

Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu předního světlometu

Ing. Jitka Dokulilová

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:	Ing. Jitka Dokulilová
Osobní číslo:	T17504
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu předního světlometu

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Proveďte konstrukci 3D modelu vyráběné součásti.
3. Navrhněte 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadané součásti.
4. Nakreslete 2D sestavu vstřikovací formy.

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

Seznam doporučené literatury:

ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.

OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6

BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Michal Staněk, 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. února 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 užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta: Jitka Dokulilová

.....

podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro výrobu silnostěnného světlovodu (tlustostěnná optika) předního světlometu. V teoretické části je popsáno obecné rozdělení polymerů, technologie vstřikování termoplastů, jsou zde uvedeny zásady konstrukce vstřikovaných výrobků a postup konstrukce vstřikovací formy. Praktickou část bakalářské práce tvoří konstrukce 3D modelu světlovodu, návržení sestavy vstřikovací formy a vytvoření výkresové dokumentace v programu Solidworks.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, konstrukce, Solidworks

ABSTRACT

This bachelor thesis is concerned with the design of injection mold for light exit element thickwall for the headlamp. The theoretical part describes the general division of polymers, the injection molding technology, design principles of the injected products and the procedure of design of the injection mold. The practical part of the thesis consists of a 3D model design of the light exit element thickwall, design of the injection mold assembly and creation of drawing documentation in Solidworks.

Keywords: injection molding technology, injection mold, design, Solidworks

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Michalu Staňkovi Ph.D. za jeho čas, cenné rady a odborné konzultace.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 POLYMERY.....	11
1.1 PODSTATA POLYMERŮ.....	11
1.2 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ A JEJICH CHARAKTERISTIKA	11
1.2.1 Plasty	11
1.2.2 Elastomery.....	12
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ	13
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	13
2.2 PVT DIAGRAM	14
2.3 VOLBA A POPIS VSTŘIKOVACÍHO STROJE	15
3 ZÁSADY KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ.....	19
3.1 TLOUŠŤKA STĚN	19
3.2 ŽEBROVÁNÍ	19
3.3 ZAOBLENÍ HRAN, ROHŮ A KOUTŮ	20
3.4 ÚKOSY A PODKOSY.....	20
3.5 SMRŠTĚNÍ.....	21
4 KONSTRUKCE FOREM.....	23
4.1 POPIS VSTŘIKOVACÍ FORMY	23
4.2 NÁSOBNOST FORMY	25
4.3 VTOKOVÝ SYSTÉM	25
4.3.1 Studený vtokový systém (SVS)	25
4.3.2 Vyhřívaný vtokový systém (VVS).....	27
4.4 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	28
4.5 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	28
4.5.1 Druhy vyhazovacích systémů	28
4.6 ODVZDUŠNĚNÍ.....	30
4.7 POUŽÍVANÉ MATERIÁLY PŘI VÝROBĚ FOREM.....	31
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	33
5 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	34
6 POUŽITÉ APLIKACE.....	35
6.1 SOLIDWORKS 2020	35
6.2 MEUSBURGER KATALOG	35
7 POPIS VÝROBKU.....	36

7.1	MATERIÁL VÝROBKU	37
8	KONSTRUKCE FORMY	38
8.1	NÁSOBNOST FORMY	38
8.2	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU A URČENÍ DĚLÍČÍ ROVINY	39
8.3	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY	39
8.4	VTKOVÝ SYSTÉM	40
8.5	TEMPERACE FORMY	41
8.6	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	43
8.7	ODVZDUŠNĚNÍ.....	44
8.8	POHLED DO LEVÉ ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY	44
8.9	POHLED DO PRAVÉ ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY	45
8.10	TRANSPORTNÍ ZAŘÍZENÍ	45
9	VSTŘIKOVACÍ STROJ	47
	ZÁVĚR	49
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	50
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	51
	SEZNAM OBRÁZKŮ	52
	SEZNAM TABULEK.....	54
	SEZNAM PŘÍLOH.....	55

ÚVOD

S vývojem lidské společnosti je úzce spjat i vývoj požadavků na technické výrobky a strojní zařízení. Jedná se o požadavky na nízkou hmotnost, vysokou životnost a spolehlivost, odolnost proti korozi, ekonomicky a ekologicky přijatelnou technologii výroby. V souladu s výše uvedenými požadavky se polymery stále více prosazují jako konstrukční materiály, které nacházejí uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích. [1]

S makromolekulárními látkami se lidská společnost setkává prakticky odnepaměti, zpočátku se jednalo o přírodní polymery (celulóza, přírodní kaučuk, pryskyřice a další). Také principy plastikářské technologie jsou mnohem starší, než se domníváme. Už ve dvacátém století byl v Anglii založen cech zpracovatelů rohoviny. Pojem plasty je odvozen z řeckého „plastein“, což v překladu znamená „tvarovat“. [2]

V současné době máme na světě přibližně 800 miliónů automobilů a prognózy mluví o jejich zvýšení až na dvě miliardy do roku 2030. Z tohoto pohledu je automobilový průmysl jedním z nejperspektivnějších průmyslových odvětví pro nejbližších 10 let. [3]

I. TEORETICKÁ ČÁST

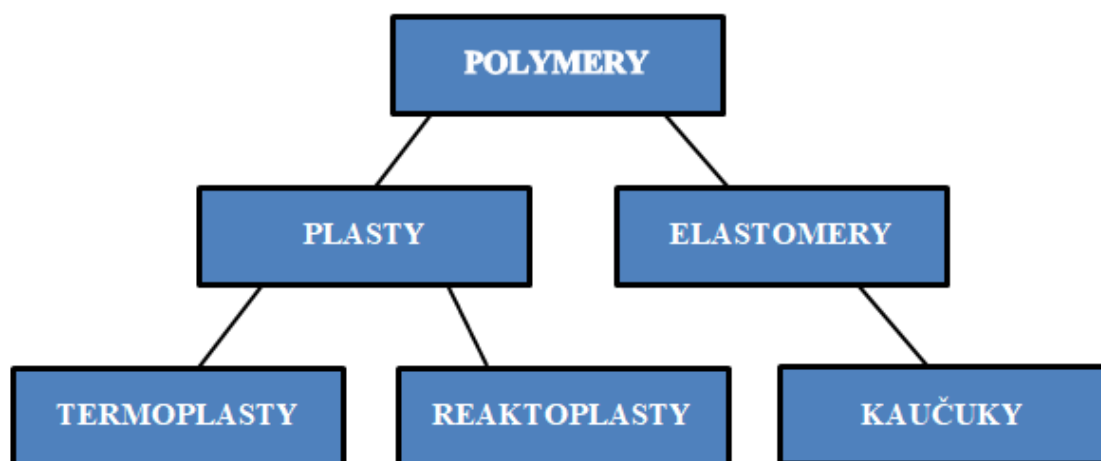
1 POLYMERY

1.1 Podstata polymerů

Z chemického hlediska se jedná o látky organické, přírodního (celulóza, pryskyřice, kaučuk) nebo syntetického původu. Typickými příklady organických látek jsou dřevo, rostliny, ropa, zemní plyn apod. Jsou to makromolekulární látky, jejichž molekuly jsou několikanásobně větší, než molekuly jiných látek. Jejich základní konstituční jednotka „mer“ se v řetězci mnohokrát opakuje, proto „polymer“. [1]

1.2 Rozdělení polymerů a jejich charakteristika

Polymery lze rozdělit z mnoha hledisek. Nejzákladnější je jejich rozdělení dle teplotního chování na plasty a elastomery. [2]



Obrázek 1 Rozdělení polymerů

1.2.1 Plasty

Názvem plasty se obecně označují materiály, jejichž podstatu tvoří makromolekulární látky. Makromolekuly se skládají z několikset až tisíc atomů uhlíku, vodíku, kyslíku a dalších prvků. Plasty dále obsahují přísady, které zlepšují mechanické i fyzikální vlastnosti polymerů. Mezi nejdůležitější přísady patří stabilizátory (udržují původní vlastnosti polymeru během zpracování), změkčovadla (upravují zpracovatelnost), plniva (zlepšují pevnost a houževnatost výrobku) a barvicí činidla (zajišťují estetické vlastnosti výrobku). Tradičně se plasty rozdělují na termoplasty a reaktoplasty. [3]

1.2.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou makromolekulární látky, které lze opakovaně převést do plastického stavu, kde je možné je tvářet. Do oblasti taveniny přechází zahřátím nad teplotu tání. Zpětným ochlazením pod tuto teplotu ztuhnou na požadovaný tvar, aniž by se změnilo jejich chemické složení. Z hlediska krystalizace mohou být termoplasty amorfní nebo semikrystalické. Typickými představiteli jsou polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyamid (PA), polykarbonát (PC). [4]

1.2.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou makromolekulární látky, kde účinkem tepla dochází k chemické reakci, tzv. zesíťování a reaktoplast se stane dále netavitelným a nerozpustným. Zesíťování je nevratný proces, vytvrzený materiál nelze znovu tvarovat, svařovat ani převést zpátky do taveniny. Reaktoplast je amorfním polymerem. Výrobky z reaktoplastů se vyznačují vysokou chemickou a tepelnou odolností, tvrdostí a tuhostí. U reaktoplastů se produkt v nevytvrzeném stavu obvykle nazývá pryskyřice, typickými představiteli jsou epoxidová pryskyřice (EP), fenol-formaldehydová pryskyřice (PF), polyesterová pryskyřice (UP). [4]

1.2.2 Elastomery

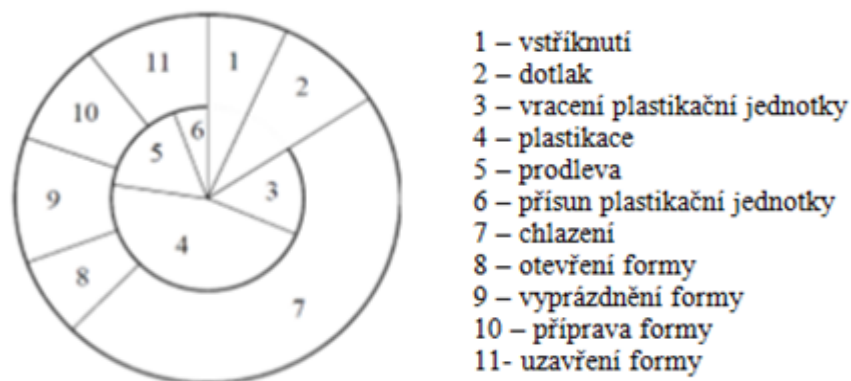
Elastomery jsou vysoce elastické makromolekulární látky, které můžeme působením malých sil značně deformovat a protahovat, aniž by došlo k jejich přetržení. K zesíťování dochází během tváření přidáním síry, tento proces se nazývá vulkanizace. K typickým představitelům elastomerů se řadí kaučuky, ze kterých se vyrábí pryže. Kaučuky lze podle původu rozdělit na přírodní, které se získávají ze stromů kaučukovníku brazilského (*Hevea brasiliensis*) a syntetické, které jsou uměle vytvořené. Typickými představiteli jsou přírodní kaučuk (NR), butadien-styrenový kaučuk (SBR), polyisopren (IR). [1]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ

Vstřikování termoplastů je vysoce produktivní proces, schopný efektivně produkovat všestranné díly v úzkých rozměrových tolerancích. Ovšem před tím, než je možné určitý díl vyrobit pomocí vstřikování, musí být navržena a vyrobena příslušná vstřikovací forma. Vstřikovací forma je velice komplexní systém složený z rozličných komponent, které jsou vystaveny vysokému počtu cyklů mechanického a tepelného namáhání. [5]

2.1 Vstřikovací cyklus

Jak již bylo dříve uvedeno, vstřikovací cyklus je sled operací vedoucí k výrobě výstřiku. Jednotlivé úseky vstřikovacího cyklu trvají různě dlouho a jsou ovlivněny použitým materiálem, geometrií výrobku a technologickými parametry. Činnost stroje při vstřikovacím cyklu je znázorněna na obrázku 2. [6]



Obrázek 2 Vstřikovací cyklus

Fáze vstřikování

Vlastní proces plnění tvarové dutiny vstřikovací formy je jedním z nejdůležitějších úseků technologie vstřikování, protože rozhoduje o vlastnostech hotového výrobku. Jedná se o velmi krátký časový úsek, pohybuje se od zlomku sekundy do několika sekund u výstřiků s velkou hmotností. [6]

Fáze dotlaku

Po fázi vstřikování následuje fáze dotlaku, která kompenzuje smrštění výrobku během chlazení ve formě. Tento proces je možné vykonávat pouze do té doby, než dojde k zatuhnutí taveniny ve vtokovém systému. [5]

Fáze plastikace

V této fázi dochází k nadávkování taveniny pro další výrobní cyklus před čelo šneku. Doba plastikace nemá na celkovou délku výrobního cyklu žádný vliv, protože probíhá během

fáze chlazení. Tedy zatímco vstřík chladne v dutině vstřikovací formy, plastikační jednotka vstřikovacího stroje připravuje potřebné množství taveniny plastu pro další výrobní cyklus. [6]

