

Konstrukce části světlometu a vstřikovací formy pro jeho výrobu

Bc. David Plesník

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David Plesník**
Osobní číslo: **T13504**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce části světlometu a vstřikovací formy pro jeho výrobu**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární studii na dané téma.**
- 2. Navrhňte 3D model plastového dílu.**
- 3. Provedte konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl části světlometu.**
- 4. Ověřte návrh pomocí analýz.**

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:

30. ledna 2015


Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2015

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

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 27.4.2015


.....

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 nevydělečně 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

Diplomová práce se zabývá návrhem vstřikovací formy pro výrobu plastového dílu, v tomto případě dílu části světlometu.

V teoretické části je popsána technologie vstřikování, konstrukce vstřikovaného dílu a vstřikovací formy.

V praktické části byl vytvořen 3D model zadaného dílu pomocí 3D optického skeneru ATOS II Triplescan od německé firmy GOM a podle něj byla navržena vstřikovací forma, která je doložena 2D výkresovou dokumentací. Pro návrh byl využit program Catia V5R19 s využitím normálíí firmy HASCO a programu GOM Inspect V8. Celý konstrukční návrh byl podroben tokovým analýzám polymerního materiálu v programu Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2014.

Klíčová slova: vstřikování, konstrukce, vstřikovací forma, skenování, Catia, Moldflow

ABSTRACT

This thesis describes the design of injection mold for plastic part, in this case part of headlight lamp reflector.

The theoretical part describes the injection molding technology principles, basic rules for injection mold and molded part design.

In the practical part was given a 3D model of the part using optical 3D scanner ATOS II Triplescan manufactured by German company GOM and injection mold for its production by injection molding technology. 2D drawings with bill of material and with all necessary views have been done as well. The CAD software Catia V5R19 was used including HASCO and DME standard parts and GOM Inspect V8. The entire mold evaluated by flow analysis of the polymer material in Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2014.

Keywords: injection molding technology, part design, injection mold, part scanning, Catia, Moldflow

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a čas, který mi věnoval při tvorbě této diplomové práce.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 SOUČASNÝ STAV	13
1.1 MODIFIKACE TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	13
1.2 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU	14
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	15
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	15
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	16
2.2.1 Uzavírací jednotka	16
2.2.2 Vstřikovací jednotka	17
2.2.3 Řízení a regulace	18
3 MATERIÁLY ZPRACOVÁVANÉ VSTŘIKOVÁNÍM	19
3.1 ROZDĚLENÍ PLASTŮ.....	19
3.1.1 Termoplasty.....	19
3.1.2 Reaktoplasty	19
3.1.3 Elastomery.....	19
3.2 ROZDĚLENÍ TERMOPLASTŮ.....	20
3.3 PVT DIAGRAM	20
3.4 ÚPRAVA POLYMERŮ PRO ZPRACOVÁNÍ A POUŽITÍ.....	21
3.4.1 Stabilizátory	22
3.4.2 Plastifikátory (změkčovadla)	22
3.4.3 Koncentráty lubrikantů, nukleačních činidel a antisatik	22
3.4.4 Barviva a pigmenty	22
3.4.5 Plniva.....	22
4 KONSTRUKCE VÝROBKŮ	23
4.1 TVORBA NOVÉHO VÝROBKU.....	23
4.2 JAKOST VÝROBKŮ	23
4.2.1 Hlavní činitelé ovlivňující jakost	24
4.3 POŽADAVKY NA KONSTRUKCI A ZÁSADY	24
4.3.1 Konstrukční zásady	24
5 VSTŘIKOVACÍ FORMA	26
5.1 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	27
5.1.1 Zaformování výstřiku.....	27
5.1.2 Dimenzování tvarové dutiny	28
5.1.3 Smrštění výstřiku	28
5.2 STUDENÉ VTOKOVÉ SOUSTAVY	29
5.2.1 Obecné zásady při návrhu	30
5.2.2 Plný kuželový vtok.....	31
5.2.3 Bodový vtok	31
5.2.4 Tunelový vtok	32
5.2.5 Boční vtok	33
5.2.6 Filmový vtok	34

5.2.7	Plnění dutiny více vtoky.....	34
5.3	VYHŘÍVANÉ VTOKOVÉ SOUSTAVY.....	35
5.3.1	Horké trysky.....	35
5.3.2	Vytápěné rozvodné bloky	36
5.4	VYHAZOVAČÍ SYSTÉM.....	36
5.4.1	Válcové vyhazovací kolíky	37
5.4.2	Trubkové vyhazovače	38
5.4.3	Stírací deska	38
5.4.4	Šikmé vyhazovače.....	38
5.4.5	Zvláštní způsoby vyhazování	38
5.5	BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ - POSUVNÉ ČELISTI.....	39
5.5.1	Šikmé válcové kolíky	39
5.5.2	Lomené kolíky	39
5.5.3	Pneumatické tahače jader	40
5.5.4	Hydraulické tahače jader	40
5.6	TEMPEROVÁNÍ FORMY.....	40
5.6.1	Úkol temperace	40
5.6.2	Obecné zásady volby temperačních kanálů	40
5.7	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	41
5.8	MATERIÁLY FOREM.....	41
5.8.1	Tepelné zpracování součástí forem	42
6	SPECIÁLNÍ ZPŮSOBY VSTŘIKOVÁNÍ.....	43
6.1	VÍCEKOMPONENTNÍ VSTŘIKOVÁNÍ	43
6.1.1	Vstřikovací stroje	44
6.1.2	Rotace a přemísťování výstřiků	44
6.1.3	Nastavení vícekomponentního stroje	46
II	PRAKTICKÁ ČÁST	47
7	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	48
8	POUŽITÉ PROGRAMY	49
8.1	CATIA V5R19	49
8.2	GOM INSPECT V8.....	49
8.3	HASCO R1 - 2015.....	49
8.4	AUTODESK SIMULATION MOLDFLOW SYNERGY 2014	49
9	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	50
9.1	ZHOTOVENÍ 3D MODELU	51
9.2	ÚPRAVA A PŘEVOD DAT DO CATIE	54
9.3	MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU	56
10	VSTŘIKOVACÍ STROJ	57
11	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	59
11.1	ZAFORMOVÁNÍ VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU.....	60
11.1.1	Násobnost formy	63
11.1.2	Tvárník a tvárnice	63
11.1.3	Zajištění výstřiku při otáčení.....	65

11.2	BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ	66
11.3	VTKOVÝ SYSTÉM	68
11.3.1	Horká tryska	68
11.3.2	Rozvodný kanál	68
11.3.3	Vtokové ústí	69
11.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	70
11.4.1	Temperace levé strany vstřikovací formy	70
11.4.2	Temperace pravé strany vstřikovací formy	70
11.5	VYHAZOVAČÍ SYSTÉM	74
11.6	ODVZDUŠNĚNÍ	76
11.7	POMOCNÉ SYSTÉMY	76
11.7.1	Transportní systém	76
11.7.2	Středění vstřikovací formy	76
11.7.3	Rozpěrné sloupky	77
12	TOKOVÉ ANALÝZY	78
12.1	ANALÝZY UMÍSTĚNÍ VTOKOVÝCH ÚSTÍ	78
12.1.1	Umístění vtokového ústí na obvodové části	78
12.1.2	Umístění vtokového ústí na střední části světlometu	79
12.1.3	Umístění vtokového ústí na světlovodu	80
12.2	ANALÝZY PLNĚNÍ	81
12.2.1	Analýza času plnění	81
12.2.2	Uzavírací síla	85
12.2.3	Teplotní rozložení na konci plnění	85
12.3	PROCESNÍ PODMÍNKY	87
	DISKUZE VÝSLEDKŮ	89
	ZÁVĚR	91
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	92
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	94
	SEZNAM OBRÁZKŮ	95
	SEZNAM TABULEK	98
	SEZNAM PŘÍLOH	99

ÚVOD

S makromolekulárními látkami se společnost setkává odnepaměti. Rozvoj syntetickým polymerů nastal v moderním smyslu až někdy ve dvacátém století, ačkoliv se s polymerními materiály pracovalo už mnohem dříve. Nejprve se ale jednalo o přírodní polymery. V dnešní době se začínají vytvářet zejména směsi (blends), které jsou zákazníkovi přímo namíchané na danou výrobu a u materiálu jsou modifikované vlastnosti a parametry pro získání co nejlepších vlastností na výrobku. [1]

Počátky technologie vstřikování plastů je spojováno se jménem John Wesley Hyatt, který spolu s bratrem v roce 1870 v USA patentoval materiál, z něhož později vznikl celulooid, včetně zařízení pro jeho vstřikování. Vstřikování plastů se začalo rozvíjet po 1. světové válce. V roce 1921 pánové A. Eichengrün a H. Bucholtz vyvíjejí v Německu jako první na světě komerční pístový ruční vertikální vstřikovací stroj. [1]

V současnosti technologie vstřikování patří mezi nejrozšířenější technologie zpracování plastů a zejména využívána v automobilovém a elektrotechnickém průmyslu. Vzniklo spoustu modifikací této technologie a řadí se do skupiny tzv. speciálních metod vstřikování. [1, 3]

Velký rozmach byl také zaznamenán v oblasti konstrukce a výroby vstřikovacích forem, vzniklo několik společností, které se zabývají výrobou normalizovaných dílů. Kdy použití těchto dílů značně zkracuje čas potřebný na výrobu vstřikovací formy. Také se během posledních let zvýšilo využívání vyhřívaných vtokových soustav, v současnosti přibližně 30% nově vyrobených forem má tento systém. [4]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SOUČASNÝ STAV

Technologie vstřikování termoplastů, včetně strojů a zařízení pro její realizaci, urazila od svých počátků, přes masový a bouřlivý rozvoj zejména v druhé polovině minulého století až po dnešní globalizaci, velmi dlouhou a úspěšnou cestu. Velký rozmach technologie vstřikování zaznamenala zejména s využitím termoplastů v automobilovém, elektronickém, stavebním a v dalších oblastech průmyslu. Stále je tato technologie využívána ve větším měřítku a je velmi perspektivní a neustále dochází k jejímu vývoji a rozmachu. [1]

Nesmí se pominout ani velký rozvoj ve vstřikovacích materiálech, zejména směsí (blendů), kdy je materiál přímo směřován na určitou výrobovou skupinu, jedná se o různou modifikaci vlastností a parametrů výsledného výrobku. [1]

1.1 Modifikace technologie vstřikování

Kromě vstřikovacích materiálů také vznikají různé modifikace vstřikovacího procesu, včetně zařízení a vstřikovacích forem umožňující tyto modifikace aplikovat na výrobu v praxi. Mezi nejčastější modifikace lze zařadit:

- vícekomponentní vstřikování ve všech jeho variantách,
- vstřikování dutých a tlustostěných dílů s využitím tlaku inertního plynu nebo vody - GIT (Gas Injektion Technik), WIT (Wasser Injektion Technik),
- výroba výstřiků se stěnami malých tlouštěk,
- technologie vstřikování strukturně lehčených plastů,
- technologie MuCell (Microcellular Foam Molding),
- dekorativní vstřikování a jeho modifikace,
- kombinace modifikovaných procesů,
- kaskádové vstřikování,
- vstřikování s regulací plnění dutiny formy v reálném času - Dynamic Feed. [1, 3]

