

Návrh vstřikovací formy pro světlomet

Bc. Jiří Macka

Diplomová práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří Macka**
Osobní číslo: **T15330**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh vstřikovací formy pro světlomet**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Provedte konstrukční návrh 3D modelu vstřikovaného dílu.
3. Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl.
4. Nakreslete sestavu vstřikovací formy ve 2D včetně kusovníku.
5. Návrh ověřte pomocí simulací.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle zadání vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Staněk, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2017

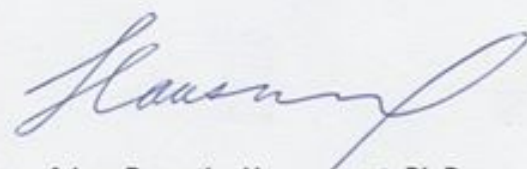
Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2017

Ve Zlíně dne 21. února 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/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.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je vytvořit návrh vstřikovací formy pro přední část světlometu. Návrh obsahuje pravou i levou část.

Teoretická část se zabývá rozdělením polymerů vhodných pro technologii vstřikování, popisu vstřikovacích strojů a nástrojů včetně jejich částí. Hlavní pozornost však věnuje vstřikovací formě, včetně jejího konstrukčního řešení pro různé aplikace.

Praktická část se zabývá vytvořením vstřikovaného výrobku, analýzou vstřikovacího cyklu pomocí programu Moldflow a návrhem vstřikovací formy s použitím 3D modelovacího programu CATIA V5R19.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací forma, CATIA, konstrukce, světlomet, Moldflow.

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to design an injection mold for the front part of headlight. Design which of two parts.

The theoretical part deals with the distribution of polymers suitable for injection molding, description of injection molding machines and tools, including their parts. The main focus, devotes an injection mold, including its design solutions for various applications.

The practical part deals with the creation of the product injection, injection cycle analysis using Moldflow and design of injection molds using 3D modeling program CATIA V5R19.

Keywords: injection molding, injection mold, CATIA, design, headlight, Moldflow.

Velmi rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D., za pomoc při vypracovávání diplomové práce. Za umožnění studia na vysoké škole bych rád poděkoval rodičům a všem blízkým za podporu.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 POLYMERY VHODNÉ PRO VSTŘIKOVÁNÍ	13
1.1 TERMOPLASTY	13
1.1.1 Amorfnní termoplasty	13
1.1.2 Semikrystalické termoplasty	14
1.1.3 Možnosti modifikace termoplastů.....	15
1.2 TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY	16
1.3 REAKTOPLASTY.....	16
2 ZÁSADY KONSTRUKCE VÝSTŘIKU Z PLASTŮ	17
2.1 ZAFORMOVATELNOST	17
2.2 TLOUŠŤKY STĚN, ŽEBER, NÁLITKY, RÁDIUSY	18
2.2.1 Tloušťky stěn.....	18
2.2.2 Tloušťky žeber	19
2.2.3 Ostré rohy na výstřiku – vruby.....	20
3 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERU	22
3.1 POSTUP VSTŘIKOVÁNÍ	22
3.2 TOK POLYMERNÍ TAVENINY	23
3.3 POPIS JEDNOTLIVÝCH ČASŮ VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	24
3.3.1 Strojní časy.....	24
3.3.2 Doba vstřikování	24
3.3.3 Doba dotlaku	24
3.3.4 Doba plastikace	25
3.3.5 Doba chlazení.....	25
4 VSTŘIKOVACÍ STROJE	26
4.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	26
4.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	28
5 VSTŘIKOVACÍ FORMA	29
5.1 SPRÁVNÉ POSTUPY PŘI KONSTRUKCI FORMY	29
5.2 JAKOST POVRCHU FORMY	30
5.3 VTOKOVÝ SYSTÉM	30
5.3.1 Studené vtokové systémy	31
5.3.2 Vyhřívané vtokové systémy	33
5.4 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	33
5.5 VYHAZOVACÍ SYSTÉM	34
5.5.1 Mechanické vyhazování.....	34
5.5.2 Pneumatické vyhazování.....	35
5.5.3 Hydraulické vyhazování.....	35
5.6 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	36
6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	37
7 VSTŘIKOVANÝ DÍL	38

8	MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU.....	39
9	VSTŘIKOVACÍ STROJ	40
10	POUŽITÝ SOFTWARE	41
10.1	CATIA V5R19	41
10.2	HASCO DAKO MODUL	41
10.3	MEUBURGER KATALOG	42
10.4	AUTODESK MOLDFLOW INSIGHT 2016.....	42
11	KONSTRUKCE FORMY	43
11.1	PRAVÁ POLOVINA FORMY.....	43
11.2	LEVÁ POLOVINA FORMY	44
11.3	RÁM FORMY	45
11.4	NÁSOBNOST FORMY	46
11.5	TVÁRNÍK A TVÁRNICE	46
11.6	ODFORMOVÁNÍ.....	47
11.7	TEMPERACE FORMY	48
11.8	VTKOVÝ SYSTÉM	50
11.9	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	51
11.10	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	52
11.11	TRANSPORTNÍ SYSTÉM	53
12	CAE ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU.....	54
12.1	NASTAVENÍ ANALÝZY V PROGRAMU MOLDFLOW	54
12.2	VTKOVÉ ANALÝZY	55
12.2.1	Ukazatel odporu toku taveniny	55
12.2.2	Vhodnost umístění vtoku	55
12.3	ANALÝZY PLNĚNÍ.....	56
12.3.1	Doba plnění	56
12.3.2	Rychlost smykové deformace	57
12.3.3	Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty	58
12.3.4	Studené spoje	58
12.3.5	Vzduchové kapsy	59
12.3.6	Uzavírací síla.....	60
12.3.7	Analýzy chlazení.....	61
12.3.8	Teplota chladicího média	61
12.3.9	Reynoldsovo číslo	62
12.3.10	Efektivita odvodu tepla	63
12.4	ANALÝZY SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE	65
12.4.1	Celková deformace.....	65
13	DISKUZE VÝSLEDKŮ	66
	ZÁVĚR	68
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	69
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	72
	SEZNAM OBRÁZKŮ	74
	SEZNAM TABULEK.....	77

SEZNAM PŘÍLOH.....	78
---------------------------	-----------

ÚVOD

V dnešní době patří polymery mezi jedny z nejpoužívanějších materiálů. Dokáží nahradit přírodní materiály jako je dřevo, bavlna, sklo, ocel. Technologie zpracování plastů je jedna z nejmladších, avšak nejrychleji se vyvíjejících technologií. Za rychlý vývoj zpracovatelských technologií plastů může vysoký stupeň jejich produktivity. Největší výhodou oproti přírodním materiálům je nízká cena a velké množství způsobů zpracování. Jeden z nejrozšířenějších způsobů zpracování polymerů je vstříknutí roztaveného polymeru do tvarové dutiny formy. Teoretická část diplomové práce se zabývá především metodou vstřikování plastů, druhy plastů určené pro vstřikování a zákonitostmi potřebnými pro konstrukci vstřikovací formy.

Praktická část se zabývá analýzou pro vstřikovaný díl a následným popisem konstrukce formy. Pro analýzu byl použit program Moldflow a pro následnou konstrukci program CATIA V5R19. Pro konstrukci budou použity normálie od firmy HASCO, které lze importovat pomocí DAKO modulu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY VHODNÉ PRO VSTŘIKOVÁNÍ

Velkotonážní výroba komoditních plastů včetně vývoje plastů pro speciální aplikace se neustále zdokonaluje. Vývoj plastů jde neustále dopředu a v oblasti polymerní chemie dochází stále k novým objevům. [6] [12]

1.1 Termoplasty

Více než 80 % všech plastů dostupných na trhu tvoří termoplasty. Jsou výhodné z ekonomického i ekologického hlediska. Termoplasty jsou totiž recyklovatelné a během recyklace se dají modifikovat. Svoji výsadní pozici na trhu si získali kvůli své snadné zpracovatelnosti a tvárnosti. Nezanedbatelné jsou i jejich mechanické vlastnosti. Nejčastější použití nacházejí při velkosériové u technologie vstřikování. [1] [6] [12]

Základní rozdělení dělí termoplasty na semikrystalické a amorfnní. Při vstřikování se oba druhy chovají odlišně, proto je nutné zvážít, který z nich je pro danou aplikaci nejvhodnější. Jejich reologické vlastnosti se výrazně liší, a proto velmi záleží na zpracovatelské teplotě. Amorfnních termoplastů je vyráběno více než semikrystalických, avšak při návrhu mechanicky namáhaných dílů je tomu opačně. [1] [6] [12]

1.1.1 Amorfnní termoplasty

Mezi amorfnní plasty patří například PMMA (polymethylmethakrylát), PS (polystyren), SAN (styren akrylonitril), PC (polykarbonát). Tento druh plastů má možnost transparentního provedení. Mezi jejich vlastnosti patří nízká hodnota smrštění v dutině formy (přibližně 1% oproti dutině formy), což je důležitá vlastnost při výrobě rozměrově přesných dílů. Teplota „T_g“, neboli teplota zeskenění je limitní pro vyhození výstřiku z dutiny formy a udává hranici teplotního použití výstřiku. Z celkového množství vyráběných amorfnních termoplastů je pouze 20% určeno pro vstřikování. Nejčastěji se používají v elektrotechnických aplikacích, v automobilovém průmyslu, a to především kvůli jejich optickým i mechanickým vlastnostem (nejběžněji PMMA, PC). [1] [6] [12]



Obr. 1. Výrobky z amorfních termoplastů: 1 - styrenové polymery (PS, SB, SAN);
2 - terpolymer ABS; 3 - polymerní blend PC/ABS; 4 - polymethylmetakrylát
PMMA; 5 - polykarbonáty PC [6]

1.1.2 Semikrystalické termoplasty

Hlavní vlastností semikrystalických polymerů je, že dokáží z taveniny vytvářet strukturu ve formě krystalů. Krystalický podíl může v závislosti na technologických podmínkách dosáhnout až 80 %. Mezi tyto termoplasty patří například POM (polyoxymetylen), PE (polyethylén), PP (polypropylén), PA (polyamid), PBT (polybutylentereftalát) a další. Důsledkem velkého krystalického podílu je větší smrštění výstřiku oproti dutině formy. Smrštění dosahuje velikosti 1 % až 2,5 %. Sférolitická struktura má za důsledek netransparentnost těchto polymerů. [6] [12]

Mezi dobré mechanické vlastnosti semikrystalických polymerů řadíme především pevnost, houževnatost a tuhost. Tyto vlastnosti jsou ovlivněny krystalickým podílem. Krystalický podíl můžeme ovlivnit ochlazováním. Proto mezi důležité teploty z hlediska technologie řadíme teplotu „ T_m “, což je teplota tání krystalického podílu, nikoliv „ T_g “, jako tomu bylo u amorfních polymerů. Nad teplotou „ T_m “ se polymer nachází v oblasti taveniny

a pod touto teplotou se výstřiky nebortí. Největší podíl vstřikovaných semikrystalických polymerů tvoří různé modifikace PP (polypropylen), PET (polyethyltereftalát), PBT (polybutyltereftalát), PA (polyamid) a POM (polyoxymetylén). [6] [12]



Obr. 2 Semikrystalické termoplasty: 1 – polyformaldehyd POM; 2 – polyamidy PA 6, PA 6,6; 3 – polypropylen a kopolymery PP; 4 – polyetyleny PE [6] [12]

1.1.3 Možnosti modifikace termoplastů

Můžeme modifikovat amorfní i semikrystalické termoplasty, a tak upravovat jejich vlastnosti pro specifické aplikace. Mísením dvou a více polymerů získáváme polymerní směsi. Mísením polymerů s plnivými vznikají polymerní kompozity. Tyto kompozity se vyznačují svojí vysokou pevností a tuhostí. Za pomoci plniv můžeme u polymerů získat vlastnosti jako je například zvýšená vodivost, odolnost vůči plnění, nebo zvýšení kluzných vlastností polymeru. Mezi částicová plniva řadíme grafit, mastek, skleněné mikrokuličky, práškové kovy a další. Mezi vyztužující plniva patří krátká i dlouhá skleněná vlákna. Nejčastěji se používají vlákna krátká. Za použití různých aditiv můžeme získat tepelně i UV stabilizované plasty v nejrůznějších barevných odstínech. [6] [12]

1.2 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery vznikají mísením základního polymeru s elastickou složkou. Tento proces se nazývá kopolymerace. Termoplastické elastomery nedosahují takových vlastností jako klasicky síťované elastomery (kaučuky), avšak jejich hlavní výhodou je snadné vstřikování na běžných vstřikovacích strojích. Kopolyestery, polyteramidy, termoplastické polyolefiny jsou elastomery vzniklé kopolymerací. Tyto termoplastické elastomery stále tvoří významnou oblast polymerních materiálů v současné době. Elastomery vzniklé mísením, které se používají jsou například PP, PA s elastomerní složkou např. EPDM, NR. [6] [12]

1.3 Reaktoplasty

Jsou to plasty tvrditelné teplem. Po omezenou dobu v první fázi zahřívání je lze tvářet z důvodu měknutí. V druhé fázi ohřevu dochází k tzv. vytvrzování, což je prostorové zesíťování struktury. Reaktoplasty jsou dodávány ve formě tekutých látek medové konzistence (pryskyřice) a s nimi i tvrdidla. Po smíšení tvrdidla s reaktoplastem dochází k dalšímu zpracování. Oproti termoplastům jsou reaktoplasty teplotně odolnější, tvrdší, tužší a tvarově stálější. V rozmezí funkčních teplot se jejich mechanické vlastnosti téměř neliší. Nejvyužívanější jsou reaktoplasty v oblasti elektroizolačních součástí. V technologii vstřikování jsou používány méně z důvodu jejich nízké vrubové houževnatosti. [6] [12]

2 ZÁSADY KONSTRUKCE VÝSTŘIKU Z PLASTŮ

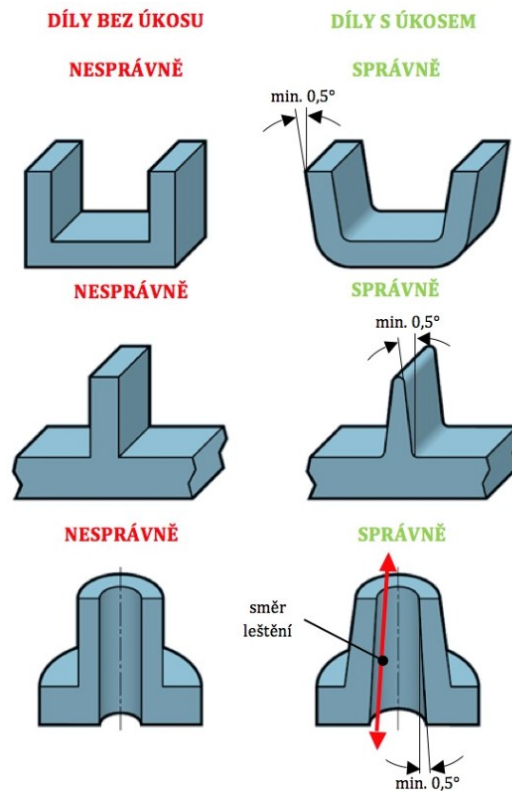
Správné navržení plastového výstřiku je nejdůležitější etapou realizace, a to jak z pohledu funkčního, tak i z pohledu technologie vstřikování. Jestli bude forma fungovat či nikoliv záleží především na správné konstrukci dílu. Proto i když je forma dobře koncepčně řešená i správně zvolená technologie výroby, tak nemusí fungovat správně. Konstrukce výstřiku proto musí splňovat dvě základní hlediska.

Prvním hlediskem je funkce dílu vyrobeného z plastu v daném zařízení. Odpovědnost za správnou funkci je na konstruktérovi daného dílu. Dále je nutno zohlednit estetická, užitná, bezpečnostní a ergonomická hlediska. Za ty nese zodpovědnost designér, výtvarník dílu.

Druhým hlediskem je technologie zpracování. Dokumentace od konstruktéra je převzata technologem plastikářem, který ji posoudí a zvolí správnou technologii zpracování. [2] [4] [12]

2.1 Zaformovatelnost

Zaformovatelnost je optimální způsob zaformování vstřikovaného dílu ve formě pomocí správné volby dělicích rovin takovým způsobem, aby bylo možno výstřik odformovat za pomoci různých konstrukčních prvků, jako jsou například čelisti a podobně. Zároveň by měl být díl vyráběn ekonomicky v plně automatickém chodu. Tato technika zaformování by měla být známá i konstruktérům vstřikovaných dílů. [2] [12]

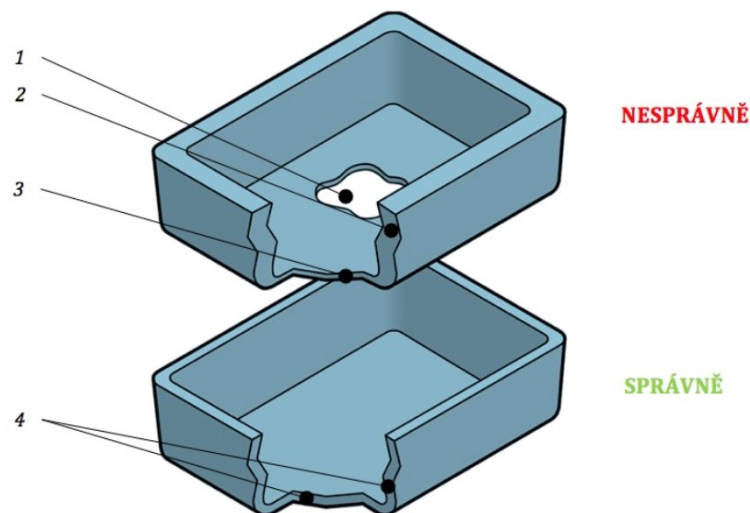


Obr. 3. Zásady správného zaformování plastového výrobku [26]

2.2 Tloušťky stěn, žeber, nálitky, rádiusy

2.2.1 Tloušťky stěn

Tloušťka stěny navrhovaného výrobku musí být navržena tak, aby byla dostatečně tuhá a plnila svoji funkci v provozním zařízení. Nejdůležitější pro dosažení požadovaných mechanických vlastností je volba materiálu, tloušťka stěny a geometrie vstříkovaného výrobku. Dále je nutno zohlednit požadavek z hlediska tečení polymeru uvnitř dutiny formy, který se liší s ohledem na použitý materiál. Proto je nutno u tvarově složitých dílů provést analýzu plnění formy v počítačových aplikacích. Pokud je zatékavost nedostatečná, řeší se většinou zesílením určité partie výstřiku. Nejjednodušším příkladem je zesílení dna u kruhových nádob, kde je vtok na dně nádoby. Maximální tloušťka stěny u výrobků vyrobených z termoplastů je 5 mm, až 6 mm. Pro stěny s větší tloušťkou se používají technologie s použitím nadovadel. [2] [4] [12]

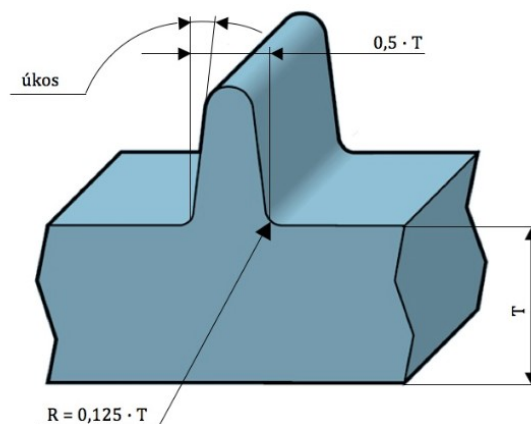


Obr. 4. Vliv tloušťky stěny na technologičnost výroby plastového dílu vstříkováním, 1 – oblast se zvýšeným rizikem uzavírání vzduchu, 2 – příliš velká tloušťka, 3 – příliš malá tloušťka, 4 – rovnoměrná tloušťka [26]

2.2.2 Tloušťky žeber

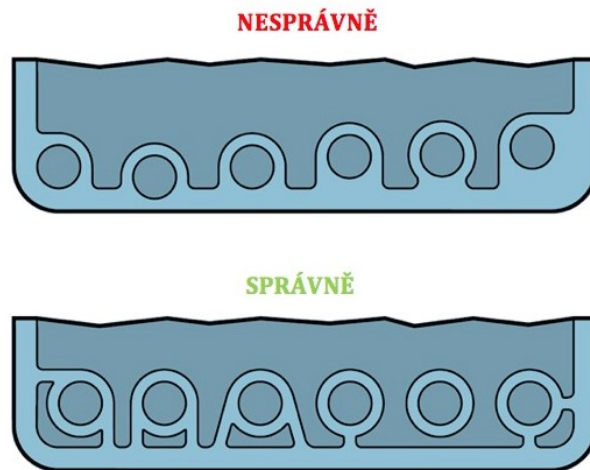
Pro zvýšení pevnosti a tuhosti výstřiku jsou používána žebra. Žebra musí mít z technologického hlediska určitý poměr k hlavní tloušťce stěny. Je to z důvodu eliminace vtažení, což jsou objemové kontrakce při chladnutí výstřiku. [2] [4] [12]