Fáze chlazení

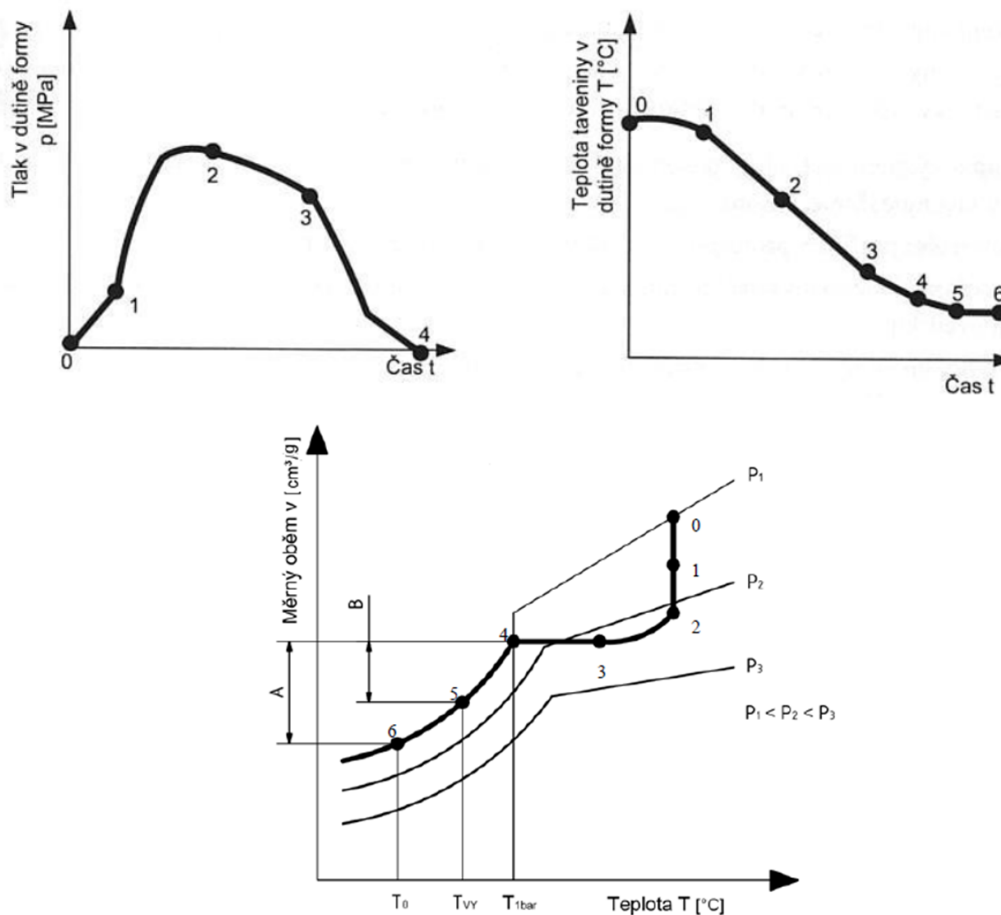
Fáze chlazení je nejdelší fází vstřikovacího cyklu, začíná již při prvním styku taveniny s formou a pokračuje během fáze dotlaku. Chlazení probíhá až do úplného ztuhnutí plastu v dutině vstřikovací formy. Vyhozovací teplota musí být taková, aby nedošlo k deformaci výrobku. Teplota plastového dílu je však stále ještě vyšší, než je teplota okolí. Ke zchladnutí výrobku na teplotu okolí již dochází mimo vlastní dutinu formy. [5]

Fáze vyhození vstříku

Výrobní cyklus končí otevřením vstřikovací formy a vyhozením výrobku. [6]

2.2 pvT diagram

pvT diagram příslušného materiálu velmi dobře popisuje vliv termodynamických pochodů na průběh smrštění (p – tlak, v – měrný objem, T – teplota). [7]



Obrázek 3 pvT diagram

bod 0 – šnek v plastikační komoře tlačí taveninu, tím vyvolá vstřikovací tlak, který dopraví taveninu přes odpory ve vtokovém systému do ústí vtoku.

bod 0 až 1 – objemové plnění tvarové dutiny formy, v bodě 1 je dutina naplněna.

bod 1 až 2 – tavenina je v dutině formy stlačována, v bodě 2 tlak dosahuje maxima a dochází k přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak.

bod 2 až 3 – tavenina chladne a tlak se snižuje, tím dochází k objemové kontrakci nebo-li objemovému smrštění. Dotlak zároveň doplňuje čerstvou taveninu z plastikační komory vstřikovacího stroje, čímž ztrátu objemu kompenzuje. V bodě 3 je vtokové ústí zcela zatuhlé a další působení dotlaku je neúčinné.

bod 3 až 4 – tlak klesá, objem výstřiku je konstantní, v bodě 4 tlak dosáhl hodnoty atmosférického tlaku T_{1bar} . Povrch výstřiku se v důsledku smrštění odděluje se od stěn tvarové dutiny formy.

bod 4 až 5 – za konstantního tlaku probíhá chlazení výstřiku až na vyhazovací teplotu T_{vy} , které je dosaženo v bodě 5 a díl je z formy vyhozen.

bod 5 až 6 – chlazení výstřiku mimo formu až po dosažení teploty okolí T_0 , což může trvat 16-48 hodin. [7]

2.3 Volba a popis vstřikovacího stroje

Správná volba vstřikovacího stroje je nezbytná pro dosažení kvalitních výrobků. Jeho volbu ovlivňují:

- hmotnost a rozměry vyráběného dílu,
- požadovaná přesnost a kvalita výstřiků,
- velikost formy. [2]

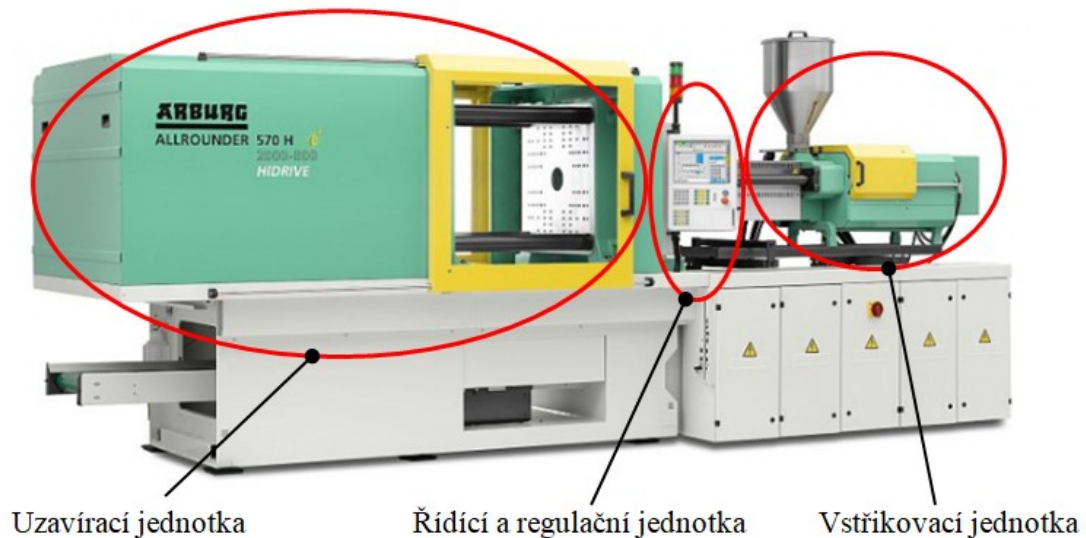
Proto navržený stroj musí mít:

- dostatečnou vstřikovací kapacitu,
- dostatečný uzavírací tlak,
- vhodnou koncepci. [2]

Celková hmotnost výrobní dávky = hmotnost výstřiku x násobnost + hmotnost vtoků.

Maximální vstřikované množství nemá překročit 90 %, ve stroji je nutná rezerva tzv. hmotového polštáře pro případné doplnění hmoty při jejím úbytku smrštěním (dotlak). [2]

Na obrázku 4 je znázorněno schéma stroje určeného pro vstřikování termoplastů. Jedná se o tvářecí proces, kdy roztavený polymer je silou dopravován do dutiny vstřikovací formy, kde ztuhne a zaujme svůj finální tvar. [5]



Obrázek 4 Vstřikovací stroj

Vstřikovací jednotka

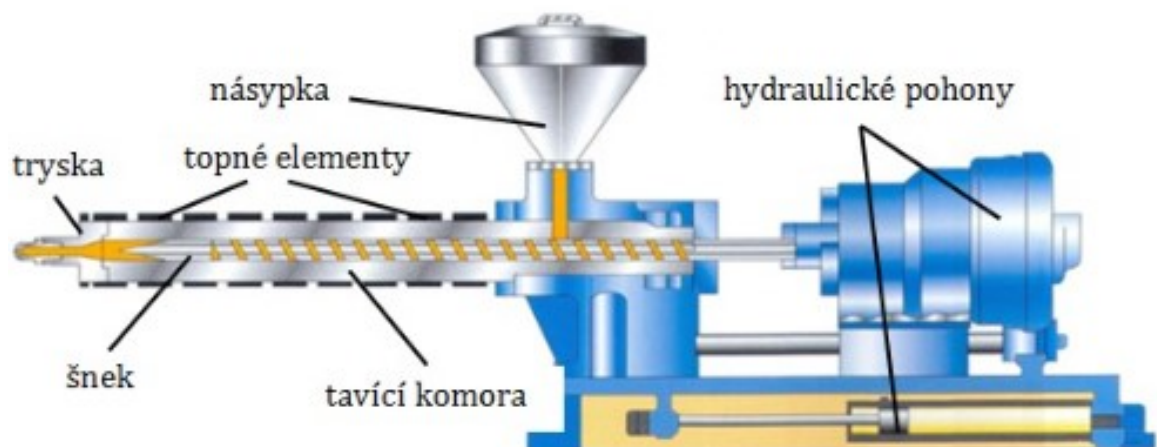
Ve vstřikovací jednotce dochází k přeměně granulátu na homogenní taveninu, která je následně vstříknuta vysokou rychlostí a pod velkým tlakem do dutiny formy.

První vstřikovací jednotky byly jednotky pístové. Jejich princip byl převzat z lití roztavených kovů pod tlakem. Udržely se až do poloviny 20. století, kdy byly postupně zcela vytlačeny jednotkami šnekovými. [8]

Mezi největší přednosti šnekových strojů patří:

- spolehlivá plastikace a dobrá homogenizace taveniny,
- zabránění přehřívání materiálu v tavicí komoře,
- odstranění potíží při čištění komory při výměně materiálu,
- zaručené přesné dávkování hmoty,
- vyšší účinnost zásahu do vstřikovacího procesu, např. řízením dotlaku.

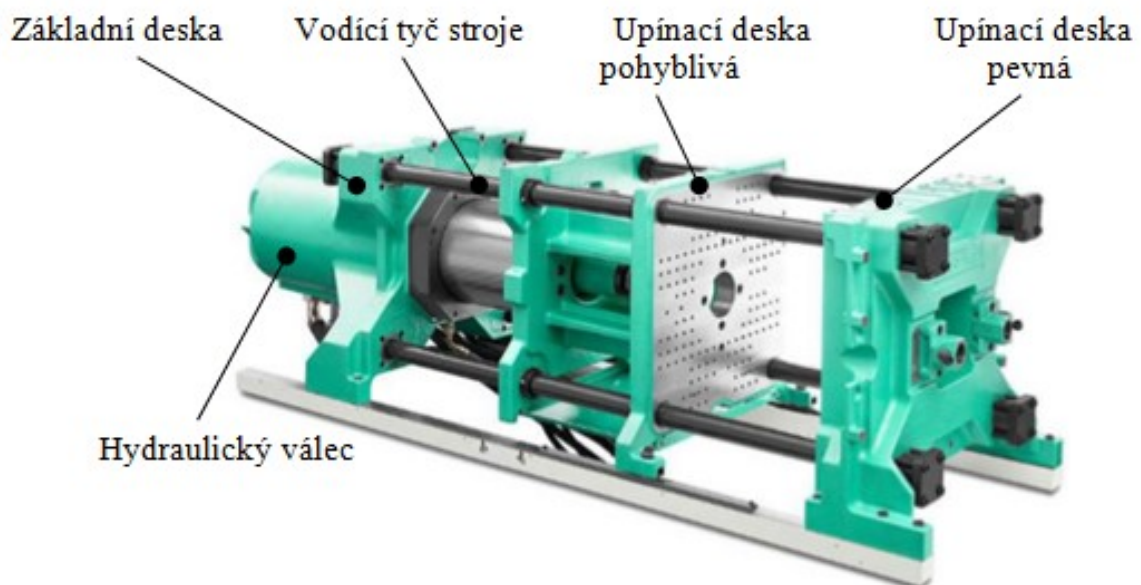
Nejdůležitější částí vstřikovací jednotky jsou tavicí komora, šnek, tryska a topení. [8]



Obrázek 5 Vstřikovací jednotka

Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zajistit bezpečné a plynulé otevírání a zavírání vstřikovací formy, její upnutí na vstřikovací stroj a také zabránit možnému nežádoucímu otevření formy během procesu vstřikování. [8]



Obrázek 6 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka se skládá z těchto hlavních částí: základní desky pevně spojené se strojem, pohyblivé desky, na kterou je upnuta pohyblivá část formy, upínací desky opatřené otvorem pro trysku vstřikovacího stroje, na kterou se připevní nepohyblivá část vstřikovací formy, vodící tyče stroje. Vstřikovací stroje používají v současné době různé

uzavírací systémy, které např. mohou být konstruovány jako hydraulické, mechanické, nebo hydraulicko-mechanické. [8]