Prakticky všechny zmíněné modifikace vychází ze základní technologie vstřikování plastů. Stále platí, že je nutné připravit z příslušného materiálu, případně předem upraveného (tj. vysušeného, smíchaného s aditivou případně plnivy atd.), granulátu teplotně co nejhomogennější taveninu, která se působením vstřikovacího tlaku a vstřikovací rychlosti

doprovází co nejšetrněji do temperované tvarové dutiny formy. Nesmí dojít k degradaci materiálu vlivem špatného technologického zacházení. Následně v tvarové dutině působením dotlakové fáze procesu dochází k eliminování teplotní a objemové kontrakci, tak aby výstřik po ochlazení a vyhození z dutiny vstřikovací formy měl předepsané tvary a rozměry, včetně dalších jakostních parametrů. [1, 3]

1.2 Zhodnocení současného stavu

V současnosti je technologie vstřikování na vysoké úrovni a od svých začátků urazila dlouhou cestu. Čím dál více se začínají využívat modifikace vstřikování, především více-komponentní vstřikování a kaskádové vstřikování, které se využívá především v automobilovém průmyslu. Velký rozmach také nastal v oblasti horkých vtokových systémů, které se začínají čím dál více využívat. Přibližně 30% nově vzniklých forem je vybaveno tímto systémem. Vznikly speciální firmy, které tyto systémy dělají na míru zákazníkovi (nástrojárně) a dodávají je jako celek, který se pouze umístí a zapasuje do vstřikovací formy. [15]

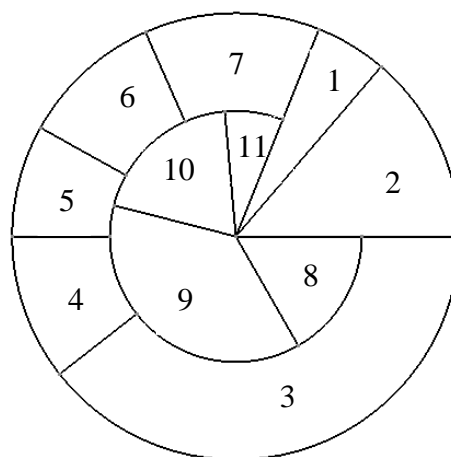
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Technologie vstřikování je nejrozšířenějším a nejpoužívanějším způsobem výroby požadovaných dílů z plastů. Vstřikování patří k cyklickým tvářecím procesům, kdy se zpracovávající materiál v rámci cyklu v žádném okamžiku nedostává z termodynamického hlediska do zcela rovnovážného stavu vzhledem k podmínkám, ve kterých se právě nachází. Vyznačuje se tedy vcelku složitým fyzikálním procesem, na kterém se podílí polymer, vstřikovací stroj a vstřikovací forma. V průběhu vstřikování je roztavený plast ve vstřikovací stroji tlakem dopravován do dutiny formy a tam je poté ochlazen ve tvaru vyráběné součásti a odformován. [1, 4]

Je nesporné, že kvalita použitého materiálu bude vždy důležitá a volba správného typu materiálu bude mít podstatný vliv na konečnou aplikaci a vlastnosti součásti. Je třeba si také uvědomit, že správná volba materiálu může být degradována nesprávným technologickým postupem, který je nutné dokonale znát a během výroby ho dodržovat. [4]

2.1 Vstřikovací cyklus

Na obrázku 1 lze vidět pořadí kroků při procesu vstřikování. Vstřikovací cyklus začíná samotným vstřiknutím materiálu a ve většině případů končí uzavřením vstřikovací formy a přisunutím plastikační jednotky ke vstřikovací formě. [7]



Obr. 1. Vstřikovací cyklus [5]

1 - vstřikování, 2 - dotlak a doplňování, 3 - chlazení, 4 - otevření formy, 5 - vyprazdňování formy, 6 - příprava formy, 7 - uzavření formy, 8 - vrácení plastikační jednotky, 9 - plastifikace, 10 - prodleva, 11 - přisunutí plastikační jednotky

2.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj se v podstatě skládá ze tří základních komponent a to vstřikovací (plastikační) jednotky, uzavírací jednotky, řízení a regulace. Proces probíhá na moderních strojích, které jsou většinou plně automatické, takže lze dosáhnout vysoké produktivity práce. Pořizovací cena strojního zařízení i vstřikovací formy je však značně vysoká, z tohoto důvodu je potřeba tuto technologii využívat na velkosériové výroby. [7, 19]



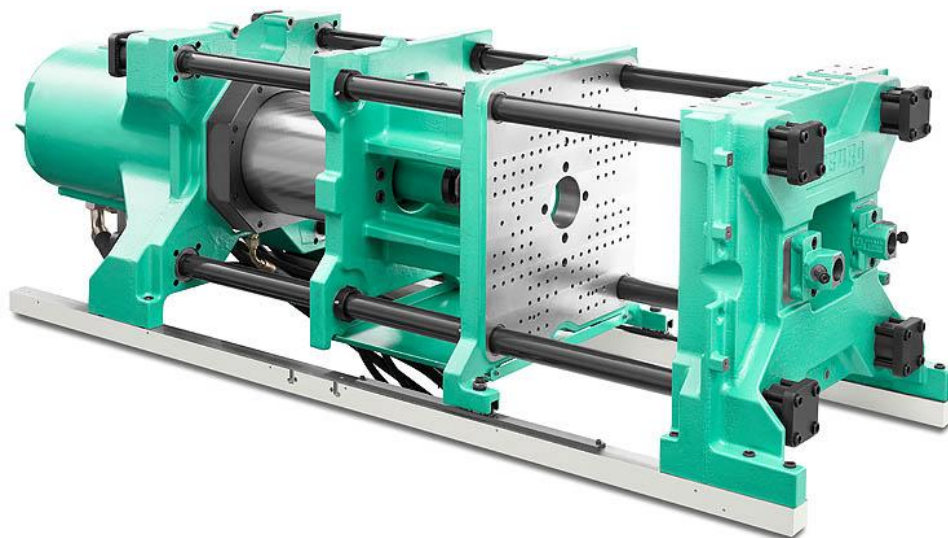
Obr. 2. Vstřikovací stroj [20]

2.2.1 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje ovládá pohyby vstřikovací formy a zajišťuje její dokonalé uzavření, otevření i případné vyprázdnění. Velikost uzavírací síly je nastavitelná a je závislá na velikosti vstřikovacího tlaku, ploše dutiny a vtoků v dělicí rovině. Bez ohledu na systém pohonu pohyblivé upínací desky, by se rozjezdy upínací desky měly volit pozvolné. Ve střední části poté navýšit rychlost a u dovírání formy by mělo dojít k poklesu rychlosti, aby uzavření vstřikovací formy bylo „měkké“. [1, 4]

Hlavní části uzavírací jednotky jsou:

- opěrná deska pevná,
- upínací deska pohyblivá,
- vodící sloupky,
- systém vyhazování výstřiků,
- uzavírací mechanismus.



Obr. 3. Uzavírací jednotka hydraulická [21]

2.2.2 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka zabezpečuje přípravu dávky taveniny z výchozího granulátu a její následné vstříknutí do dutiny vstřikovací formy. Při přípravě požadovaného množství materiálu nesmí dojít k jeho degradování nesprávným technologickým postupem. Množství taveniny dopravované do formy musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu. [2, 4]

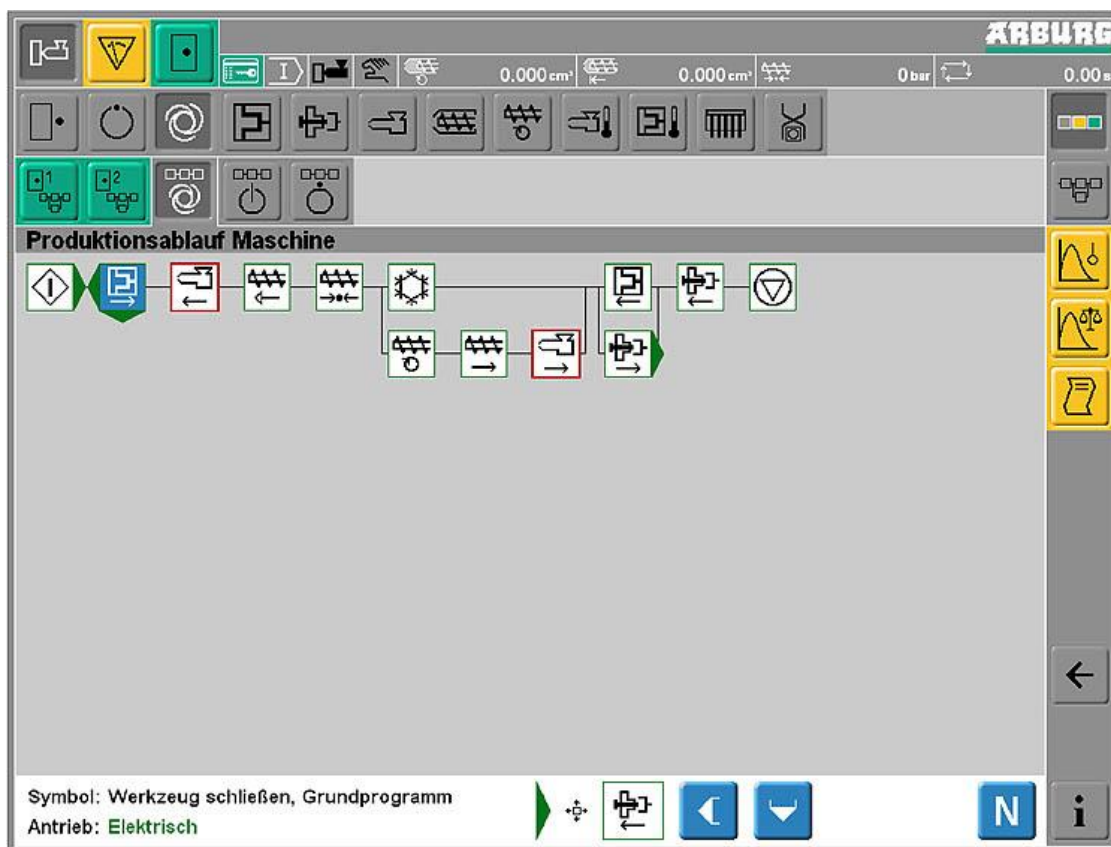
Vstřikovací jednotka pracuje tak, že do pracovního válce jednotky je dopravován zpracovávaný materiál z násypky pohybem šneku. Materiál je posouván šnekem s možnou změnou otáček přes vstupní, přechodné a výstupní pásma. Postupně se plastikuje, homogenizuje a hromadí před šnekem. Topení tavné komory má zpravidla tři pásma (vstupní, přechodové a výstupní). Tavná komora je zakončena tryskou, která spojuje vstřikovací jednotku s formou. [4]

2.2.3 Řízení a regulace

Koncepce současných vstřikovacích strojů se neobejdou bez výkonné procesorové techniky. Místo textové formy nastavování technologických parametrů se využívá grafické formy řízení pracovního cyklu na dotykovém displeji se selektivním přístupem k jednotlivým parametrům stroje. Pracovní cyklus sestavený do potřebných programových sekvencí je pak snadno kontrolovatelný a případně i upravitelný. Existuje zde dobrá zpětná vazba obsluhy vstřikovacího stroje. [4]

Nastavení a seřízení stroje je rozděleno na:

- sestavení grafu vstřikovacího procesu,
- definice a nastavení parametrů,
- kontrola procesu.