Objemové kontrakce jsou nejvíce viditelné na tmavých a lesklých plochách. Pro zamezení viditelnosti těchto vad se řeší aplikací dezénu na povrch. Vhodný dezén je vybírán za pomoci vzorkovnic a následně je vyroben fotochemicky, elektroerozivně, nebo případně otryskáváním. [2] [4] [12]



Obr. 5. Poměr tloušťky žebra k hlavní tloušťce stěny [26]

Z praxe používaný poměr tloušťek u amorfních polymerů je $a \leq 0,75.s$, u semikrystalických polymerů je tento poměr $a \leq 0,5.s$. Obecně platí, že objemová koncentrace u semikrystalických plastů je vyšší, a to z důvodu krystalizace při tuhnutí taveniny. [4] [12]

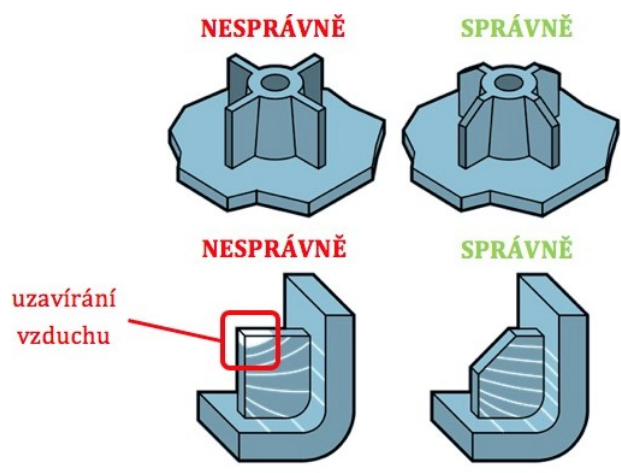


Obr. 6. Příklady správné konstrukce žeber [26]

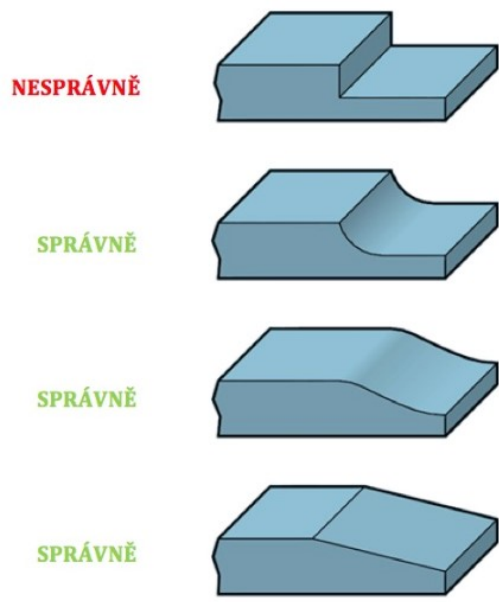
2.2.3 Ostré rohy na výstřiku – vruby

Vrubová houževnatost je důležité kritérium materiálu pro vznik vrubů. Je to spotřebovaná práce potřebná k přeražení zkušebního tělesa za přesně stanovených podmínek. Tvar zkušebního tělesa je dán normou a práce potřebná k přeražení je vztažená k jeho průřezu. [2] [4] [12]

Podobně jako vrubová houževnatost se měří rázová houževnatost. Rázová houževnatost je měřítkem náchylnosti k lomu při rázovém namáhání a značí a_n . Vrubovou citlivost materiálu určuje poměr mezi rázovou a vrubovou houževnatostí. Pravděpodobnost vzniku koncentrací napětí a vrubů roste s vyšším poměrem. Tyto problémy lze částečně eliminovat úpravou geometrie vyráběného dílce. Nejjednodušším řešením je odstranění ostrých přechodů a rohů. [2] [4] [12]



Obr. 7. Zásady eliminace ostrých přechodů a rohů [26]



Obrázek 8 Přechody různých tlouštěk stěn [26]

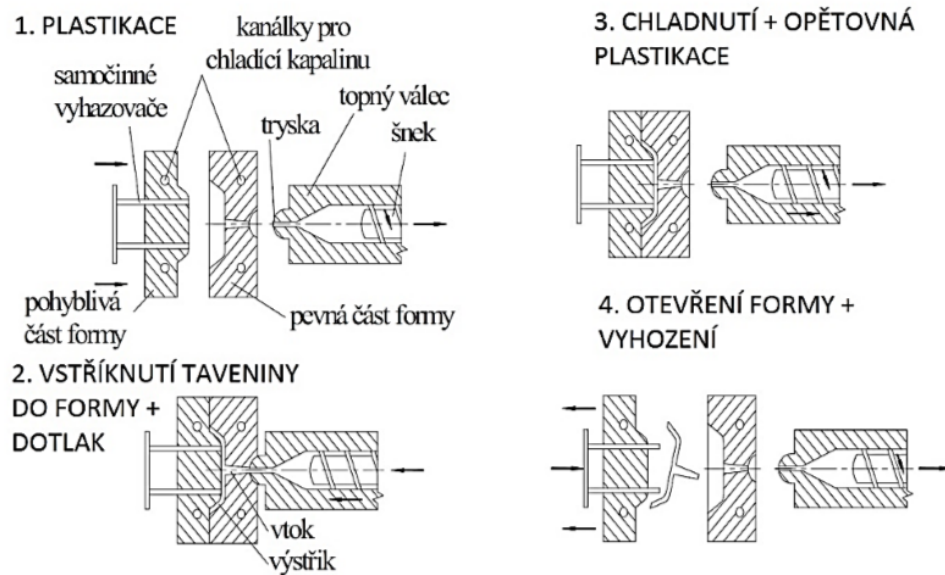
3 VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERU

Vstřikování polymeru do dutiny formy vysokou rychlostí se řadí mezi způsoby tváření za tepla. Výrobky vyrobené tímto způsobem mají obecně dobrou tvarovou i rozměrovou přesnost. Vstřikováním lze zpracovávat většina termoplastů, ale i reaktoplastů a kaučuků. [7] [8] [12]

Vstřikování je cyklický neboli diskontinuální proces. Tento proces je však většinou plně automatizovaný, a tak lze požadované výrobky vyrábět velmi ekonomicky. Je možné se při správném navržení formy vyhnout jakémukoliv dalšímu opracování. Nevýhodou technologie vstřikování jsou velké investiční náklady. Investiční náklady se týkají především drahé výroby formy a vysoké pořizovací náklady na vstřikovací stroj. Velikost těchto strojů je neúměrně velká oproti velikosti výrobků. Technologie vstřikování se proto využívá výhradně jen pro velkosériovou výrobu. [7] [12]

3.1 Postup vstřikování

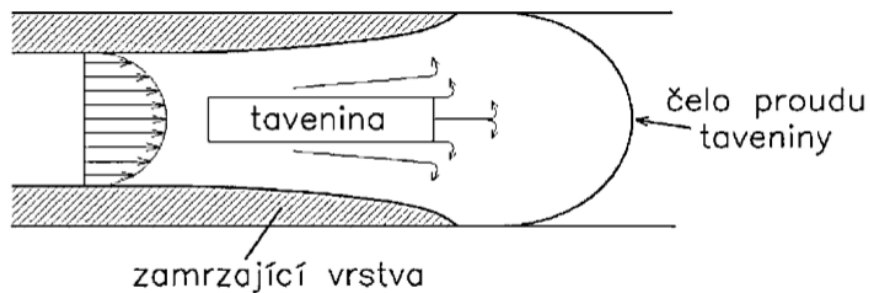
Postup vstřikování je následující. Plast, který je nejčastěji ve formě granulí, je dodáván do násypky vstřikovacího stroje. Granulát může obsahovat barvivo, avšak z ekonomických důvodů se barvivo většinou přidává do násypky. Granule jsou ještě před násypkou zbaveny vlhkosti z důvodu, že polymerní materiály jsou z většiny navlhavé. Roztavený granulát je následně dopravován za pomoci šneku a v občasných případech za pomoci pístu. Plast se postupně taví podél celé délky válce a stává se z něj polymerní tavenina. Tavenina se pod vysokým tlakem až 250 MPa vstřikuje do dutiny formy. Forma je temperována na provozní teplotu. Provozní teplota je závislá na druhu vstřikovaného polymeru. Jakmile je výrobek ochlazen na vyhazovací teplotu tak se mechanicky vyhodí. Po vyhození výstřiku se celý cyklus opakuje. [9] [12]



Obr. 9. Vstřikovací cyklus [5]

3.2 Tok polymerní taveniny

Polymerní tavenina vždy teče laminárně. Speciální typ laminárního toku uvnitř dutiny formy se nazývá fontánový tok. Rychlostní profil u fontánového toku je zvonovitý. Při toku se vytváří ztuhlá vrstva taveniny na stěnách dutiny formy. [7] [12]



Obr. 10. Tok polymerní taveniny [5]

Nejčastější vadou při vstřikování tvarově složitých výrobků je vznik studených spojů. Studené spoje vznikají spojením dvou čel proudu polymerní taveniny. Největší vliv mají na mechanické, ale i pohledové vlastnosti výrobku. Jejich vznik se dá omezit vhodným uspořádáním vtoků. [7] [12]

3.3 Popis jednotlivých časů vstřikovacího cyklu

Časové úseky vstřikovacího jsou různě dlouhé, protože jsou ovlivněny geometrií vstřiku a technologickými podmínkami. Na moderních strojích lze tyto časy libovolně programovat. Jedná se o dobu vstřikování, dotlaku, plastikace a chlazení. [7] [12]

3.3.1 Strojní časy

Z ekonomických důvodů je snaha zkracovat strojní časy na minimum. Například rychlost uzavírání formy není konstantní z důvodu úspory času. Z počátku se forma při zavírání pohybuje rychle a zpomalí až těsně před dosednutím, aby nedošlo k poškození obou částí formy. Tento čas se nazývá doba uzavření formy a značí se t_{s1} . [1] [9] [12]

Podobně funguje i otevírání formy. Rychlost otevírání je zpočátku vysoká a zpomalí se těsně před dosednutím na doraz. Tento čas se nazývá doba otevření formy a značí se t_{s3} . Další časy, které jsou součástí vstřikovacího cyklu mohou být překryty dobou chlazení. [1] [9] [12]

3.3.2 Doba vstřikování

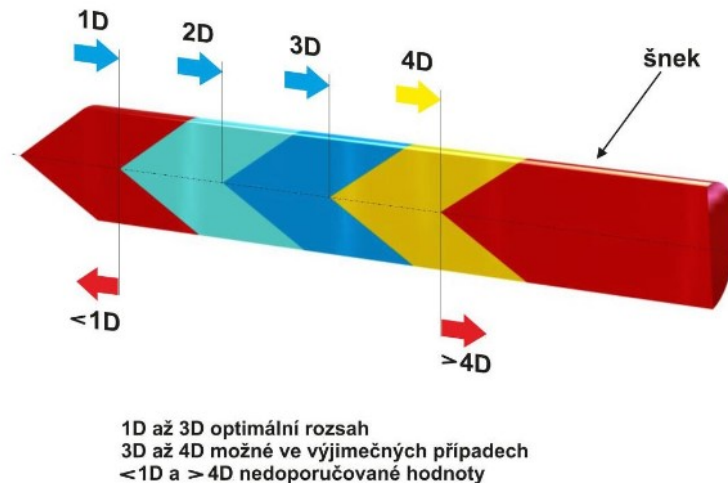
Je to doba potřebná k zaplnění tvarové dutiny formy polymerní taveninou. Čas vstřikování značíme t_v a je přímo úměrný pohybu šneku ve vstřikovacím stroji vpřed. Nejdůležitější parametry při technologii vstřikováním je vstřikovací tlak a teplota polymerní taveniny. Další neméně důležité parametry je teplotní pole formy, správně navrhnutá vtoková soustava, druh vstřikovaného polymeru, ale i tvar výstřiku a jeho velikost. Polymer při kontaktu s temperovanou stěnou formy ztrácí svoji tekutost, a proto doba plnění dutiny formy taveninou musí být co možná nejkratší.

3.3.3 Doba dotlaku

Po naplnění dutiny formy taveninou se přechází na dobu dotlaku. Dotlak je charakteristický prudkou změnou rychlosti vstřikování a náhlému zvýšení tlaku. Přepnout na dotlak lze několika různými způsoby. Nejběžnější je pomocí dráhy šneku, nebo podle tlaku ve formě, anebo podle vstřikovacího času. Doba dotlaku se značí t_d a zpravidla trvá několik sekund. U větších výrobků může trvat i několik desítek sekund. Délka doby dotlaku je především závislá na velikosti průřezu vtokových kanálů. Účelem je zamezení vzniku propadlin, staženin a kompenzuje velikost smrštění. Především u polymerů se semikrystalickou strukturou zajišťuje rozměrovou stabilitu výstřiku. [1] [12]

3.3.4 Doba plastikace

Doba plastikace je doba nutná ke zplastikování a zhomogenizování dávky plastu nutné k vyplnění dutiny formy. Dávka musí nejen vyplnit tvarovou dutinu formy, ale i její vtokový systém. Další funkcí je kompenzace změny objemu vyvolanou smrštěním. Doba plastikace se značí t_{pl} . Teplo nutné k ohřátí taveniny na požadovanou teplotu je přibližně tvořeno ze dvou třetin tvořenou disipací a z jedné třetiny ohřevem od válce. [1] [12]



Obr. 11. Možné dávkovací dráhy u vstřikovacích strojů [26]

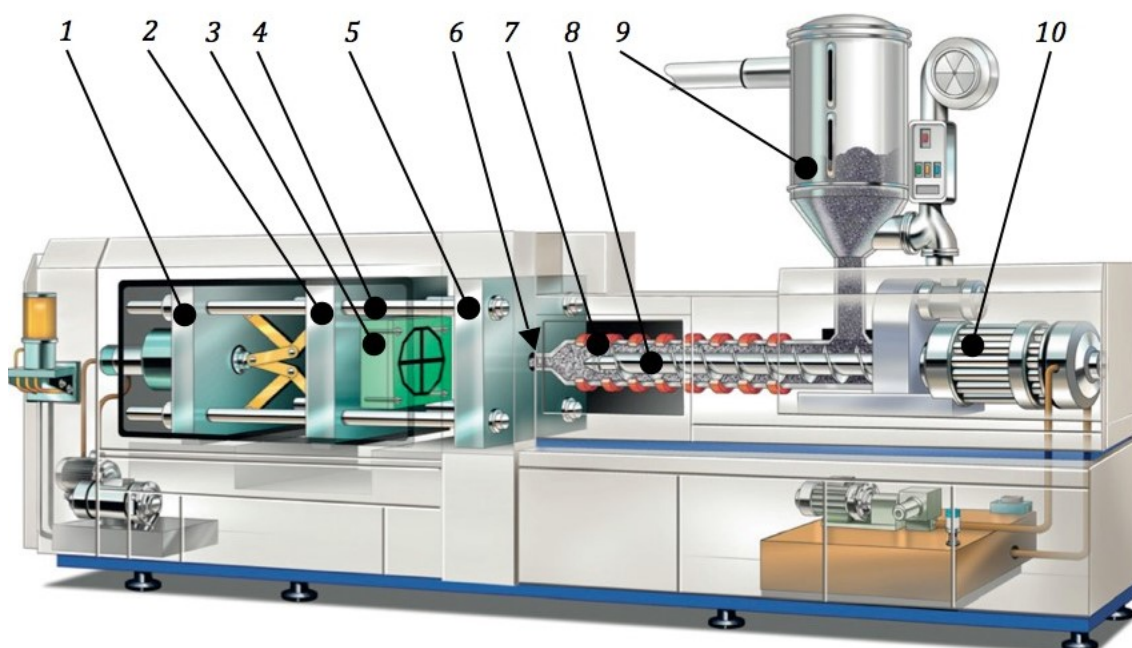
3.3.5 Doba chlazení

Doba chlazení závisí na tvaru výstřiku, na tloušťce stěny a druhu vstřikovaného polymeru. Je to nejdelší část vstřikovacího cyklu. Mezi vedlejší faktory ovlivňující dobu chlazení můžeme zařadit teplotu polymerní taveniny a teplotu formy. Chlazení je nutné do té doby, než výstřik dosáhne vyhazovací teploty. Chlazení ovlivňuje i mechanické vlastnosti výstřiku, jelikož je na něm závislá krystalizace a tím pádem může zapříčinit i vznik vnitřního pnutí v materiálu. [1] [12]

4 VSTŘIKOVACÍ STROJE

Proces vstřikování probíhá na vstřikovacích strojích a je plně automatizovaný. Produktivita je velmi vysoká. Z ekonomických důvodů je tato technologie vhodná pro velkosériovou výrobu, jelikož pořizovací cena stroje i formy je značná. [3] [12]

Mezi hlavní části vstřikovacího stroje patří řídicí jednotka, vstřikovací jednotka a uzavírací jednotka. Většina strojů má k sobě prodejné příslušenství v podobě temperačních zařízení, robotů, manipulátorů, sušiček, dopravníků a mísících dávkovacích systémů. Tato doplňková zařízení jsou dokupována proto, aby byla výroba plně automatizována. [3] [12]



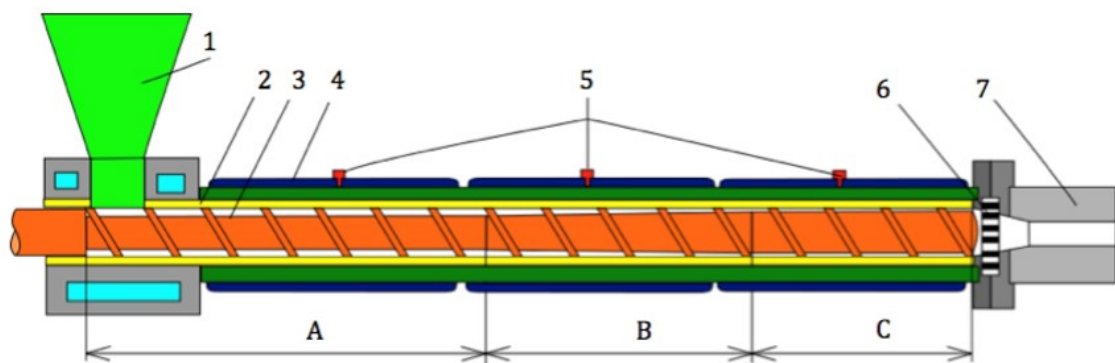
Obr. 12. Schéma vstřikovacího stroje 1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska vstřikolisu, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky vstřikolisu, 5 – pevná upínací deska vstřikolisu, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky vstřikolisu, 7 – tavní komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro plastový polotovar, 10 – pohonná jednotka šneku [26]

4.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka má za úkol přeměnit polymer ve formě granulí na homogenní taveninu. Tavenina musí mít požadovanou viskozitu a následně se vstřikuje do tvarové dutiny formy vysokou rychlostí a pod vysokým tlakem. Prvotní vstřikovací stroje byly podobné

těm, které se používaly pro lití kovu pod tlakem. Tyto stroje byly pístové. V dnešní době se však používají stroje šnekové. [1] [3] [12]

Zespod hrdla násypky je granulát nabírán otáčejícím se šnekem. Hloubka závitů šneku je proměnlivá a klesá po délce šneku. Tímto způsobem je granulát přitlačován na temperovanou stěnu válce a postupně taven. V tavicí komoře granulát taje a hromadí se před čelem šneku. Šnek se během otáčení pohybuje směrem vzad a připravuje tak dávku pro vstříknutí taveniny do dutiny formy. Vstříknutí plastu probíhá dopředným posuvem šneku, který funguje podobně jako píst. Plastikace další dávky probíhá během fáze chlazení. [1] [3] [12]



Obr. 13. Vytlačovací stroj (extrudér) v řezu (schematicky): A – plnicí (vstupní) část (zóna), B – plastikační (kompresní, přechodová) zóna, C – vytlačovací (kompresní, výstupní) zóna. 1 – násypka, 2 – válec, 3 – šnek, 4 – elektrické odporové topení 5 – termočlánky k měření teploty v zónách A, B, C, 6 – lamač, 7 – vytlačovací hlava. [26]

Základní parametry vstříkovací jednotky:

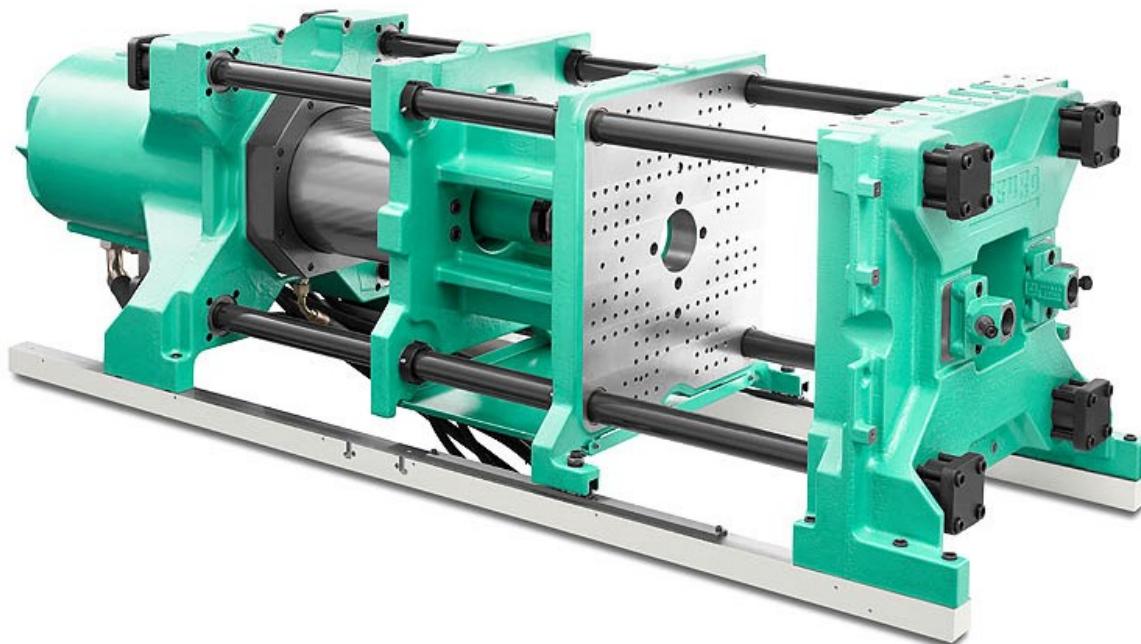
1. Průměr šneku D [mm]
2. Délka šneku L [mm]
3. Vstříkovací kapacita Q_v [cm³]
4. Plastikací kapacita Q_p [kg.hod⁻¹]
5. Maximální vstříkovací tlak $p_{vstř}$ [MPa]

Délka šneku se vyjadřuje jako poměr délky šneku a jeho průměru L/D . Pro běžné vstříkovací stroje pro termoplasty je tato hodnota v rozmezí 15 až 20 D . [1] [5] [12]

4.2 Uzavírací jednotka

Funkcí uzavírací jednotky je otevření a uzavření formy v procesu technologie vstřikování. Musí vyvinout dostatečný tlak, tak aby nedošlo při vstřikování polymeru k otevření formy. Důležitými parametry je přísouvací síla F_p a uzavírací síla F_u . Velikost těchto sil a rychlost posuvu se dají u moderních strojů libovolně programovat. [1] [12]

Hlavní části uzavírací jednotky jsou opěrné desky, pohyblivé desky a upínací desky. Opěrné desky jsou pevně spojeny s ložem vstřikovacího stroje. Pohyblivá část formy je upnuta na pohyblivých deskách. Pevná nepohyblivá část formy je upnuta na deskách, která mají otvor pro vstřikovací jednotku. [1] [12]



Obr. 14. Uzavírací jednotka [10]

Uzavírací jednotky rozlišujeme dle druhu pohonu na elektrické, mechanické hydraulické a jejich kombinace. Uzavírací jednotka bývá nejčastěji umístěna v jedné ose v horizontální poloze. Vstřikování probíhá kolmo na dělicí rovinu formy. Toto uspořádání není však pevně dané, a proto se jejich uspořádání může vzájemně lišit. [1] [12]

5 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Správná konstrukce vstřikovací formy je závislá na odborných znalostech ze strany konstruktéra. Po celou dobu své životnosti musí forma splňovat určité požadavky. Mezi ně patří například zajištění stálého požadovaného rozměru a kvality, dobrá odformovatelnost, odolnost vůči vysokým tlakům a v neposlední řadě snadný a plně automatizovaný provoz. [7] [12]

Hlavními částmi vstřikovací formy je temperační systém, vyhazovací systém a různé vodící a upínací elementy. Jednotlivé části vstřikovací formy rozdělujeme na konstrukční a funkční. Funkční části formy jsou ty, které přichází do styku s polymerní taveninou a udávají tak konečný tvar výrobku. Konstrukční části mají zase za úkol správnou činnost formy. [7] [12]

Z hlediska konstrukce dělíme vstřikovací formy do několika základních skupin. Dle násobnosti, neboli počtu tvarových dutin se dělí na jednonásobné a vícenásobné. Další rozdělení se týká způsobu zaformování. Z tohoto hlediska se formy dělí na čelist'ové, dvou-deskové, třideskové, vytáčecí, etážové a podobně. [7] [12]

Celkovou životnost formy, ať už se jedná o materiál desek, nebo částí, které jsou v přímém kontaktu s polymerní taveninou, jako je tvárník a tvárnice, můžeme ovlivnit správnou volbou materiálu a jeho tepelným zpracováním. Materiál se volí podle druhu vstřikovaného polymeru, odolnosti proti korozi, tepelné odolnosti, odolnosti proti opotřebení, složitosti výrobku, jeho velikosti, použité technologii a podobně. [7] [12]

5.1 Správné postupy při konstrukci formy

Konstruktér, který navrhuje formu, obdrží výkres součásti většinou i s 3D modelem, musí znát násobnost formy a stroj, na kterém se bude daný dílec vstřikovat. Poté, co jsou tyto požadavky známy, tak musí zvážit následující kroky. [1] [2] [12]

Musí s ohledem na zaformování a umístění vtokového systému zvážit vhodné umístění dělicích rovin. Kvůli funkčním a vzhledovým vadám musí dělicí plocha procházet hranami výstřiku, a přitom být jednoduchá na výrobu. [1] [2] [12]

Určit rozměry tvarové dutiny s ohledem na smrštění, opotřebení a výrobní toleranci. Velikost výrobní tolerance formy se volí jako 20 % ze smrštění. Pokud se při vstřikování

používá jako příměs v polymerní tavenině druh plniva, které může mít abrazivní účinky, je nutné o formu řádně pečovat. Jinak lze opotřebení formy zanedbat. [1] [2] [12]

Vhodně navrhnout konstrukci vyhazovacího a temperačního systému. V případě nutnosti musí navrhnout i vhodný systém odvzdušnění. [1] [2] [12]

Dle stanovisek uvedených výše je potřeba správně zvolit materiály, ze kterých bude forma zkonstruována.

Podle druhu vstřikovacího stroje musí konstruktér navrhnout správný způsob upnutí formy a jeho vystředění. Na závěr následuje kontrola všech funkčních parametrů formy, a to s ohledem na druh použitého vstřikovacího stroje. [1] [2] [12]

5.2 Jakost povrchu formy

Konečný vzhled výrobku je závislý na jakosti povrchu formy. Při návrhu se řídíme doporučenými drsnostmi obráběných ploch, které jsou v přímém kontaktu s polymerem. Pokud je drsnost příliš vysoká, může to mít za následek špatné odformování výrobku.

Tab. 1. Jakosti povrchů forem

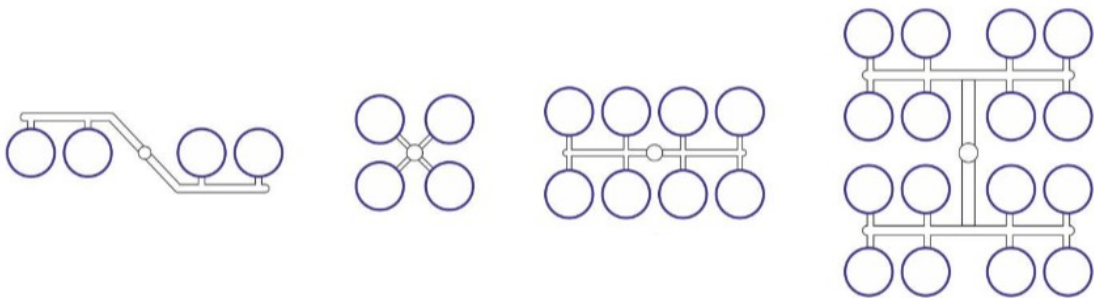
Drsnost R_a	Požadovaná jakost obrobených ploch
0,05	Nejpřesnější tvárníky a tvárnice s opracováním na vysoký lesk
0,1	Tvárníky a tvárnice s opracováním na běžný lesk
0,2	Tvárníky a tvárnice s dokonalým povrchem
0,4	Tvárníky a tvárnice s matným povrchem opracování dosedacích ploch
0,8	Opracování tvárníků a tvárnic u běžných forem a u dosedacích ploch
1,6	Opracování tvárníků a tvárnic méně náročných forem a dosedacích ploch

5.3 Vtokový systém

Úkolem vtokového systému je zajistit, aby zaplnění všech dutin polymerní taveninou bylo ukončeno ve stejném čase. K tomu slouží Kanály a ústí vtoku. Čas zaplnění by měl být, pokud možno, co nejkratší při minimálních odporech. Vtokový systém by měl být co nejjednodušeji oddělitelný od výstřiku. Rozdělení vtokových systémů se liší podle toho,

zdali jsou konstruovány pro malosériovou, velkosériovou, nebo hromadnou výrobu. Pro malosériovou výrobu se používají studené vtokové systémy, naopak pro velkosériovou vyhříváné. [1] [4] [12]

Celkové uspořádání vtokové soustavy nám určuje násobnost formy. Správné umístění vtokového systému má velký význam. Ovlivňuje totiž tok taveniny ve formě. Pokud je tedy vtok umístěn nevhodně, tak mohou vznikat tak zvané studené spoje. Toto riziko hrozí zejména u termoplastů. U vícenásobných forem existuje několik nejčastěji používaných uspořádání vtokových soustav, a to do hvězdy, nebo v řadě. [1] [4] [12]

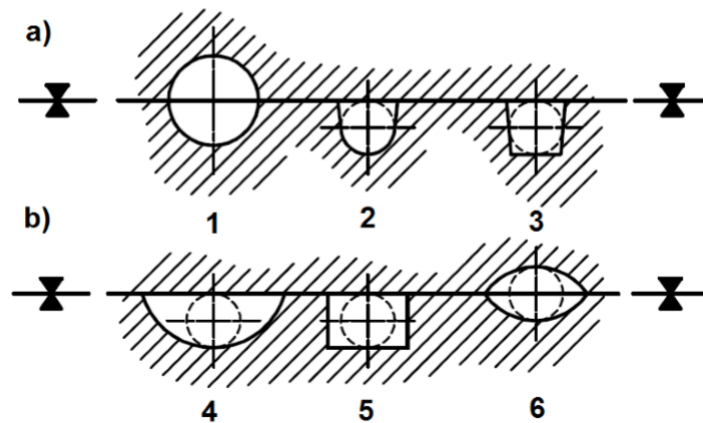


Obr. 15. Uspořádání vtokových systémů [27]

5.3.1 Studené vtokové systémy

Používají se u méně tvarově složitých výstřiků, a to zejména v malosériové výrobě. Během proudění polymerní taveniny dutinou formy dochází k tuhnutí polymeru u stěny formy. Takto ztuhlý polymer potom tvoří tepelnou izolaci pro vnitřní proud. Vnitřní proud postupně zaplní celou dutinu. Rozvod taveniny do jednotlivých dutin probíhá uvnitř vtokových kanálů. [2] [12]

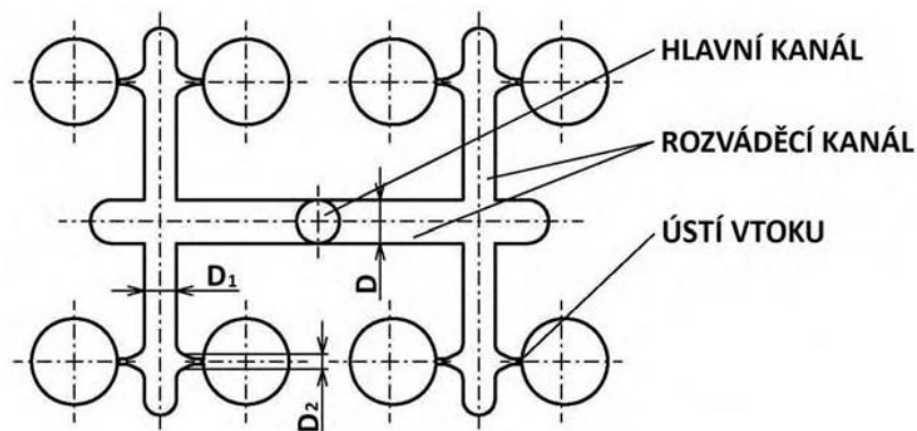
Vysoká teplota taveniny oproti nízké teploty formy má za následek zvýšení viskozity a tím pádem i tlaku. V závislosti na velikosti formy se tlak pohybuje v rozmezí 40 až 200 MPa. [2] [12]



Obr. 16. Průřez vtokových kanálů – a) funkčně výhodné, b) funkčně nevýhodné,
1,6- výrobně nevýhodné, 2,3,4,5 výrobně výhodné [7]

Vhodnost použití jednotlivých průřezů nám určuje velikost smáčivého čísla. Smáčivé číslo je poměr průtočného průřezu ke smáčenému povrchu. Průřez je vhodnější, pokud je jeho smáčivé číslo vyšší. [7] [12]

Vtokový systém se dělí na tři hlavní části. Je to hlavní vtokový kanál, rozváděcí kanál a vtokové ústí. Pomocí empirie se určuje velikost hlavního vtokového kanálu v závislosti na hmotnosti výstřiku. Hlavní kanál navazuje přímo na trysku vstřikovacího stroje. Je kuželového tvaru s úkosem $1,5^\circ$. Rozváděcí kanál má průměr stejný, nebo o málo větší než hlavní kanál. Vtokové ústí musí být co nejmenší, aby zanechalo co nejmenší stopy na výstřiku, ale musí být zároveň dostatečně velké na to, aby dokázalo spolehlivě zaplnit dutinu formy. [7] [12]



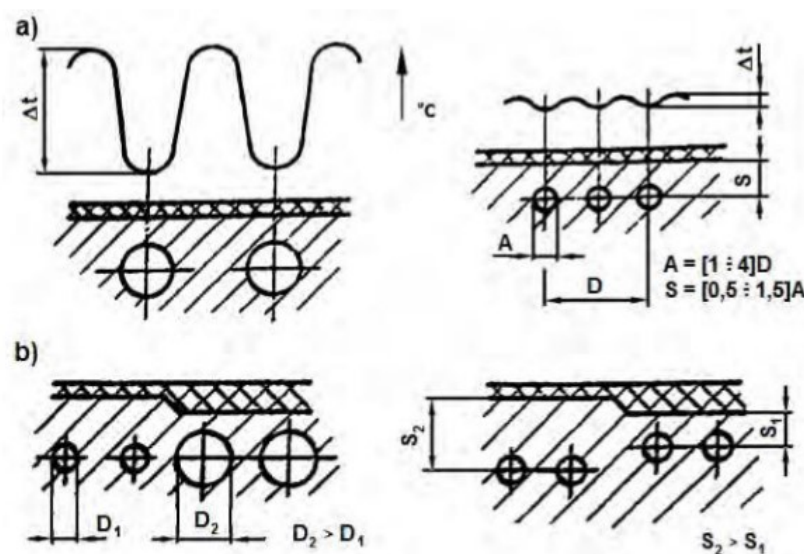
Obr. 17. Hlavní části vtokového systému [4]

5.3.2 Vyhřívání vtokové systémy

Výroba formy s vyhříváním vtokovým systémem je mnohem finančně nákladnější a je proto vhodná pouze pro velkosériovou výrobu. Taková forma je mnohem více tepelně i mechanicky namáhána, a proto musí být tužší a musí být vyrobena s vyšší přesností. Výhodou formy s vyhříváním vtokovým systémem oproti formě se studeným vtokovým systémem je její snadná údržba a ekonomika provozu. U forem s vyhříváním vtokem totiž nevzniká žádný odpad ve formě vtokových kanálů. Vstřikovací tryska ústí přímo do tvarové dutiny formy. [9] [12]

5.4 Temperační systém

Konstantní teplotní pole formy je udržováno za pomoci temperačního systému. Temperační systém ovlivňuje správné zaplnění formy polymerní taveninou a zajišťuje optimální chlazení polymeru až na vyhazovací teplotu. Systém je složen z kanálů a dutin, ve kterých cirkuluje temperační kapalina. Nejčastěji se používá voda, ale někdy i různé druhy oleje. Pomocí temperačního systému přechází teplo z polymeru do temperačního média. Ideální stav by byl, kdyby se tavenina ochlazovala ve všech místech stejně. Pokud zde vzniknou vysoké tepelné nerovnosti při ochlazení, hrozí deformace důsledkem vnitřního pnutí ve výstřiku. Tato vada může vygradovat až vznikem trhlin na povrchu výstřiku. Délka temperačního kanálu se volí tak, aby rozdíl teplot na vstupu a na výstupu temperačního média byl maximálně 3 až 5 °C. [7] [12]



Obr. 18. Vliv rozmístění temperačních kanálů na průběh teploty ve formě a) u stejné tloušťky výstřiku, b) u rozdílné tloušťky výstřiku [2]

Pro konstrukci temperačních kanálů platí tato pravidla:

1. Kanály nesmí ohrozit tuhost tvarové dutiny formy.
2. Kanály musí být konstruovány tak, aby dostatečně odváděly teplo v okolí vtoku taveniny do dutiny.
3. Průtok chladicího média musí proudit z nejteplejšího místa formy k nechladnějšímu.
4. Pokud možno, je dobré volit z výrobních důvodů kruhový průřez kanálů.
5. S ohledem na tvar výstřiku se volí rozmístění kanálů.
6. Spoje temperačních kanálů musí být dobře utěsněny. Pokud není možné dostatečné utěsnění, tak se temperační kanál nahradí drážkou, do které se vloží trubka z materiálu o vysoké tepelné vodivosti.
7. Zamezit vzniku mrtvých koutů.
8. Kanály nesmí být umístěny v blízkosti hran výstřiku.
9. Umístění kanálů řešíme tak, aby se daly propojit hadicemi

5.5 Vyhazovací systém

Z důvodu smrštění polymeru po ochlazení zůstává výstřik přichycen po otevření formy na tvárníku. Pro oddělení výstřiku od tvárníku se zavádí vyhazovací systém. Pohyb vyhazovacího systému má dvě fáze. První je pohyb vpřed pro vyhození výstřiku a druhá fáze je návrat do původní polohy. Nejrozšířenější způsob vyhození je mechanický pomocí vyhazovacích kolíků, nebo pomocí stíracích desek. Kolíky mohou mít dle potřeby různé tvary. Další typy vyhazování se liší dle pohonu na hydraulické a pneumatické. [2] [12]

5.5.1 Mechanické vyhazování

Mechanické vyhazování probíhá mechanicky, a to za pomoci vyhazovacích kolíků, stíracích desek, kroužků a podobně. Nejčastější a také nejlevnějším způsobem vyhazování je za pomoci kolíků. Je to nejjednodušší způsob, nicméně nevýhodou je zanechání stop od kolíků na výstřiku. Proto se musí umístění vyhazovačů pečlivě zvážit. [2] [12]

Způsob oddělení výstřiku od tvárníku pomocí stírací desky funguje na principu stírání výstřiku po celém jeho obvodu. Vyhození takovýmto způsobem nezanechává žádné stopy na výstřiku. Kvůli své velké styčné ploše se používá u rozměrných výstřiků s tenkou stěnou. [2] [12]

Speciálním způsobem mechanického vyhazování je šikmé vyhazování. Využívá se pro vytvoření mělkých vnitřních, nebo vnějších zápichů u malých výstřiků. [2] [12]

5.5.2 Pneumatické vyhazování

Pneumatické vyhazování se používá v případě vstřikování velkých rozměrů výstřiku s tenkou stěnou. Oproti mechanickému vyhazování má výhodu tu, že nevyžaduje velký zdvih a nemá vliv na délku formy. Stlačený vzduch je přiveden mezi výstřik a líc formy, a tak ve výstřiku nevznikají žádné stopy po vyhazovačích. Přívod vzduchu do vstřikovací formy probíhá za pomoci talířových ventilů. Používá se pro díly s tvarem nádoby. [2] [12]

5.5.3 Hydraulické vyhazování

Hydraulické vyhazovače mají velikou vyhazovací sílu, avšak pomalý zdvih. Hydraulické kapaliny se využívá pro ovládání mechanických vyhazovačů. Hydraulické vyhazovače jsou zabudovány přímo ve formě na připravení místo. [2] [12]

5.6 Odvzdušnění forem

Proces vstřikování neprobíhá ve vakuu, a tak se ve formě nachází vzduch, který je při zaplnění dutiny formy stlačován polymerní taveninou. Takto stlačený vzduch deformuje výstřik a v extrémních případech se může i zažehnout. Tomuto případu se říká „Dieselův efekt“. Z těchto důvodů je nutno formu odvzdušnit. Většina vzduchu odejde pomocí mezer mezi vyhazovači a tvárníkem. Pokud tomu tak není, tak se odvzdušnění provádí individuálně pro každou formu. [2] [12]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V teoretické části je zpracována literární studie zabývající se polymery pro vstřikování, zásadami konstrukce výstřiku z plastů, strojními časy, konstrukcí vstřikovacích strojů, forem a jejich částí.

