pevnost, tuhost, houževnatost a odolnost proti lomu. Dlouhodobý rozsah teplot použití je od -70 do 130 °C. Pro svou transparentnost se používá k výrobě brýlí, střešních krytin nebo v automobilovém průmyslu (světlometry, střešní okna a skla reflektorů). [12]

Tab. 2: Vlastnosti PC Makrolom 2205. [26]

Fyzikální vlastnosti	Hodnota	Jednotka	Norma
Objemový průtok taveniny	34	cm ³ /10 min	ISO 1133
Teplota taveniny	300	°C	ISO 1133
Smrštění	0,7	%	ISO 294-4,2577
Pevnost v tahu	2400	MPa	ISO 527-1/2
Hustota	1190	kg/m ³	ISO 1183
Teplota formy	80	°C	ISO 294
Teplota vstřikování	280	°C	ISO 294
Modul pevnosti v tahu, 1000 h	1700	MPa	ISO 899-1
Mez kluzu	65	MPa	ISO 527-1/2
Absorbce vody	0,3	%	Sim. to ISO 62

5.2 Násobnost formy

Násobnost formy se volí podle určitých faktor, které jsou například:

- Složitost a přesnost vstřikovaného dílu.
- Výkon vstřikovacího stroje.
- Náklady na výrobu formy.
- Počet vyrobených kusů.

Při výrobě jednoduchých dílů s větším počtem kusů je vhodné zvolit vícenásobnou formu. Naopak při výrobě složitějších dílů se volí forma jednonásobná. Výrobek, pro který byla navržena vstřikovací forma, se vyskytuje na automobilu na levé i pravé straně, tudíž forma musí být vícenásobná. Kdyby byla zvolena forma jednonásobná, bylo by potřeba vyrobit dvě formy.

5.3 Výpočty pro výběr vstřikovacího stroje

Plocha dělicí roviny vstřikovaného dílu	$S = 140 \text{ cm}^2$	
Vstřikovací tlak	$p_v = 120 \text{ MPa}$	
Koeficient tekutosti PC	$k = 1,7$	
Násobnost formy	$n = 2$	
Podíl určeného plastu k PS $\frac{a_x}{a_p}$	$\frac{120}{100}$	
Hmotnost vtoku	$G = 15 \text{ g}$	
Hmotnost výstřiku	$A = 134 \text{ g}$	[27]

Výpočet množství vstřikovaného plastu

$$M = 1,2 \cdot (G \cdot n + A) \cdot \frac{a_x}{a_p} \quad (1)$$

$$M = 1,2 \cdot (G \cdot n + A) \cdot \frac{a_x}{a_p} = 1,2 \cdot (134 \cdot 2 + 15) \cdot \frac{120}{100} = 407,6 \text{ g}$$

Výpočet uzavírací síly stroje

$$F = 1,2 \cdot S \cdot p_v \cdot k \quad (2)$$

$$F = 1,2 \cdot S \cdot p_v \cdot k = 1,2 \cdot 140 \cdot 120 \cdot 1,7 = 34\,272 \text{ N} \approx 34,3 \text{ kN}$$

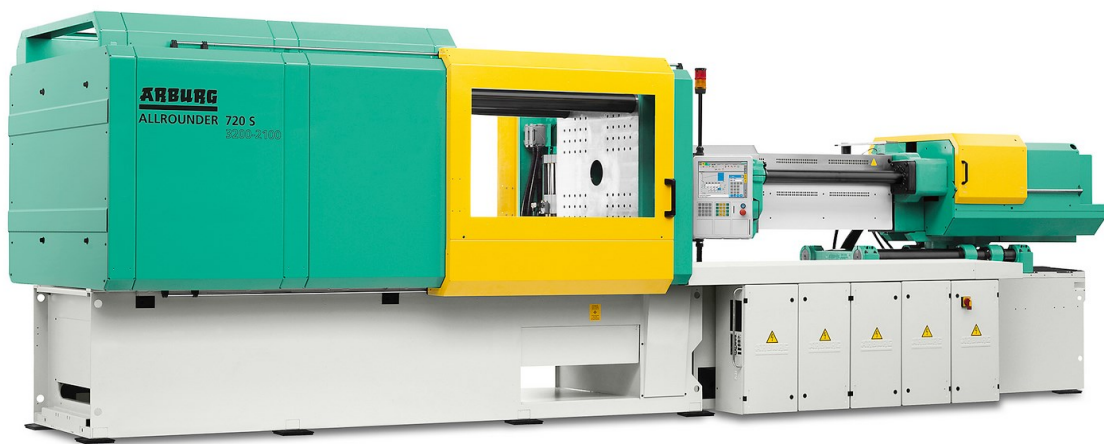
Volba vstřikovacího stroje

Pro určení vhodného vstřikovacího stroje je za potřebí znát množství plastu pro jeden pracovní cyklus a uzavírací sílu stroje. Dalším potřebným parametrem je vzdálenost vodících sloupků, plastikační dávka a vstřikovací tlak.

Z technických parametrů formy a použitého materiálu výstřiku byl zvolen vstřikovací stroj ALLROUNDER 720S od firmy ARBURG.