Obr. 4. Schéma procesu na řídicím panelu stroje [22]

3 MATERIÁLY ZPRACOVÁVANÉ VSTŘIKOVÁNÍM

Vstřikování plastů je poměrně složitý tepelně-mechanický proces tváření, na kterém se především podílí:

- vstřikovaný materiál, ze kterého se vyrábí požadovaná součást,
- výrobní cyklus především se vstřikovacím strojem a dalšími zařízeními, umožňující přípravu taveniny a její následnou dopravu za určitých podmínek do dutiny formy,
- vstřikovací forma jako nástroj pro vlastní tváření taveniny na součást. [4]

3.1 Rozdělení plastů

Na základě teplotního chování lze plasty rozlišovat na termoplasty, reaktoplasty a poslední skupinu tvoří elastomery.

3.1.1 Termoplasty

Jsou to polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání T_m (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku T_f (amorfní plasty). Výhodou termoplastů je, že je lze opětovně převést do plastického stavu. [19]

3.1.2 Reaktoplasty

Jedná se o polymerní materiály, které v první fázi zahřívání měknou stejně jako termoplasty a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci - prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Po chemické reakci nelze materiál znova zpracovávat. [19]

3.1.3 Elastomery

Jedná se o polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci - prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vulkanizaci. [19]

3.2 Rozdělení termoplastů

Z uvedených skupin plastů jsou nejrozšířenější termoplasty v oblasti technologie vstřikování. Tyto lineární či rozvětvené polymery, jejichž řetězec tvoří jen jeden druh, základní chemické skupiny jsou nazývány homopolymery. Dále kopolymery, které jsou složeny z více druhů základních chemických skupin.

Podle vnitřní struktury se termoplasty dělí na:

- amorfní, jejichž řetězce jsou uspořádány nepravidelně v prostoru,
- semikrystalické, kde je podstatná část řetězců v prostoru pravidelně a těsně uspořádána a vytváří krystalické útvary. Zbylá část tvoří uspořádání amorfní. [4]

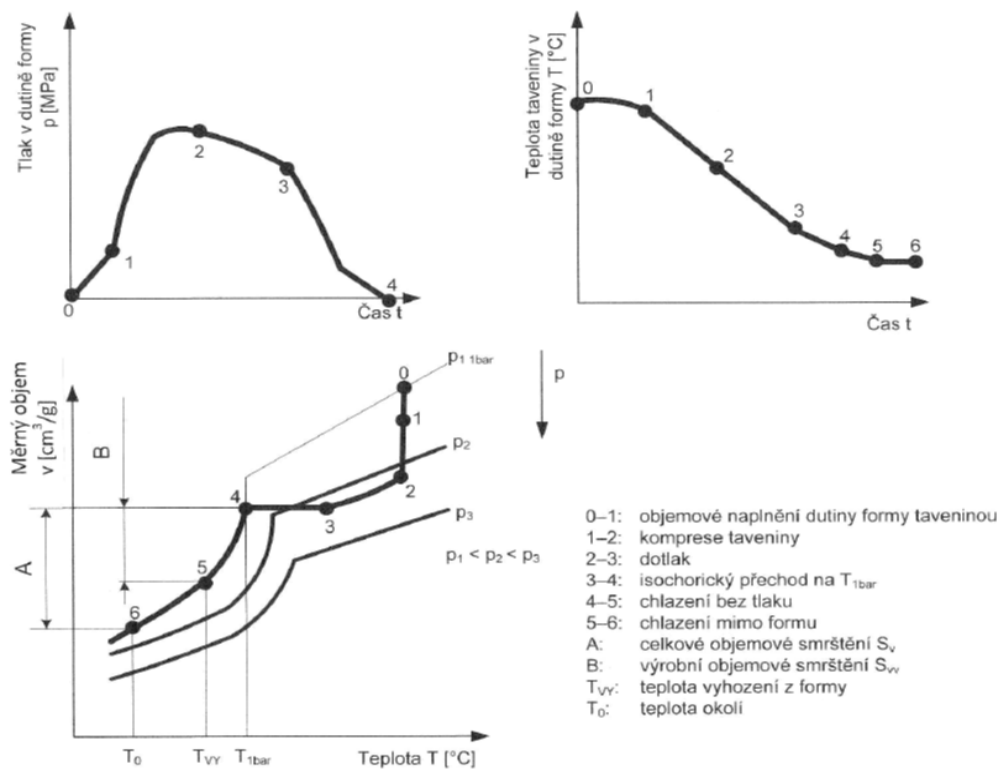
Výrobky z amorfního materiálu jsou využitelné v oblasti pod teplotou skelného přechodu (T_g). Polymer se nachází v pevném stavu. Zvyšováním teploty nad T_g postupně slábnou kohezní síly mezi makromolekulami a plast přechází ze stabilní oblasti do plastické oblasti až do viskózního stavu, kdy se zpracovává. Se zvyšováním teploty současně narůstá i objem polymeru a platí, že smrštění u amorfních materiálů je menší než u semikrystalických materiálů. [4]

U semikrystalických plastů jsou části makromolekul pevně vázány v lamelách a ve sférolitech krystalické fáze. Při zvyšování teploty nejprve dochází k uvolnění části makromolekul z amorfní oblasti, potom i ostatní. Vše je doprovázeno značným objemovým nárůstem. Využití materiálu tohoto typu je v oblasti nad teplotou T_g , protože mají výhodnou kombinaci pevnosti a houževnatosti nad touto teplotou. [4]

3.3 pvT diagram

Diagram slouží k popisu termodynamických pochodů na průběh smrštění při procesu vstřikování určitého vstřikovaného materiálu. V diagramu lze vidět, jak dochází ke změně tlaku a teploty během procesu plnění dutiny vstřikovací formy roztaveným materiálem. Diagram p - tlak, v - měrný objem, T - teplota charakterizuje:

- kompresibilitu - změnu objemu v závislosti na tlaku,
- tepelné chování - změnu objemu v závislosti na změně teploty. [1]

Obr. 5. $p-v-T$ diagram [1]

3.4 Úprava polymerů pro zpracování a použití

Základní polymer, vyrobený jednou z polyreakcí, při níž monomerní jednotka přechází chemickou cestou na makromolekulární látky - polymery, nelze většinou ihned vstříkovat. Pro získání požadovaných a zadaných vlastností je nutné polymer vhodnými přísadami - aditivy upravit. [1]

Pro zpracování polymerních materiálů se nejčastěji přidávají aditiva pro zvýšení stability taveniny po dobu prodlevy v plastikační jednotce, pro zlepšení tokových vlastností polymeru, zaručující její dobrou zatékavost a přísady pro docílení jemné a rovnoměrné krystalické struktury. [1]

3.4.1 Stabilizátory

- termooxidační - zvyšují odolnost vůči termooxidačnímu stárnutí, zvyšují hranici teploty a doby použití na teplotě,
- UV stabilizátory - zvyšují odolnost k atmosférickému stárnutí, zvýšení životnosti.[1]

3.4.2 Plastifikátory (změkčovadla)

Účelem plastifikace - změkčení je snížení tvrdosti a tuhosti, zvýšení ohebnosti, tažnosti a houževnatosti výsledného výrobku, nejčastěji u PVC. [1]

3.4.3 Koncentráty lubrikantů, nukleačních činidel a antistatik

- lubrikanty (maziva) - snižují viskozitu taveniny, zlepšují odformování výstřiků, zvyšují lesk hotových výrobků,
- nukleační činidla - modifikují rychlost krystalizace, tím dochází ke zkrácení výrobního cyklu a zvýšení transparentnosti,
- antistatika - elektricky nevodivý charakter většiny termoplastů způsobuje, že vzniká třením elektrostatický náboj. [1]

3.4.4 Barviva a pigmenty

Pigmenty a barviva dávají materiálu barevný odstín a kryvost, jsou nerozpustné v polymerech a podle původu jsou děleny na anorganické, organické a bronze (kovové prášky), mohou působit také jako nukleační činidla. Různá barviva aplikovaná na shodný materiál mohou způsobit různé smrštění, v důsledku jejich působení jako nukleační činidla. [1]

3.4.5 Plniva

Polymerní materiály s obsahem plniv jsou označovány jako kompozity. Kompozitní materiály jsou definovány jako materiálové struktury, které vznikly ze dvou či více materiálů zcela odlišných vlastností s výsledným synergickým účinkem. Základní uspořádání kompozitního materiálu podle definice je matrice - pojivo, tj. polymer s aditivou. Jako aditivou se používají plniva částicová, vyztužující a nanoplňiva. [1]

4 KONSTRUKCE VÝROBKŮ

Úspěšný návrh plastového dílu je jedním z největších problémů a je zde velké finanční riziko inženýra nebo firmy, které musí čelit. Předtím, než plastový díl může být skutečně vyhodnocen jako optimální, musí být navržena vstřikovací forma a vyrobena, která může snadno stát stovky tisíc až miliony korun. Kromě toho proces navrhování, výroba vstřikovací formy, vstřikování a vznik prvního plastového dílu může trvat i 20 týdnů. Po zhotovení prvních kusů musí být díly hodnoceny z hlediska velikosti, tvaru a mechanických vlastností. Pokud vše vyhovuje lze označit návrh za optimální, pokud ale některé parametry nesedí, tak změna obvykle zahrnuje změnu konstrukce dílu, vstřikovací formy nebo parametrů procesu. [3]

Konstrukční návrh součástí z plastu se řídí zcela jinými zásadami, než je toho u součástí kovových. Při její tvorbě musí konstruktér zvažovat, co všechno se při vstřikování v dílu z plastu bude dít, musí brát v potaz smrštění a možnost vzniku různých vad. [4]

4.1 Tvorba nového výrobku

Proces konstrukce nového dílu je uveden v následujícím textu obsahuje seznam úkolů v pořadí, v jakém by mohly být prováděny. Tento postup se může lišit projekt od projektu.