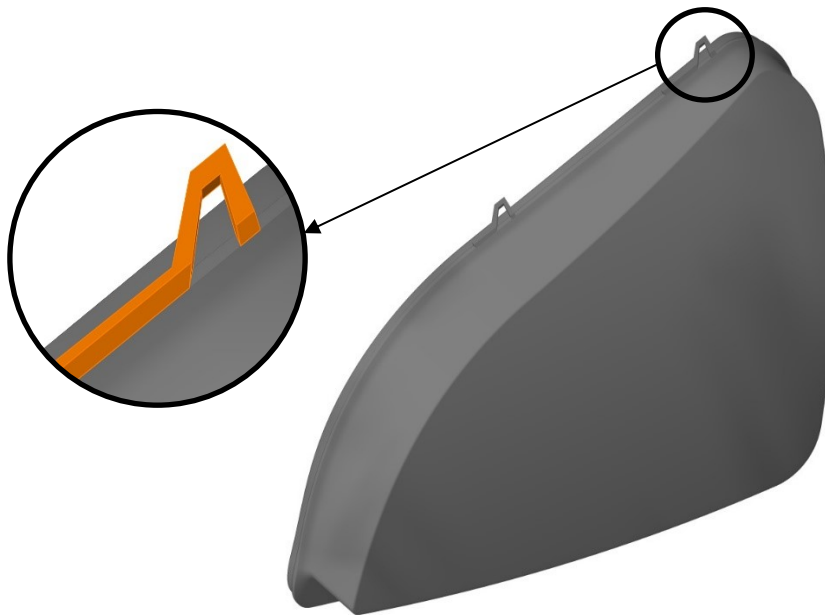
V praktické části bude provedena konstrukce vstřikovací formy za pomoci softwaru Catia V5R19 od firmy Dassault Systemes. Z ekonomického hlediska bude využito co nejvíce normalizovaných dílů, a to od firmy HASCO a Meusburger. Tyto firmy poskytují pro snadnější konstrukci katalogy, kde jsou jejich nabízené produkty vymodelovány ve 3D. Z takto zhotovených 3D modelů bude vytvořena sestava formy a z ní následně výkresová dokumentace.

Zadání bakalářské práce:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Proved'te konstrukční návrh 3D modelu vstřikovaného dílu.
3. Navrhněte vstřikovvací formu pro zadaný díl.
4. Nakreslete sestavu vstřikovací formy ve 2D včetně kusovníku.
5. Návrh ověřte pomocí simulací

7 VSTŘIKOVANÝ DÍL

Základní stavební jednotkou světlometu je pouzdro. Pouzdro je složeno z pláště a krycího skla. Automobil v dnešní době prodává především vzhled, a tak musí být výsledný produkt co možná nejvíce podobný tomu, který navrhnul designér. K tomu, aby byl požadavek vzhledu dodržen, se používají různé tubusy, rámečky, dekorativní lišty a podobně. Světlomet obsahuje další řadu funkčních částí, jako jsou optické systémy. V tomto případě byl jako vstříkovaný díl navrženo krycí sklo s uchycením pomocí zácvaku. Tloušťka skla je konstantní 2,5 mm. Objem vstříkovaného výrobku je 456 cm³ a přibližná hmotnost 400 g.



Obr.19 Krycí sklo s uchycením pomocí zácvaku

8 MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU

Nejčastěji používaným materiálem pro výrobu krycího skla je PC (polykarbonát). Dříve se používala sklovina. Povrch však musí být ošetřen lakem UVHC3000, nebo UVT610, jehož vrstva má přibližně 8-12 μm . Lak obsahuje UV filtr, který brání materiálu degradovat, což by mohlo mít za následek jeho zbarvení do žluta. Dále lak zvyšuje odolnost povrchu skla proti poškrábání.

Jako materiál pro vstřikování s ohledem na požadavky byl zvolen polykarbonát Lexan 125 od firmy SABIC Innovative Plastics.

Vhodné zpracovatelské podmínky:

- Teplota povrchu formy: 104 °C
- Teplota taveniny: 282 °C
- Maximální teplota taveniny: 333 °C
- Vyhazovací teplota: 135 °C
- Maximální smykové napětí: 0,5 MPa
- Maximální rychlost smyk. def.: 40 000 s^{-1}

9 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Pro navrženou formu byl zvolen vstřikovací stroj od společnosti Changzhou Worldmark Machinery s označením WMK-1700 A. Parametry stroje jsou uvedeny v Tab. 2.



Obr. 20 Zvolený vstřikovací stroj [28]

Tab. 2 Parametry vstřikovacího stroje [28]

	Jednotka	WMK-1700			
		A	B	C	
Vstřikovací jednotka	Průměr šneku	mm	130	140	150
	L/D poměr šneku	-	24	22.3	20.8
	Maximální objem jedné dávky	cm ³	8266	9586	11006
	Vstřikovací tlak	Mpa	164	142	123
	Rychlost šneku	Rpm	100		
Uzavírací jednotka	Uzavírací síla	KN	17000		
	Prostor mezi sloupky	mm	1500x1350		
	Toggle Stroke	mm	1520		
	Max. výška formy	mm	1500		
	Min. výška formy	mm	700		
	Zdvih vyhazovačů	mm	350		
	Vyhazovací síla	KN	318		

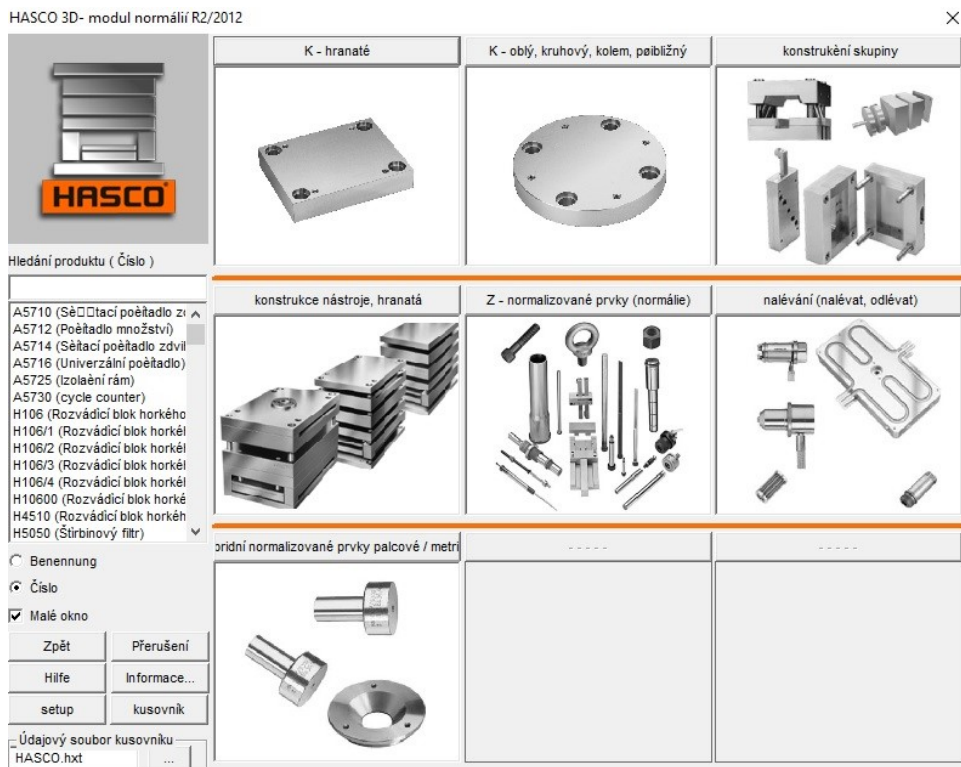
10 POUŽITÝ SOFTWARE

10.1 CATIA V5R19

Pro konstrukci výstřiku i vstřikovaného dílu byl použit software od francouzské společnosti Dassault Systemes. Původní program nesl označení CATI z francouzského Conception Assistée Tridimensionnelle a jeho vývoj začal již v roce 1977, a to jen pro vlastní potřebu letecké společnosti Avions Marcel Dassault. CATIA je programový systém, podporující trojrozměrný interaktivní návrh součástí, výrobu a inovace složitých strojírenských výrobků.

10.2 Hasco DAKO Modul

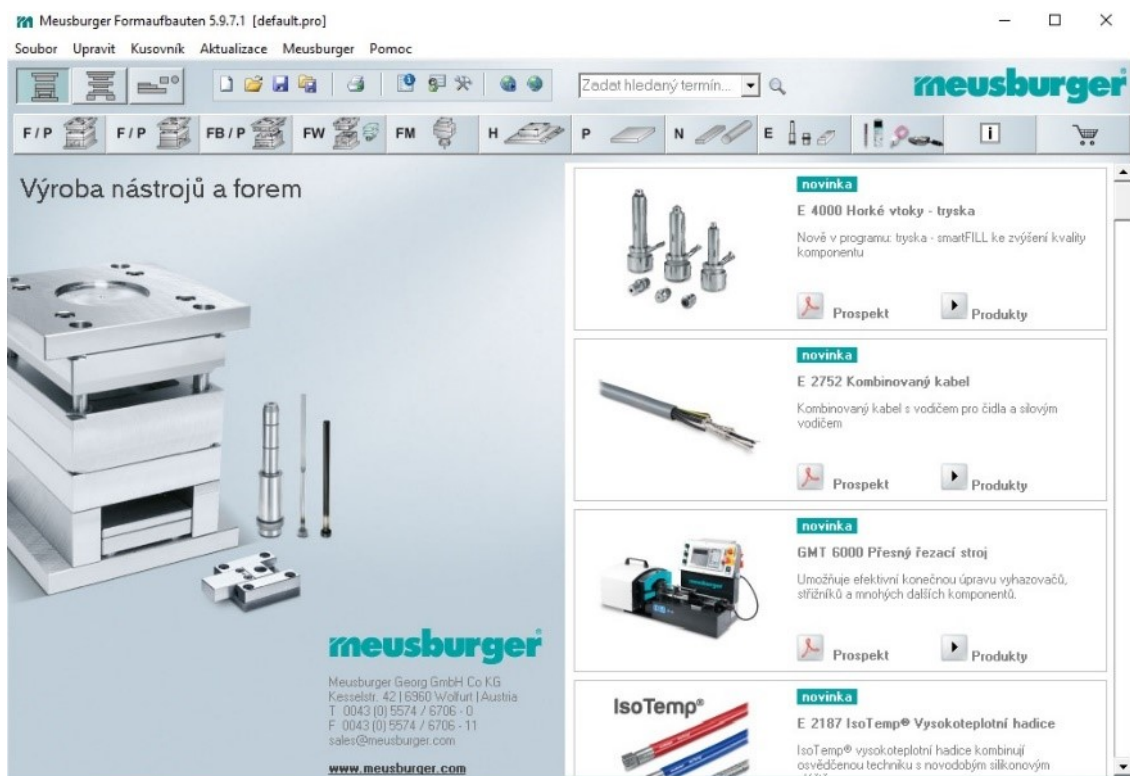
Pro samotnou konstrukci formy bylo využito normálií od společnosti HASCO. Normalizované dílce je nutno importovat do prostředí CATIA. K tomuto převodu slouží program HASCO DAKO modul. HASCO DAKO modul obsahuje veškeré 3D modely dílců z firemního katalogu. HASCO je německá firma, která se zabývá, výrobou a prodejem všech možných dílců týkajících se konstrukce vstřikovacích forem.



Obr. 21 Prostředí katalogu HASCO

10.3 Meuburger katalog

Meusberger katalog je 3D knihovna normálií od stejnojmenné firmy obsahující rozsáhlou knihovnu 3D normálií. Tento katalog, který se dokáže samostatně aktualizovat, dokáže vygenerovat objednané dílce jako 3D modely. Takto vygenerované díly je možno vsadit do sestavy vstřikovací formy. Aplikace obsahuje i dokumentaci pro co nejlepší uplatnění. Katalog umožňuje ukládání do formátů, které jsou čitelné pro jiné programy, jako je například Solidworks, Inventor, CATIA a podobně.



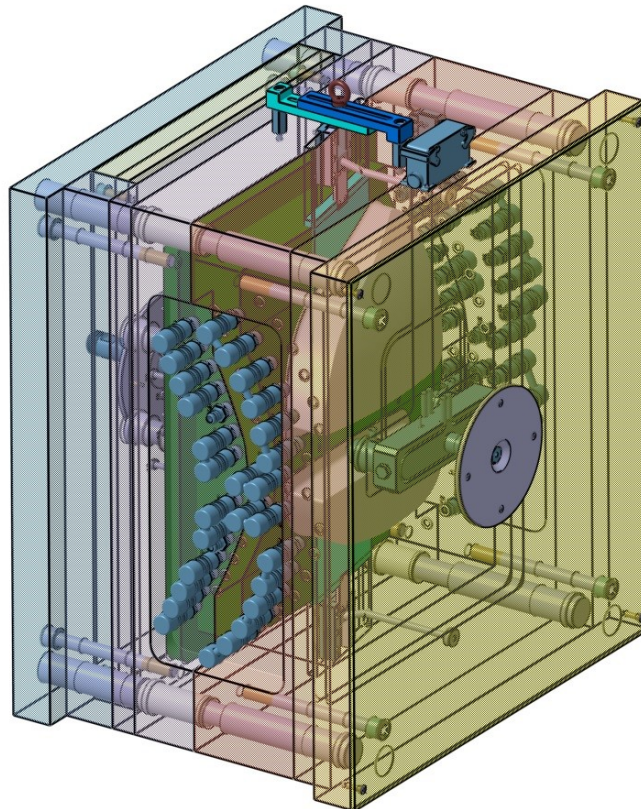
Obr. 22 Prostředí katalogu firmy Meusburger

10.4 Autodesk Moldflow Insight 2016

Moldflow Synergy je program od firmy Autodesk. Software je nástroj pro simulaci vstřikovacího procesu na digitálním prototypu. Software Moldflow pomáhá optimalizovat a vyhodnocovat průběh vstřikovacího cyklu pro daný plastový díl. Společně s programem CADMOULD je Moldflow Synergy nejčastěji používaný software pro řešení složitých procesů týkajících se vstřikování. Nejčastější využití má v automobilovém průmyslu, kde je kvůli tvarové náročnosti vstřikovaných dílů nutné proces simulovat. Simulace provádíme z důvodu ušetření financí, jelikož forma je velice drahý nástroj a její nesprávná konstrukce by měla za následek velkou finanční ztrátu.

11 KONSTRUKCE FORMY

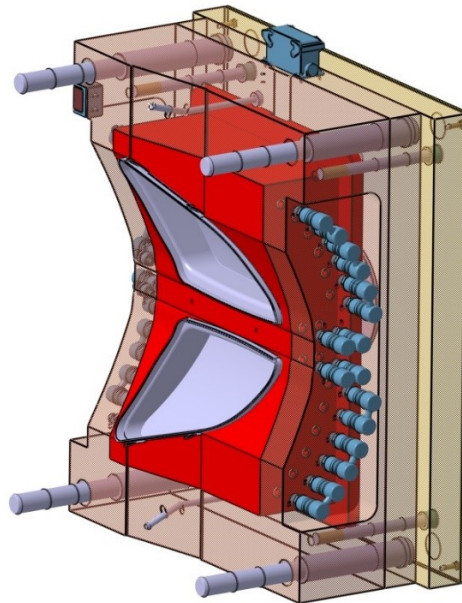
Při návrhu formy byl kladen co největší důraz na použití normalizovaných dílů, konkrétně od firmy HASCO a Meuburger. Použití normalizovaných dílů se volí z důvodu urychlení a zlevnění výroby. Jedná se všechny díly, jako jsou šrouby, středící trubky, čepy, desky a další.



Obr. 23 Sestava vstřikovací formy

11.1 Pravá polovina formy

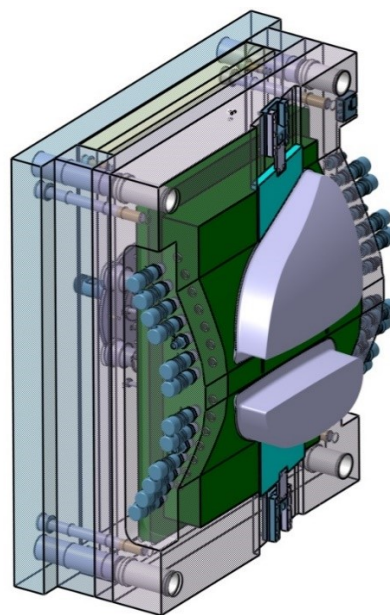
Pravá polovina formy, nebo vstřikovací strana, je pevně uložena na rámu a je tedy nepohyblivá. Její pevná pozice na vstřikovacím stroji je vystředěná pomocí středícího kroužku. Slouží ke vstřikování polymerní taveniny do dutiny formy. Mezi pravou a levou polovinou formy jsou 4 vodící čepy, které zaručují správnou vzájemnou polohu mezi oběma polovinami. V pravé polovině formy se dále nachází tvárnice, vtokový systém, temperační systém pro tvárnice a dva lomené kolíky, které slouží jako vedení pro odformování zácvaků.



Obr. 24 Pravá polovina formy

11.2 Levá polovina formy

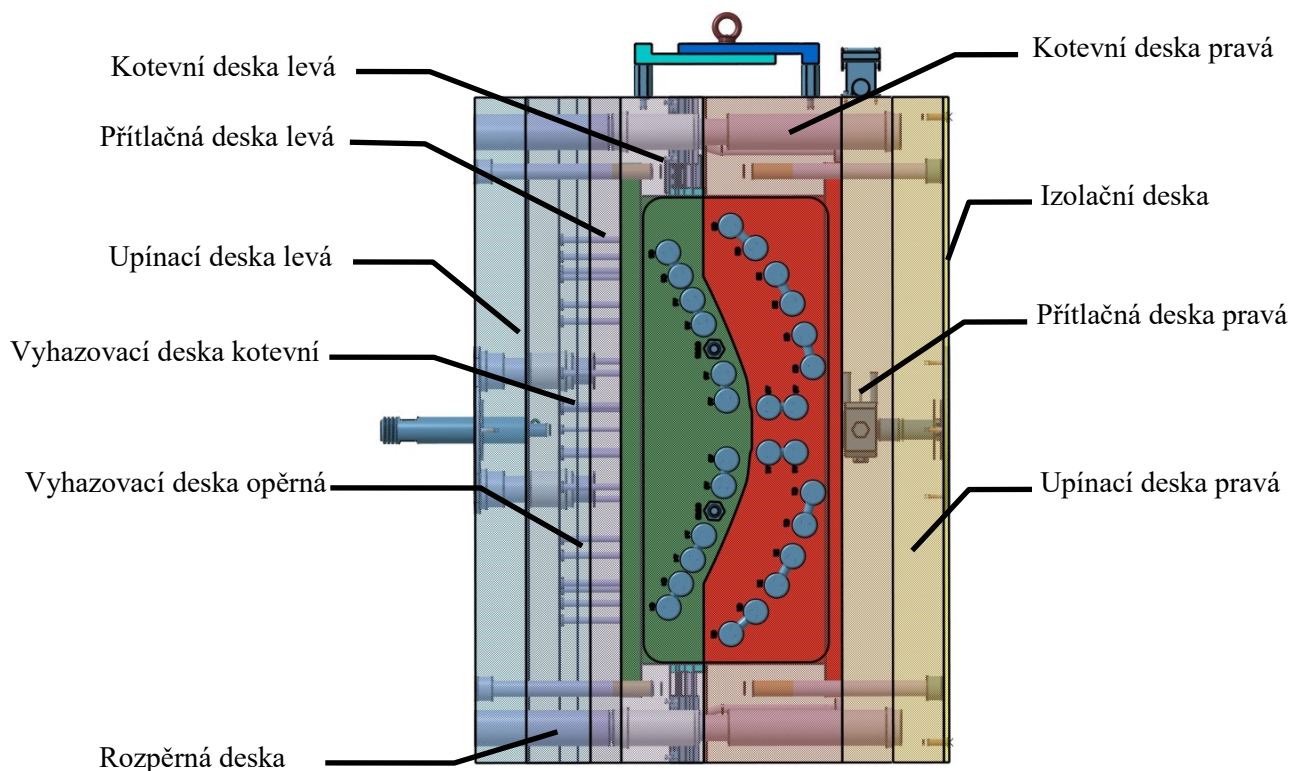
Levá polovina formy je pohyblivá. Pohyb je horizontální v závislosti na konstrukci vstřikovacího stroje. Nejdůležitější částí levé poloviny formy je tvárník. Mezi ostatní části patří, vodící a středící trubky, temperační systém pro tvárník a vyhazovací systém. Účelem levé části formy je po vstříknutí polymerní taveniny a jejím ochlazení odjet od pravé pevné poloviny formy a vyhodit výstřik i s vtokovým systémem.



Obr. 25 Levá polovina formy

11.3 Rám formy

Rám formy je zjednodušeně řečeno skupina navzájem spojených desek. Desky jsou vzájemně spojeny vodícím, středícím a spojovacím příslušenstvím. Rám musí být konstruován tak, aby umožnil správné ustavení na vstřikovacím stroji včetně dokonalého a bezpečného upnutí. Dále je nutné, aby vedení pohyblivých dílů formy bylo přesné a upevnění tvarových vložek a ostatních funkčních dílů bylo co nejjednodušší. Rám je opatřen i počítadlem od firmy HASCO, který počítá počet jednotlivých vstřikovacích cyklů. Na rámu formy je připevněn i transportní systém a zásuvka pro trysky a vyhřívaný blok.