Tab. 3: Technické parametry vstřikovacího stroje. [27]

ALLROUNDER 720S	JEDNOTKA	HODNOTA
Uzavírací síla	kN	3200
Průměr šneku	mm	60
Vzdálenost vodících sloupků	mm	720x720
Objem vstřikování jednotky	cm ³	664
Maximální vstřikovací tlak	bar	2000



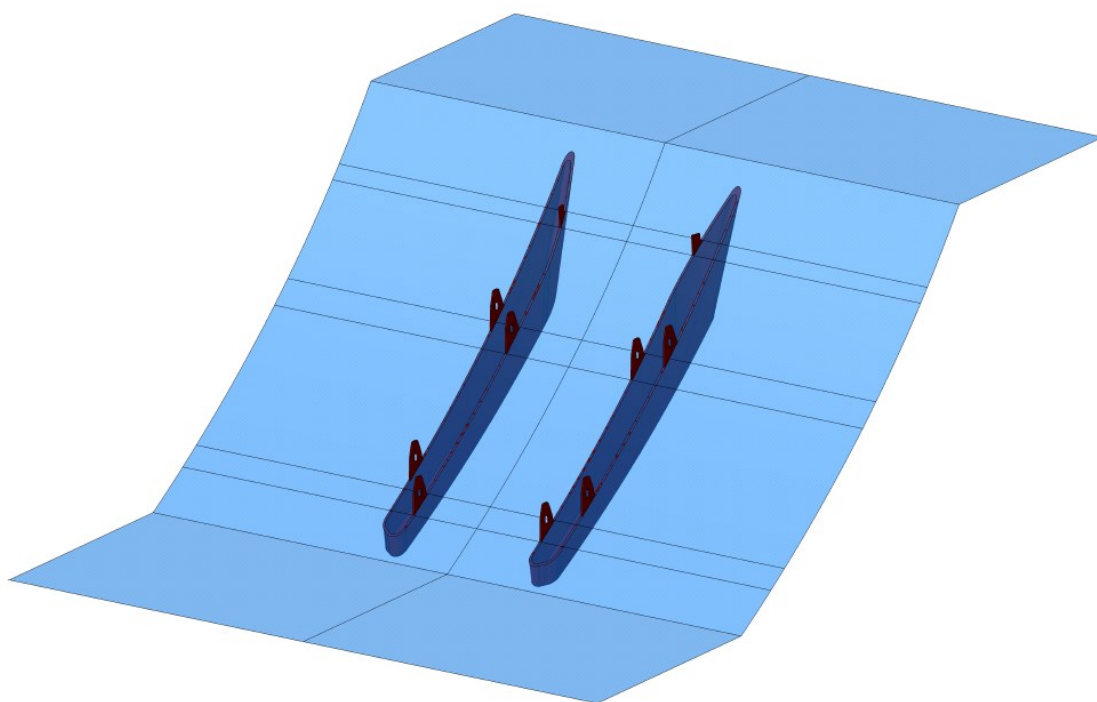
Obr. 18: Vstřikovací stroj od firmy ARBURG

6 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Při konstrukci formy byla použita většina normalizovaných dílů z knihovny od firmy Meusburger. Pokud použijeme normalizované díly od firmy Meusburger či Hasco, čas věnovaný návrhu vstřikovací formy bude zkrácen a cena bude přijatelnější.

6.1 Zaformování výstřiku

Zásadní vliv na další operace při návrhu vstřikovací formy má určení dělicí roviny a koncepce zaformování výstřiku. Pro daný výrobek byla navrhnutá šikmá dělicí rovina a boční dělicí roviny. Šikmá dělicí rovina je plocha, ve které dosedá pohyblivá strana formy na pevnou. Po dosednutí dochází k uzavření a těsnění tvarové dutiny formy. Umístění dělicí roviny se provádí, tak aby vyjímání z dutiny formy proběhlo co nejjednodušeji a zároveň aby stopa, která vznikne po dělicí rovině, nezpůsobila funkční nebo vzhledové vady. Boční dělicí roviny jsou nutné pro odformování zácvků, které jsou na výstřiku.



Obr. 19: Dělicí rovina výstřiku

6.2 Vtokový systém

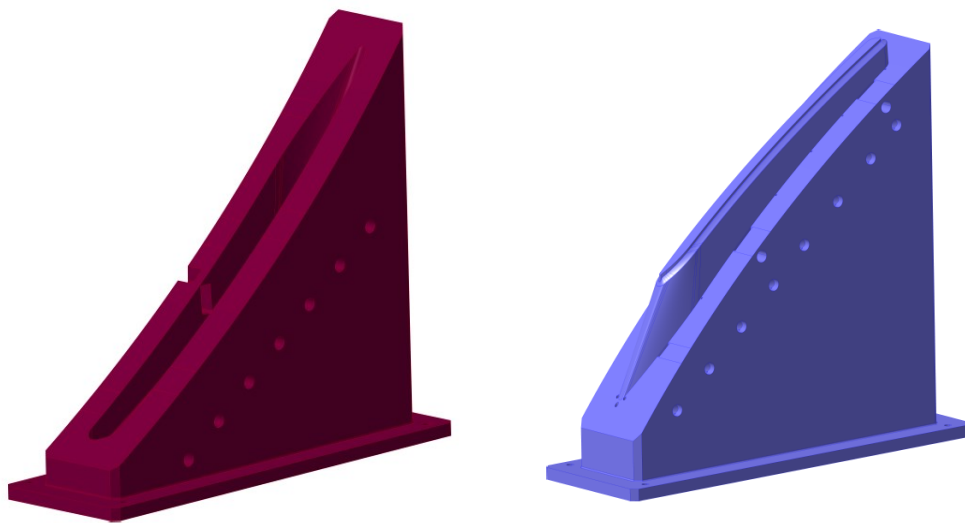
Do vstříkovací formy byl zasazen studený vtokový systém. Vtokový zbytek, který vznikne při vstříkovaní, bude odstraněn až po zchladnutí. Vtokový systém je větších rozměrů, kvůli složitosti formy. Tomuto by šlo zabránit při použití horkého vtokového systému. U horkého vtokového systému by byl vtok na pohledové části. Byl zvolen studený vtokový systém, neboť ústí do nepohledové části dílu. Použití plného vtokového kužele je z důvodu dotlakové fáze. Vtokový systém byl vytvořen z normalizovaných dílů od firmy Meusburger.