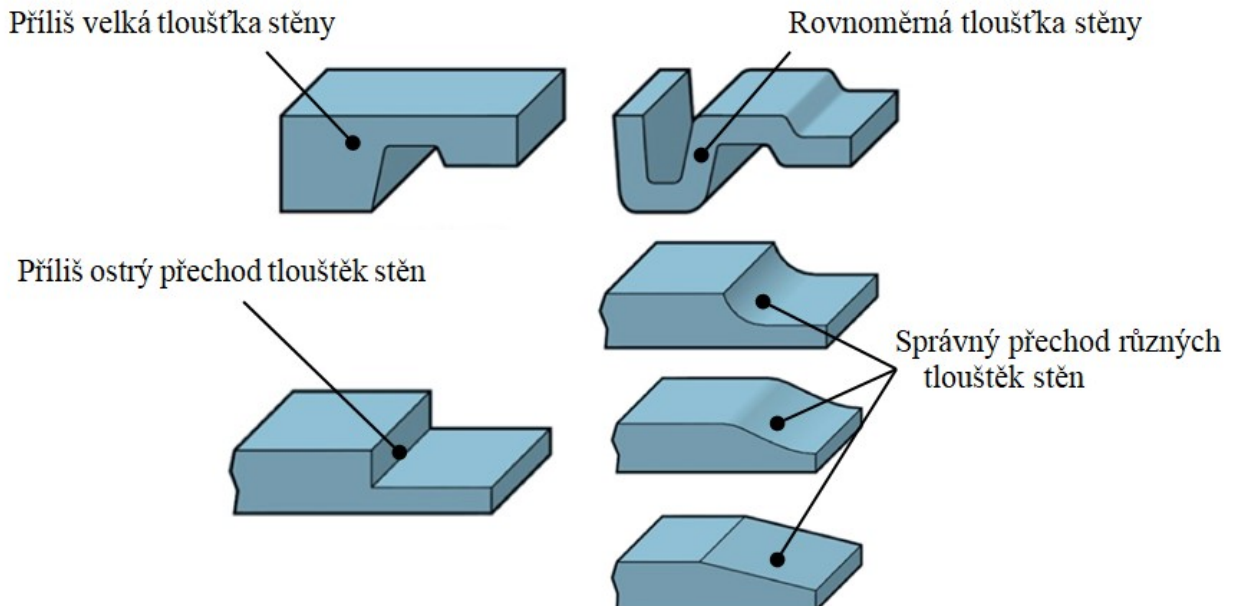
3 ZÁSADY KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

Správná konstrukce je nejdůležitější etapou realizace plastového dílu, a to jak z hlediska funkčního, tak z pohledu technologického. Samotná byť koncepčně dobře řešená forma a optimální technologie výroby, již prvotní nedostatky konstrukce dílu neodstraní. Celková konstrukce součásti musí především splňovat vhodnou polohu dělicí roviny (dělicích rovin) a tím je určen i způsob jejího zaformování. K ní se váže koncept vyhazování, vtokového systému, odvzdušnění, směr úkosů atd. [9] [10]

3.1 Tloušťka stěn

Tloušťka stěn je volena co nejmenší z důvodů omezení vzniku povrchových propadlin a vnitřních staženin. Malé tloušťce stěny také přispívá ekonomický faktor požadující malou spotřebu materiálu a krátké časy chlazení. Minimální tloušťka je ovšem omezena požadovanou pevností, tuhostí a rozměrovou stabilitou vstřikovaného výrobku.

Je-li nezbytné použít různou tloušťku, pak přechod tlouštěk musí být pozvolný nebo zaoblený, tak aby nevznikaly ostré kouty působící jako vruby. [11] [12]

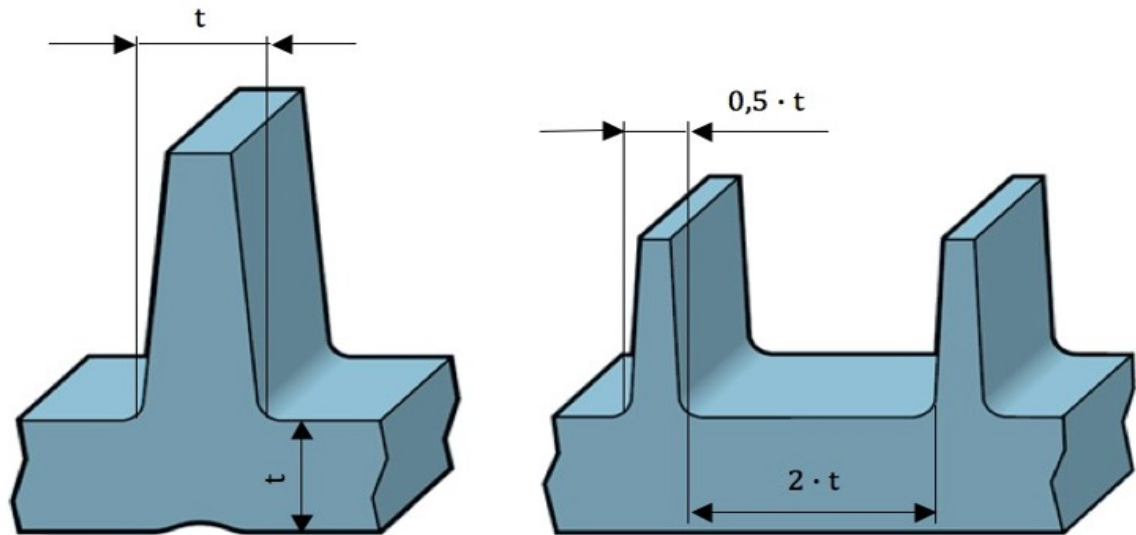


Obrázek 7 Doporučení při návrhu tlouštěk stěn

3.2 Žebrování

Žebra se užívají ke zvýšení pevnosti a tuhosti výrobků, lze jimi eliminovat vady jako jsou propadliny nebo lunkry, brání borcení stěn a umožňují optimálnější plnění dutiny formy. Výška žebra by neměla přesáhnout trojnásobek jeho tloušťky u základny. Vyšší žebra je

lepší nahradit větším počtem menších žebér, která jsou lépe vyrobitelná. V tomto případě, jak je možno vidět na obrázku 8, je nutné dodržet vzdálenost mezi dvěma sousedními žebry a to minimálně ve vzdálenosti, která odpovídá dvojnásobku tloušťky stěny výrobku. [5] [6]



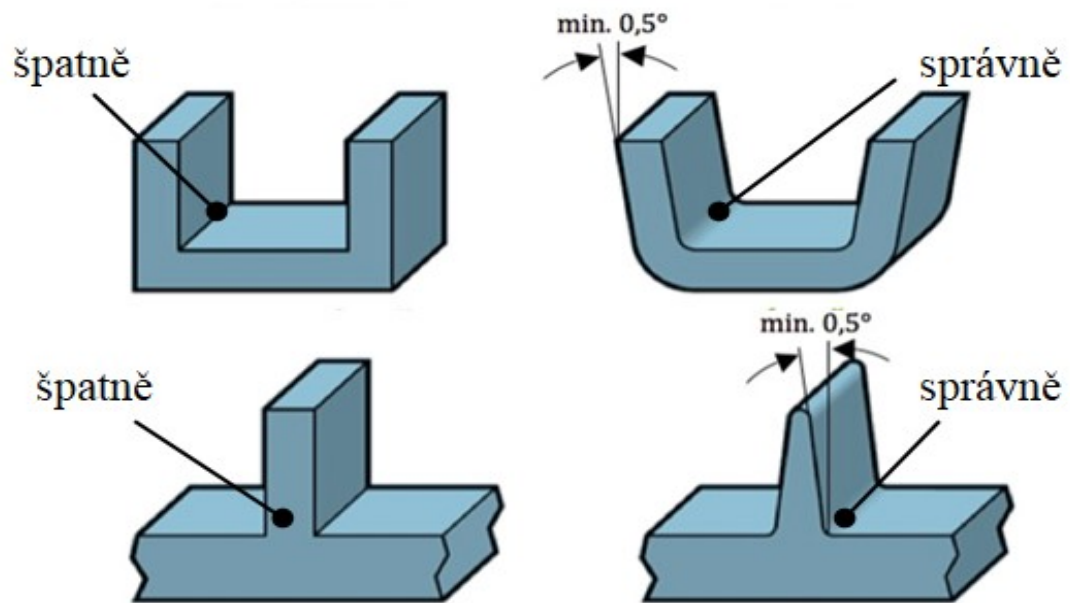
Obrázek 8 Nahrazení jednoho žebra dvěma nižšími

3.3 Zaoblení hran, rohů a koutů

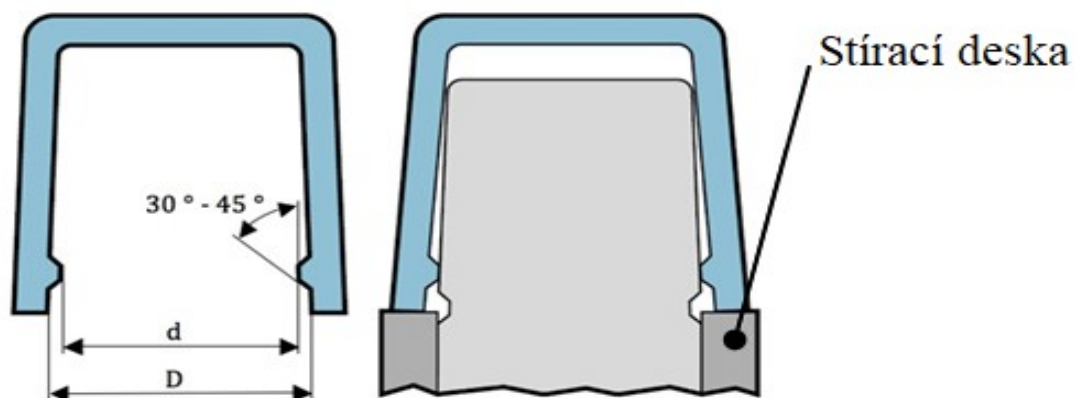
Jakákoliv změna průřezu způsobí zvýšení napětí. Koncentrace napětí se vyskytuje na vnitřních ostrých hranách. Zde je místo pro výlisek značně nebezpečné z hlediska prasknutí, proto musí být vnitřní rádius min. 50 % tloušťky stěny. Zaoblení výrobků usnadňuje tok taveniny, snižuje opotřebení formy a až o 50 % zvyšuje rázovou houževnatost výrobku. [2]

3.4 Úkosy a podkosy

Stěny výstřiku rovnoběžné na směr otevírání formy jsou pro snadnější vyjímání z dutiny opatřeny úkosy. Velikost úkosů je závislá na typu vyhazovacího systému. Obvykle se hodnota úkosů vnějších stěn pohybuje od 0,5 do 2°. Hodnota úkosů vnitřních stěn je volena od 0,5 do 3°. Opakem úkosu je podkos, který zabraňuje vyjímání výstřiku z dutiny formy. Snahou je se podkosům na vstřikovaném výrobku vyhnout. Někdy se na výrobek umisťují záměrně tak, aby výrobek zůstal na jedné z částí formy. [11] [12]



Obrázek 9 Základní doporučení pro návrh úkosů



Obrázek 10 Doporučená konstrukce odformovatelných podkosů

3.5 Smrštění

Smrštění je objemová změna, ke které dochází při tuhnutí taveniny polymeru. Hodnota smrštění se vyjadřuje v procentech a udává o kolik je rozměr výrobku menší, než daný rozměr formy. Smrštění měřené po 24 hodinách od vyrobení se nazývá výrobní smrštění a tvoří 90% hodnoty smrštění celkového. Po 24 hodinách ovšem nejsou rozměry výrobku zcela stabilizovány z důvodu relaxace napětí, proto se sleduje ještě tzv. dodatečné smrštění. Na velikost smrštění má vliv nejenom řada technologických parametrů jako jsou

vstřikovací tlak a rychlost, teplota formy, teplota taveniny, dotlak, ale i materiál výrobku (amorfní termoplasty mají menší smrštění než semikrystalické), tloušťka stěny (s rostoucí tloušťkou stěny roste i hodnota smrštění), umístění vtoku, geometrie dílu a řada dalších. Jednotlivé parametry se vzájemně ovlivňují, existuje mezi nimi určitá závislost, tudíž je nelze posuzovat odděleně. [7] [10]

Termoplast	Smrštění [%]	Termoplast	Smrštění [%]
LDPE	1,5 až 3,0	PA6	1,0 až 2,5
HDPE	2,0 až 4,0	PA66	1,0 až 2,0
PP	1,5 až 2,0	POM	1,0 až 3,2
PS	0,2 až 0,5	PC	0,6 až 0,8
ABS	0,4 až 0,7	PBT	1,7 až 2,3
PVC	0,2 až 0,6	PMMA	0,3 až 0,8

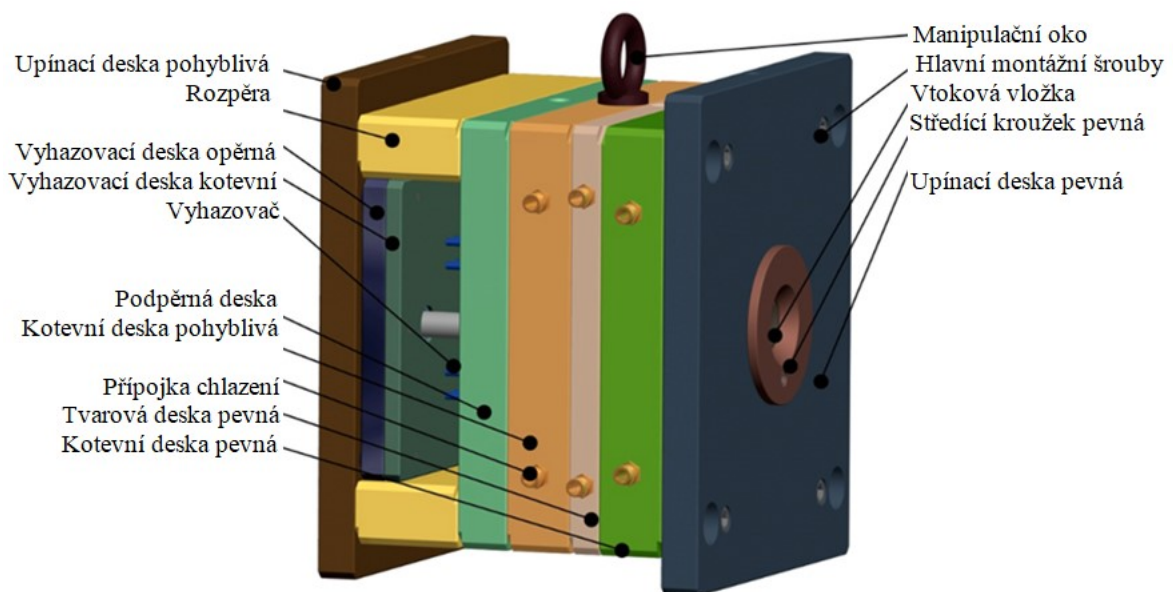
Obrázek 11 Velikost smrštění vybraných druhů termoplastů

4 KONSTRUKCE FOREM

Vstřikovací forma je komplexní systém, který dává tavenině po jejím ochlazení výsledný tvar a rozměry výrobku. Primární funkcí je dopravit roztavený polymer do dutiny formy a naplnit ji. Sekundární funkcí vstřikovací formy je efektivní odvod tepla, které se do formy přivedenou taveninou dostane. Dále musí forma zajistit bezpečné a rychlé vyjmutí dílu, musí být schopna odolávat značně vysokým silám a tlakům vznikajícím v průběhu vstřikování. [6]

4.1 Popis vstřikovací formy

Forem pro vstřikování termoplastů existuje nespočet variant. Níže je popsána varianta nejjednodušší.