Obr. 26 Rám formy

Rozměry desek [mm]:

Rozpěrná deska: 84 x 996 x 96

Kotevní deska levá: 796 x 996 x 207

Vyhazovací deska kotevní: 624 x 996 x 46

Vyhazovací deska opěrná: 624 x 996 x 27

Upínací deska levá: 896 x 996 x 76

Kotevní deska pravá: 796 x 996 x 207

Upínací deska pravá: 896 x 996 x 76

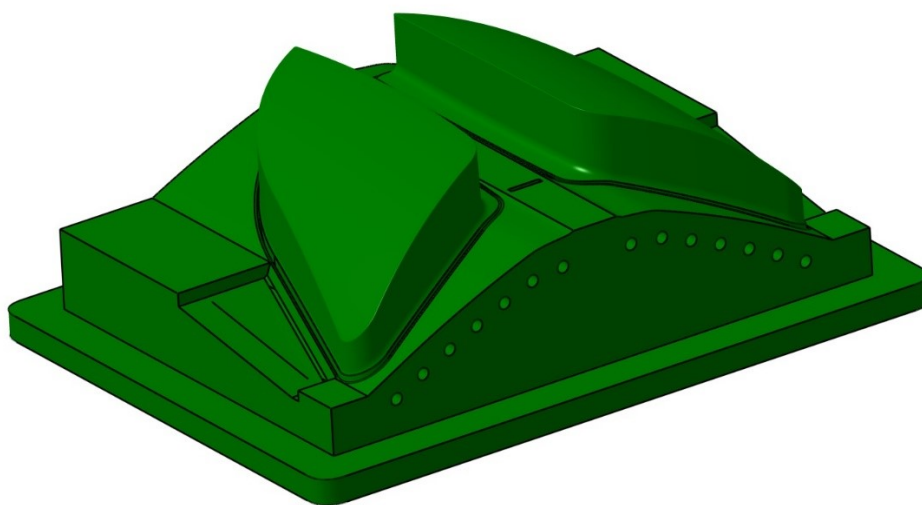
Izolační deska pravá: 896 x 996 x 8

11.4 Násobnost formy

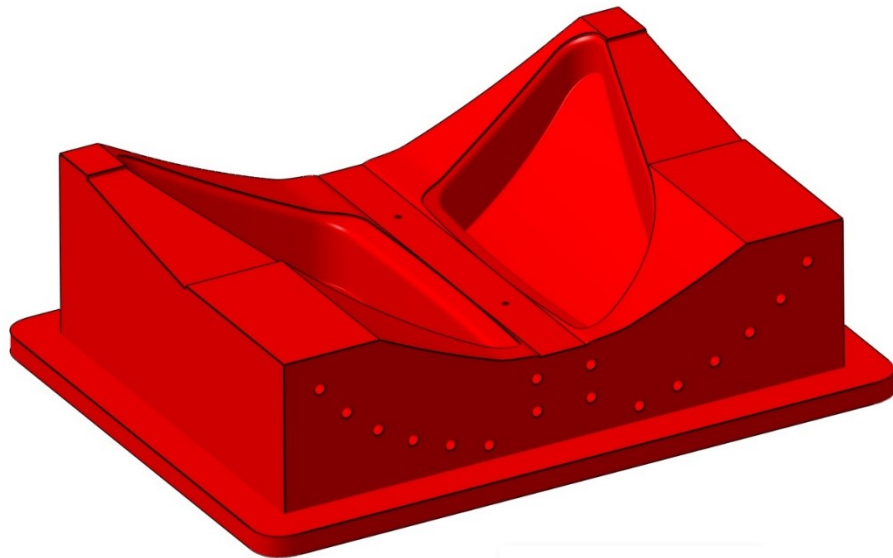
Pro tento díl je zvolena forma dvounásobná, a to s tím, že druhý díl je zrcadlový obraz prvního. Je tomu z důvodu, že jeden je levý a druhý pravý. Důležité parametry pro volbu násobnosti formy jsou přesnost výstřiku, požadované množství, velikost a kapacita vstřikovacího stroje, ekonomika výroby a v neposlední řadě i termín dodávek.

11.5 Tvárník a tvárnice

Výroba tvárníku a tvárnice je časově i finančně velmi náročná. Jsou to tvarové prvky, které po vzájemném spojení tvoří tvarovou dutinu formy. Jsou případy, kdy bývají součástí desek. V tomto případě je volena tvarová vložka. Tyto vložky mohou být v případě opotřebení vyměněny. Tvárnice je uložena v pravé, nepohyblivé části formy a tvárník v levé pohyblivé části formy. Dutina formy je zvětšena o smrštění polymerní taveniny po ztuhnutí, tedy o 0,7%. Pro dopravu taveniny do dutiny formy byla použita kombinace horkého a studeného vtoku se dvěma vtoky pro každý díl.



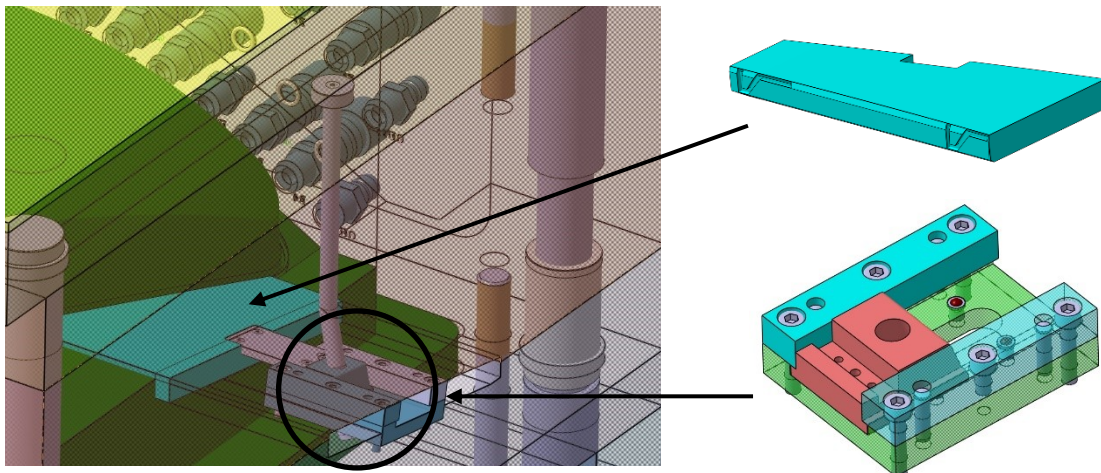
Obr. 27 Tvárník



Obr. 28 Tvárnice

11.6 Odformování

Na vnějších stranách výstřiků se nacházejí dva závaky pro upevnění skla do pouzdra, které je třeba odformovat. Odformování je voleno pomocí lomených kolíků. Standardní šikmé kolíky by v tomto případě totiž zasahovaly do tvárnice. Vodící lišta včetně příslušenství je z normálií HASCO a má označení Z1880/20x40x100.



Obrázek 29 Boční odformování závaků

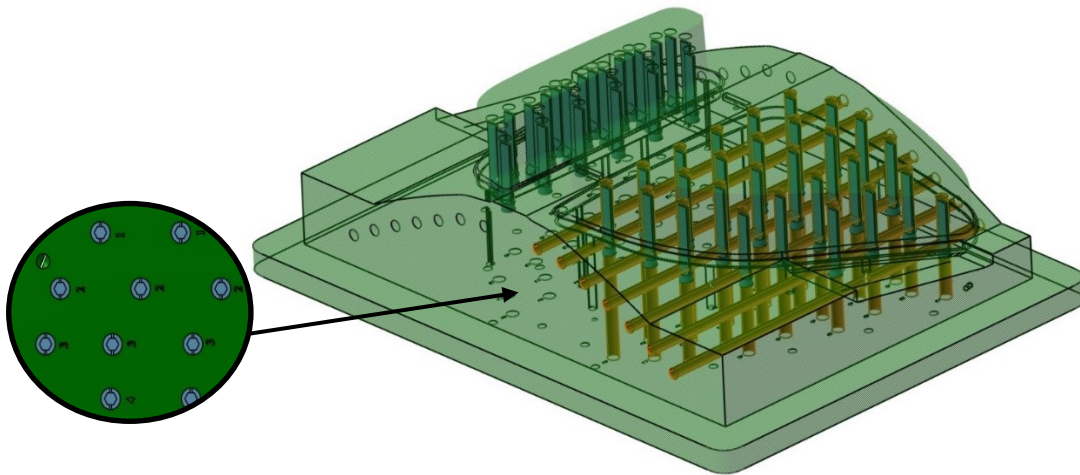
11.7 Temperace formy

Temperace formy na požadovanou teplotu je udržována pomocí kruhových kanálů, které jsou voleny v závislosti na rozměrech rámu formy, velikosti výstřiku a druhu vstřikovaného plastu. Kanály musí být konstruovány tak, aby neovlivnily tuhost formy. Doporučené průměry kanálů jsou uvedeny v tabulce Tab. 4. Rám formy je však větší, než je nejvyšší hodnota v tabulce, proto je volen největší průměr kanálu z normálií HASCO, tedy 14 mm.

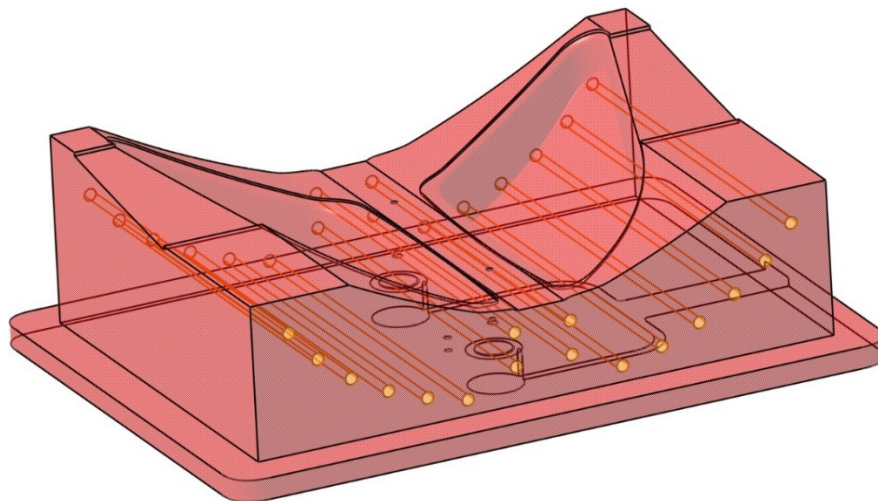
Tabulka 3 Orientační hodnoty volby průměru kanálů v závislosti na výstřiku a rámu formy [2]

výstřik [g] rám [mm]		1	3	5	8	10	15	20	30	50	100	200	300	500	800	
	1	3	5	8	10	15	20	30	50	100	200	300	500	800	1000	
160x160	6	6	6	6	6											
160x230		6	8	8	8	8	8	8	8							
230x230		8	8	8	8	8	8	8	8	8						
230x300			8	8	8	8	8	8	8	8	10					
300x300			8	8	8	8	8	8	8	8	10	10				
300x370				8	8	8	8	8	8	8	10	10	10			
370x370				8	8	8	8	8	8	8	10	10	10	10		
370x440					8	8	8	8	8	8	10	10	10	12	12	
440x440					8	8	8	8	8	10	10	12	12	12	12	12
440x510						8	8	8	8	10	10	12	12	12	12	12
510x510						8	8	8	8	10	10	12	12	12	12	12
510x650							8	8	8	10	12	12	12	12	12	12

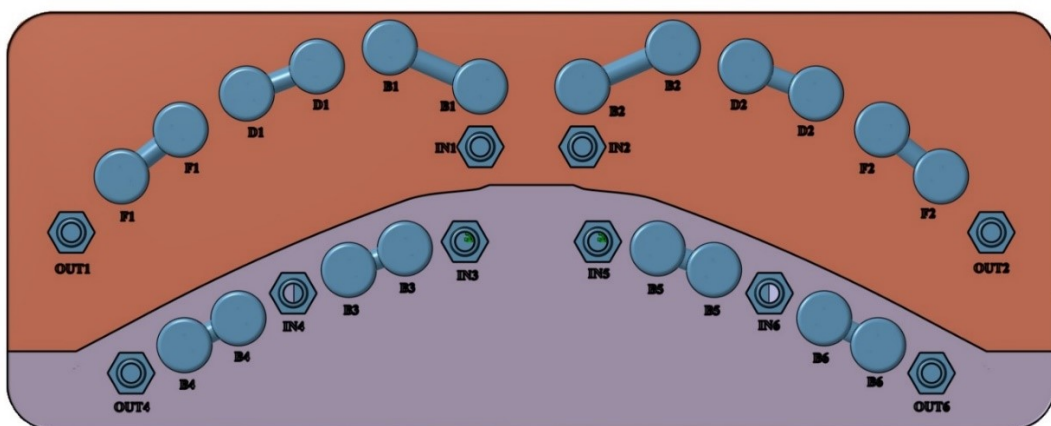
Pro tvárník jsou zvoleny 4 samostatné chladicí okruhy a pro tvárnici 2. Kanály jsou spojeny zvnějšku formy pomocí spojek od společnosti HASCO. Pro temperaci tvárníku jsou použity přepážky různých délek. Jejich správná pozice je proto označena čísly. Kdyby byly omylem přehozeny, mohlo by dojít v lepším případě ke špatné temperaci formy.



Obr. 30 Temperační kanály uvnitř tvárniku a označení přepážek



Obr. 31 Temperační okruhy uvnitř tvárnice

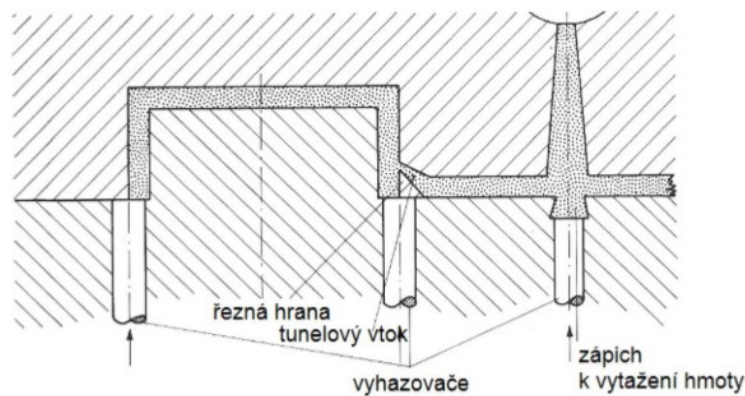


Obr. 32 Označení jednotlivých větví temperačního okruhu

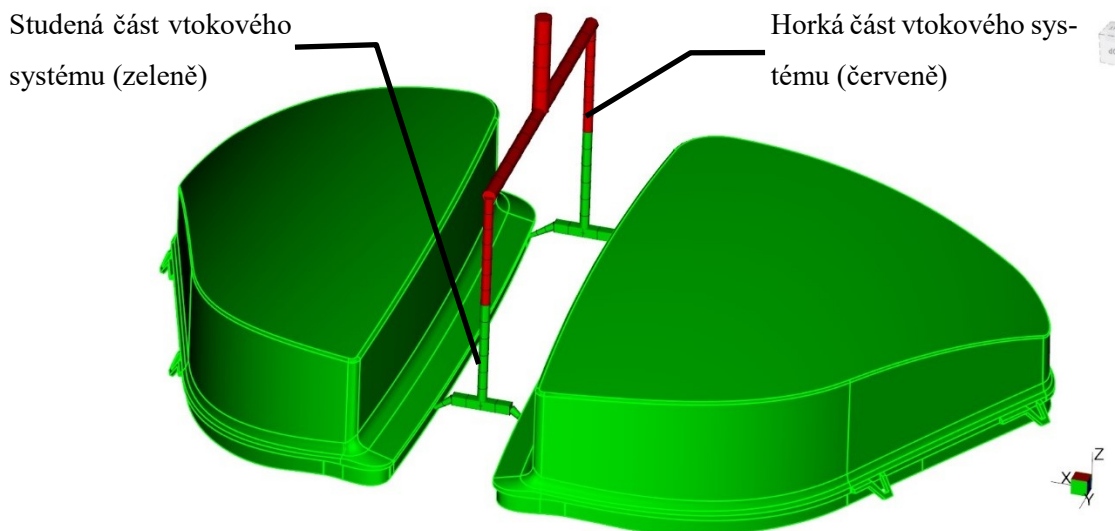
Každá temperační větev je označena z důvodu, aby nedošlo k prohození spojek a temperační systém fungoval tak, jak byl navržen.

11.8 Vtokový systém

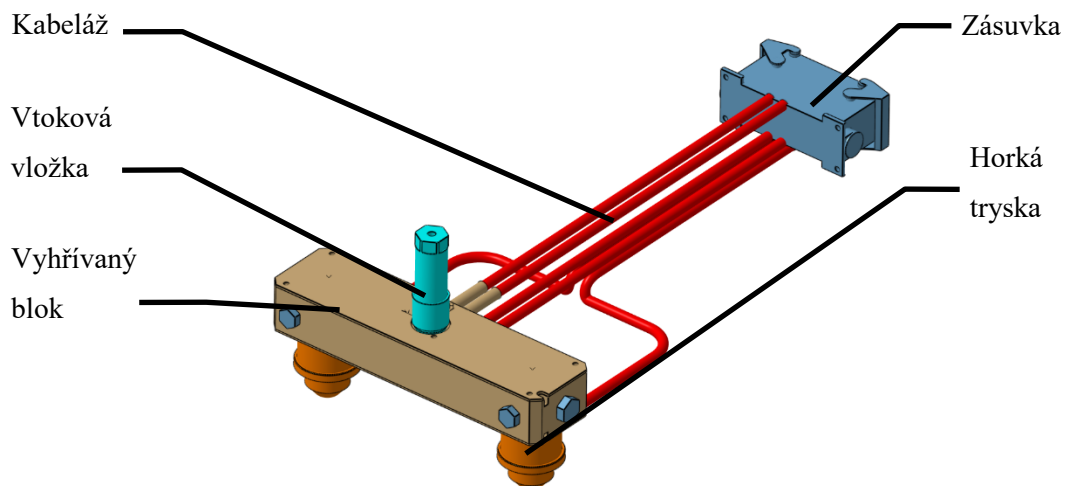
V návrhu formy byla zvolena kombinace horkého a studeného vtokového systému. Byl zvolen tunelový vtok. Tunelový vtok je zvláštním případem bodového vtoku. Hlavní výhodou je oddělení zbytku studeného vtokového systému. K oddělení dochází při otevření formy pomocí řezné hrany. Ušetří se tak za nákladnou a složitou třídeskovou formu. Nevýhodou je náročný způsob výroby pomocí elektrojiskrového hloubení. Tunelový vtok není vhodný pro polymery obsahující vláknitá plniva. Pokud tomu tak je, pak musí být průměr ústí vtoku minimálně 2 mm. V našem případě průměr ústí vtoku 3 mm.



Obr. 33 Tunelový vtok



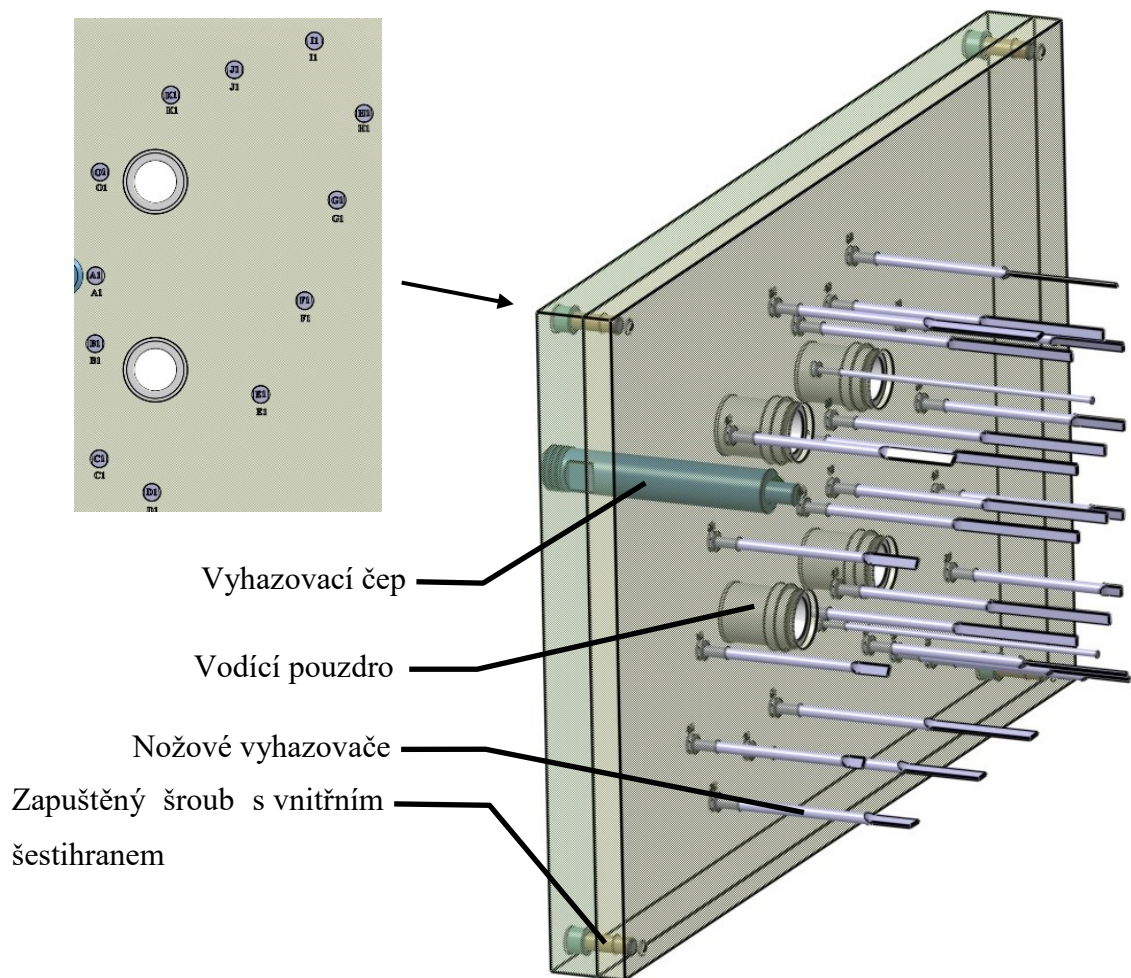
Obr. 34 Konkrétní případ vtokového systému



Obr. 35 Horký vtok

11.9 Vyhazovací systém

Aby mohl být výstřík správně vyhozen, musí zůstat po otevření formy přichycen na levé pohyblivé straně. K tomu dochází z důvodu smrštění výstříku na tvárníku. Vyhazovače se dotýkají rubové, nevzhledové strany výstříku. To je důležité, protože po vyhazovačích mohou zůstat viditelné stopy. Vyhazovací systém tvoří 24 nožových vyhazovačů pro vyhození výrobku a 2 válcové vyhazovače pro vyhození zbytku vtokového systému.