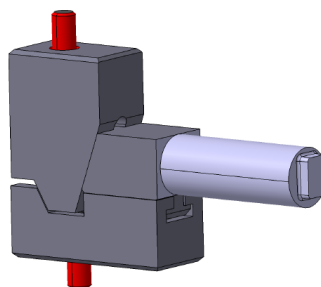
Obr. 20: Vstříkovaný díl s vtokovým zbytkem

6.3 Konstrukce tvarových částí

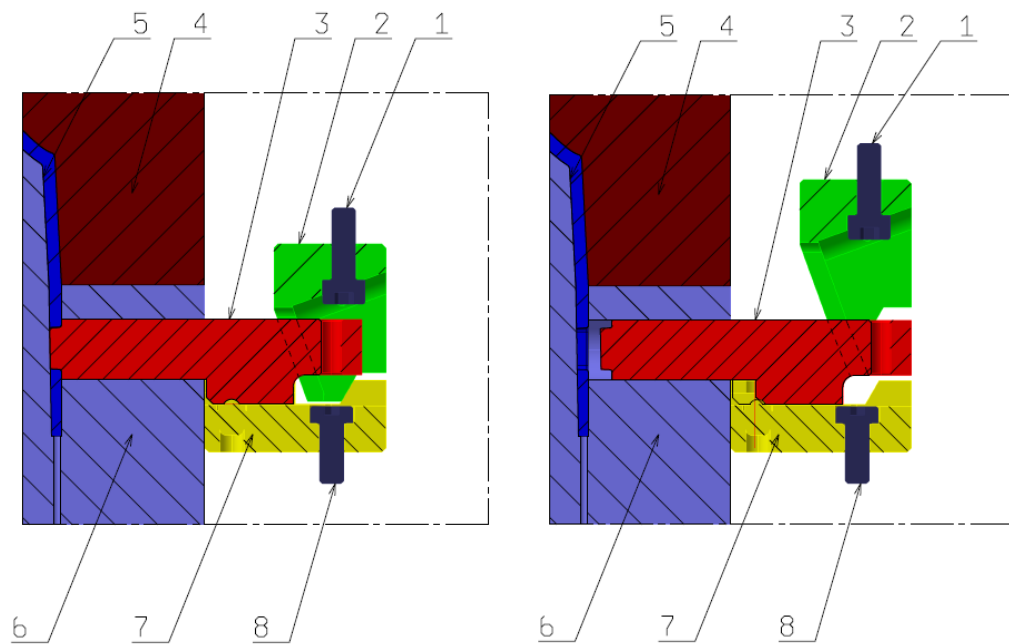
Tvarové desky vstřikovací desky jsou rozděleny na tvárnici a tvárník. Tvárník udává vnitřní část výstřiku a nachází se na levé pohyblivé části formy. Tvárnice se nachází na pravé části formy a udává vnější tvar výstřiku. Při návrhu dutiny formy se musí brát v úvahu smrštění. To znamená, že se dutina formy musí zvětšit o požadovanou hodnotu, aby bylo dosaženo potřebných rozměrů výstřiku. Boční odformování zabezpečuje osm posuvných jednotek (sliderů), které jsou poskytovány od firmy Meusburger. Posuvné jednotky bylo potřeba upravit do potřebného tvaru. Uzavírací klín (2) je upevněn v kotevní desce tvárnice a vedení posuvné jednotky (7) je upevněno v kotevní desce tvárníku. Během procesu odformování dochází k otevření formy. Při otevření formy se od sebe části posuvné jednotky oddělí. Uzavírací klín posuvné jednotky pohne s posuvným dílem (3), a tím je docíleno odformování zácvaku (viz. Obr.23). Tento systém je vhodný na menší vzdálenosti odformování. Zvolená posuvná jednotka zvládne odformovat 6 mm.



Obr. 21: Tvárnice a tvárník



Obr. 22: Posuvná jednotka

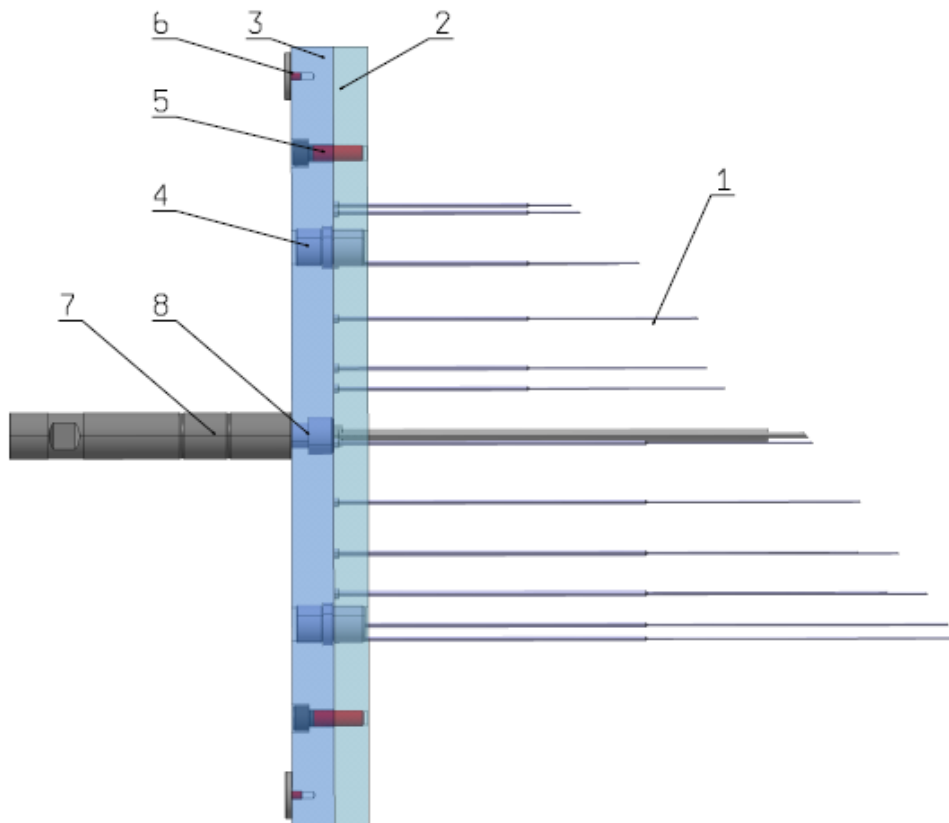


Obr. 23: Řez posuvné jednotky v dutině formy (zavřený, otevřený)