1. Sběr dat a specifikace výrobku
2. Projektový plán
3. Předběžný návrh
4. Volba materiálu výrobku
5. Vypracování detailního projektu
6. Výroba prototypového dílu a testování
7. Přezkoumání návrhu a případná změna v některém z kroků 4 až 6
8. Uzavřít optimální návrh a připravit projekt na výrobu [3]

4.2 Jakost výrobků

Součásti z plastů vyráběné technologií vstřikování nelze vyrobit v takových jakostech jako kovové. To proto, že na ně působí mnoho různých činitelů, které celý proces ovlivňují a nelze dosáhnout tak vysoké přesnosti. [4]

4.2.1 Hlavní činitelé ovlivňující jakost

- smrštění materiálu při zpracování, které se pro daný plast uvádí v určitém rozmezí a ve směru příčném a podélném,
- dodatečné smrštění bývá několikanásobně menší, než smrštění při ochlazování ve formě, zpravidla 24 h po vystříknutí,
- tečení (krip) vznikne při větším a dlouhodobějším silovém zatížení součásti,
- teplotní roztažnost je přibližně o řád větší než u kovových materiálů,
- navlhnutím způsobuje změnu rozměrů podle sorbce vody z okolního prostředí. [4]

4.3 Požadavky na konstrukci a zásady

K základním podkladům pro konstrukci formy slouží výkres vyráběné součásti. Její tvar má být řešen nejen z funkčního a ekonomického hlediska, ale musí se přihlídnout i k způsobu její výroby. [4]

4.3.1 Konstrukční zásady

Celková konstrukce součásti

Musí především splňovat vhodnou polohu dělicí roviny a tím je určen i způsob zaformování s ohledem na co nejmenší počet bočního odformování. [4]

Tloušťka stěn

Musí splnit svoji přísnou závislost s dráhou toku plastu. Zásady správné konstrukce stěn vyžadují jednotnou tloušťku bez náhlého přechodu. [4]

Zaoblení hran, rohů a koutů

Ostrým rohům je třeba se vyhnout, platí to zejména pro vnitřní rohy, kde by docházelo ke koncentraci napětí. Dochází totiž ke změně tloušťky stěny. Správnou konstrukcí se usnadní tok, zabrání koncentraci napětí a také sníží opotřebení vstřikovací formy. [3, 4]

Úkosy a podkosy

Jsou sklony stěn výstřiku kolmo k dělicí rovině, kterými se umožňuje nebo u podkosů zabraňuje vyjímání z dutiny formy. [4]

Žebra

Dělí se podle účinku, který plní na součásti, případně v dutině formy. Technická žebra zabezpečují pevnost a tuhost součásti, aby nedocházelo k deformaci. Technologická zase umožňují optimální plnění dutiny formy, nebo brání zborcení stěn, případně odstraňují nebo zmenšují předpokládaný vznik povrchových vad. Při návrhu je potřeba brát v potaz, že v místě žebra může vzniknout větší objem materiálu, což vyvolá propadlinu proti žeburu.[4]

Otvory a drážky

Na výstřiku se doporučují zvolit tak, aby při výrobě nečinily příliš velké potíže. Záleží hlavně na jejich poloze vzhledem k zaformování. [4]

Rýhování

Používané u různých držáků a ovládacích prvků, má být lehce zaformovatelné a také odformovatelné po vystříknutí. Křížové rýhování činí při vyhazování velké potíže. [4]

Závity na plastových dílech

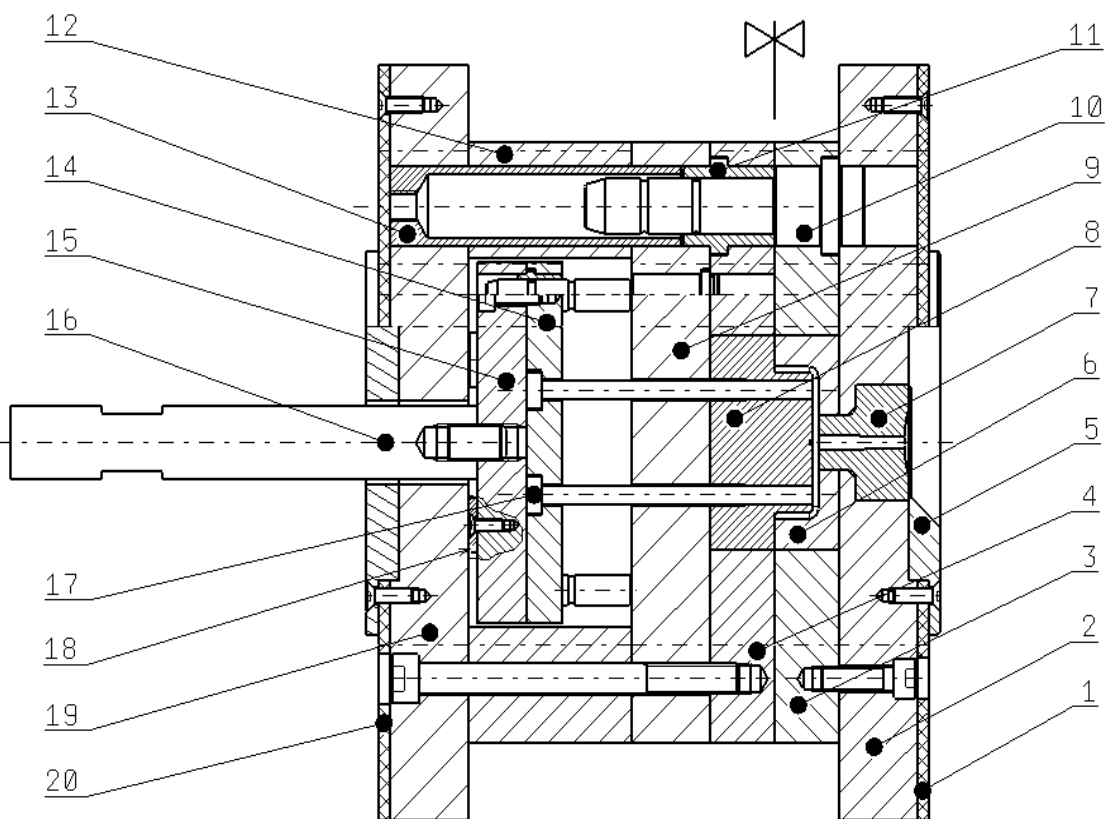
Vyznačují se menší pevností a u jemnějších tvarů i obtížností zaformování. Proto je doporučení vyrábět závity s většími průměry a s větším stoupáním a to tvaru oblého, pilového, trapézového a podobných tvarů. [4]

Nápisy a značky

Obvykle se zhotoví na výstřiku při jeho výrobě ve formě nejrůznějšími způsoby, nejčastěji laserem. Vystouplé nápisy a značky jsou výrobně nejjednoduššími, ale účelově nejméně vhodné. Zapuštěné místo je výrobně obtížné. Nejvhodnější způsob je vystouplé písmo v zahloubení tak, aby nepřesahovalo nad povrch. [4]

5 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma dává tavenině po ochlazení tvar a rozměry výrobku, při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Formy musí odolávat vysokým tlakům, které v procesu působí, musí poskytovat výrobky o přesných rozměrech, umožňovat snadné vyjmutí výrobku a musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Jejich konstrukce a výroba je náročná na odborné znalosti a zkušenosti dotyčných pracovníků, ale také na finanční náklady. Důležitým faktorem životnosti formy je použití kvalitních nástrojových materiálů a provedené tepelné zpracování na tvarových částech nástroje. [4, 19]



Obr. 6. Řez vstřikovací formou [14]

1, 20 - izolační desky, 2, 19 - upínací desky, 3, 4 - kotevní desky, 5 - středící kroužek,
6 - tvárnice, 7 - vtoková vložka, 8 - tvárník, 9 - opěrná deska, 10 - vodící čep, 11 - vodící
pouzdro, 12 - rozpěrka, 13 - středící trubka, 14 - kotevní deska VS, 15 - opěrná deska VS,
16 - vyhazovací trn, 17 - vyhazovač, 18 - dorazová podložka

5.1 Konstrukce vstřikovací formy

Stejně jako u výstřiků z termoplastů konstruované pro splnění určitých funkčních a jakostních ukazatelů jsou z pohledu těchto ukazatelů individuálními konstrukcemi také vstřikovací formy, které také vyžadují individuální přístup, jelikož se jedná o originály. [1]

Pro vyhotovení výkresové dokumentace formy nutné pro její výrobu, je třeba znát spoustu technických údajů, aby její realizace byla úspěšná a optimální z hlediska finančního. Výkres vyráběné součásti spolu s konstrukčním návrhem a dalšími doplňujícími údaji, jsou podkladem pro konstruktéra forem, který navrhne optimální vstřikovací formu na základě zadaného dílu. [4]

V konstruktérské praxi je určení rozměrů tvářecích částí vstřikovacích forem, včetně tolerance rozměrů, jedním z rozhodujících úkonů, protože rozměry formy tvoří základní předpoklad pro dosažení optimálních rozměrů výstřiků. Je nutné brát v potaz smrštění materiálu, ale také různé výztužné prvky na výstřiku, které ovlivní velikost smrštění. [1]

5.1.1 Zaformování výstřiku

Správné zaformování výstřiku a zvolení vhodné dělicí roviny náleží k rozhodujícím zásadám konstrukce vstřikovací formy. Správné umístění umožňuje dodržet tvar a rozměry výstřiku i ekonomiku výroby. Vychází z konstrukčního a tvarového řešení vyráběného dílu. [4]

Nepřesnost v dělicí rovině může způsobit nedovězení formy během fáze plnění. To má za následek vznik ořepů, přetoků nebo zvětšení rozměrů výstřiku ve směru uzavírání formy. Proto je třeba, aby dělicí rovina:

- umožňovala snadné vyjímání výstřiku z dutiny formy,
- byla pravidelná, jednoduchého geometrického tvaru, snadno vyrobitelná a dobře slicovatelná,
- na výrobku procházela přes hrany,
- byla umístěna tak, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů, směr technologických úkosů a souosost výstřiku, pokud je v obou polovinách formy,
- stopa po dělicí rovině nesmí být příčinou funkčních nebo vzhledových závad a stopa po ní by měla být jen nepatrná,

- u více dělicích ploch volit koncepci s ohledem na jejich nejmenší počet. [4]

5.1.2 Dimenzování tvarové dutiny

Dutiny vstřikovací formy tvoří základ budoucího výstřiku a musí být správně navrženy. Rozměry tvarových dutin musí být větší než požadované rozměry výstřiku. Musí brát v potaz celkové smrštění konkrétního vstřikovaného materiálu. Také by správná konstrukce tvarových dutin měla eliminovat deformace výstřiku vzniklé různou velikostí smrštění na střetu různých tlouštěk výstřiku a u žeber. Chybně nadimenzované rozměry se projeví v nedodržení rozměrů výstřiku. [2, 4]

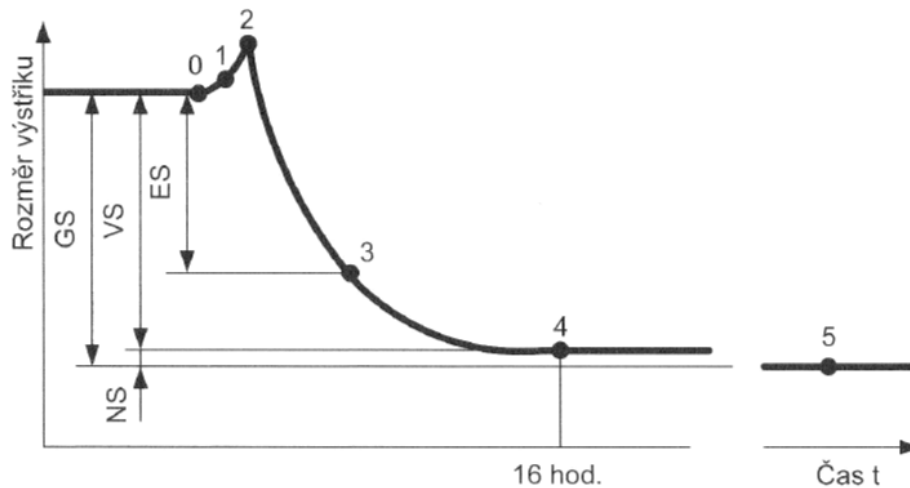
Povrch i rozměry výstřiku jsou tedy dány přesností tvarové dutiny a kvalitou její plochy, která je obvykle složena z tvárnice, tvárníku, jader a tvarových vložek. Přesnost dutin se pohybuje v rozmezí IT 8 až IT 10 a ovlivňují ji tři činitelé:

- smrštění plastu (provozní),
- výrobní tolerance,
- opotřebení dutiny formy. [4]

5.1.3 Smrštění výstřiku

Smrštění se vyskytuje u všech plastů a je potřeba s ním počítat. Při vstřikování jakéhokoliv termoplastu amorfního nebo částečně krystalického platí, že rozměry výstřiku po jeho vyhození z formy jsou rozdílné od rozměrů měřených po nějaké době od jeho výroby, resp. po jeho skladování. Udává se v %. Jeho velikost závisí na teplotní roztažnosti plastu a dalších činitelích. Platí, že semikrystalické materiály mají větší smrštění než materiály amorfní, díky své krystalizace. [1, 4]

Smrštění se rozděluje do dvou časových fází. Velikost výrobního smrštění se stanoví 24 hodin po výrobě součásti a představuje až 90 % z jeho hodnoty. Zbytek je označován jako zbytkové smrštění, které probíhá poměrně dlouho v závislosti na typu polymeru. [4]



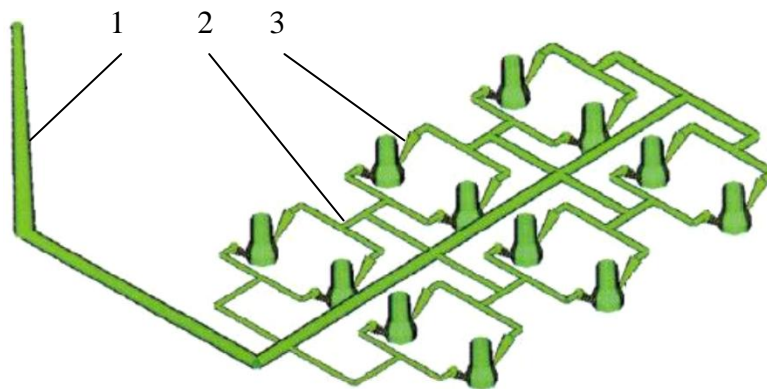
Obr. 7. Průběh smrštění [1]

0 - rozměr ve studené formě, 1 - rozměr ve vytemperované formě, 2 - rozměr v uzavřené formě po dotlaku, 3 - rozměr výstřiku při vyhození z formy, 4 - doba měření výrobního smrštění (DIN 16 901 - 16hod.), 5 - rozměr po delším čase, ES - smrštění při vyhození výstřiku z formy, VS - výrobní smrštění, NS - zbytkové smrštění, GS - celkové smrštění

5.2 Studené vtokové soustavy

Jedná se o systém rozvodných kanálů a ústí vtoku spojující otvor v trysce vstřikovacího stroje s tvarovou dutinou formy. Musí zajišťovat správné rovnoměrné naplnění dutiny formy, snadné odtržení, nebo oddělení od výstřiku, vyhození vtokového zbytku musí být snadné a objem vtokové soustavy omezit na minimum, jelikož se jedná většinou o odpad. V některých případech lze vtokový systém rozemlet a v určitém poměru vrátit zpátky do systému, pokud to daný díl dovoluje. Studené vtokové systémy jsou velmi rozšířené, přibližně 70% vstřikovacích forem v dnešní době jsou plněny pomocí studeného vtokového systému. [15, 18]

Konstrukce vtokové soustavy společně s technologickými parametry určuje tokové poměry při plnění formy a je tudíž důležitým článkem z hlediska kvality výstřiku. [18]



Obr. 8. Studená vtoková soustava [18]

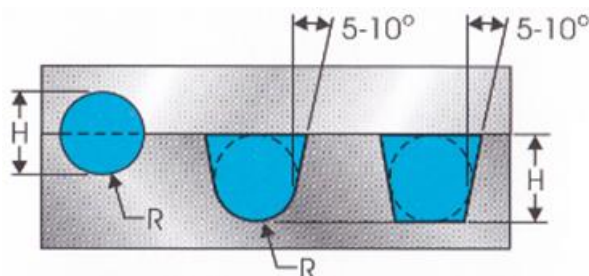
1 - kuželový vtok, 2 - rozvodný kanál, 3 - vtokové ústí

5.2.1 Obecné zásady při návrhu

Funkční řešení vtokového systému musí zabezpečit aby:

- dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy byla co nejkratší, bez zbytečných tlakových i časových ztrát,
- dráha toku byla ke všem tvářecím dutinám stejně dlouhá a tím se zabezpečí rovnovážné plnění a předejde se přeplňování některé dutiny,
- průřez vtokových kanálů byl dostatečně velký, aby byla jistota, že po vyplnění tvářecí dutiny bude jádro taveniny ještě v plastickém stavu a tím se umožní působení dotlaku. [4]

Vtokový kanál má mít při minimálním povrchu co největší průřez, tím se docílí minimálních ztrát způsobených ochlazováním. Této podmínce odpovídá kruhový průřez, ale z výrobních důvodů se volí i jemu podobný tvar lichoběžníkový. [4]



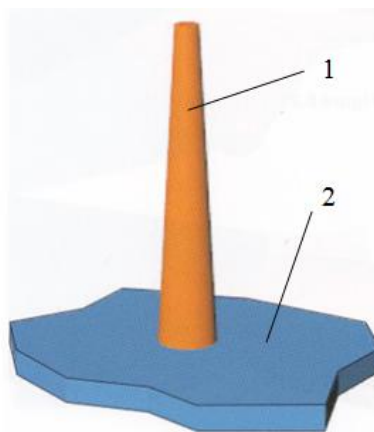
Obr. 9. Průřezy vtokových kanálů [15]

$$H = 2R$$

5.2.2 Plný kuželový vtok

Přivádí taveninu do tvarové dutiny formy bez zúženého vtokového ústí a bez použití vtokového kanálu. Využívá se převážně u jednonásobných forem se symetricky uloženou dutinou. Je vhodný především pro tlustostěnné výstřiky a pro potřebu vstříknutí velkého množství materiálu. Z hlediska působení dotlaku je neúčinnější, protože vtok tuhne ve formě poslední. [4, 15]

Odstranění plného kuželového vtoku je pracné a zanechává vždy stopu na výstřiku. Pro určení průměru platí, že ústí vtoku má být o 1 až 1,5 mm větší, než je tloušťka stěny výstřiku. [4]



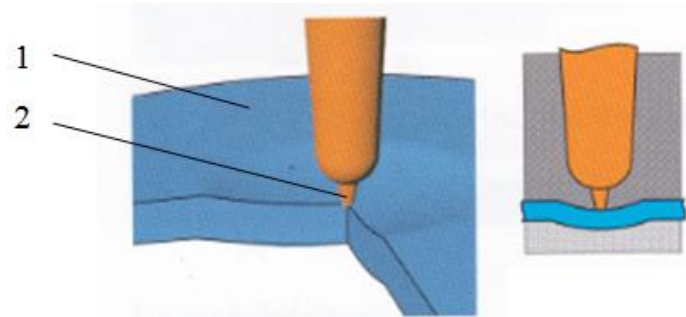
Obr. 10. Plný kuželový vtok [15]

1 - plný kuželový vtok, 2 - výstřik

5.2.3 Bodový vtok

Patří mezi nejznámější typ zúženého vtokového ústí zpravidla kruhového průřezu, který leží mimo nebo i v dělicí rovině. Bodový vtok může vycházet přímo z vtokového kanálu, z předkomůrky nebo z rozváděcích kanálů. Nejčastěji se používá pro tenkostěnné výrobky a průměr ústí vtoku je nejčastěji 1 mm. [4, 18]

Směrem k výstřiku je vtok kuželovitě rozšířen, aby se ztuhlý plast v ústí odtrhl v přechodu ústí a komůrky a byl vytažen společně s výrobkem. Při opačném otevření, by zůstal v přechodu a bránil by dalšímu průtoku během následujícího cyklu. [18]

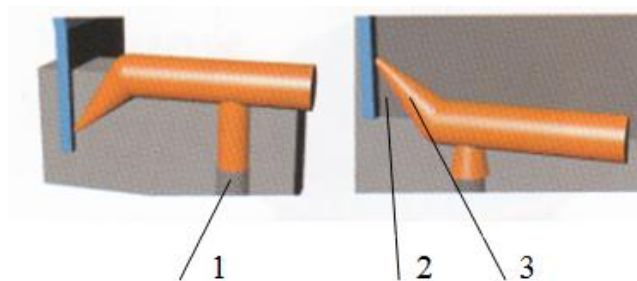


Obr. 11. Bodový vtok [15]

1 - výstřík, 2 - bodový vtok

5.2.4 Tunelový vtok

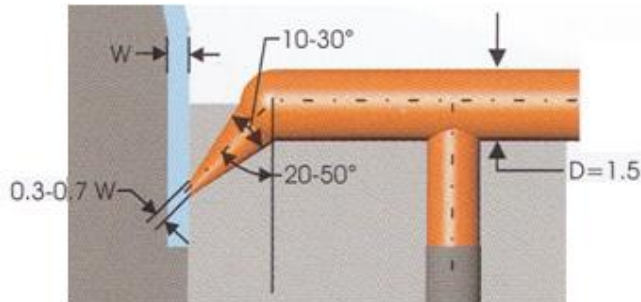
Tento vtok je zvláštní případ bodového vtoku, který má tu výhodu, že vtokový zbytek může ležet v téže dělicí rovině jako výstřík. Vtok lze umístit do pevné i do pohyblivé části formy. Není potřeba konstruovat formu s více dělicími rovinami. [4]



Obr. 12. Tunelový vtok [15]

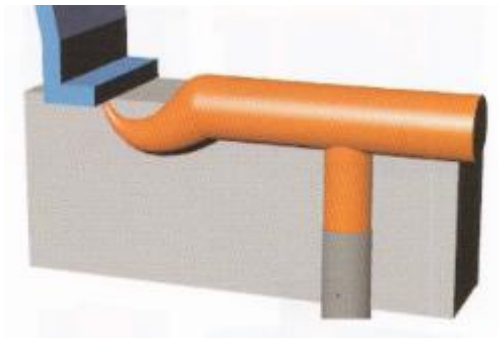
1 - vyhazovač, 2 - řezná hrana, 3 - tunelový vtok

Tunelový vtok se využívá u dvoudeskové konstrukce forem s automatickým oddělováním vtokového systému od výstříku. Ústí vtoku je vedeno pod řeznou hranou tvárníku. Šikmý zužující se kanál vychází z konce rozváděcího kanálu, navazující těsně pod dělicí rovinou. Vtokový kanál může dále mít jímku na zachycení studeného čela taveniny. [15, 18]



Obr. 13. Návrh tunelového vtokového ústí [15]