Obrázek 12 Popis vstřikovací formy

Na obrázku je možné vidět základní typ dvou-deskové vstřikovací formy, desky jsou vzájemně spojeny pomocí šroubů s válcovou hlavou. Upínací desky pevné a pohyblivé části vstřikovací formy slouží k upnutí formy na vstřikovací stroj. Kotevní a tvarové desky vytvářejí tvarovou dutinu formy. Dutina může být vytvořena buď přímo v těchto deskách, nebo tyto desky slouží k ukotvení vložek, ve kterých je příslušná tvarová dutina vytvořena. Jelikož k výrobě dílů, které tvoří dutinu vstřikovací formy, je nutné použití mechanicky popř. abrazivně odolnějších a tím pádem dražších materiálů, nabízí použití tvarových vložek v některých případech i velmi významnou úsporu nákladů na výrobu vstřikovací

formy. Pro ukotvení těchto vložek lze totiž použít méně mechanicky odolných tím pádem i levnějších materiálů. [6]

Další nedílnou součástí vstřikovací formy jsou středící kroužky pevné a pohyblivé části vstřikovací formy. Funkce středícího kroužku spočívá v zajištění přesné polohy vstřikovací formy na vstřikovacím stroji. Vstřikovací forma musí být upnuta tak, aby osa trysky vstřikovacího stroje byla totožná s osou vtokové vložky vstřikovací formy, přes kterou proudí tavenina plastu do vtokového systému a dutiny vstřikovací formy. Rovněž z pohledu ovládání vyhazovacích desek je nezbytné, aby osa vstřikovacího stroje byla totožná s osou, ve které je vytvořen otvor v hlavní vyhazovací desce, sloužící k připojení vyhazovacího systému vstřikovací formy k vyhazovacímu systému vstřikovacího stroje. Průměr středícího kroužku musí odpovídat průměru středícího otvoru vstřikovacího stroje. Dle jednotlivých výrobců a velikosti vstřikovacích strojů se mohou průměry středících otvorů lišit. [6]

Mezi další důležité komponenty vstřikovací formy patří:

Vodící pouzdro – je v posuvné vazbě s vodícím sloupkem a společně zajišťují vzájemnou správnou a přesnou polohu pohyblivé a pevné části vstřikovací formy.

Centrovací pouzdro – zajišťuje vzájemnou správnou a přesnou polohu desek, kterými prochází.

Pojišťovací kolík – v případě, že je to nutné, slouží pojišťovací kolíky k zajištění vyhazovačů proti nahodilému pootočení během provozu vstřikovací formy. Jedná se o případy, kdy čelo vyhazovače ústí do povrchu dutiny formy, který vyžaduje např. zabroušení vyhazovače pod určitým úhlem či zabroušení čela vyhazovače do určitého nepravidelného nesymetrického tvaru.

Přidržovač/vyhazovač vtokového systému – během otevírání vstřikovací formy drží vtokový systém na pohyblivé straně formy a zajišťuje odformování vtokového systému z vtokové vložky popř. z části vtokového systému, která je vytvořena v pevné části vstřikovací formy.

Dorazová podložka hlavní vyhazovací desky – zajišťuje přesnou kontrolu zdvihu vyhazovačů. [6]

4.2 Násobnost formy

Násobností vstřikovací formy se rozumí počet tvarových dutin. Optimální volba násobnosti se posuzuje z hlediska:

- velikosti a kapacity vstřikovacího stroje,
- požadovaného termínu dodání,
- ekonomiky výroby,
- charakteru a přesnosti výrobku,
- požadovaného množství výrobků. [2]

Tvarově složité a velké díly se vyrábí v jednonásobných formách z důvodu její složitosti, naopak jednoduché a malé díly se vyrábí ve formách vícenásobných. [2]



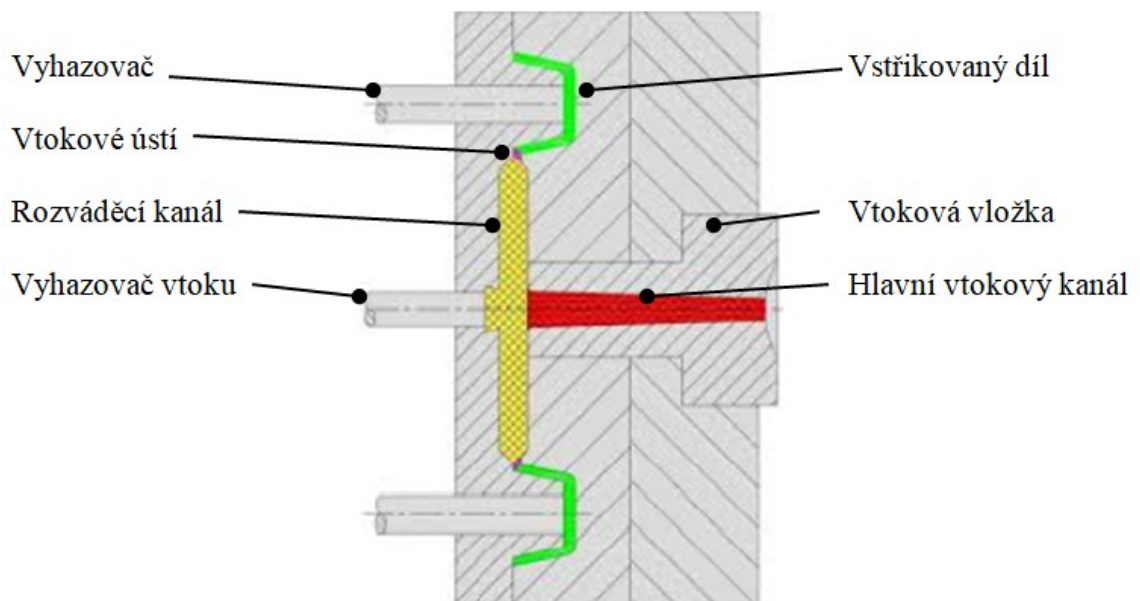
Obrázek 13 Příklady násobnosti forem

4.3 Vtokový systém

Úkolem vtokového systému je zajistit dopravu taveniny plastu z plastikační komory do dutiny formy. Vtokové ústí by mělo být dimenzováno tak, aby umožňovalo maximální dobu působení dotlaku kvůli vyrovnání objemového smrštění. Vtok by měl být směřován do nejtlustšího místa stěny výrobku. [9]

4.3.1 Studený vtokový systém (SVS)

Základní části studeného vtokového systému popisuje níže uvedený obrázek. Úkolem SVS je dopravit taveninu do tvarové dutiny formy a naplnit ji co nejrychleji s minimálním odporem. [2] [13]

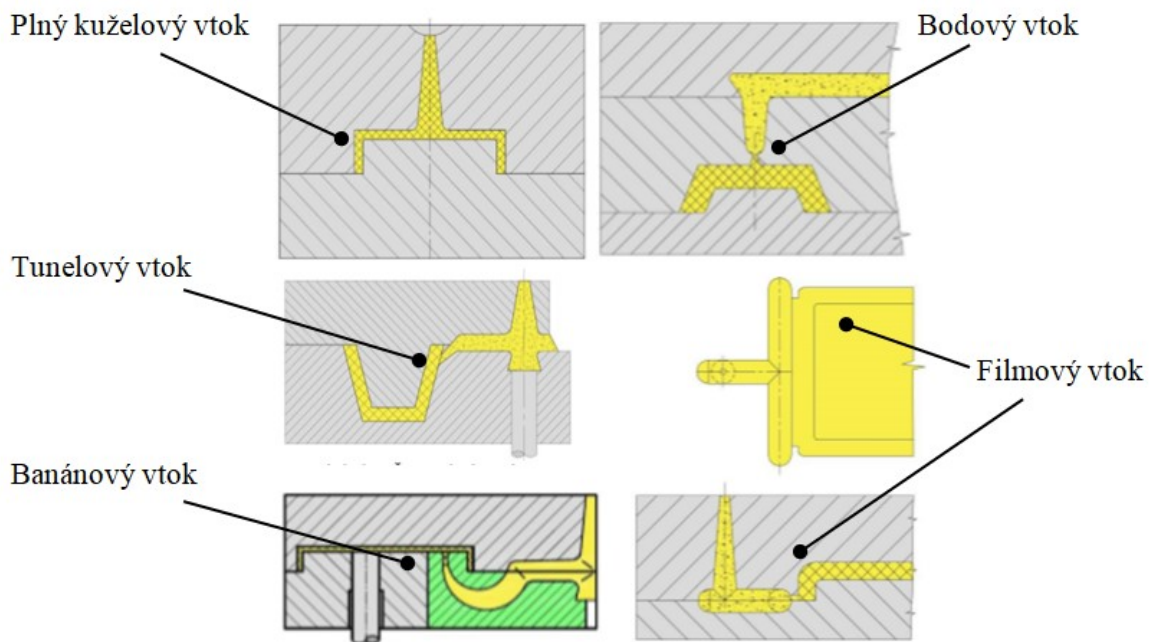


Obrázek 14 Studený vtokový systém

Hlavní vtokový kanál je vytvořen ve vtokové vložce, která je jednou z nejvíce tepelně a mechanicky namáhaných částí vstříkovací formy. Je vyrobena z ořezavzdorné nástrojové oceli a leštěna na Ra 0,1. Tavenina přivedená touto vtokovou vložkou je k jednotlivým dutinám formy dopravena prostřednictvím studených rozvodných kanálů. Funkcí vyhozovače nebo také přidržovače vtoku je udržet výrobek na pohyblivé straně formy po jejím otevření. Zúžením rozvodného kanálu se vytváří vtokové ústí, které se doporučuje umístit do místa, kde je tloušťka stěny největší, zřetel musí být brán i na to, aby tokem taveniny nevznikaly studené spoje. [9] [8]

Typy vtokových ústí:

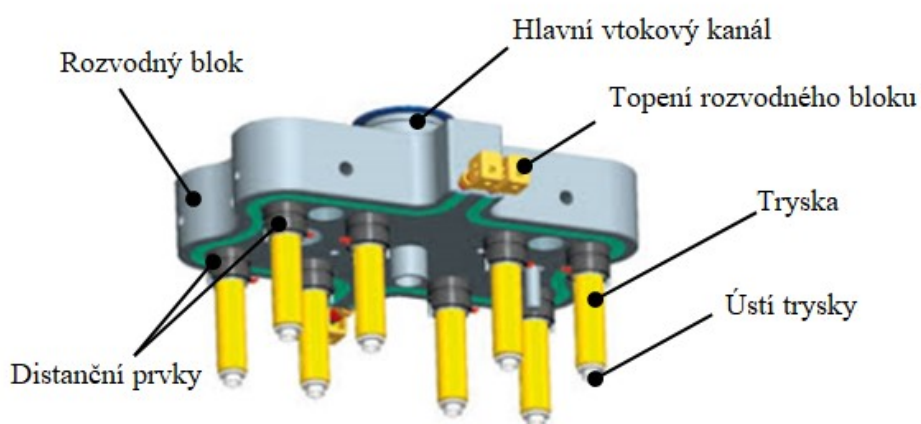
- kuželový vtok – vhodný pro tvarově nenáročné symetrické díly se silnějšími stěnami, nutno odstraňovat vtokový zbytek,
- bodový vtok – vhodný pro tenkostěnné výrobky, vyžaduje třídeskový systém formy,
- tunelový vtok – k oddělení vtokového zbytku dochází při otevření formy, systém třídeskové formy není nutný,
- filmový vtok – vhodný pro plasty plněné skelnými vlákny, vtokový zbytek nutno oddělit po vyhození výrobku z formy,
- banánový vtok – používá se tam, kde je nutno zamezit stopě po vtoku na viditelné straně výrobku. [9]



Obrázek 15 Základní typy vtokových ústí

4.3.2 Vyhříváný vtokový systém (VVS)

Vyhříváné vtokové systémy zaujímají při konstrukci forem stále větší uplatnění. Je to dáno nespornými výhodami oproti studeným vtokovým systémům, mezi které jednoznačně patří umožnění automatizace výroby, zkrácení doby chlazení a tím pádem i celého výrobního cyklu, odpadá zde problematika odstraňování vtokových zbytků, což snižuje náklady na dokončovací práce. Mezi nevýhody bychom mohli zařadit poměrně vyšší cenu a konstrukční náročnost formy. [9]