1- šroub a; 2- uzavírací klín; 3- posuvný díl; 4- tvárnice; 5- výstřík;
6- tvárník; 7- vedení posuvné jednotky; 8- šroub b

6.4 Vyhazovací systém

Aby bylo dosaženo správného vyhození výstříku a vtokového zbytku, je zapotřebí použít potřebné množství vyhazovačů. Zásadní vliv na vyhození má i druh vyhazovačů. V našem případě bylo použito čtyřicet odsazených vyhazovačů pro výstřík. Vtokový zbytek byl vyhozen třemi kalenými válcovitými vyhazovači. Všechny vyhazovače jsou upevněny mezi dvěma vyhazovacími deskami. Na vyhazovacích deskách jsou ocelové dorazy, které tlumí rázy vznikající při dosednutí vyhazovacího systému na upínací desku. Pohyb celého vyhazovacího systému se vykonává přes táhlo, které je spojeno s vyhazovací deskou. Stopy po vyhazovačích nejsou na pohledových částech výrobku viditelné, tudíž neovlivňují jeho funkci ani design.



Obr. 24: Vyhazovací systém

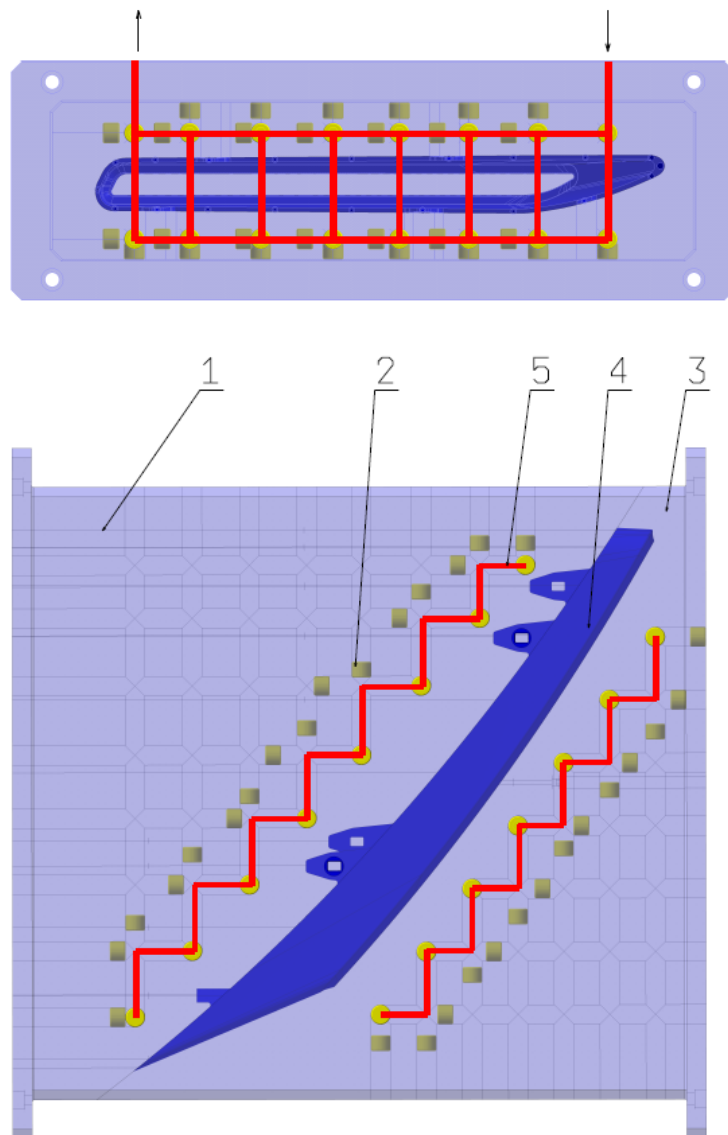
1- vyhazovače; 2- vyhazovací deska opěrná; 3- vyhazovací deska kotevní;
4- vodící pouzdro; 5- šroub; 6- dorazová destička; 7- táhlo; 8- šroub

Tab. 4: Použité vyhazovače

NORMA	NÁHLED	KS
E1700_1.5x275		18
E1710_4x400		2
E1710_8.5x400		1
E1700_1.5x400		22

6.5 Temperační systém

Temperační systém vstříkovací formy se nachází na levé i pravé straně formy. Jeden okruh má na starosti regulovat teplotu tvárnice na pravé straně. Druhý okruh na levé straně reguluje teplotu tvárníku. Temperační kanály mají průměr 10 mm a jejich poloha byla přizpůsobena vyhazovacímu systému. Temperační okruh je vymezen záslepkami, které jsou umístěné v kanálech, aby temperace probíhala co nejefektivněji. V našem případě pro temperaci bylo zvolená voda.