Ke zvláštnímu typu tunelového vtoku patří tzv. srpkovitý vtok, který umožňuje umístit vtokové ústí do části výstřiku, ve kterém nepůsobí rušivě. Takový vtok je vhodný jen pro plasty s vysokou elasticitou, nesmí docházet k zalamování. [4, 15]

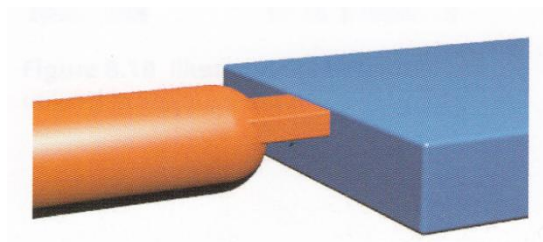


Obr. 14. Srpkovitý vtok [15]

5.2.5 Boční vtok

Je nejrozšířenějším a nejpoužívanějším vtokovým ústím. Průřez bývá obvykle obdélníkový, ale využívá se také kruhový a lichoběžníkový. Při odformování nedochází zpravidla k oddělení výstřiku od vtokového zbytku. Při automatickém cyklu lze oddělování vyřešit zvláštním odřezávacím zařízením, které je součástí formy. [4]

Nahrazuje třideskové řešení formy, které je složitější a finančně nákladnější dvoudeskovým řešením formy. Tvarové části i vtoková soustava jsou v jedné dělicí rovině. [18]

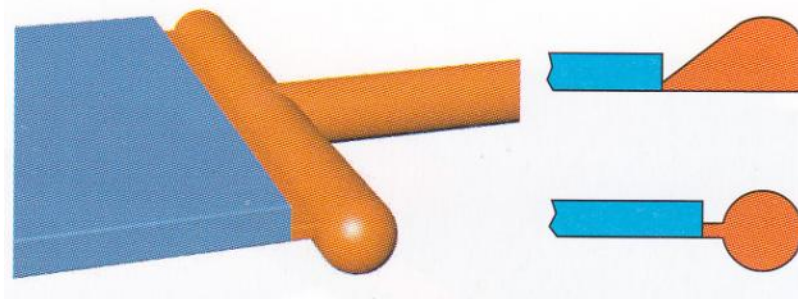


Obr. 15. Boční obdélníkový vtok [15]

5.2.6 Filmový vtok

Patří do skupiny bočních vtokových ústí a využívá se hlavně k plnění kruhových a trubkových dutin s vyššími požadavky na kvalitu. Dále se zde řadí vtoky diskové, prstencové, deštníkové a další. Rozvedení taveniny do jednotlivých míst vtokového ústí není rovnoměrné. Dochází k poklesu tlaku s rostoucí vzdáleností od rozváděcího kanálu. To se řeší proměnnou tloušťkou ústí nebo rozváděcího kanálu. [4]

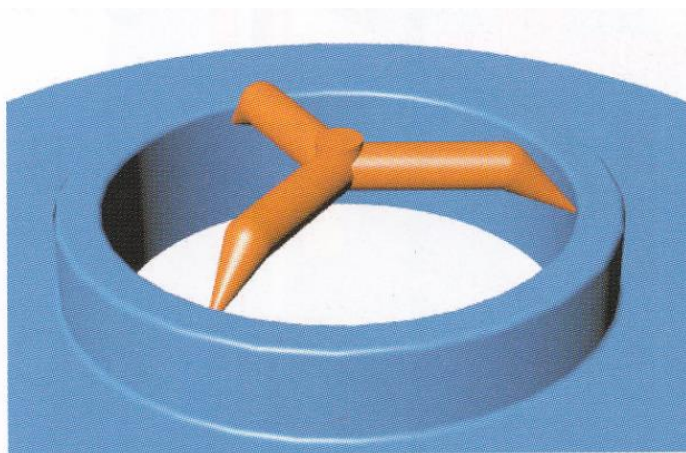
U obdélníkového tvaru výstřiku je ústí vtoku umísťováno do kratší hrany, především u semikrystalických a plněných plastů. Jen tak lze dosáhnout požadované pevnosti výstřiku. [18]



Obr. 16. Filmový vtok [15]

5.2.7 Plnění dutiny více vtoky

Pro výstřik je účelné naplnit dutinu formy taveninou jedním vtokem. Pokud to nedovoluje tvar výrobku, použije se více vtoků. Před použitím je třeba zvážit vliv vzniku studených spojů při setkání studených čel proudů taveniny z jednotlivých vtoků. [4]



Obr. 17. Plnění více vtoky [15]

5.3 Vyhřívání vtokové soustavy

Během posledních let se využívá vyhřívání vtokových soustav čím dál více, v současnosti přibližně 30% nových forem má tento systém. Je zde snaha o úsporu plastu i práce a proto se využívá metody vstřikování bez vtokového zbytku. Realizuje se za pomoci vyhřívání vtokových soustav. Dnešní vyhřívání vtokové soustavy mají vyhřívání trysky, které jsou charakterizovány minimálním úbytkem tlaku i teploty v systému s optimálním tokem taveniny. Vznikly specializované firmy, které se zabývají návrhem těchto systémů a dodávají je jako celky, které se pouze zapasují do vstřikovací formy. [4, 15]

Používání vyhřívání vtokových soustav stále narůstá z důvodu:

- automatizace výroby,
- zkrácení výrobního času (cyklu),
- snížení spotřeby vstupního materiálu,
- odstranění nákladů spojených s odstraňováním vtokových zbytků. [4]

U způsobů bezvtokového vstřikování je vhodné na výrobku v místě jeho vyústění provést zahloubení, aby případný nepatrný vtokový zbytek nevystupoval přes jeho úroveň. [18]

5.3.1 Horké trysky

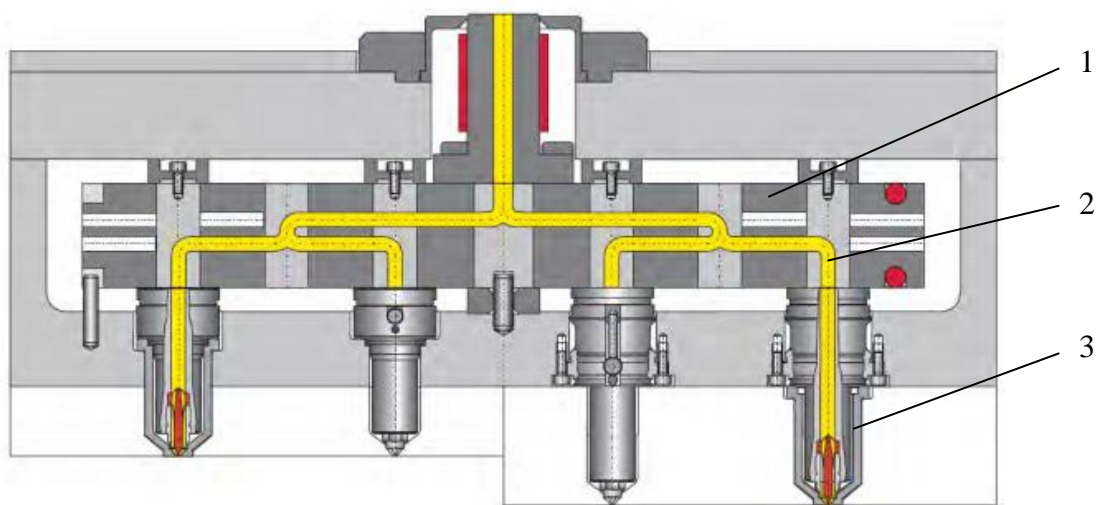
Jejich konstrukce umožňuje propojení vstřikovacího stroje s dutinou vstřikovací formy, při dokonalé teplotní stabilizaci. Tryska obsahuje topný článek i regulaci, nebo je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy. Použitím horkých trysek dochází k zlepšení technologických podmínek vstřikování. [4]



Obr. 18. Horká tryska firmy Thermoplay [23]

5.3.2 Vytápěné rozvodné bloky

Rozvodný blok je ocelový, uložen mezi upínací a tvarovou deskou v pevné části formy, tak aby nedocházelo zbytečně k ohřevu těchto desek. Kontakt je pouze v určitých místech, zbytek je tepelně izolován vzduchovou mezerou uvnitř formy. Jeho tvar je konstrukčně přizpůsoben potřebné poloze rozváděcích kanálů směrem k vyústění i k uložení trysek. Vyrábí se ve různých tvarech I, H, X, Y, hvězdice apod. Rozvodné bloky jsou většinou dodávány jako hotová soustava konkrétní firmou a pouze se umísťuje do vstřikovací formy. [4, 15]



Obr. 19. Vytápěný rozvodný blok [25]

1 - rozvodný blok, 2 - polymer, 3 - horká tryska

5.4 Vyhazovací systém

Vyhazování výstřiků z dutiny formy je činnost, kdy pomocí vyhazovacího systému vytlačíme z otevřené vstřikovací formy hotový výstřik. Vyhazovací systém je umístěn ve formě a musí zajišťovat automatický výrobní cyklus.

Má dvě fáze:

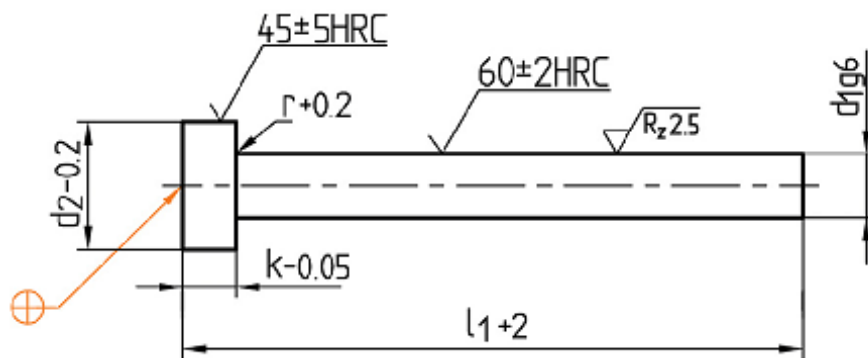
- dopředný pohyb, samotné vyhazování,
- zpětný pohyb, vyhazovací systém se vrací do výchozí polohy. [5]

5.4.1 Válcové vyhazovací kolíky

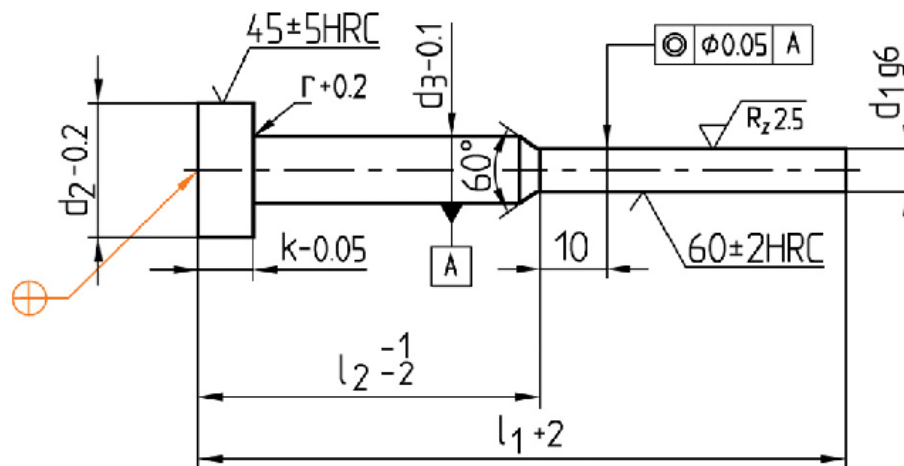
Jedná se o nejrozšířenější způsob vyhazování, uvedený systém lze použít tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhození. Výrobně jednoduchý a funkčně zaručený. [5]