Obr. 36 Vyhazovací systém

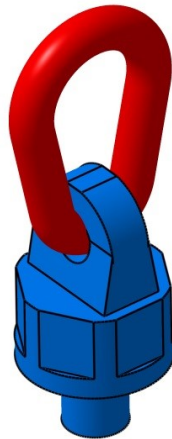
Jednotlivé vyhazovače jsou různých délek a jsou různě natočené. Z tohoto důvodu musí být vyhazovače označené. Kdyby došlo k záměně vyhazovačů, může dojít ke špatnému vyhození výstřiku.

11.10 Odvzdušnění formy

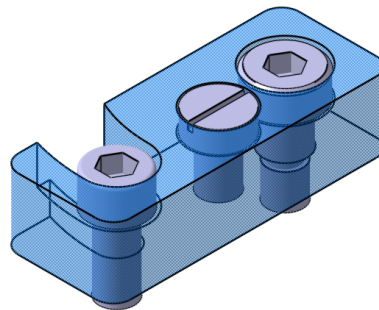
Po zavření formy je dutina naplněna vzduchem. Tento vzduch musí po vstříknutí polymerní taveniny uniknout, neboť může dojít k narušení tvaru a povrchu výstřiku. Při konstrukci formy bylo uvažováno s únikem vzduchu dělicí rovinou a přes vůli mezi vyhazovači.

11.11 Transportní systém

Po výrobě formy je třeba s ní nadále manipulovat. Z těchto důvodů se na formu přidává transportní systém, který umožní připevnění formy na jeřáb. Transportní systém se skládá ze dvou závěsných ok od firmy HASCO s označením Z721/30x35x6,7. Po stranách formy jsou i zámky, které brání otevření formy během manipulace pomocí jeřábu.



Obr. 37 Transportní systém



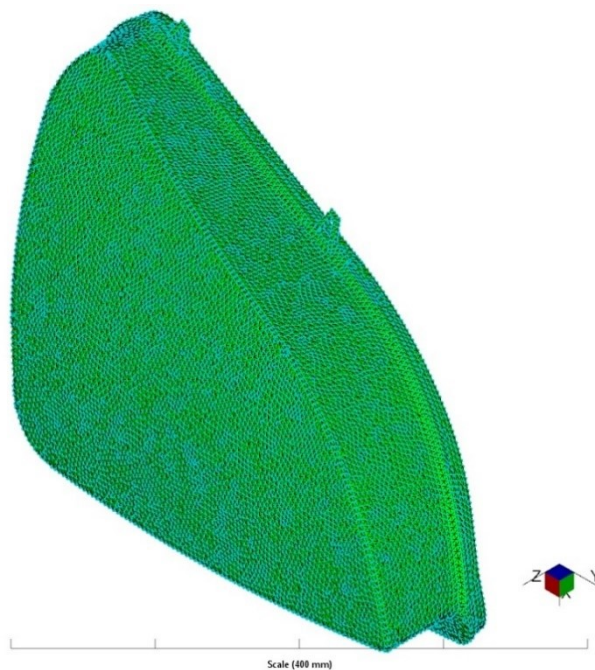
Obr. 38 Zámek

12 CAE ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

Pro simulaci vstřikovacího procesu byl použit program Autodesk Moldflow 2016. Pomocí výsledků z analýz je možno optimalizovat konstrukci vstřikovací formy a stanovit procesní podmínky. Předchází se tak i potencionálním vadám za pomoci predikce toku taveniny tvarovou dutinou formy. Použití programu Autodesk Moldflow a jemu podobných je výrazně zefektivněna a zlevněna výroba formy.

12.1 Nastavení analýzy v programu Moldflow

Model výrobku vytvořený v programu CATIA za pomoci plošného modeláře. Pro tento díl byla navržena předběžná forma, ve které bylo rozvrženo vtokové ústí a temperační systém. Vytvořený model je nutno vysítovat pomocí sítě Dual Domain. Následně byl vložen ve vektorovém formátu chladicí a vtokový systém. Pro chladicí systém bylo určeno temperační médium a pro vtokový systém bylo určeno ústí vtoku. Následně byla síť zkontrolována a upravena. Z databáze Moldflow byl vybrán materiál Lexan 125 od firmy SABIC, což je polykarbonát. Nastaveny procesní parametry, teplota taveniny 282 °C, doba otevření formy 5 s, teplota formy 104 °C, doba vstřikování 2,3 s, materiál formy, atd.



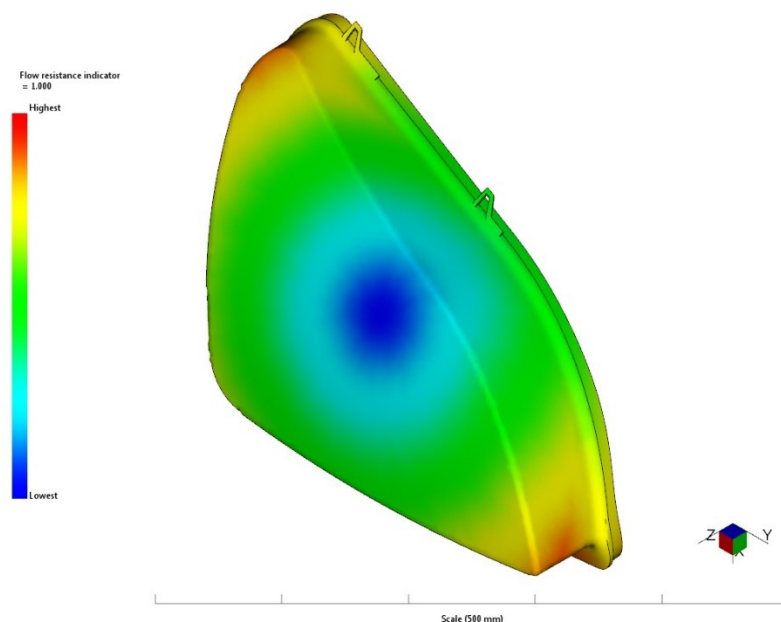
Obr. 39 Vysítovaný model

12.2 Vtokové analýzy

Tato analýza slouží ke zjištění nejvhodnějšího místa na výstříku k umístění vtokového ústí. Kvalita výsledků je závislá na kvalitě vytvořené mřížky. Při konstrukci formy bylo přihlédnuto k výsledkům těchto analýz.

12.2.1 Ukazatel odporu toku taveniny

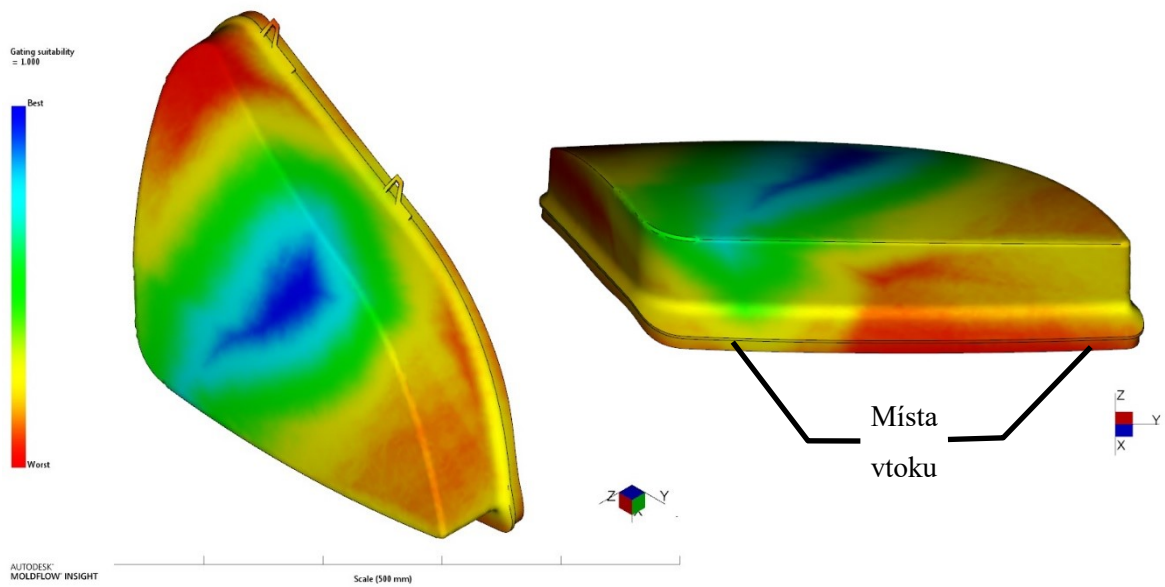
Ukazatel odporu toku taveniny zobrazuje na výrobku místa, kde má materiál největší odpor proti toku. Červená místa jsou ta, kde je materiálu kladen největší odpor. Modrá místa naopak zobrazují místa s nejmenším odporem. Analýza umožňuje zvolit místo vtoku na výstříku tak, aby se předešlo nežádoucím vadám na výstříku.



Obr. 40 Analýza odporu toku taveniny (Flow resistance indicator)

12.2.2 Vhodnost umístění vtoku

Analýza umístění vtoku ukazuje pomocí barevné škály nejvhodnější umístění vtokového ústí. Modrá barva zobrazuje nejvhodnější místo pro umístění vtoku, naopak červená nejméně vhodné místo. Nejvhodnější místo dle analýzy se nachází uprostřed světlometu. Toto navrhované umístění bylo zavrhnuto, jelikož po vtokovém ústí zůstávají na výrobku stopy. Bylo rozhodnuto vytvořit 2 vtoková ústí na obvodu výstříku. Tato plocha je uložena v pouzdře světlometu a není proto viditelná. Byl brán ohled i na neméně důležité technologické prvky, jako dělicí rovina, násobnost formy, použitý vtokový systém a další.



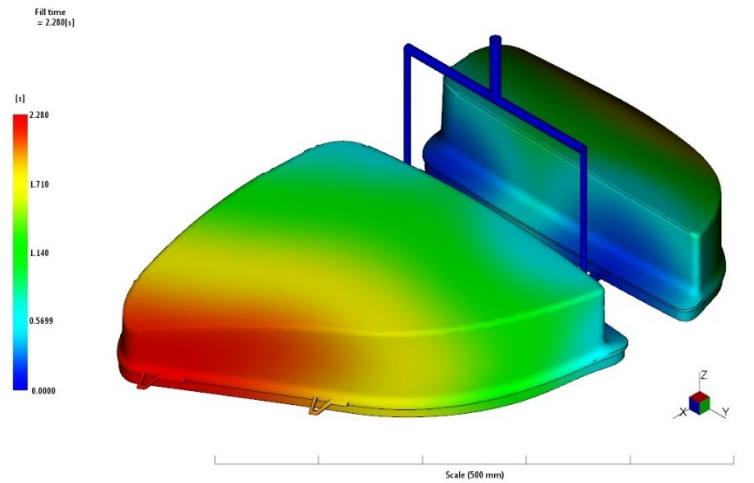
Obr. 41 Analýza místa vtoku (Gating suitability)

12.3 Analýzy plnění

Tyto analýzy jsou v programu Moldflow pod záložkou Flow a prezentují různé druhy simulací, jako je například doba plnění, rychlost smykové deformace, smykové napětí a podobně. Jsou důležité z hlediska návrhu formy a nastavení vstřikovacího cyklu.

12.3.1 Doba plnění

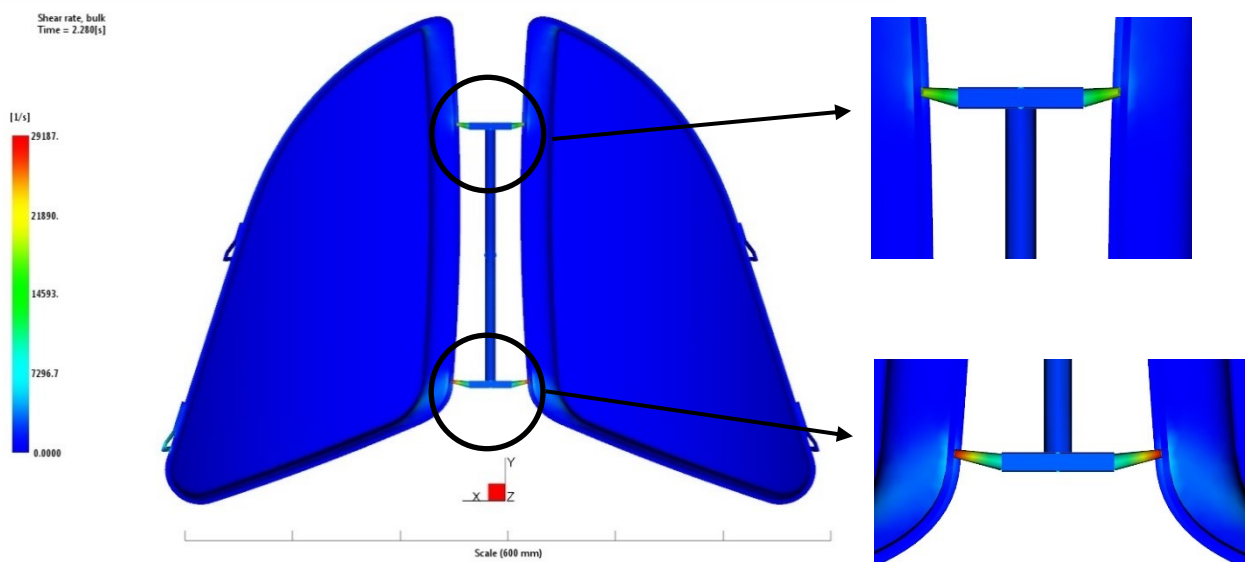
Analýza doby plnění představuje grafické a numerické vyjádření průběhu plnění formy. Umožňuje ověřit správné nastavení procesních podmínek. Výsledkem této analýzy je rovnoměrné zaplnění formy v celém svém objemu. Lze proto předpovědět, že výstřiky budou dotečené a nevzniknou tak žádná nedotečená místa, tedy nežádoucí vady. Čas plnění navrhované formy je 2,28 s a lze tedy konstatovat, že byl zvolen vhodný druh plnění.



Obr. 42 Analýza doby plnění (Flow time)

12.3.2 Rychlost smykové deformace

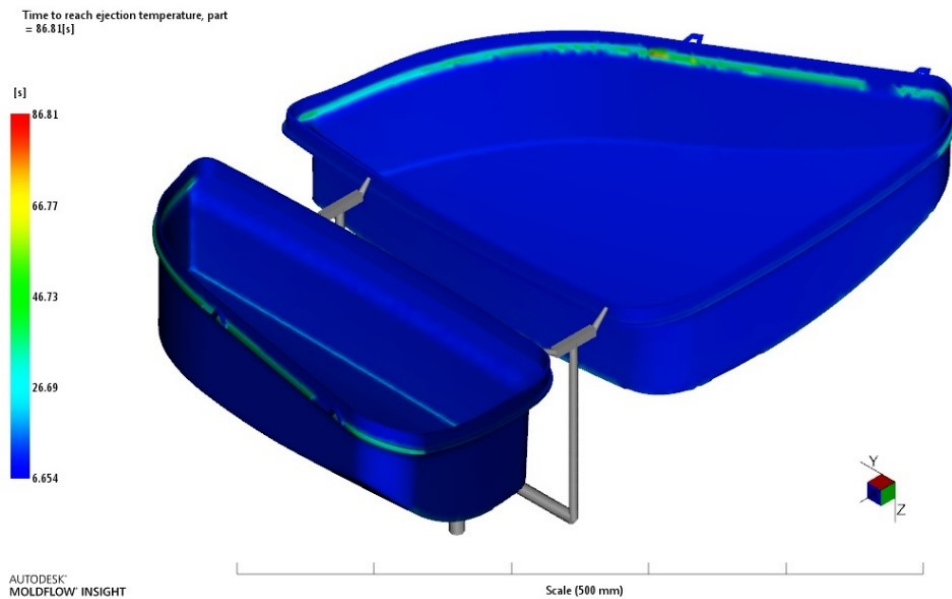
Pro zvolený materiál Lexan 125 je výrobcem udávána maximální rychlost smykové deformace 40000 s^{-1} . Z výsledku analýzy je určena maximální rychlost smykové deformace 29187 s^{-1} . Hodnota není tedy překročena a nedojde k poškození výrobku vlivem degradace. Nejvyšší hodnota je v nejužším místě vtokového. Rychlost smykové deformace roste se zmenšujícím se průměrem stěny trysky.



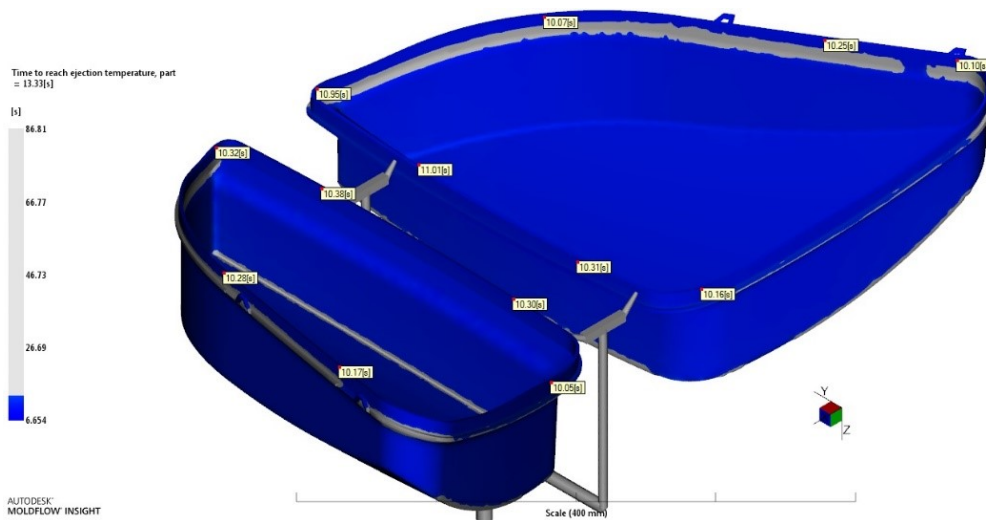
Obr. 43 Analýza rychlosti smykové deformace (Shear rate bulk time)

12.3.3 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

Pro daný polymer je vyhazovací teplota 135 °C. Celkový čas je měřen od počátku zahájení vstříku do dutiny formy. Tento čas je přibližně 87 s. Není však nutné čekat na vyhození výstříku, než bude vyhazovací teplota v celém objemu tělesa. Z podrobnější analýzy na Obr. 42 je patrné že vyhození je možno již po 11 s.