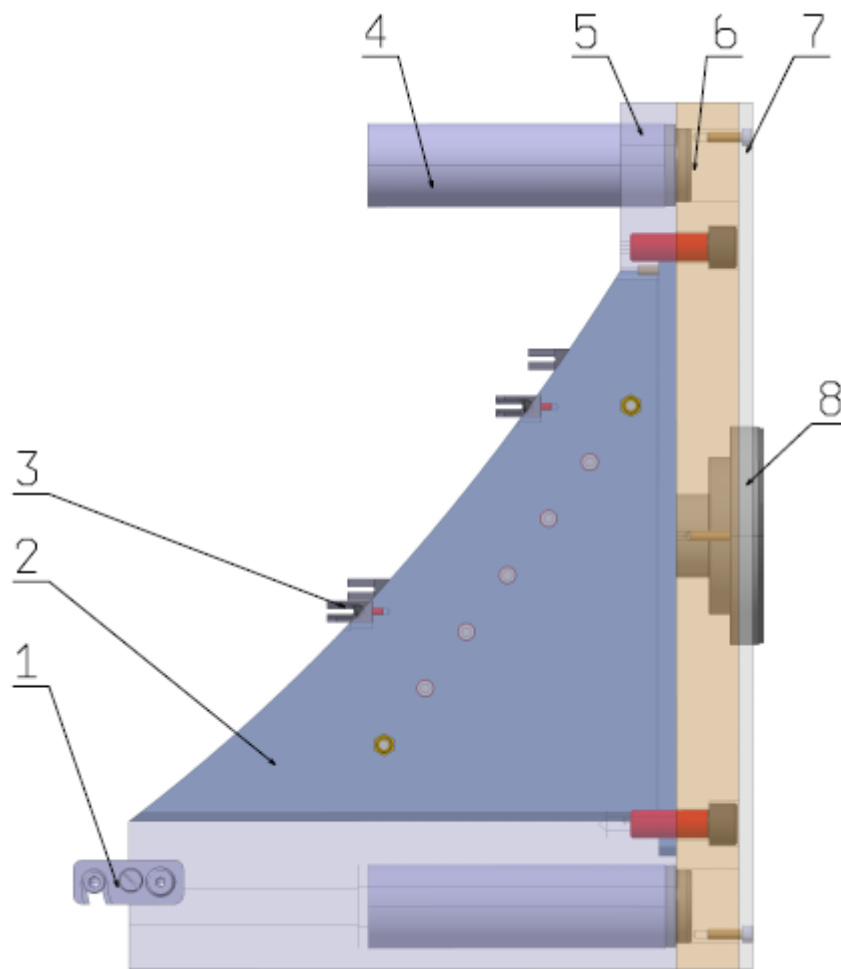


Obr. 25: Temperační systém

1- tvárník; 2- záslepky; 3- tvárnice; 4- vstříkovaný díl;
5- znázorněný přívod temperačního média

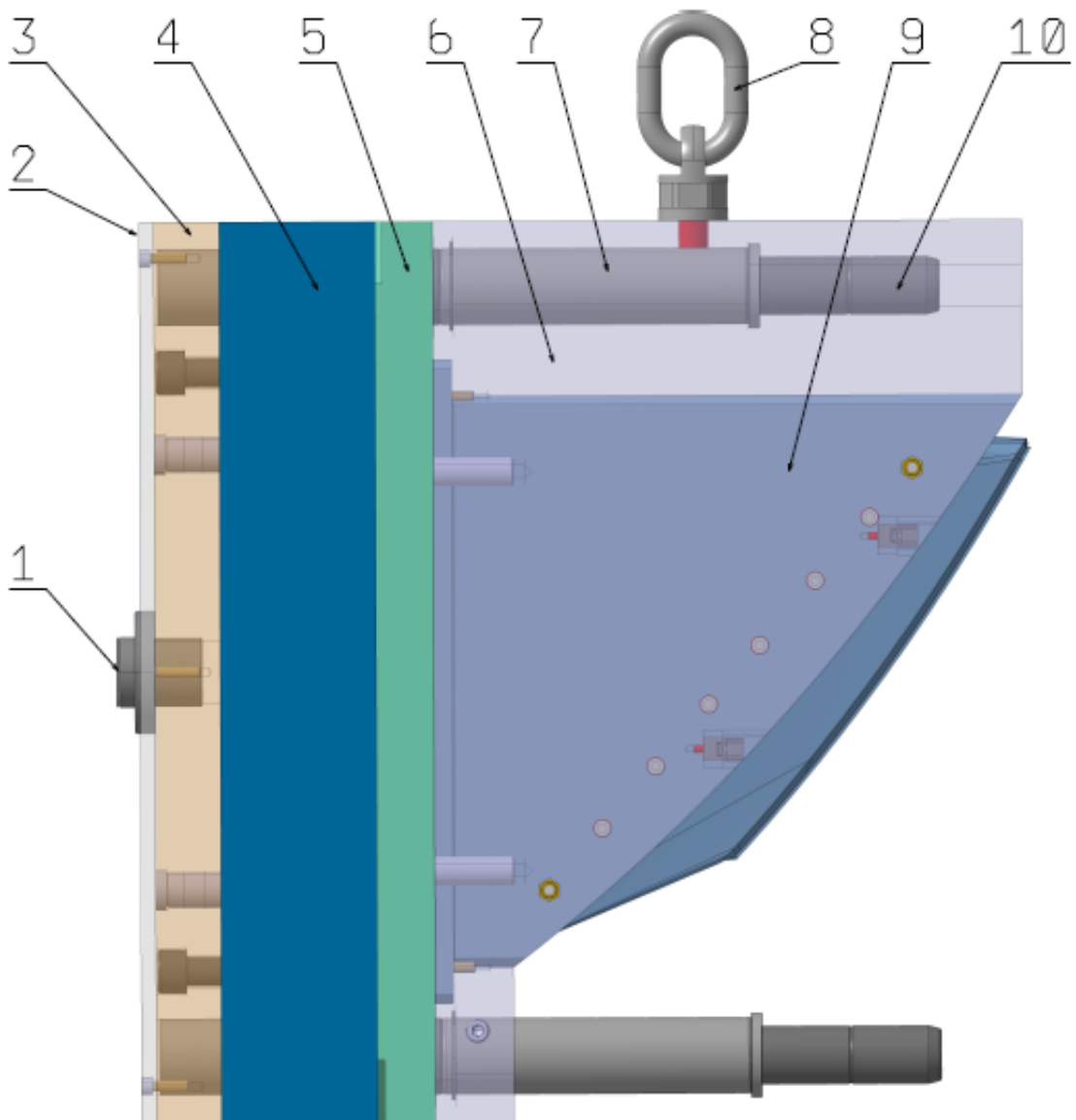
6.6 Rám vstříkovací formy

Rám formy tvoří soubor normalizovaných součástí od firmy Meusburger. Velikost formy je 494 mm na výšku a 446 mm na šířku, hloubka formy včetně izolačních desek je 562 mm. Izolační desky mají na starosti zabránit přestupu tepla z formy na stroj. Vodící prvky formy byly vygenerovány systémem firmy Meusburger. Pro vyhazovací systém se vodící prvky dělaly zvlášť, aby nedošlo ke špatnému vyhození výstřiku.