Obrázek 16 Popis horkého vtoku

4.4 Temperační systém

Způsob uspořádání a dimenzování temperačního systému ve formě má značný vliv na vlastnosti výrobku a jeho deformace. Cílem temperačního systému formy je zajistit rovnoměrné teplotní pole po celém povrchu tvarové dutiny vstřikovací formy v závislosti na druhu zpracovávaného polymeru. Dostatečná hmotnost formy a její správně řešený temperační systém vede ke zvýšení tepelné a tím i rozměrové stability, nebezpečí deformace při vysokých vstřikovacích tlacích je sníženo. [5] [6]

Ekonomická návratnost a výhodnost celého procesu vstřikování je úzce spojena s hodinovou produkcí, které je schopna forma dosáhnout. S ohledem na tuto skutečnost je požadován co nejkratší vstřikovací cyklus, avšak při zachování požadované kvality výrobků. Této rovnováhy může být dosaženo pouze v případě vhodné výměny tepla mezi vstřikovaným plastem a formou a rovnoměrného rozložení teploty na stěnách formy během procesu vstřikování. [6]

4.5 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém vstřikovací formy je zodpovědný za odformování vstřikovaného dílu z dutiny poté, co je vstřikovací forma otevřena. Jakkoliv se to může zdát jednoduché, komplexnost vyhazovacího systému se může velmi výrazně lišit podle požadavků konkrétní procesní aplikace. Musí být vyřešena řada bodů tak, aby fungoval nejen vyhazovací systém ale i vstřikovací forma jako taková. Mezi tyto body patří:

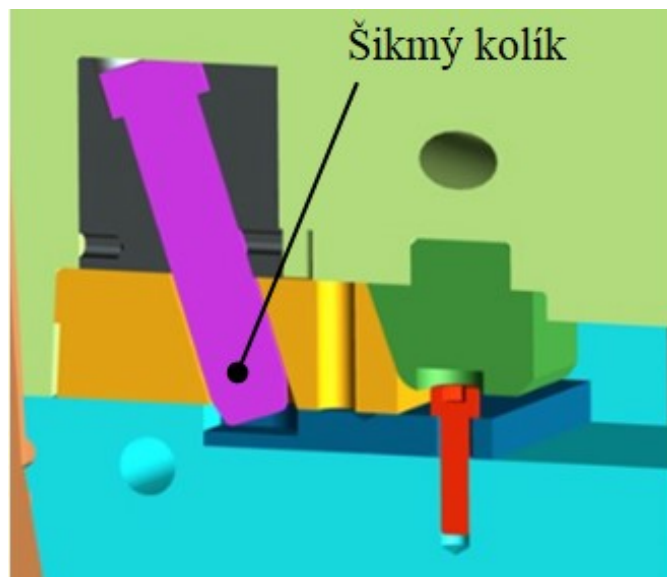
- osy směrů pohybů vyhazovacího systému,
- rozložení vyhazovačů na vstřikovaném dílu,
- vyhazovací síla a další. [6]

Vyhazovače jsou ukotveny mezi hlavní a přidržovací vyhazovací desku a tento celek je připojen k vyhazovacímu (obvykle hydraulickému) mechanismu vstřikovacího stroje. [6]

4.5.1 Druhy vyhazovacích systémů

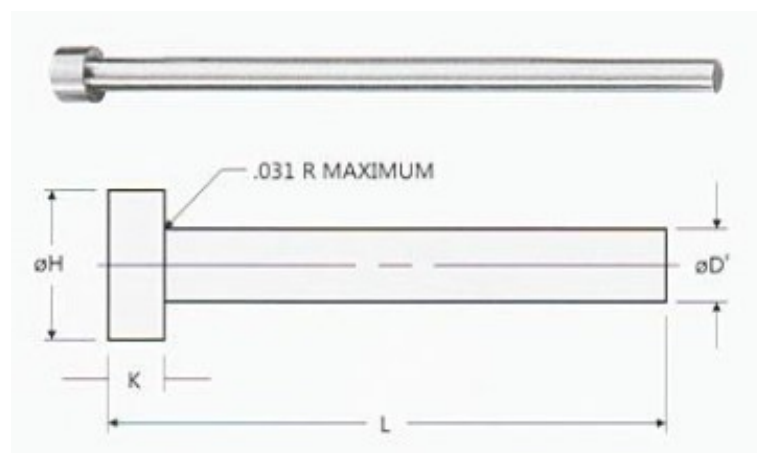
4.5.1.1 Mechanické vyhazování

- šikmé kolíky – používají se k vyhazování menších výrobků, k hlavní dělicí rovině jsou uloženy pod různými úhly,



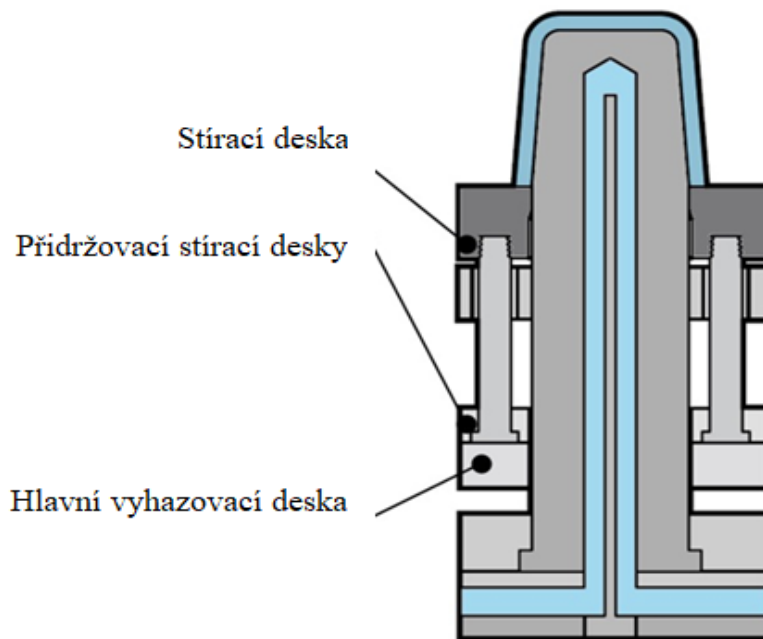
Obrázek 17 Příklad použití šikmého kolíku ve formě

- vyhazovací kolíky – jedná se o nejběžnější a nejlevnější způsob vyhazování výrobků. Je možné je použít všude tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výrobku. Vůle uložení je H7/g6, H7/h6, H7/j6 a plní funkci i jako odvzdušnění formy,



Obrázek 18 Vyhazovací kolík

- stírací desky – doslova stahují výrobek z tvárníku, přičemž největší výhodou je, že na výrobku nezanechávají stopu po vyhazovači. [2] [13]



Obrázek 19 Stírací deska

4.5.1.2 Pneumatické vyhazování

Pneumatické nebo-li vzduchové vyhazovače se používají především pro tenkostěnné výrobky větších rozměrů. Vzduch je veden mezi výrobek a líc vstřikovací formy. Velkou výhodou je minimální stopa po vyhazovači, nevýhodou pak může být nutnost vytvoření kanálu pro přívod vzduchu. [2]

4.5.1.3 Hydraulické vyhazování

V dnešní době již nebývá hydraulická jednotka součástí samotné vstřikovací formy, ale vybírá se z katalogů specializovaných výrobků. Charakteristickým znakem je velká vyhazovací síla. [2]

4.6 Odvzdušnění

Při každém výrobním cyklu jsou tvarové dutiny formy před jejím naplněním zavzdušněny. Konstrukce formy musí zajistit úplný odvod vzduchu a případných zplodin vzniklých při plastifikaci granulátu v plastikační komoře. Platí zde přímá úměra – čím větší rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušnění tvarové dutiny formy. [7]

Neodvedený vzduch může vyvolat vady a technologické problémy, jako jsou např. nedostříknuté výrobky (zatumnutí čela taveniny), spálená místa na výstřicích vyvolaná Dieselovým efektem, tvorba bublin ve stěnách výstřiků, výskyt studených spojů, vnesení vnitřního pnutí do výstřiku. Problém s odvodem vzduchu je nejlepší řešit již při konstrukci formy využitím znalostí zkušeného konstruktéra nebo pomocí počítačových analýz plnění dutin formy (programy Cadmould, Moldflow, Moldex 3D). [10]

TYP PLASTU	ŠÍŘKA ODVZDUŠŇOVACÍHO KANÁLU [mm]
PC, POM	max. 0,05
PS, ABS	max. 0,05
PA	0,02 - 0,03
PBT	max. 0,03
PA (se skelným vláknem)	0,05 - 0,05
strukturní pěny	max. 0,1

Obrázek 20 Příklady šířek odvzdušňovacích kanálů u vybraných materiálů

4.7 Používané materiály při výrobě forem

Vstřikovací formy jsou velmi nákladné nástroje, které jsou sestaveny z mnoha dílů. Na každý díl jsou kladeny specifické požadavky. Nezastupitelné místo zde zauímají ocele, kterých je nepřeberné množství, dále jsou to neželezné kovy a jejich slitiny a ostatní materiály určené k výrobě tepelně nevodivých materiálů, kterými jsou např. izolační desky, které zabráňují přestupu tepla z rozehráté formy na vstřikovací stroj. [11] [12]

Oceli jsou nejvýznamnějším druhem používaných materiálů na výrobu forem. Svou pevností a dalšími mechanickými vlastnostmi se dají jen obtížně nahradit. Z širokého sortimentu jakosti ocelí se současně pro výrobu forem používají následující skupiny:

- oceli konstrukční k použití v přírodním i zušlechtěném stavu,
- oceli k snadnému opracování a tváření, pro cementování a zušlechtování,

- oceli uhlíkové k zušlechťování,
- oceli nástrojové legované se sníženou i velkou prokalitelností a odolností proti otěru,
- oceli k nitridování,
- oceli antikorozi, používané při zpracování plastů, které chemicky ovlivňují ocel,
- oceli martenziticky vytvrditelné s malou deformací při tepelném zpracování a velkou stálostí rozměrů. [2]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI

Pro praktickou část této bakalářské práce byly stanoveny níže uvedené cíle:

- Provést konstrukci 3D modelu vyráběné součásti
- Navrhnout 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadané součásti
- Nakreslit 2D sestavu vstřikovací formy

V teoretické části byla vysvětlena podstata polymerů, jejich rozdělení a stručná charakteristika, dále byla popsána technologie vstřikování termoplastů, zásady konstrukce vstřikovaných výrobků a postup při konstrukci vstřikovací formy.

Pro splnění cílů praktické části byl použit program Solidworks 2020 a knihovna normálií od firmy Meusburger.

6 POUŽITÉ APLIKACE

6.1 Solidworks 2020

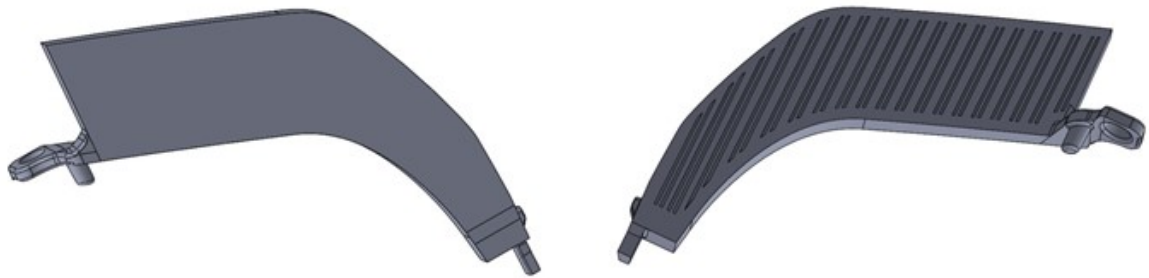
Solidworks je strojírenský 3D CAD software vyvinutý společností Daessault Systemes, Jako parametrický 3D modelář nabízí objemové i plošné modelování, nástroje pro svařence, plechové díly a formy, dále nabízí práci se sestavami a automatické generování výrobních výkresů. Program má přehledné ovládání a je intuitivní. [14]

6.2 Meusburger katalog

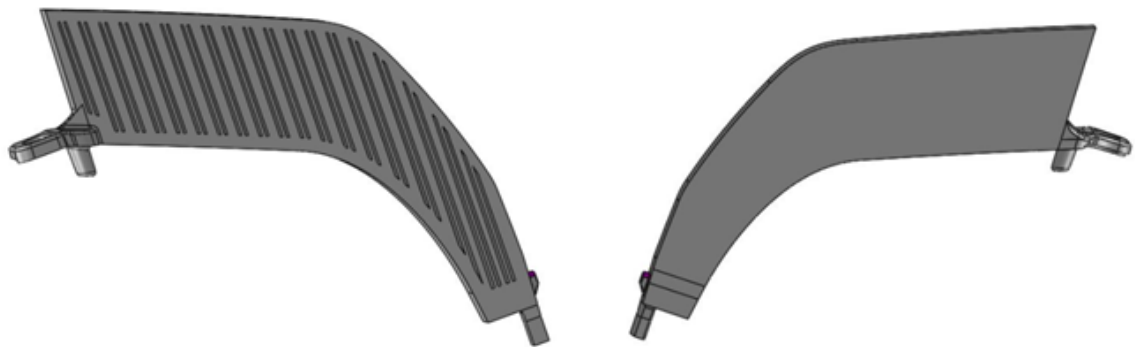
Firma Meusburger je výrobce vysoce přesných standardizovaných komponentů. Mimo jiné poskytuje katalog normálií, jedná se o 3D knihovnu normalizovaných součástí, které jsou nezbytné pro konstrukci vstřikovacích forem. Ty je možné uložit v různých formátech a použít pro konstrukci formy. [15]

7 POPIS VÝROBKU

Vstříkovaný díl je tlustostěnný světlovod předního světla automobilu. Jedná se o optický díl určený k vedení světla, reprezentuje signální světelnou funkci a je vyroben z opticky transparentního materiálu.