Obr. 44 Analýza času potřebného k vyhození (Time to reach ejection temperature)

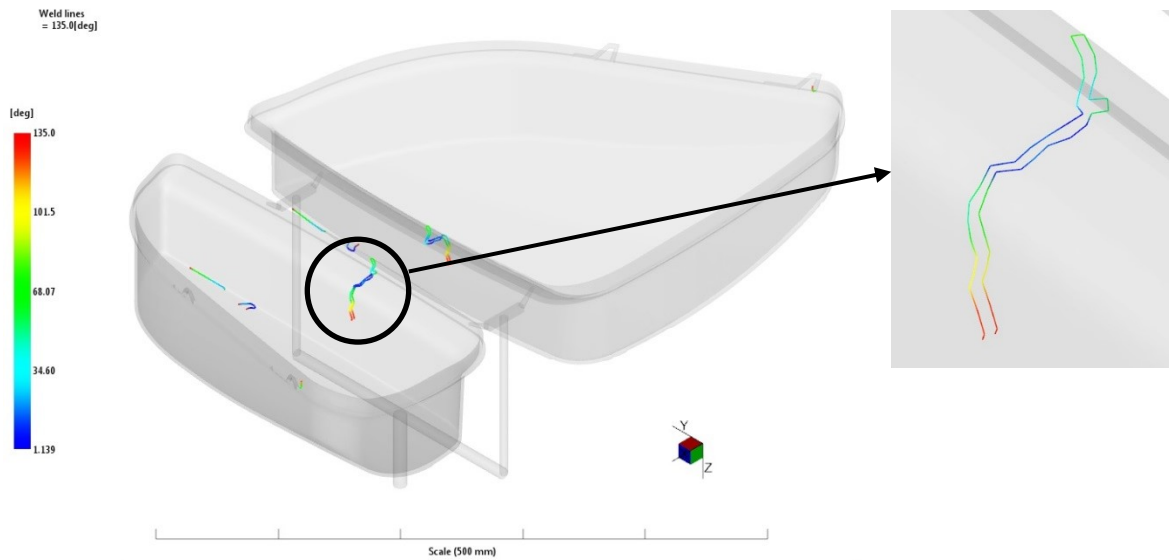


Obr. 45 Podrobná Analýza času potřebného k vyhození

12.3.4 Studené spoje

Na výrobku jsou místa, kde se schází dvě čela taveniny, těmto místům se říká studené spoje. Vznikají tam, kde není potřebná teplota, aby se makromolekulární řetězce

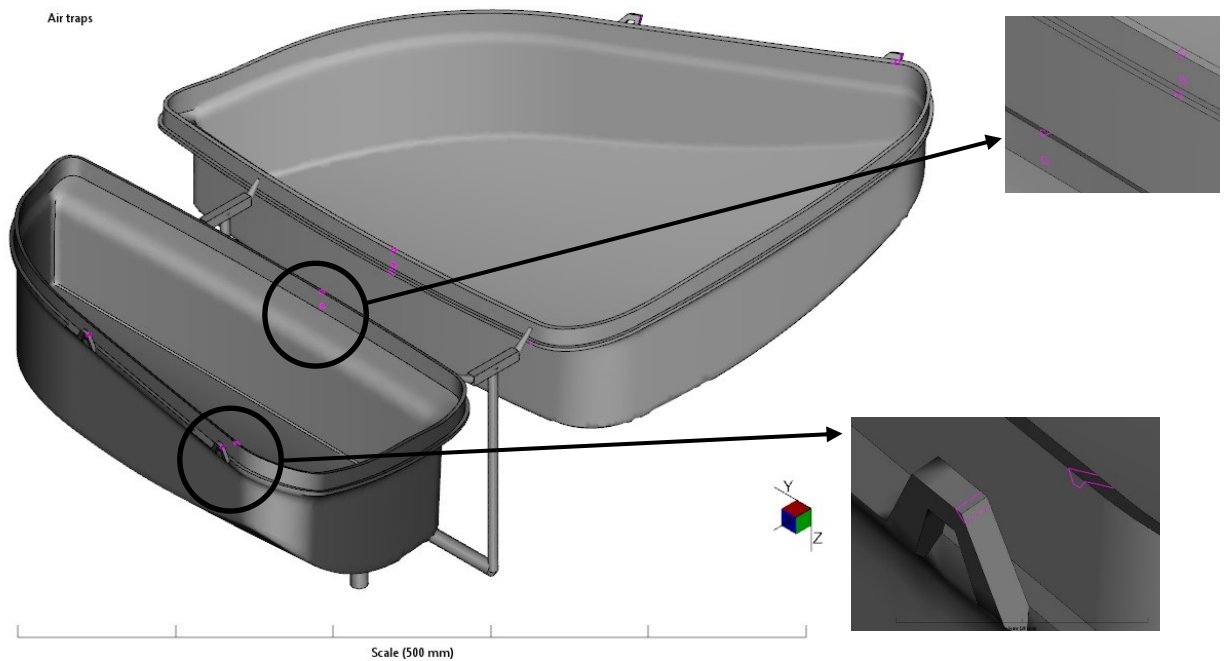
dostatečně propojily, tímto vznikají slabá místa na výstřiku. U amorfních polymerů, jako je PC, je vznik studených spojů méně pravděpodobnější než u semikrystalických. Studené spoje se nedají odstranit. Dají se ale ovlivnit jejich nežádoucí účinky změnou umístění vtoku, zúžením vtokového ústí nebo zvýšením teploty taveniny. V tomto případě dochází ke spojení čel taveniny od každého vtokového ústí. Tato část je ale nepohledová a není mechanicky namáhána.



Obr. 46 Studené spoje (Weld lines)

12.3.5 Vzduchové kapsy

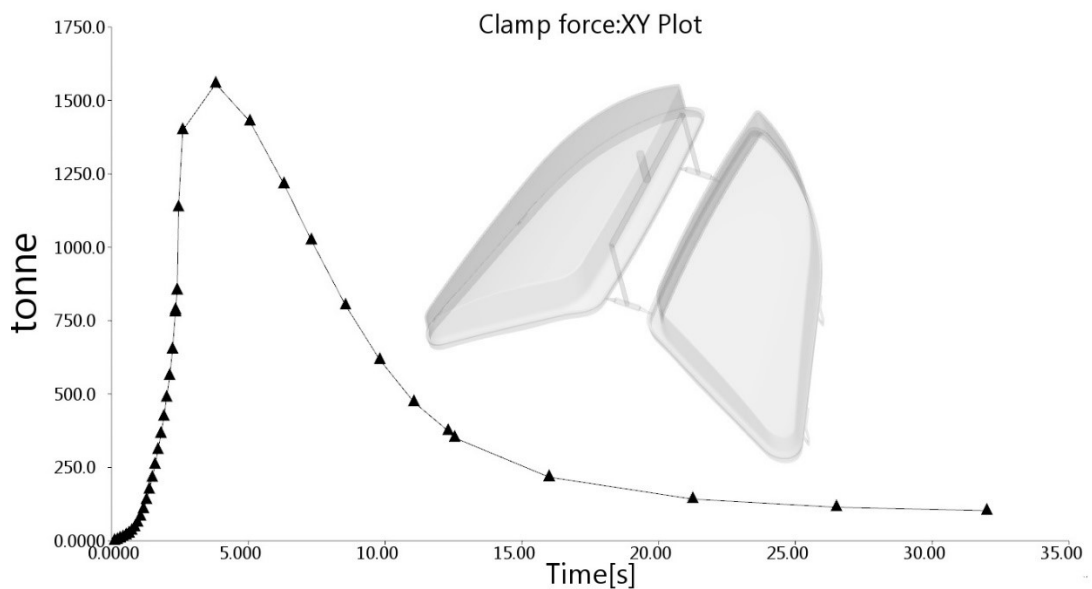
Tato analýza zobrazuje místa, kde by se mohly vytvořit vzduchové kapsy. Vzduchové kapsy mohou zabránit správnému zaplnění formy polymerní taveninou anebo může dokonce docházet ke vzniku spálených míst. Vytvoření vzduchových kapes lze zabránit správným návrhem odvodu vzduchu. V tomto případě vznikají vzduchové kapsy v místech, kde je dělicí rovina, nebo tam kde jsou umístěny vyhazovače. Toto riziko se tedy zanedbává.



Obr. 47 Analýza vzduchových kapes (Air traps)

12.3.6 Uzavírací síla

Výsledkem analýzy je průběh uzavírací síly během vstřikovacího cyklu. Velikost uzavírací síly je rozhodující při volbě vstřikovacího stroje. Analýza zobrazuje průběh uzavírací síly během vstřikovacího cyklu. Z grafu lze vyčíst, že potřebná uzavírací síla je 1550 tun. Zvolený stroj má uzavírací sílu 1700 tun. Stroj tedy vyhovuje požadavkům.



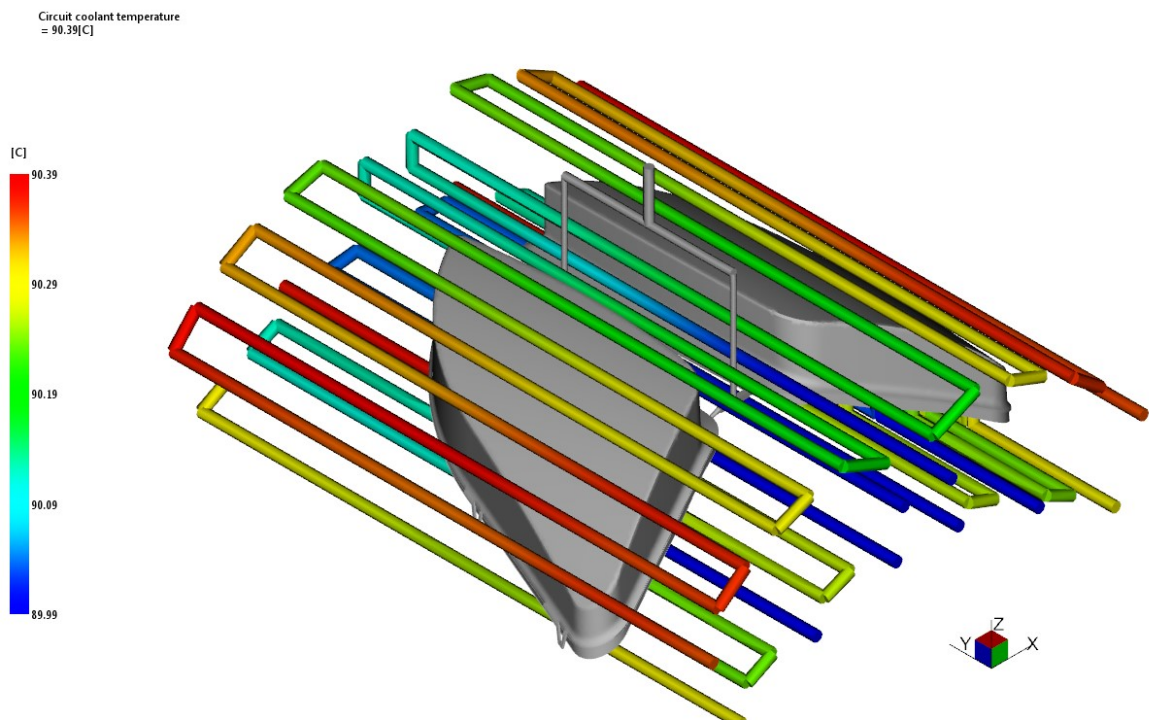
Obr. 48 průběh uzavírací síly (Clamp force)

12.3.7 Analýzy chlazení

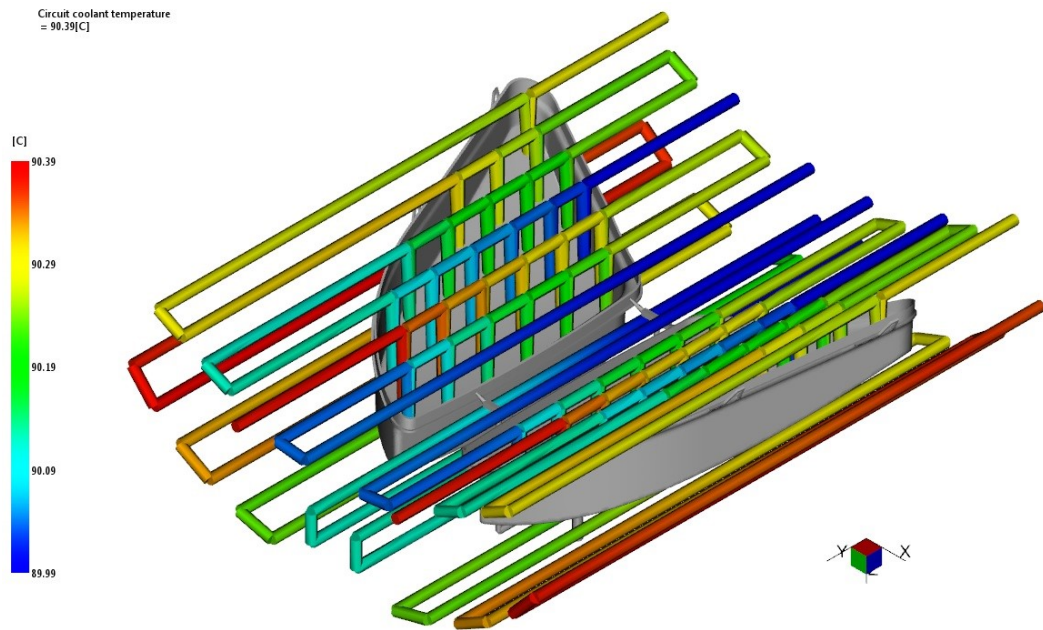
Rozdíl teplot v temperačních okruzích by neměl přesáhnout hodnotu 3 °C. Pro ověření této hodnoty se provádí analýza chlazení. Analýza vykresluje průběh změny teplot chladicí kapaliny uvnitř chladících okruhů. Tak nízký rozdíl teplot je důležitý proto, aby nedocházelo uvnitř výrobku k vnitřnímu pnutí a k deformaci výrobku.

12.3.8 Teplota chladícího média

Tato analýza ukazuje pomocí barevné škály teploty v chladícím okruhu. Teplotní rozdíl na vstupu a na výstupu je necelý 0,5 °C. To vyhovuje výše zmíněné podmínce, že by rozdíl teplot neměl přesáhnout 3 °C.



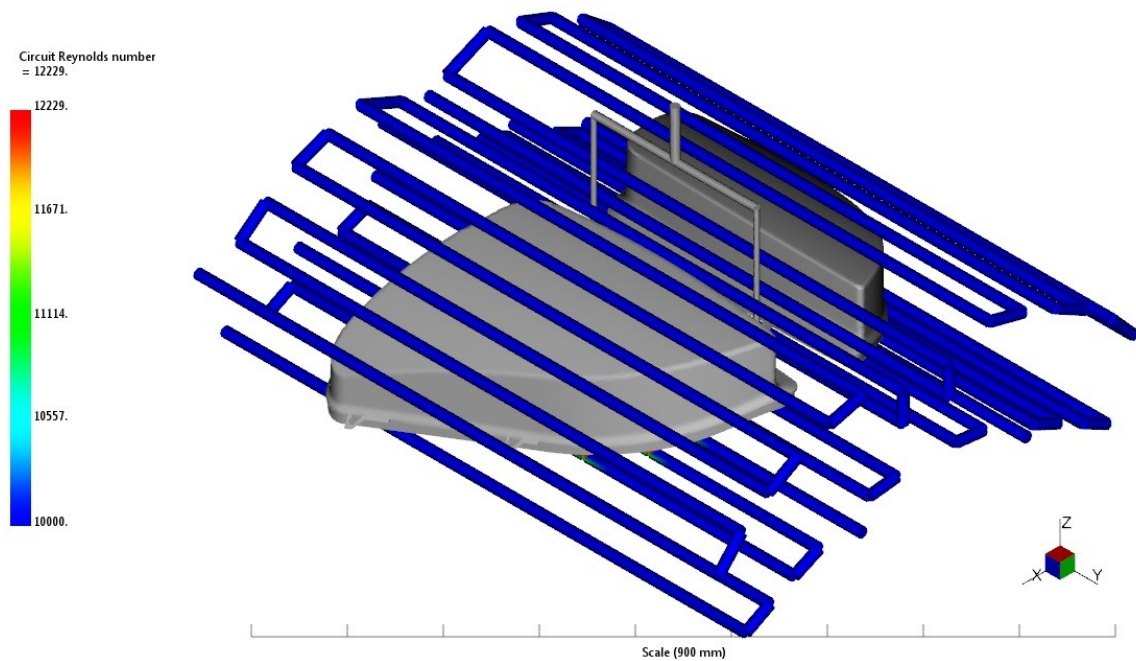
Obr. 49 Analýza teploty chladícího média - pohled shora (Circuit coolant temperature)



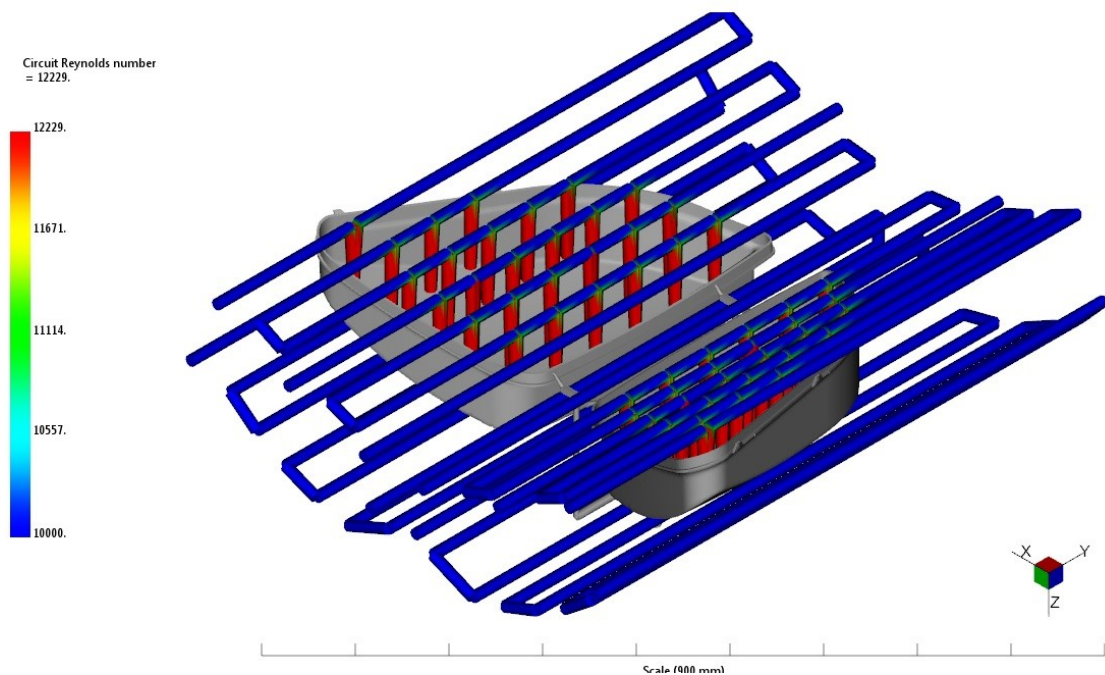
Obr. 50 Analýza teploty chladicího média - pohled zespod (Circuit coolant temperature)

12.3.9 Reynoldsovo číslo

Reynoldsovo číslo je bezrozměrná veličina, která dává do souvislosti setrvačné síly a viskozitu, což je odpor prostředí vůči vnitřnímu tření. Vypovídá o chaotickém uspořádání proudnic v médiu. Účinnost temperace je optimální, pokud v chladícím okruhu převládá turbulentní proudění. To znamená $Re > 4000$. V případě navrhovaného temperačního systému neklesne Reynoldsovo číslo pod 10000.



Obr. 51 Reynoldsovo číslo - pohled shora (Circuit Reynolds number)

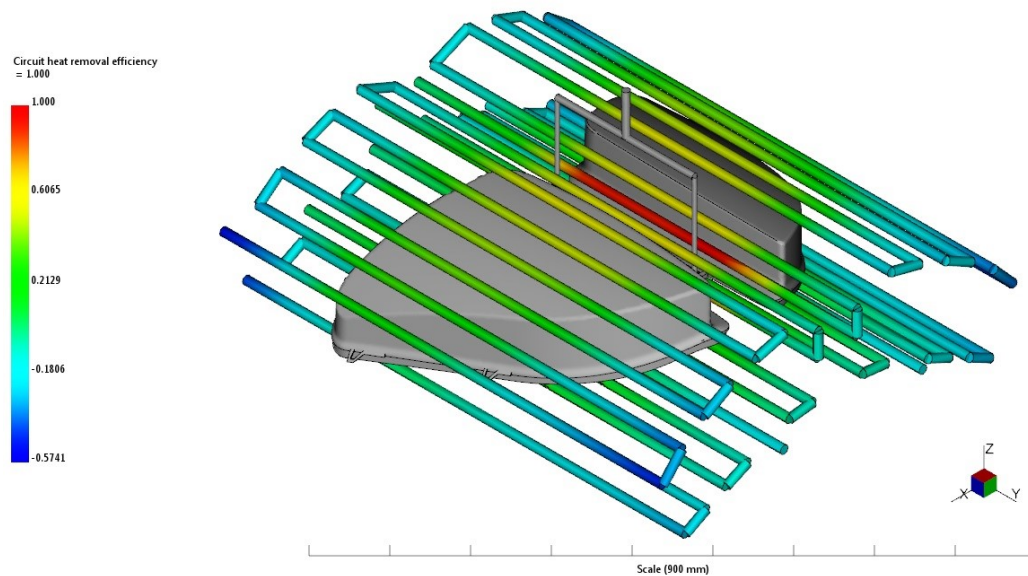


Obr. 52 Reynoldsovo číslo - pohled zespod (Circuit Reynolds number)

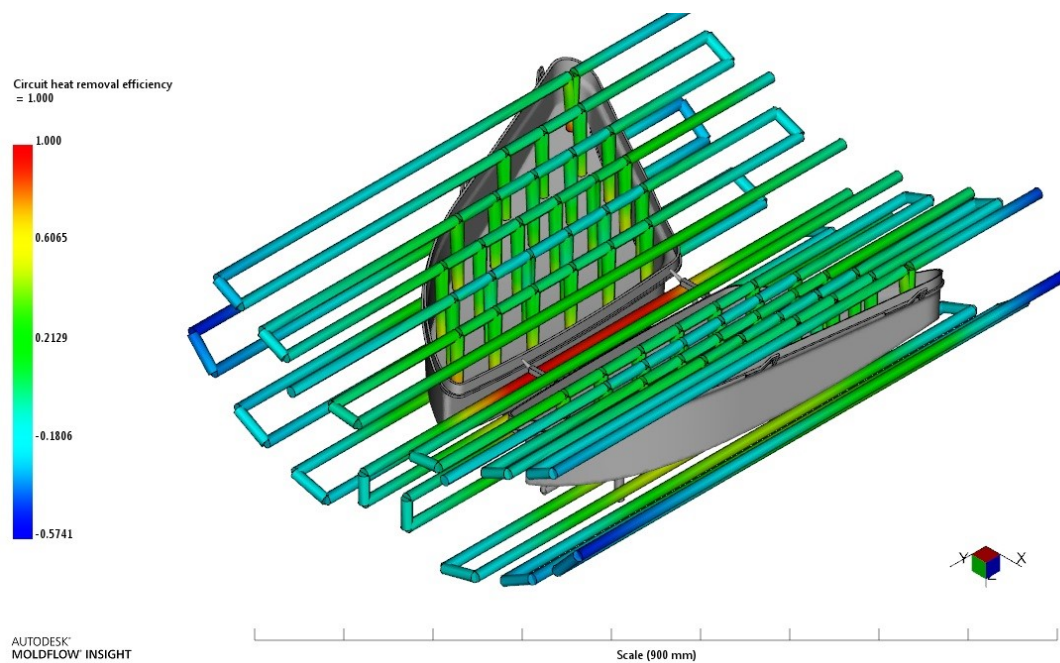
12.3.10 Efektivita odvodu tepla

Účinnost odvodu tepla pomocí temperačních kanálů nám znázorňuje následující analýza. Z analýzy vyplývá, že největší efektivitu mají kanály v blízkosti vtokového systému. Na okraji formy je jejich účinnost nižší. To je proto, že kanály jsou vyvedeny mimo formu

pomocí spojek od firmy HASCO. Výsledky analýzy jasně naznačují, že temperační systém je navržen správně.