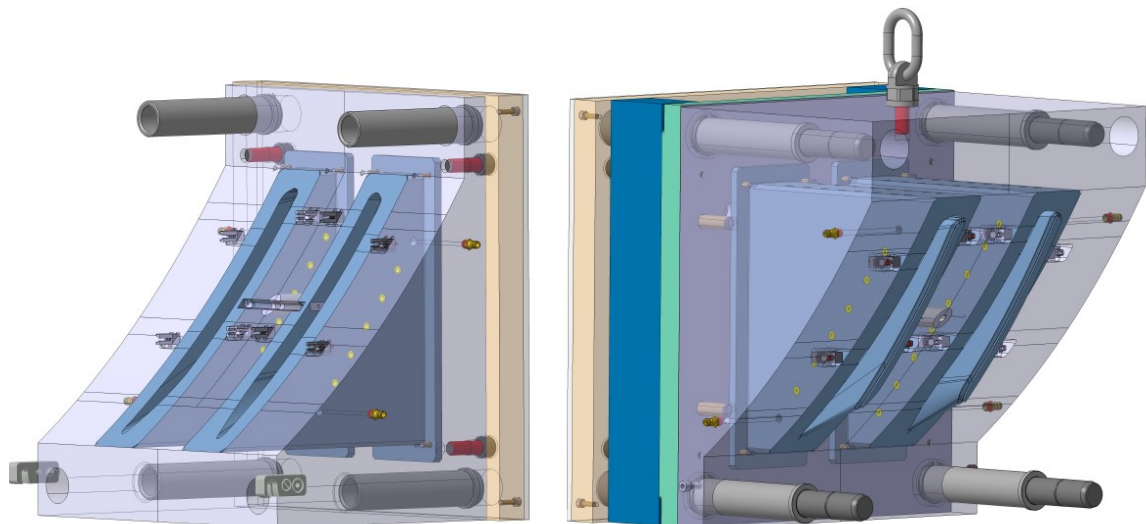
Obr. 26: Pravá strana vstříkovací formy

1- transportní pojistka; 2- tvárnice; 3- slider; 4- vodící pouzdro; 5- kotevní deska tvárnice; 6- upínací deska; 7- izolační deska; 8- středící kroužek

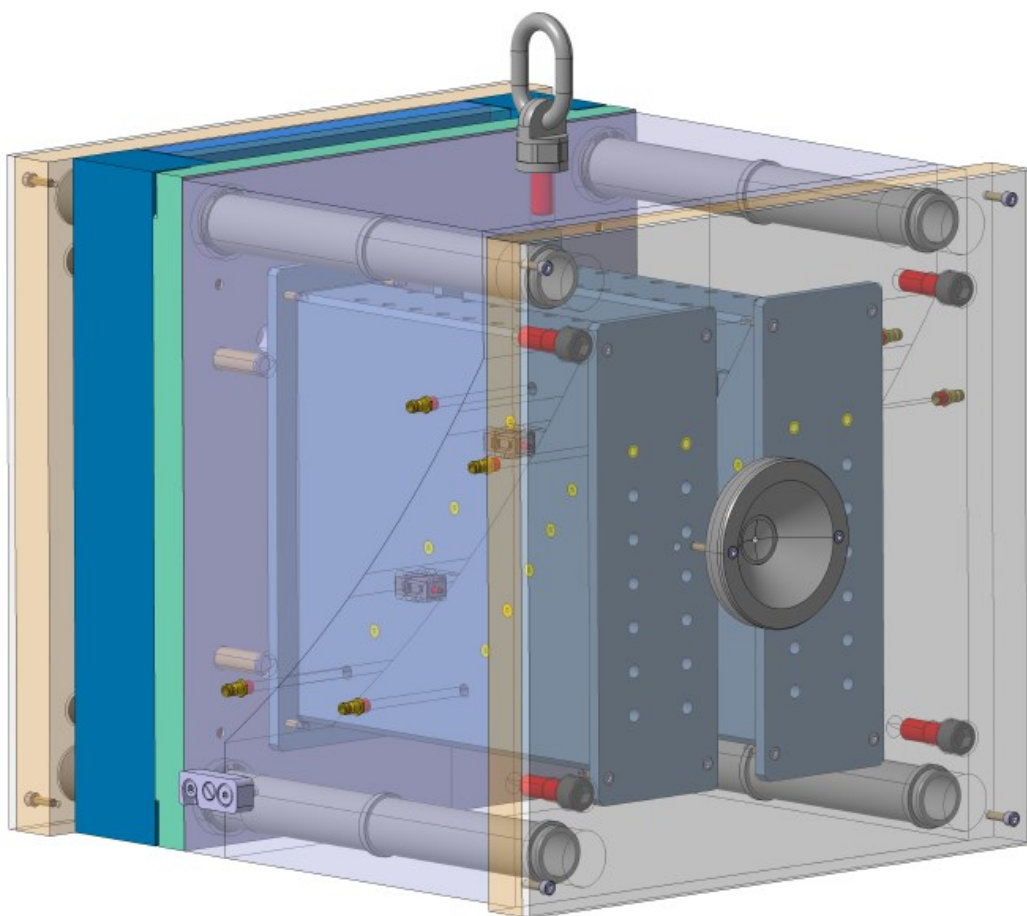


Obr. 27: Levá strana vstříkovací formy

1- vodící pouzdro táhla; 2- izolační deska; 3- upínací deska; 4- rozpěrná deska; 5- opěrná deska; 6- kotevní deska tvárniku; 7- vodící pouzdro; 8- oko; 9- tvárník; 10- vodící čep