Obrázek 21 3D model výrobku levého (Li)



Obrázek 22 3D model výrobku pravého (Re)

Vedení světla ve světlovodu je založeno na principu totálního odrazu světla. Navázaný světelný paprsek ze zdroje se šíří postupnými totálními odrazy od stěn světlovodu. Soustava zubů nebo vrypů na díle mění dráhu paprsku tak, aby byla porušena podmínka totálního odrazu, dále přesně vymezuje směr vyvázaného světla. Důležitou roli zde hraje řada faktorů jako např.:

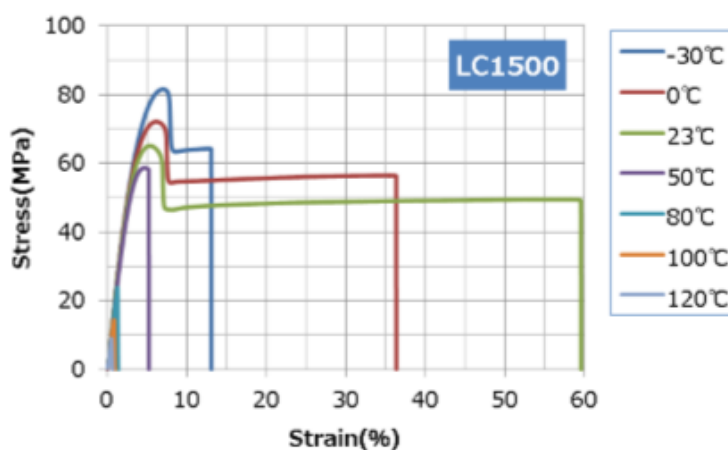
- tvar zubů.
- úhel, který svírá zub s podélnou osou světlovodu.
- tvar průřezu světlovodu.

Použití světlovodů ve světlometech, resp. jejich světelný výstup podléhá velmi přísným zákonným předpisům.

Hlavní rozměry výrobku jsou (129x124x24) mm, hmotnost je 39 g.

7.1 Materiál výrobku

Pro výrobek byl použit materiál Tarflon LC 1500. Jde o speciální polykarbonát vyráběný firmou Idemitsu v Japonsku. Materiál má výborné optické, mechanické, tepelné i elektrické vlastnosti, je odolný proti nárazu, má vynikající tvarovou stabilitu a průhlednost. Tarflon LC 1500 je uznáván jako přední světový standard pro světlovodné díly. Níže uvedený obrázek ukazuje mechanické vlastnosti Tarflonu při různých teplotách.



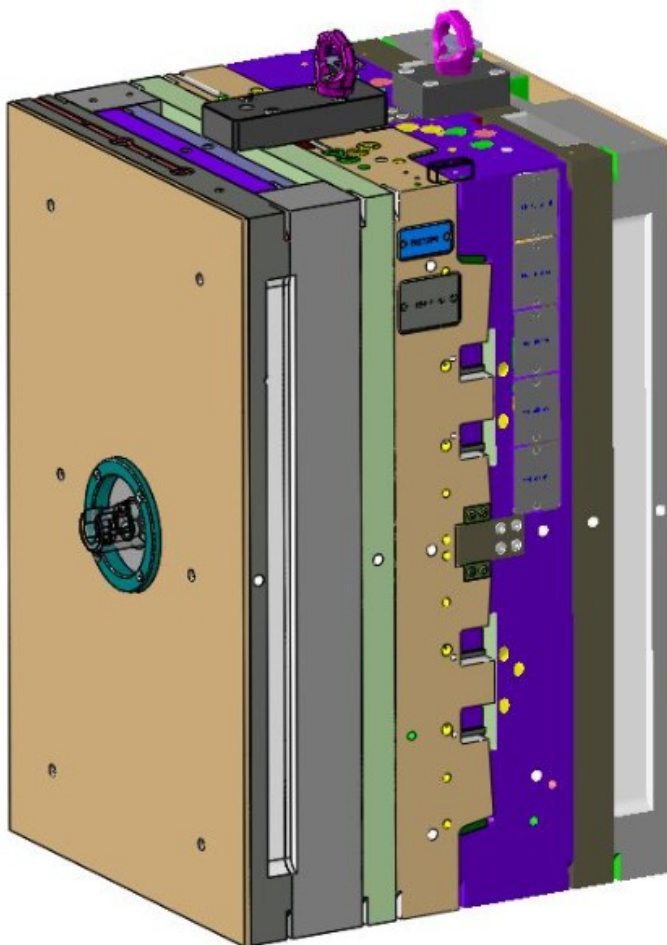
Obrázek 23 Mechanické vlastnosti materiálu Tarflon LC1500

Tabulka 1 Vybrané vlastnosti materiálu PC Tarflon LC 1500

VLASTNOSTI	HODNOTA	JEDNOTKA	NORMA
ITT	65	g/10 min	ISO 1133
Hustota	1.2	g/cm ³	ISO 1183
Propustnost světla	90	%	ISO 13468-1
Smrštění	0,5-0,7	%	ASTM D 955
Teplota tání	300	°C	-
Mez pevnosti	65	MPa	ISO 527
Pevnost v ohybu 23°C	2.3	GPa	ISO 178
Teplota vstřikování	240-260	°C	-
Teplota formy	80-120	°C	-
Podmínky sušení	120	°C	-
	5-8	hod	-

8 KONSTRUKCE FORMY

Konstrukce formy se odvíjela od velikosti vstřikovaného dílce, od jeho složitosti a požadavků na přesnost. Forma se skládá se ze tří hlavních částí, pevné strany, pohyblivé strany a z vyhazovacího mechanismu. Celá forma byla navržena v programu Solidworks 2020, normalizované díly byly použity z katalogu firmy Meusburger, spojovací materiál z knihovny dílů programu Solidworks2020. Rám vstřikovací formy je složen z normalizovaných desek a jeho rozměry jsou (896 x 546 x 589) mm.



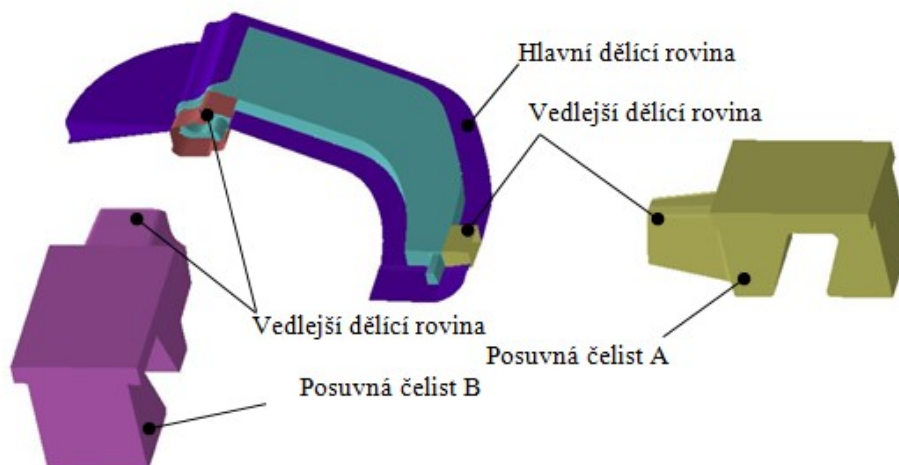
Obrázek 24 3D model vstřikovací formy

8.1 Násobnost formy

Násobnost formy se posuzuje hned z několika hledisek, jsou nimi např. zadané množství, které je třeba vyrobit a s tím související ekonomika provozu. Násobnost formy byla zadána vedoucím bakalářské práce, jedná se o formu osminásobnou párovou, což znamená, že při jednom cyklu jsou z formy vyhozeny čtyři díly pravé a čtyři levé.

8.2 Zaformování výrobku a určení dělicí roviny

Zaformování výrobku bylo provedeno pomocí jedné hlavní dělicí roviny a dvou vedlejších dělicích rovin. Hlavní dělicí rovina vede mezi tvárníkem a tvárnicí, další dvě jsou mezi posuvnými čelistmi a jsou kolmé k hlavní dělicí rovině. Protože stopa po dělicích rovinách je vždy viditelná, byly umístěny na nepohledovou nefunkční plochu výrobku.

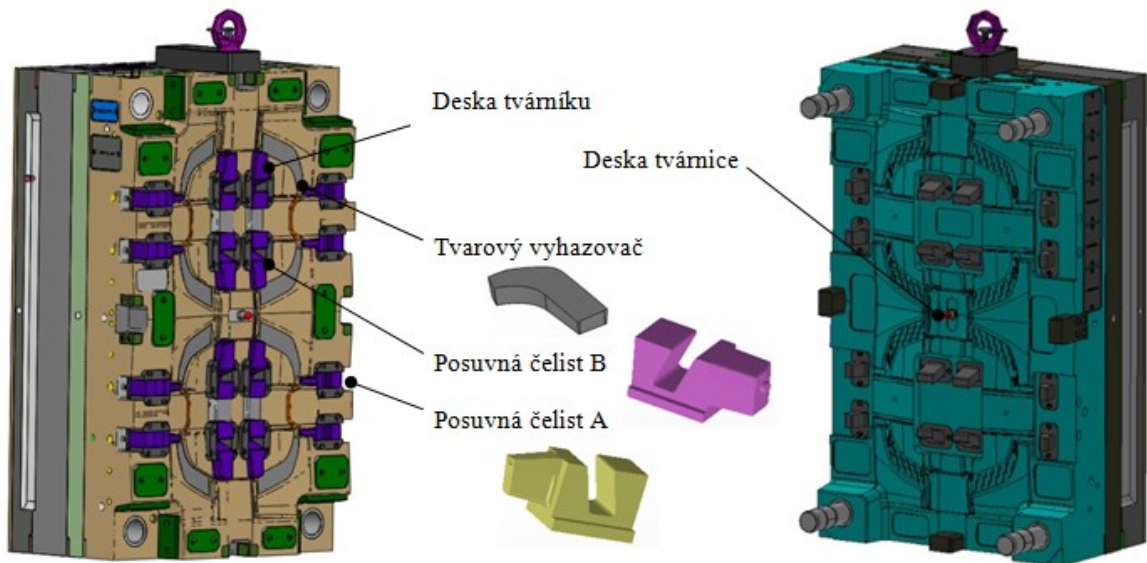


Obrázek 25 Dělicí roviny

8.3 Tvarové části formy

Vzhledem k násobnosti formy bylo zvoleno zaformování přímo do kotevnic desek bez použití tvarových vložek, které jsou náročnější na opracování a celou formu by tak prodražily.

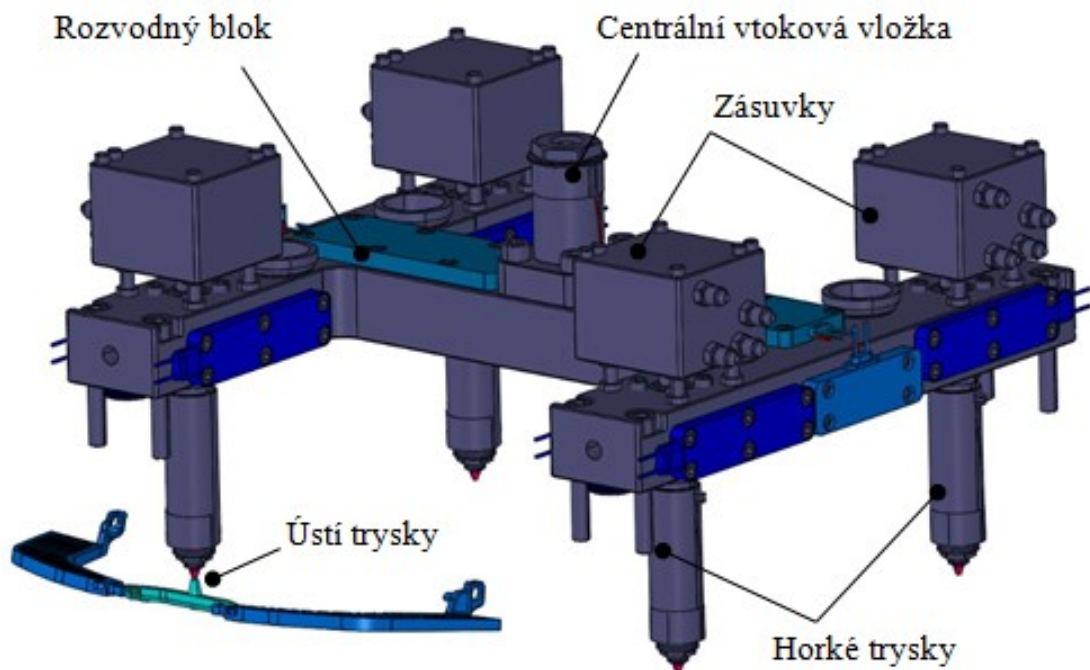
Dutina formy je tvořena dvěma hlavními částmi, tvárníkem a tvárnicí o rozměrech (896x546x140) mm a dvěma posuvnými čelistmi pro boční odformování. Spojení těchto čtyř částí vytváří negativ tvaru požadovaného výrobku. Jako materiál pro tyto tvarové díly byla zvolena nástrojová ocel 1.2343.