Obr. 53 Analýza efektivity odvodu tepla - pohled shora (Circuit heat removal efficiency)



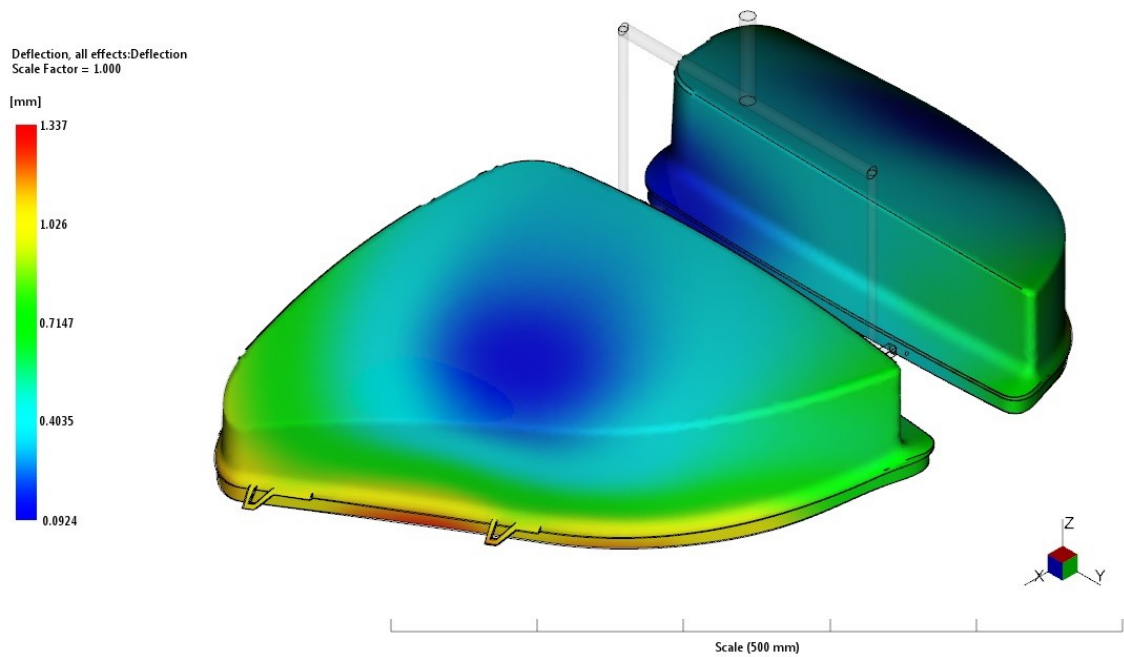
Obr. 54 Analýza efektivity odvodu tepla - pohled zespod - (Circuit heat removal efficiency)

12.4 Analýzy smrštění a deformace

V prostředí Autodesk Moldflow se pod záložkou Warp nachází výsledky simulace smrštění. Tyto výsledky slouží k určení objemových změn během tuhnutí vstříkovaného polymeru. Deformace značí změnu tvaru při zachování objemu.

12.4.1 Celková deformace

Velikost celkové deformace zobrazuje v barevné škále výsledek analýzy na obr. 52. Největší deformace vznikla na hranách výstřiku. Největší vliv na velikost celkové deformace má chlazení, vysoká teplota formy, špatný výběr materiálu atd.. V případě obou výrobků je velikost deformace stejná.



Obr. 55 Analýza celkové deformace (Deflection all effects)

13 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Vstřikovací forma byla navržena dle oficiálního zadání diplomové práce. Jedná se o přední část světlometu. Tloušťka tohoto výrobku je konstantní 2,5 mm. Byly provedeny CAE analýzy, v programu moldflow, 3D sestava v programu CATIA V5R19 a výkres sestavy formy. Pro plastový výrobek byl zvolen jako materiál PC (polykarbonát), který bude opatřen ochranným lakem. Zvolený polykarbonát je od firmy SABIC Innovative plastics s označením Lexan 125.

Samotná konstrukce formy probíhala v programu CATIA VR19 za použití normálií od firmy HASCO a Meusburger. Použití normalizovaných dílů vede ke snížení celkové ceny formy.

Forma je navržena jako dvojnásobná pro pravý a levý světlomet. Vtokový systém je kombinací horkého a studeného vtokového systému. Byl zvolen tunelový vtok, který se oddělí při otevření formy.

Tvárník a tvárnice jsou tvarové vložky umístěny v levé a pravé polovině vstřikovací formy. Jsou zvětšeny o velikost smrštění materiálu, což je přibližně 0,8 %. Forma obsahuje dvě boční tvarová jádra pro odformování závaku. Tvarová jádra jsou odformována pomocí lomených kolíků.

Vyhození výrobku zajišťuje dvacetčtyř nožových vyhazovačů různých délek a pro vyhození zbytku vtokového systému bylo použito dvou válcových vyhazovačů. Čela vyhazovačů jsou opracovány tak, aby kopírovaly tvar tvárníku. Čela vyhazovačů jsou upraveny tak, aby kopírovaly tvar tvárníku. Vyhazovače jsou ukotveny mezi vyhazovacími deskami, které jsou spojeny šrouby.

Temperace formy je zajištěna pomocí šesti samostatných okruhů. Okruhy jsou označeny, aby nedošlo k záměně jednotlivých temperačních větví. Vzhledem velikosti výrobku bylo nutno použít obtokové můstky různých délek. Jejich správná poloha je označena přímo na tvárníku. Všechny vrtané kanály mají průměr 14 mm.

Odvzdušnění formy probíhá přes vůli mezi dělicími rovinami, vyhazovači atd. Pokud by došlo ke špatnému odvzdušnění formy, bylo by nutné v poškozeném místě vytvořit odvzdušňovací kanál

Rám formy byl navrhnout pomocí normalizovaných desek HASCO. Celkový rozměr formy je 896 x 996 x 708,5 mm. Jednotlivé desky jsou mezi sebou spojeny šrouby nebo středěny pomocí středících trubek a vodících čepů.

Forma obsahuje, pro usnadnění manipulace transportní systém od firmy HASCO.

Po předběžném návrhu formy v programu CATIA V5R19 byly vytvořeny analýzy v programu Moldflow. Analýzy se týkají chladicího systému, smrštění, vtokového ústí a podobně.

Analýzy dopomohli k optimalizaci vstřikovacího procesu. První výsledky nebyly vyhovující, bylo nutné provést několik změn v konstrukci.

Analýzy jsou přibližněji popsány v kapitolách praktické části diplomové práce.

ZÁVĚR

Vypracování této diplomové práce vycházelo z oficiálního zadání. To stanovilo cíle pro teoretickou, i praktickou část.

Literární studie je věnována technologii vstřikování plastů, vstřikovacím strojům, druhům plastů vhodných pro vstřikování a správným zásadám pro konstrukci vstřikovacích forem.

Praktická část se zabývá řešením problematiky konstrukce vstřikovací formy pro sklo světlometu. Konstrukce probíhala podle správných zásad. Jako materiál vystřiku byl zvolen polykarbonát od firmy SANIC Innovative Plastics s obchodním označením Lexan 125.

Forma byla navržena jako dvojnásobná pro pravý a levý světlomet. Vtokový systém je kombinací horkého a studeného vtoku. Pro udržení konstantního teplotního pole formy je použito 6 samostatných temperačních okruhů. Bylo použito co největší množství temperačních dílů.

Pro ověření konstrukce bylo nutné nastavit a provést analýzy v programu Moldflow. Analýzy se týkají doby plnění, rychlosti smykové deformace, účinnosti temperačního okruhu, celkové deformace a podobně. Dle výsledku analýz byla upravována samotná konstrukce vstřikovací formy.

Z finálního návrhu sestavy byl vytvořen výkres, na kterém je vyobrazena celková sestava s jednotlivými řezy. Na závěr byl vytvořen kusovník.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LENFELD, Petr. Technologie zpracování plastů [elektronická skripta].
[cit. 10. 3. 2017]. Dostupný:
www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [2] BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů: I.díl - Vstřikování termoplastů. 2.vydání Brno: Uniplast, 1999. 134s.
- [3] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II. 1. vyd. Brno: VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X
- [4] ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů. SEKUKON, organizační a vzdělávací servis. 225s. ISBN: 80-86604-18-7
- [5] STANĚK, Michal. Modelování procesu tváření polymerů, včetně technologického řešení nástrojů. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2005. PhD. Thesis, sv. 333, ISSN 1213-4198 Dostupné také z:
www.vutium.vutbr.cz/tituly/pdf/ukazka/80-214-3025-7.pdf
- [6] NEUHÄUSL, Emil. Polymery amorfni a semikrystalicke z hlediska vstrikovani. In: MM průmyslové spektrum [online] [cit. 14. 1. 2015]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani.html>
- [7] STANĚK, M. přednášky T5KF
- [8] MAŇAS, M. přednášky T5SZ
- [9] BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů: II.díl - Vstřikování termoplastů. 1.vydání – Brno: Uniplast, 1999. 214s.
- [10] ARBURG GmbH + Co KG. Allrounder 470 c golden edition. Lossburg © 2014
[online] [cit. 15. 5. 2017] Dostupné z:
http://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_470C_GOLDEN_EDITION_TD_523679_en_GB.pdf
- [11] BASF CORPORATION. Product Information Ultramid® BU50I BK-106 Polyamide 6. květen 2015 [online] [cit. 15. 5. 2017] Dostupné z:
<http://iwww.plasticsportal.com/products/dspdf.php?type=astm¶m=Ultramid+BU50I+BK-106>

- [12] MACKA, Jiří. Návrh vstříkovací formy pro tělo airsoftové zbraně. Zlín, 2015. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická.
- [13] ROSATO, D. V., ROSATO, D. V., ROSATO, M. G. Injection Molding Hand book (3rd Edition). NYC, NY, USA: Springer – Verlag, 2000. 1485s. ISBN 9780-7923-8619-3.
- [14] Vstříkování plastů [online]. [cit. 2017-10-05]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm>
- [15] Obři mezi molekulami [online]. [cit. 2017-10-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.webchemie.cz/polymery.html>>
- [16] Polymerní konstrukční materiály [online]. [cit. 2017-10-05]. Dostupný z WWW: <<http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2009/10/POLYMERY-PoRECENZII.pdf>>
- [17] Konstrukční provedení vstříkovacích lisů [online]. [cit. 2017-10-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/konstrucni-provedenivstrikovacich-lisu.html>>
- [18] Technologie vstříkování plastů [online]. [cit. 2017-10-05]. Dostupný z WWW: <<https://publi.cz/books/184/03.html>>
- [19] Stroje na zpracování termoplastů [online]. [cit. 2017-10-05]. Dostupný z WWW: <<https://publi.cz/books/181/Cover.html>>
- [20] Vstříkovací lisy na plasty v plně elektrickém provedení [online]. [cit. 2017-10-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vstrikovaci-lisy-na-plasty-v-plne-elektrickem-provedeni.html>>
- [21] DP Sklář 2015 [online]. [cit. 2017-10-05]. Dostupný z WWW: <http://portal.utb.cz/wps/PA_StagPortletsJSR168/KvalifPraceDownloadServlet?typ=1&adipidno=39457>
- [22] Design versus vyrobiteľnosť [online]. [cit. 2017-10-05]. Dostupný z WWW: <<http://visi.cz/?p=1817>>
- [23] Vstříkovací formy pro zpracování termoplastů [online]. [cit. 2017-10-05]. Dostupný z WWW: <<https://publi.cz/books/179/Cover.html>>
- [24] Vstříkovací formy [online]. [cit. 2017-10-05]. Dostupný z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf>
- [25] Vstříkovací stroje [online]. [cit. 2017-10-05]. Dostupný z WWW: <<https://www.milacron.com/wp-content/uploads/2015/03/Magna.pdf>>

[26] BOBEK, Jiří. Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů. [online]

[cit. 2017-10-05] ISBN: 978-80-88058-65-6 Dostupné z WWW:

<<https://publi.cz/books/179/Impresum.html>>

[27] Tváření forem a výroba plastů II. [online]. [cit. 2017-10-5]. Dostupný z WWW:

< <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-forem-ii/>>

[28] Changzhou Worldmark Machinery – katalog produktů. [online] [cit. 2017-10-05].

Dostupné z WWW: <http://czworldmark.en.made-in-china.com/product-catalog/Injection-Molding-Machine-1.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

3D	Trojrozměrný prostor
ABS	Akrylonitril-butadién-styrén
a_n	Rázová houževnatost [kJ]
D	Průměr šneku [mm]
F_p	Přisouvací síla [kN]
F_u	Uzavírací síla [kN]
L	Délka šneku [mm]
PA	Polyamid
PBT	Polybutylentereftalát
PC	Polycarbonate
PC/ABS	Polykarbonát/akrylonitril-butadién-styrén
PE	Polyetylen
PMMA	Polymethylmethakrylát
POM	Polyoxymetylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
$p_{vstř}$	Maximální vstřikovací tlak [MPa]
Q_p	Plastikační kapacita [kg.hod ⁻¹]
Q_v	Vstřikovací kapacita [cm ³]
R_a	Hodnota drsnosti [μm]
SAN	Styrene-akrylonitrilová pryskyřice
SB	Styren-butadien
T_g	Teplota zesklenní [°C]
T_m	Teplota tání krystalického podílu [°C]
t_{s1}	Doba na zavření formy [s]

t_{s3}

Doba na otevření formy [s]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Výrobky z amorfních termoplastů: 1 - styrenové polymery (PS, SB, SAN); 2 - terpolymer ABS; 3 - polymerní blend PC/ABS; 4 - polymetylmakrylát PMMA; 5 - polykarbonáty PC [6].....	14
Obr. 2 Semikrystalické termoplasty: 1 – polyformaldehyd POM; 2 – polyamidy PA 6, PA 6,6; 3 – polypropylen a kopolymery PP; 4 – polyetyleny PE [6] [12].....	15
Obr. 3. Zásady správného zaformování plastového výrobku [26].....	18
Obr. 4. Vliv tloušťky stěny na technologičnost výroby plastového dílu vstřikováním, 1 – oblast se zvýšeným rizikem uzavírání vzduchu, 2 – příliš velká tloušťka, .	19
Obr. 5. Poměr tloušťky žebra k hlavní tloušťce stěny [26]	19
Obr. 6. Příklady správné konstrukce žeber [26]	20
Obr. 7. Zásady eliminace ostrých přechodů a rohů [26].....	21
Obrázek 8 Přechody různých tlouštěk stěn [26]	21
Obr. 9. Vstřikovací cyklus [5]	23
Obr. 10. Tok polymerní taveniny [5].....	23
Obr. 11. Možné dávkovací dráhy u vstřikovacích strojů [26]	25
Obr. 12. Schéma vstřikovacího stroje 1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska vstřikolisu, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky vstřikolisu, 5 – pevná upínací deska vstřikolisu, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky vstřikolisu, 7 – tavící komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro plastový polotovar, 10 – pohonná jednotka šneku [26]	26
Obr. 13. Vytlačovací stroj (extrudér) v řezu (schematicky): A – plnicí (vstupní) část (zóna), B – plastikační (kompresní, přechodová) zóna, C – vytlačovací (kompresní, výstupní) zóna. 1 – násypka, 2 – válec, 3 – šnek, 4 – elektrické odporové topení 5 – termočlánky k měření teploty v zónách A, B, C, 6 – lamač, 7 – vytlačovací hlava. [26]	27
Obr. 14. Uzavírací jednotka [10]	28
Obr. 15. Uspořádání vtokových systémů [27]	31
Obr. 16. Průřez vtokových kanálů – a) funkčně výhodné, b) funkčně nevýhodné, 1,6- výrobně nevýhodné, 2,3,4,5 výrobně výhodné [7].....	32
Obr. 17. Hlavní části vtokového systému [4]	32
Obr. 18. Vliv rozmístění temperačních kanálů na průběh teploty ve formě a) u stejné tloušťky výstřiku, b) u rozdílné tloušťky výstřiku [2].....	33

Obr.19 Krycí sklo s uchycením pomocí zácvaku	38
Obr. 20 Zvolený vstřikovací stroj [28]	40
Obr. 21 Prostředí katalogu HASCO	41
Obr. 22 Prostředí katalogu firmy Meuburger	42
Obr. 23 Sestava vstřikovací formy	43
Obr. 24 Pravá polovina formy	44
Obr. 25 Levá polovina formy	44
Obr. 26 Rám formy	45
Obr. 27 Tvárník.....	46
Obr. 28 Tvárnice	47
Obrázek 29 Boční odformování zácvaků.....	47
Obr. 30 Temperační kanály uvnitř tvárníku a označení přepážek	49
Obr. 31 Temperační okruhy uvnitř tvárnice	49
Obr. 32 Označení jednotlivých větví temperačního okruhu	49
Obr. 33 Tunelový vtok.....	50
Obr. 34 Konkrétní případ vtokového systému.....	50
Obr. 35 Horký vtok.....	51
Obr. 36 Vyhazovací systém	52
Obr. 37 Transportní systém	53
Obr. 38 Zámek	53
Obr. 39 Vysíťovaný model	54
Obr.40 Analýza odporu toku taveniny (Flow resistance indicator).....	55
Obr. 41 Analýza místa vtoku (Gating suitability).....	56
Obr. 42 Analýza doby plnění (Flow time).....	57
Obr. 43 Analýza rychlosti smykové deformace (Shear rate bulk time).....	57
Obr. 44 Analýza času potřebného k vyhození (Time to reach ejection temperature)	58
Obr. 45 Podrobná Analýza času potřebného k vyhození.....	58
Obr. 46 Studené spoje (Weld lines).....	59
Obr. 47 Analýza vzduchových kapes (Air traps).....	60
Obr. 48 průběh uzavírací síly (Clamp force)	60
Obr. 49 Analýza teploty chladicího média - pohled shora (Circuit coolant temperature)	61

Obr. 50 Analýza teploty chladicího média - pohled zespod (Circuit coolant temperature).....	62
Obr. 51 Reynoldsovo číslo - pohled shora (Circuit Reynolds number).....	63
Obr. 52 Reynoldsovo číslo - pohled zespod (Circuit Reynolds number).....	63
Obr. 53 Analýza efektivity odvodu tepla - pohled shora (Circuit heat removal efficiency).....	64
Obr. 54 Analýza efektivity odvodu tepla - pohled zespod - (Circuit heat removal efficiency).....	64
Obr. 55 Analýza celkové deformace (Deflection all effects)	65

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Jakosti povrchů forem	30
Tab. 2 Parametry vstřikovacího stroje [28]	40
Tabulka 3 Orientační hodnoty volby průměru kanálů v závislosti na výstřiku a rámu formy [2].....	48

SEZNAM PŘÍLOH

P I: VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

- Sestava
- Kusovník

P II: CD DISK OBSAHUJÍCÍ:

- Textovou část diplomové práce
- Model vstříkovací formy a výrobku ve 3D s příslušnými výkresy
- Analýzu vytvořenou v programu Moldflow