Obr. 28: Pravá a levá strana vstřikovací formy v prostoru



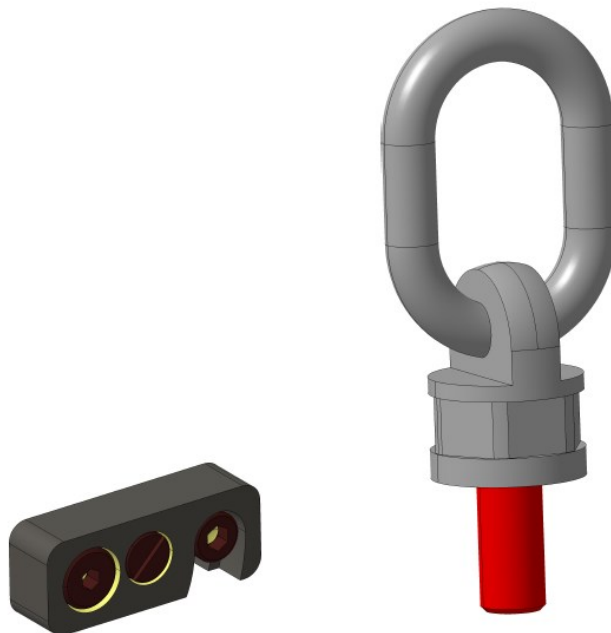
Obr. 29: Forma

6.7 Odvzdušnění formy

Odvzdušnění formy slouží k odvodu vzduchu, který se do dutiny formy dostane po vstřikování taveniny do dutiny. Neodvzdušněná forma může mít za následek vadný výstřik nebo poškození dutiny formy. K úniku vzduchu dochází nejčastěji v dělicí rovině. Další způsob úniku vzduchu může být přes vůle ve vyhazovačích. Nejhůře se odvzdušňují nové formy, protože jejich vůle mezi dělicími rovinami jsou téměř nulové. Ještě před výrobou samotné formy lze 3D výstřik dát na analýzu, která slouží k vyhledávání chyb. Tato analýza může ukázat, jak odvzdušnění formy bude probíhat a zda jsou zavedené kroky dostačující. V našem případě analýza nebyla provedena, ale k úniku vzduchu by mělo dojít bez problému přes dělicí rovinu a přes vůle vyhazovačů.

6.8 Transport formy

Forma je vybavena závěsným okem, které slouží k přepravě formy. Závěsné oko by mělo být umístěno v těžišti formy, aby nedocházelo k naklonění formy při manipulaci. Po stranách formy jsou umístěny transportní pojistky, které zabraňují otevření formy při manipulaci. Transportní pojistky jsou od firmy Hasco.



Obr. 30: Transportní pojistka a oko

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvoření vstřikovací formy pro vstřikovaný díl, který je součástí světla v automobilu.

Teoretická část byla zaměřena na vysvětlení principů a předepsaných pravidel, které je nutno dodržovat při návrhu vstřikovací formy. V této části byly popsány postupy a procesy, které probíhají při vstřikování polymeru.

Praktická část je věnována návrhu a konstrukci vstřikovací formy. Nejprve došlo k vytvoření 3D modelu samotného vstřikovaného dílu. Systémy formy jako vyhazovací systém, temperanční systém a vtokový systém, byly přizpůsobeny složitosti vstřikovací formy. Značná část dílů byla použita z online katalogu firmy Meusburger. Pro návrh vstřikovací formy a samotného dílce byl použit program Catia V5R19 od firmy Dassault systems.

Pro výrobu daného výstřiku byl zvolen stroj ALLROUNDER 720S, vyráběný firmou ARBURG. Pro výrobu výstřiku byla navrhována šikmá dělicí rovina. Forma byla zvolena dvojnásobná se zasazeným studeným vtokovým systémem. Vtokové vložky mají tvar rovného tunelu. Na vyhození výstřiku bylo použito čtyřicet odsazených vyhazovačů a vtokový zbytek byl vyhozen pomocí třech kalených válcovitých vyhazovačů. Temperační systém vstřikovací formy se nachází na levé i pravé straně formy. K odvodu vzduchu formy dochází pomocí dělicí roviny a pomocí vůle ve vyhazovačích. Forma je vybavena závěsným okem, které slouží k přepravě formy.