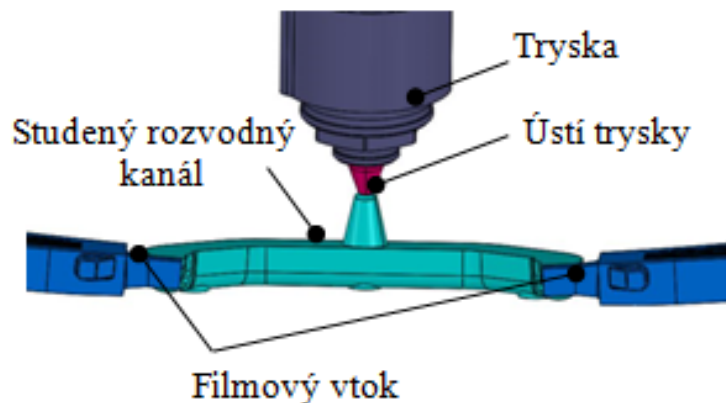
Obrázek 26 Tvarové části výrobku

8.4 Vtokový systém

Forma byla navržena s horkým vtokovým systémem kombinovaným se studeným rozvodným kanálem a filmovým vtokovým ústím. Celá sestava se skládá z rozvodného bloku s centrální vtokovou vložkou včetně jejího vyhřívání a čtyř trysek. Soustava je napájena přes kabely zásuvkou, která je umístěna na vstříkovací formě.



Obrázek 27 Horký vtokový systém



Obrázek 28 Studený rozvodný kanál

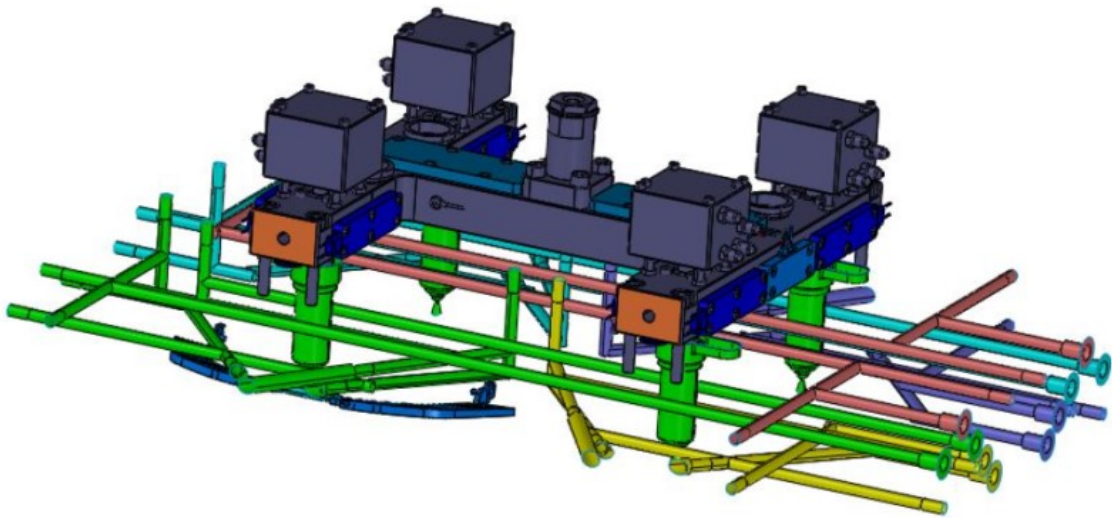
8.5 Temperace formy

Samotná forma je v podstatě výměník tepla, jehož úkolem je odvést tavenině teplo, které jí bylo předáno v plastikační komoře vstřikovacího stroje. Temperační systém musí být schopen výrobek ochladit na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku.

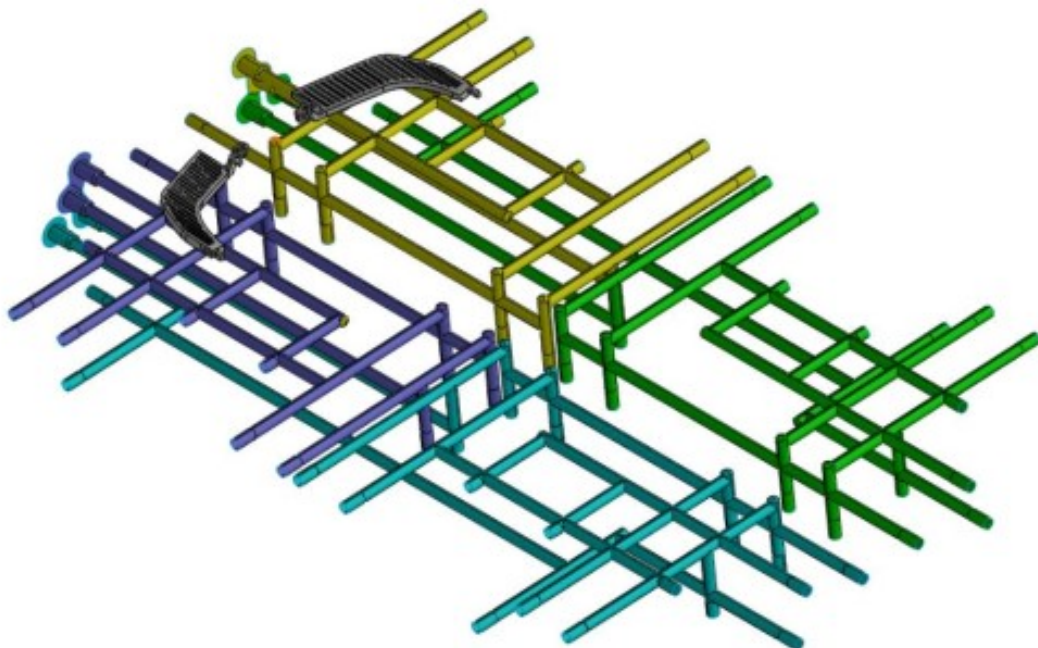
Temperace formy je provedena v pevné i pohyblivé tvarové desce, dále v pevné upínací desce, kde je umístěn horký vtokový systém a bylo zde nutno zajistit zvýšenou míru chlazení. Standardní temperační kanály jsou kruhového průřezu o průměru 12 mm, jsou rozmístěny rovnoměrně v dostatečné vzdálenosti, aby byla zachována tuhost a pevnost tvarové desky.

Hlavní přívody do temperačních kanálů jsou vyrobeny v kotevní desce (přípojky pro hadice temp. systému). Pryžové „O“ kroužky zajišťují těsnost temperačního systému, ucpávky utěsňují otvory vzniklé vrtáním temperačních kanálů a uzavírají tak celý okruh a umožňují cirkulaci temperačního média. Jako chladící médium je zvolena voda

Průtok chladícího média je navržen a regulován tak, aby při chlazení médium proudilo od nejteplejšího k nejchladnějšímu místu formy, při ohřevu formy je tomu naopak.



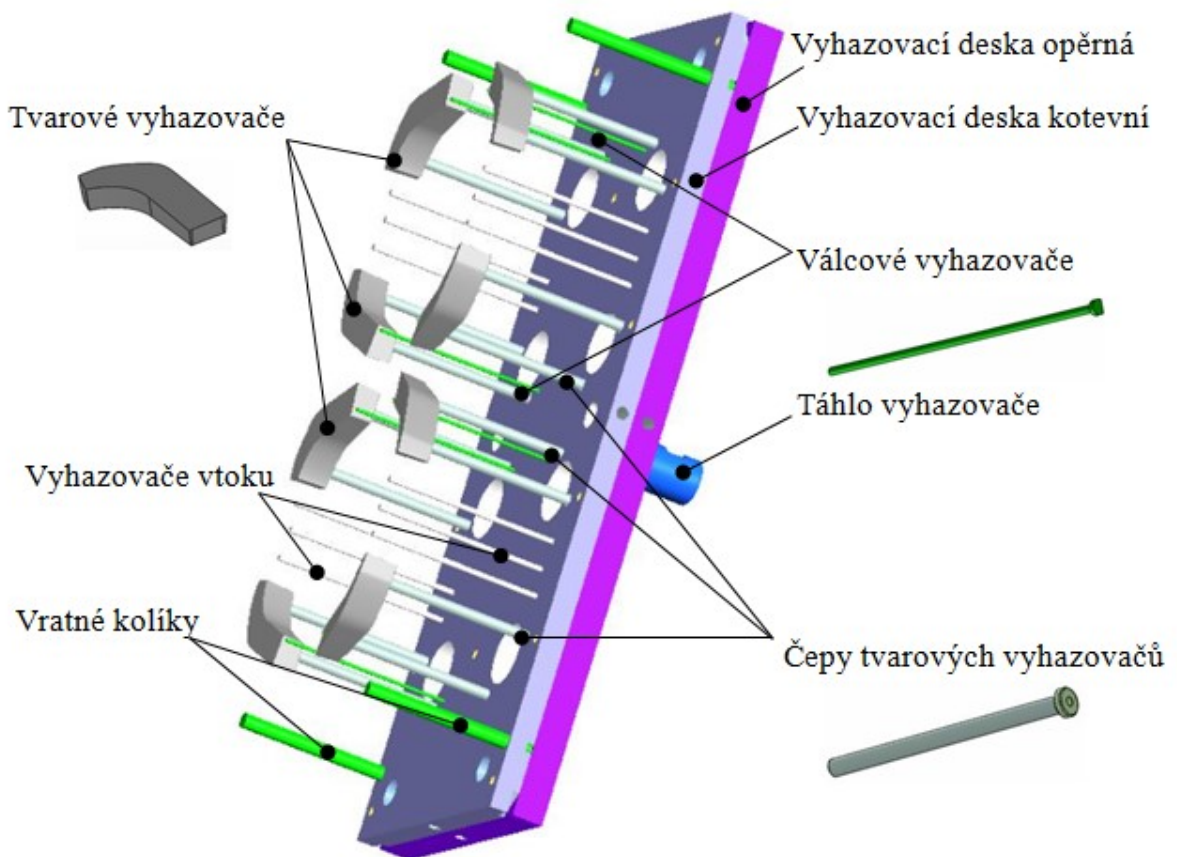
Obrázek 29 Chlazení tvárnice



Obrázek 30 Chlazení tvárníku

8.6 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém navržené vstřikovací formy tvoří 12 vyhazovačů pro studenou část vtokového systému E1710/6x250, 8 válcových E1710/4x260 a 8 tvarových, které současně plní i funkci odformovací. Vyhazovače jsou upevněny v kotevní desce. Dále jsou zde 4 vratné kolíky, které zaručují, že vyhazovače budou při zavírání formy v zadní pozici. Tuto funkci zastává především vstřikovací stroj, ale pokud z nějakého důvodu selže, jsou tu vratné kolíky, které při zavírání formy přijdou do kontaktu s dělicí rovinou pevné části formy a zasunou celý vyhazovací systém do správné polohy. Vratné kolíky jsou spojeny s hlavní vyhazovací deskou opěrnou.