Vyhazovač by neměl při odformování bortit stěnu a ni jinak deformovat výstřik, proto je vhodné umístit vyhazovač proti žeburu. Po styčných plochách vyhazovačů zůstávají na výstřiku stopy. Proto je vhodné umístění na nepohledové strany výstřiku, pokud je to možné. [5]

Vyhazovací kolíky se řadí k základním prvkům mechanického vyhazování. Mají být dostatečně tuhé a snadno výrobitelné. Vůle v uložení působí i jako odvzdušnění. U malých průměrů se využívá prizmatických vyhazovačů viz obrázek 21. [5]



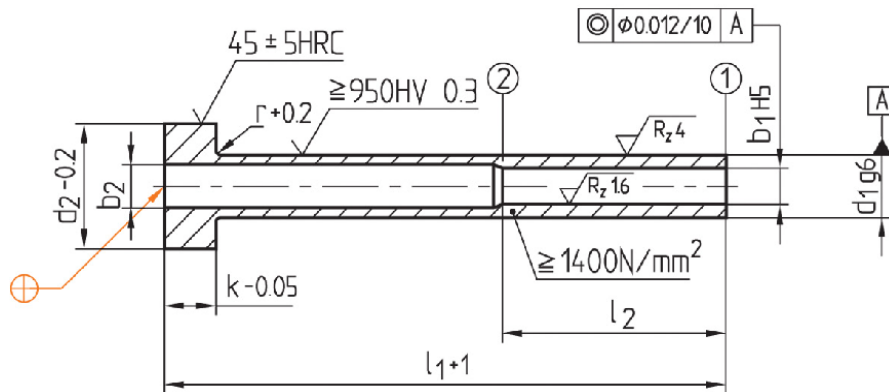
Obr. 20. Válcový vyhazovač [24]



Obr. 21. Prizmatický vyhazovač [24]

5.4.2 Trubkové vyhazovače

Funkce trubkového vyhazovače je podobná jako u stírání deskou, vyhazovač má otvor ve, kterém je umístěno pevné jádro. Pohyblivou část zde obstarává trubková část, která je uchycena ve vyhazovacím systému. [5]



Obr. 22. Trubkový vyhazovač [24]

5.4.3 Stírací deska

Stírací deska stírá výstřík z tvárníku po celém jeho obvodě, vzhledem k velké styčné ploše, nezanechává na výstříku stopy po vyhazování. Při stírání dochází pouze k nepatrným deformacím. Využití je především u tenkostěnných výstříků, kde je nebezpečí jejich deformace, nebo u rozměrných, kde je zapotřebí velké síly. Stírání je vhodné jen tehdy, dosedá-li výstřík na stírací desku v rovině, nebo plocha výstříku je mírně zakřivená. [5]

5.4.4 Šikmé vyhazovače

Speciální způsob mechanického vyhazování. Vyhazovací kolíky nejsou kolmé k dělicí rovině, ale jsou uloženy k ní pod různými úhly. Využívají se k vyhazování malých a středně velkých výstříků s malým nebo mělkým zápichem. Tím se předejde náročným posuvným čelistím s klínovým mechanismem. [5]

5.4.5 Zvláštní způsoby vyhazování

Vzduchové vyhazování

Je vhodným systémem pro vyhazování tenkostěnných výstříků větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují zavzdušnit, aby se nedeformovaly při vyhazování. Systém není často využíván, ale na některé výrobky ho je nutné aplikovat. [5]

Hydraulické vyhazování

Nejčastěji je součástí stroje a používá se především k ovládní mechanických vyhazovačů, výhodou je velká flexibilita. S hydraulickými jednotkami zabudovanými přímo ve formě, které pracují jako vyhazovače, se setkáváme méně. Využívají se spíše k ovládní bočních posuvných čelistí. [5]

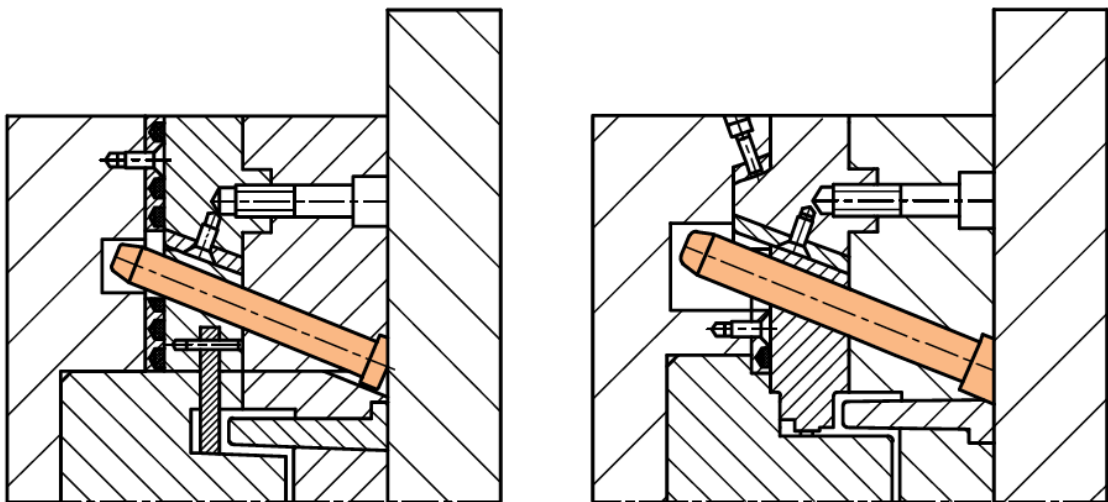
5.5 Boční odformování - posuvné čelisti

Výstřiky, které mají boční otvory, výstupky nebo různé zahlobení, které leží kolmo k ose formy, se řeší pohyblivými čelistmi. K ovládní těchto částí formy, které tvoří další dělicí roviny, se používá mechanických, pneumatických nebo hydraulických prvků. [5]

5.5.1 Šikmé válcové kolíky

K posunu čelistí dochází zároveň při otevírání, jen s nepatrným zpožděním, ovlivněným vůlí mezi otvorem a šikmým kolíkem. Vůle bývá 0,2 mm. Sklony šikmých kolíků se pohybují od 15° až do 25°. [5]

Uzavírací pohyb čelisti je ukončen současně s uzavřením formy, kdy dochází k uzamčení čelisti o tzv. zámek. Šikmý kolík provádí především otevírací pohyb. [5]



Obr. 23. Šikmý válcový kolík [24]

5.5.2 Lomené kolíky

Zabezpečují nucený pohyb bočních čelistí při otevírání a uzavírání formy podobně jako šikmé válcové kolíky, jen s tím rozdílem, že umožňují poměrně delší zpoždění odsunu čelisti při otevírání formy. Potom je možné načasovat vytažení čelisti s jádrem při otevírání

formy na jakoukoliv vzdálenost. Vůle mezi lomeným kolíkem a otvorem bývá 0,2 až 0,5 mm. Úhel sklonu bývá 12° až 25°, úhel uzamykacích ploch je volen 15°. [5]

5.5.3 Pneumatické tahače jader

Využívají se někdy pro ovládání pohybu bočních posuvných čelistí. Při jejich funkci je třeba brát v úvahu stlačitelnost vzduchu, která může mít za následek nerovnoměrný nebo trhavý pohyb ovládané čelisti, proto se více využívají hydraulické tahače jader. [5]

5.5.4 Hydraulické tahače jader

Používají se u pohyblivých čelistí pro vytažení dlouhých, nebo těžkých jader, případně pro postupné vytahování více jader v dutině formy. Nejčastěji se připojují na hydraulický okruh vstřikovacího stroje. Čelisti lze ovládat a otevírat:

- před otevřením formy, pokud nemá uzamykací systém,
- v kterékoliv fázi otevírání formy,
- po celkovém otevření formy. [5]

5.6 Temperování formy

Temperace slouží k udržování konstantního teplotního režimu formy a vytvoření rovnoměrného teplotního pole v dutině formy. Dutina je během vstřikovacího procesu plněna taveninou plastu, která je ve formě ochlazována na vyhazovací teplotu výstřiku. Temperační systém ovlivňuje plnění tvarové dutiny formy, kvalitu a jakost výstřiku, a také zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu (odvodem tepla z tvarových částí formy). [5, 17]

5.6.1 Úkol temperace

- ohřev formy na požadovanou teplotu a vytvoření konstantního teplotního pole v dutině formy při procesu vstřikování,
- rychlý odvod tepla z dutiny formy naplněné taveninou tak, aby pracovní cyklus měl ekonomickou délku. [17]

5.6.2 Obecné zásady volby temperačních kanálů

Temperační systém tvoří soustavou kanálů a dutin, kterými se odvádí teplo z formy vhodnou kapalinou nebo jiným zdrojem tepla. Rozměry a rozmístění temperačních kanálů a dutin, se volí s ohledem na celkové konstrukční řešení formy. [5]

Při návrhu temperačního systému je potřeba dodržovat následující pravidla:

- kanály umístit v optimální vzdálenosti od tvarové dutiny formy, aby se neovlivnila tuhost tvarové desky,
- kanály umístit a dimenzovat tak, aby bylo intenzivně odváděno teplo z míst, kde je forma ve styku s proudem taveniny,
- průtok chladicí kapaliny regulovat tak, aby při chlazení proudila od nejteplejšího k nejchladnějšímu místu formy a nedocházelo k přehřívání kanálů (max. 3°C),
- průřez kanálů volit z výrobních důvodů kruhový, je však možno volit i jiné průřezy,
- kanály mají procházet celistvým materiálem formy, pokud to není možné, je třeba stykové spoje dokonale utěsnit,
- po cestě temperačního média se nemají vytvářet mrtvé kouty, protože se v nich usazují nečistoty a vzniká koroze, která vede k zarůstání kanálů,
- průměr kanálů by neměl být menší než 6 mm, jinak hrozí nebezpečí ucpání nečistotami, vodním kamenem apod. [5]

5.7 Odvzdušnění formy

Odvzdušnění tvarových dutin forem zdánlivě nepatří k dominantním problémům při navrhování forem, ale hraje důležitou roli. Vstřikování termoplastů je cyklický výrobní proces a při každém výrobním cyklu jsou tvarové dutiny formy zaplněny vzduchem. Při toku taveniny tedy musí konstrukce formy zajistit úplný odvod vzduchu a případných těkavých plynů vzniklých při plastikaci vstřikovaného granulátu v plastikační komoře vstřikovacího stroje a s taveninou zanesených do dutiny formy. [1, 5]

Samozřejmě platí přímá úměra - čím je větší rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušnění tvarové dutiny formy. Při neúčinném odvzdušnění tvarové dutiny formy a použití vysoké rychlosti plnění je nejčastější vadou vznik tzv. Dieselova efektu, což je vznik spáleného místa na výstřiku. [1]