Samotná bakalářská práce je doplněna výkresovou dokumentací zadaného dílu společně se sestavou vstřikovací formy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LENFELD, Petr. Technologie II. Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm.
- [2] JARKULIŠ, Jonáš. Konstrukce vstřikovací formy na výrobu pedálu. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017, 107 s.
- [3] CHEN, Shia-Chung; TURNG, Lih-Sheng, Advanced Injection Molding Technologies. Hanser Publishers, 2019, 426 s. ISBN: 978-1-5231-2479-4.
- [4] KRATINA, Patrik. Výroba vstřikovaných dílu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2017.
- [5] JURÁSEK, Ondřej. Analýza a optimalizace vstřikovaných parametrů ze účelem zvýšení produktivity procesu. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017.
- [6] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN – technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [7] LENFELD, Petr. Technologie vstřikování. Brno: Code Creator, s.r.o., 2016. ISBN 978-80-88058-74-8.
- [8] SEIDL, Martin. Stroje pro zpracování polymerních materiálů. Brno: Code Creator, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-88058-71-7.
- [9] WEISS, Viktorie. Polymery. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta výrobních technologií a managementu, 2014, 150 s. ISBN 978-80-7414-738-8.
- [10] STOKLASA, Karel. Makromolekulární chemie I. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005.
- [11] VYKYDAL, Jan. Tvorba 3D modelu vstřikovací formy. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2015.
- [12] BĚHÁLEK, Luboš. Polymery. Brno: Code Creator, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-88058-68-7.
- [13] JANOŠTÍK Václav, Školení v oblasti vstřikování plastů.
- [14] BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů: I. Díl – Vstřikování termoplastů. 2. upr. vydání. Brno: Uniplast, 1999, 134 s.
- [15] Meusbürger [online]. [cit. 2020-11-15]. Dostupné z:
<https://www.meusburger.com/CS/CZ/index>.
- [16] HYNEK, Martin a kolektiv. Rámy vstřikovacích forem. Západočeská univerzita v Plzni, 2013. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Ramy_vstrikovacich_forem.pdf

- [17] ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. Sekurkon, organizační a vzdělávací servis, 2007, 226 s. ISBN: 80-86604-18-7.
- [18] HYNEK, Martin a kolektiv. Studené a živé vtokové systémy. Západočeská univerzita v Plzni, 2013. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
- [19] HYNEK, Martin a kolektiv. Temperace vstřikovacích forem. Západočeská univerzita v Plzni, 2013. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Temperace_vstrikovacich_forem.pdf
- [20] KAZMER, David. O. Injection mold design engineering. Hanser Publishers, 2007, 430 s. ISBN: 978-1-61344-296-8.
- [21] BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů: II. Díl – Vstřikování termoplastů. 1. Vydání. Brno: Uniplast, 1999, 214 s.
- [22] STANĚK, Michal. Konstrukce forem – přednášky. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická 2020.
- [23] HYNEK, Martin a kolektiv. Odvzdušnění. Západočeská univerzita v Plzni, 2013. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Odvzdušení.pdf
- [24] SELKE, Susan E. M.; Culter, John D. Plastics Packaging - Properties, Processing, Applications, and Regulations (3rd Edition). Hanser Publishers, 2016, 453 s. ISBN978-1-5231-0586-1.
- [25] MENGES, Georg; Michaeli, Walter; Mohren, Paul. How to Make Injection Molds (3rd Edition). Hanser Publishers, 2001, 599 s. ISBN 978-3-446-40180-8.
- [26] Campus plastic [online]. [cit. 2021-4-26] Dostupné z: <https://www.campusplastics.com/>
- [27] ARBURG [online]. [cit. 2021-5-4] Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

S_K	pohyb šneku
S_N	pohyb nástroje
PP	polypropylen
PS	polystyren
PE	polyethylen
PVC	polyvinylchlorid
PMMA	polymethylmethakrylát
POM	polyoxymethylen
T_g	teplota skelného přechodu
T_f	teplota tečení
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
PC	polykarbonát
PA	polyamid
PBT	polybutylentereftalát
S	Plocha dělicí roviny vstřikovaného dílu
p_v	Vstřikovací tlak
k	Koeficient tekutosti PC
n	Násobnost formy
$\frac{a_x}{a_p}$	Podíl určeného plastu k PS
G	Hmotnost vtoku
A	Hmotnost výstřiku

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Schéma vstřikovacího cyklu [5]	12
Obr. 2: Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během vstřikování [1]	14
Obr. 3: Schéma vstřikovacího stroje [1]	16
Obr. 4: Rozdělení polymerů podle řetězce [11]	18
Obr. 5: Tři oblasti chování amorfního polymeru [9]	19
Obr. 6: Schéma nadmolekulární struktury polymerů. [12]	20
Obr. 7: Schéma struktury termoplastického elastomeru. [12].....	21
Obr. 8: Propadlina na výrobku. [13]... ..	22
Obr. 9: Studené spoje na výrobku. [13]	22
Obr. 10: Deselekt na výrobku. [13].....	23
Obr. 11: Stříbrné pruhy na výrobku. [13]	24
Obr. 12: Schéma rámu vstřikovací formy. [15].....	26
Obr. 13: Schéma studeného vtoku. [18]	28
Obr. 14: Systém horkých trysek s trámcem. [2].....	29
Obr. 15: Schéma upevnění izolační desky na upínací desku. [19].....	30
Obr. 16: Schéma válcového vyhazovače. [15].....	33
Obr. 17: 3D model vstřikovaného dílu	39
Obr. 18: Vstřikovací stroj od firmy ARBURG	42
Obr. 19: Dělicí rovina výstřiku	43
Obr. 20: Vstřikovaný díl s vtokovým zbytkem	44
Obr. 21: Tvárnice a tvárník	45
Obr. 22: Posuvná jednotka	45
Obr. 23: Řez posuvné jednotky v dutině formy (zavřený, otevřený)	46
Obr. 24: Vyhazovací systém	47
Obr. 25: Temperační systém	48

Obr. 26: Pravá strana vstřikovací formy	49
Obr. 27: Levá strana vstřikovací formy.....	50
Obr. 28: Pravá a levá strana vstřikovací formy v prostoru	51
Obr. 29: Forma.....	51
Obr. 30: Transportní pojistka a oko	52

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Šířka kanálu podle použití materiálu. [2]	31
Tab. 2: Vlastnosti PC Makrolom 2205. [26]	40
Tab. 3: Technické parametry vstřikovacího stroje. [27]	42
Tab. 4: Použité vyhazovače.....	47

SEZNAM PŘÍLOH

PI – Výkres pohled do levé dutiny formy

PII – Výkres pohled do pravé dutiny formy

PIII – Výkres sestavy vstříkovací formy (ISO pohled a pozice)

PIV – Výkres sestavy vstříkovací formy (Kusovník)

PV – CD