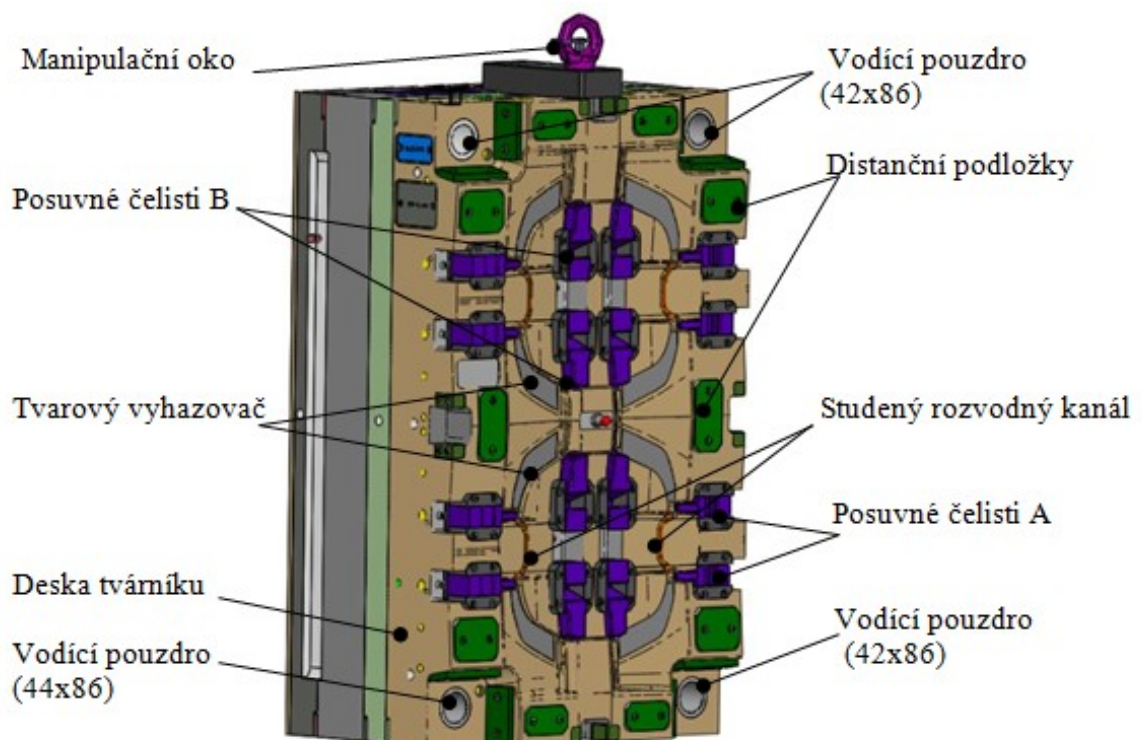


Obrázek 31 Vyhazovací systém formy

8.7 Odvzdušnění

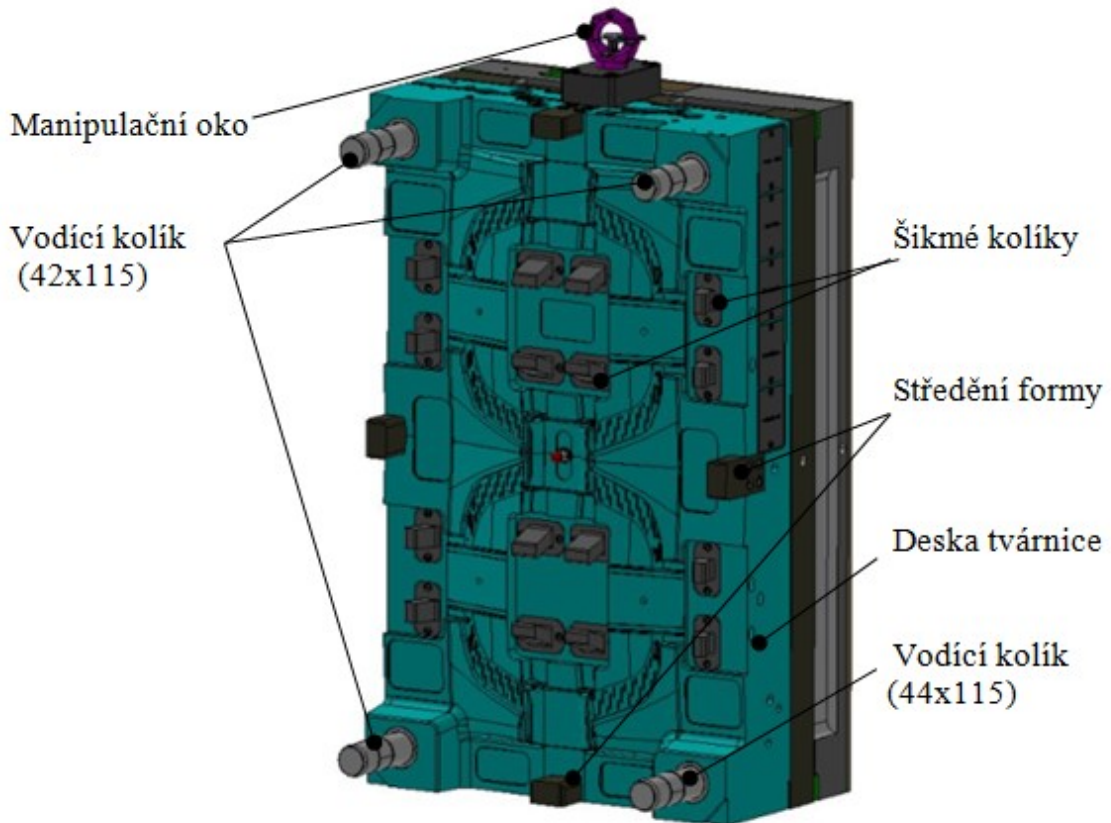
Pro polykarbonát, ze kterého je vyroben vstříkovaný díl se doporučuje odvzdušňovací kanál průměru max. 0,05 mm. Při konstrukci bylo uvažováno s únikem vzduchu dělicí rovinou a vůlí mezi vyhazovači a posuvnými čelistmi.

8.8 Pohled do levé části vstříkovací formy



Obrázek 32 Pohyblivá strana vstříkovací formy

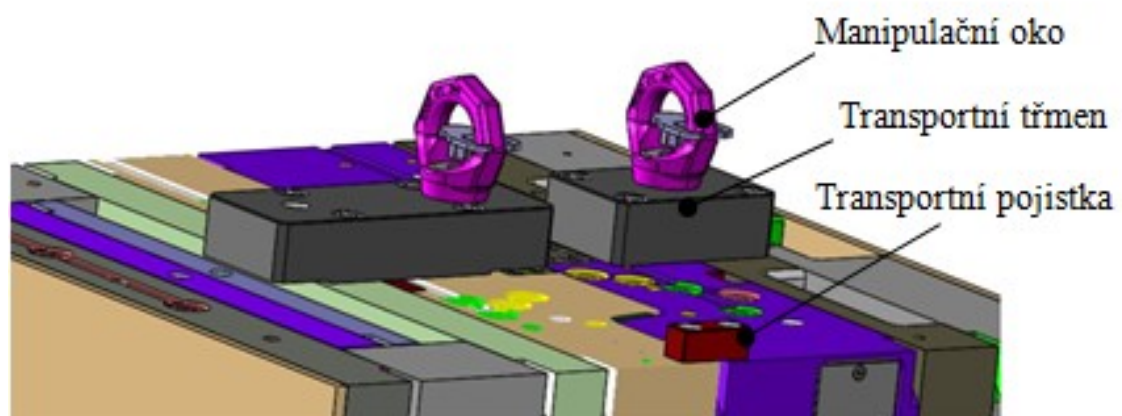
8.9 Pohled do pravé části vstřikovací formy



Obrázek 33 Pevná strana vstřikovací formy

8.10 Transportní zařízení

S formou se manipuluje, když je upínána na vstřikovací stroj nebo je z něj sundávána, dále při provádění její pravidelné údržby nebo opravách. K manipulaci se užívá dílenských jeřábů, proto je desky formy vhodné opatřit závitovými otvory pro manipulační oka o příslušné nosnosti. Proti pootevření formy během její manipulace, je forma opatřena tzv. transportní pojistkou, která obě poloviny formy spojí pomocí šroubů.



Obrázek 34 Transportní zařízení

9 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Při volbě vstřikovacího stroje byly zohledněny základní parametry, mezi které patří samotné rozměry formy, vstřikovací a plastikační kapacita stroje a jeho uzavírací síla.

Rozměry vstřikovací formy v uzavřeném stavu jsou 896 x 546 x 589 mm. Zdvih vyhazovacího systému je 33 mm

Vstřikovací kapacita (je maximální objem taveniny v cm^3 , který je stroj schopen vstříknout na jeden cyklus). Hmotnost dílu je 39 g, forma má 8 kavit, je zde kombinace horké trysky se studeným vtokem, z toho plyne, že hmotnost výhozu včetně vtoku je $39 \times 8 = 312 \text{g} + \text{vtok} = 330 \text{g}$. Z hustoty materiálu $1,2 \text{ g/cm}^3$ lze snadno dopočítat ($V = 330 / 1,2$) objem zdvihu 275 cm^3 . Jak bylo popsáno v teoretické části, maximální vstřikované množství by nemělo překročit 90 %, protože ve stroji musí zůstat rezerva hotového polštáře pro případné doplnění úbytku taveniny vlivem smrštění, z toho plyne, že vstřikovací kapacita by měla být větší jak 306 cm^3 .

Z výše uvedeného vyšel jako vyhovující vstřikovací stroj KM 200 CX od německého výrobce Krauss Maffei. Níže je uvedena specifikace nejdůležitějších parametrů, v příloze je potom uvedena úplná specifikace.

Tabulka 2 Specifikace vstřikovacího stroje KM 200 CX

PARAMETR	JEDNOTKA	HODNOTA
Maximální zavírací síla	kN	2000
Maximální délka otevření	mm	700
Minimální výška formy	mm	350
Velikost upínacích desek	mm	915 x 915
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	mm	560 x 560
Maximální vyhazovací síla	kN	58
Maximální zdvih vyhazovacího systému	mm	200
Průměr šneku	mm	50
Poměr šneku	L/D	20,2
Maximální objem vstřikované dávky	cm^3	393
Maximální vstřikovací tlak	bar	1892
Maximální krouticí moment šneku	m/min	450
Maximální plastikační kapacita	g/s	61,5
Maximální hmotnost formy	kg	2535



Obrázek 35 Vstřikovací stroj KM 200 CX

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést konstrukci vstřikovací formy pro výrobu dílu předního světlometu. V teoretické části byla vysvětlena podstata a rozdělení polymerů, dále technologie vstřikování termoplastů a postup při konstrukci vstřikovací formy.

V praktické části byla provedena konstrukce 3D modelu dílu, 3D sestava vstřikovací formy spolu s výkresovou dokumentací a kusovníkem. Vše bylo nakresleno v programu Solidworks 2020, normálně byly použity z katalogu firmy Meusburger.

Nejdříve byl nakreslen model vstřikovaného dílu, kterým je silnostěnná optika určená k vedení světla v předních světlometech automobilů. Jako materiál byl zvolen transparentní polykarbonát Tarflon LC1500 od japonského výrobce IDEMITSU.

Navržená vstřikovací forma je osmi násobná s horkou vtokovou soustavou kombinovanou se studeným rozvodným kanálem. Rozvodný blok je osazen čtyřmi vyhřívanými tryskami, které ústí do studeného rozvodného kanálu a ten pak přes filmový vtok do dutiny formy. Tvarové dutiny jsou vyfrézovány přímo do kotevních desek bez použití vložek, které by výrobu formy prodražily. Mezi další tvarové části formy patří tvarový vyhazovač a dvě posuvné čelisti. Temperace formy je provedena v pevné i pohyblivé tvarové desce, dále v pevné upínací desce, standardní temperační kanály o velikosti průměru 12 mm jsou rozmístěny v dostatečné vzdálenosti tak, aby byla zachována tuhost a pevnost tvarové desky. Odvzdušnění formy je realizováno únikem vzduchu dělicí rovinou a vůlí mezi vyhazovači a posuvnými čelistmi. Pro transport a manipulaci je forma opatřena dvěma závitovými otvory pro manipulační oka. Proti pootevření během manipulace je forma opatřena transportní pojistkou, která obě poloviny spojuje pomocí šroubů. Jako vhodný vstřikovací stroj byl zvolen KM 200 CX od německého výrobce Krauss Maffei.

Výkresová dokumentace včetně kusovníku je přílohou této bakalářské práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] L. BĚHÁLEK, Polymery, Pardubice: Code Creator, s.r.o., 2015.
- [2] T. A. L.-S. T. a. P. J. G. OSSWALD, Injection molding handbook., Munich: Hanser Publishers, 2008, p. 764.
- [3] L. PTÁČEK, Nauka o materiálu II., Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002, p. 392.
- [4] Z. DVORÁK, Základy výrobních procesů I. Konstrukční materiály polymerní a kompozity., Zlín: Fakulta technologická, 2008.
- [5] P. LENFELD, Technologie vstřikování, Pardubice: Code Creator, s.r.o., 2015.
- [6] J. BOBEK, Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů, Pardubice: Code Creator, s.r.o., 2015.
- [7] L. ZEMAN, Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů., Praha: BEN - technická literatura, 2009, p. 248.
- [8] P. LENEFELD, Technologie II. - Vstřikování plastů. Za podpory projektu FRVŠ 1998/2005 "Internetová podpora výuky technologie tváření kovů a plastů).
- [9] Z. ŘEHULKA, Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů, SEKURON.
- [10] L. ZEMAN, Vstřikování plastů: teorie a praxe, Praha: Grada Publishing, a.s., 2018, p. 464.
- [11] F. a. H. J. TOMIS, Formy a přípravky, Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985, p. 274.
- [12] J. KOLOUCH, Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním., Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, p. 229.
- [13] J. P. BEAUMONT, Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding., Munich: Hanser Publishers, 2007, p. 308.
- [14] „www.solidworks.com,“ [Online].
- [15] „www.meusburger.com,“ Meusburger Deutschland GmbH. [Online].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

MPa	megapaskal
p	tlak [Pa]
t	čas [s]
T	teplota [°C]
v	měrný objem [m ³ .kg ⁻¹]
g	gram
kg	kilogram
mm	milimetr
cm ³	centimetr krychlový
3D	trojrozměrný prostor
2D	dvourozměrný prostor
°C	stupeň Celsia
%	procenta
s	sekunda
PC	polykarbonát

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Rozdělení polymerů	11
Obrázek 2 Vstřikovací cyklus.....	13
Obrázek 3 pVt diagram	14
Obrázek 4 Vstřikovací stroj	16
Obrázek 5 Vstřikovací jednotka	17
Obrázek 6 Uzavírací jednotka.....	17
Obrázek 7 Doporučení při návrhu tloušťek stěn	19
Obrázek 8 Nahrazení jednoho žebra dvěma nižšími	20
Obrázek 9 Základní doporučení pro návrh úkosů.....	21
Obrázek 10 Doporučená konstrukce odformovatelných podkosů.....	21
Obrázek 11 Velikost smrštění vybraných druhů termoplastů.....	22
Obrázek 12 Popis vstřikovací formy	23
Obrázek 13 Příklady násobnosti forem.....	25
Obrázek 14 Studený vtokový systém.....	26
Obrázek 14 Základní typy vtokových ústí.....	27
Obrázek 15 Popis horkého vtoku.....	27
Obrázek 16 Příklad použití šikmého kolíku ve formě	29
Obrázek 17 Vyhazovací kolík.....	29
Obrázek 18 Stírací deska	30
Obrázek 19 Příklady šířek odvzdušňovacích kanálů u vybraných materiálů	31
Obrázek 20 3D model výrobku levého (Li).....	36
Obrázek 21 3D model výrobku pravého (Re).....	36
Obrázek 22 Mechanické vlastnosti materiálu Tarflon LC1500.....	37
Obrázek 23 3D model vstřikovací formy	38
Obrázek 24 Dělicí roviny.....	39
Obrázek 25 Tvarové části výrobku	40
Obrázek 26 Horký vtokový systém	40
Obrázek 27 Studený rozvodný kanál	41
Obrázek 28 Chlazení tvárnice	42
Obrázek 29 Chlazení tvárníku	42
Obrázek 30 Vyhazovací systém formy	43
Obrázek 31 Pohyblivá strana vstřikovací formy.....	44
Obrázek 32 Pevná strana vstřikovací formy	45
Obrázek 33 Transportní zařízení.....	46

Obrázek 34 Vstřikovací stroj KM 200 CX48

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vybrané vlastnosti materiálu PC Tarflon LC 1500	37
Tabulka 2 Specifikace vstřikovacího stroje	47

SEZNAM PŘÍLOH

P I: Materiálový list PC Tarflon LC1500

P II: Specifikace vstřikovacího stroje

P III: Výkresová dokumentace na CD

- Výkres sestavy vstřikovací formy
- Pohled do pravé strany formy
- Pohled do levé strany formy