5.8 Materiály forem

Formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiků se od nich vyžaduje dosažení požadované kvality, životnosti a nízkých pořizovacích

nákladů. Velkou roli při plnění těchto podmínek hraje materiál forem, který je ovlivněn provozními podmínkami výroby a volí se na základě:

- zpracovávaného materiálu,
- přesností a jakostí výstřiku,
- předpokládaného množství vyráběných výstřiků,
- podmínek vstřikování. [5]

Pro výrobu se tedy používají takové materiály, které splňují provozní požadavky co neoptimálněji. Takové druhy představují:

- oceli vhodných jakostí,
- neželezné slitiny kovů (Cu, Al,...),
- ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé,...). [5]

5.8.1 Tepelné zpracování součástí forem

Tepelné zpracování představuje souhrn operací, kterými se získávají požadované vlastnosti materiálů. Průběh je provázen změnou jejich struktury, ovlivňující především mechanické vlastnosti. Nejdůležitějšími způsoby tepelného zpracování jsou:

- žihání (odstranění vnitřního pnutí,...),
- kalení (zvýšení tvrdosti a pevnosti),
- popouštění v návaznosti na kalení,
- chemicko-tepelná zpracování (cementace, nitridování,...). [5]

6 SPECIÁLNÍ ZPŮSOBY VSTŘIKOVÁNÍ

Vývoj v technologii vstřikování urazil od svých počátků dlouhou cestu a v poslední době vznikly speciální způsoby vstřikování, které se liší např. v parametrech vstřikování, v konstrukci vstřikovací formy, v kombinaci materiálů, apod. Prakticky všechny speciální metody vychází z poznatků klasického vstřikování. [1, 26]

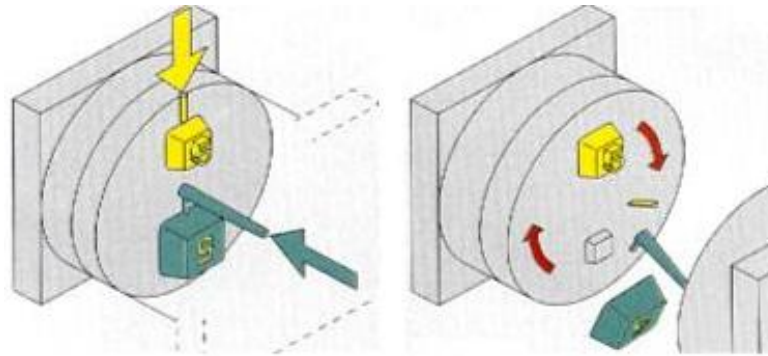
Mezi nejčastěji používané lze zařadit:

- vícekomponentní nebo vícebarevné vstřikování,
- vstřikování s využitím inertního plynu nebo vody - GIT (Gas Injektion Technik) a WIT (Wasser Injektion Technik),
- vstřikování strukturně lehčených materiálů,
- kaskádové vstřikování,
- kombinace modifikovaných procesů. [1, 3, 26]

6.1 Vícekomponentní vstřikování

Vícekomponentní vstřikování se řadí mezi tzv. speciální způsoby vstřikování, které se v současné době čím dál více využívá. Touto technologií lze na jednom výrobku kombinovat více materiálů nebo více barev. Z počátků tato technologie kombinovala dvě nebo více barev, ale neustálým vývojem se v dnešní době běžně využívá pro vstřikování dvou nebo více druhů materiálů. Z hlediska kvalitního spojení je vhodné na dílu provést konstrukční opatření, aby došlo k dokonalému spojení vstřikovaných materiálů tzv. zastříknutí. Co se týče konstrukce vstřikovací formy je dosti podobná klasické vstřikovací formě, pouze je do dutiny vstřikovací formy vytvořeno více kanálů pro dopravu materiálu od dvou, tří nebo čtyřech vstřikovacích jednotek. [3, 26]

Jeden z možných případů lze vidět na obrázku 24, kdy se zastříkne při prvním cyklu vnitřní část (žlutý materiál), poté dojde k otočení pohyblivé strany vstřikovací formy. V dalším cyklu dojde zároveň ke vstříknutí vnitřní (žlutý materiál) a vnější části (zelený materiál). Poté dochází k otevření dutiny vstřikovací formy a odformování hotového výrobku a celý proces pokračuje dále.



Obr. 24. Dvoukomponentní vstřikování [26]

6.1.1 Vstřikovací stroje

Mezi nejčastější uspořádání plastikačních jednotek patří uspořádání, kdy jedna jednotka je horizontálně a druhá je vertikálně. [3]



Obr. 25. Dvoukomponentní vstřikovací stroj [21]

6.1.2 Rotace a přemísťování výstřiků

Velmi důležitou roli hraje u této technologie vícebarevného nebo vícekomponentního vstřikování přemísťování nebo rotace výrobků. Procesy, které jsou spojeny s výrobou výrobku musí být plně automatické.

Přemísťování výrobků může být realizováno pomocí:

- rotace pohyblivé poloviny formy kolem vodorovné osy,
- rotace pohyblivé poloviny formy kolem vertikální osy,
- rotace pouze části formy (vločky, indexové desky),
- využití šoupátka,
- využití robotu. [3, 26]

V prvním případě se do dutiny formy vstříkne materiál, který se nechá zchladnout. Poté dochází k otevření formy vyhozením vtokového systému a pootočení pohyblivé strany formy o určitý úhel. Poté se forma uzavře a vstříkne se další materiál z druhé plastikační jednotky. [26]

V druhém případě dochází k otáčení kolem vertikální osy a vstřikovací jednotky vstříkují proti sobě a oddělují je pouze tloušťka otočné desky. Výhodou je snížení uzavíracích sil, jelikož zde proti sobě působí tlaky od tavenin, ale musí být vstřikované objemy velmi podobné. [26]

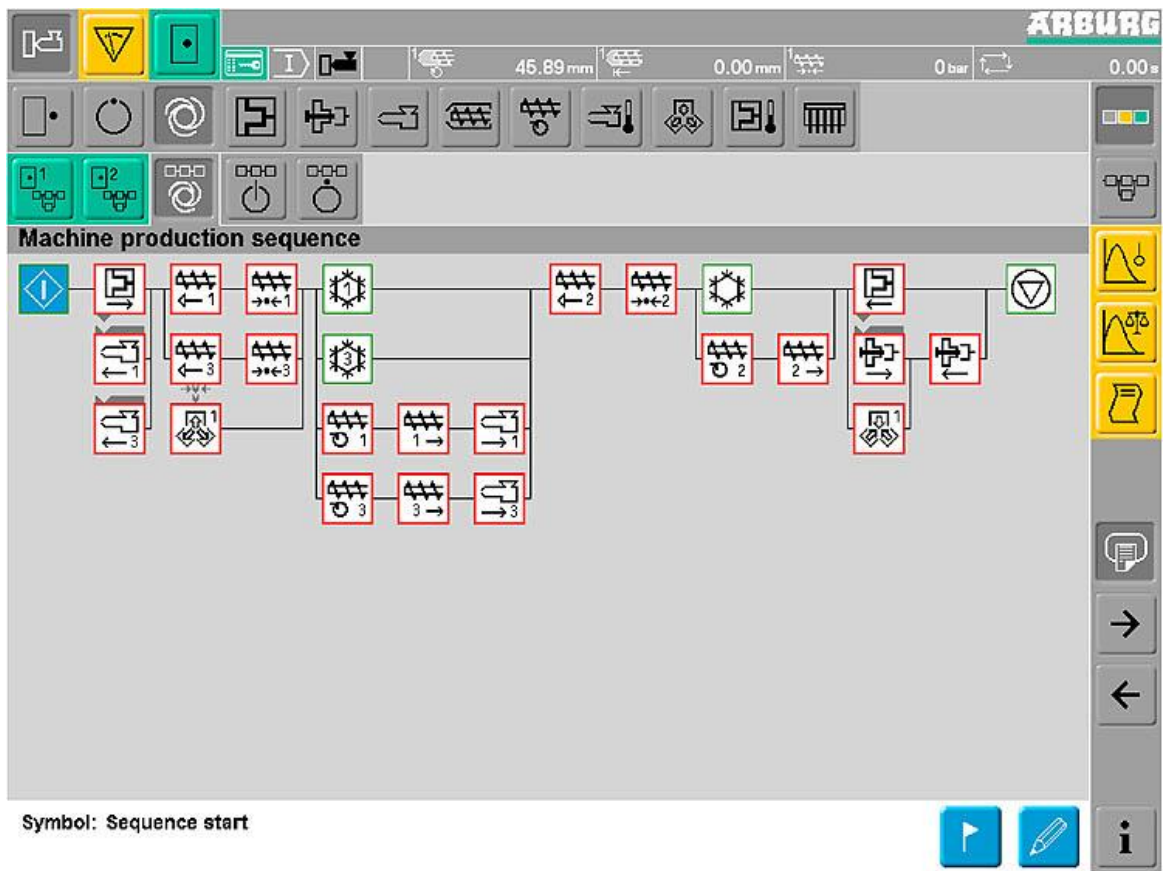
Ve třetím případě je pouze otočná tzv. indexová deska. Ovládání a principy jsou dosti podobně prvnímu případu.

Ve čtvrtém případě se využívá tzv. šoupátka, používá se především u velkých výstřiků v kombinaci s měkkými materiály (termoplastický elastomer) na tvrdý plast (PP, PC, PA,..). Šoupátko uzavírá nebo otevírá dutinku v dutině formě do které se má plnit materiál. [26]

V pátém případě se využívá robotů, tato metoda je spíše pro větší výstřiky, u kterých nevedí delší pracovní cyklus nebo v případě využití dvou vstřikovacích strojů. Použitím robota je zároveň vyřešeno odebírání výstřiků ze vstřikovací formy, které je potřeba hlavně u pohledových výrobků. [26]

6.1.3 Nastavení vícekomponentního stroje

Řízení a regulace vícekomponentního stroje je obdobné jako u klasického vstřikovacího stroje. Existuje zde také dokonalá zpětná vazba a pracovní cyklus je zobrazen na dotykovém displeji a je snadno kontrolovatelný a případně upravitelný. Nastavení je realizováno pomocí tzv. grafu vstřikovacího procesu. Oproti nastavení klasického vstřikovacího stroje zde přibilo více operací, které způsobuje vstřikování v tomto případě dvou materiálů. Na následujícím obrázku lze vidět příklad takového nastavení. [4, 21]



Obr. 26. Nastavení dvoukomponentního vstřikování [21]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny následující cíle:

- vypracovat literární studii na dané téma,
- zhotovit 3D model zadaného dílu,
- navrhnout vstřikovací formu pro zadaný díl a popsat její funkci,
- provést tokové analýzy a ověřit navrženou vstřikovací formu,
- nakreslit 2D řez vstřikovací formy včetně příslušných pohledů a kusovníku.

V teoretické části diplomové práce jsem se zabýval popisem technologie vstřikování a vstřikovacího stroje. Dále jsou uvedeny poznatky týkající se konstrukce vstřikovacích forem a popis jejich jednotlivých částí a komponent.

V praktické části diplomové práci bylo úkolem vytvořit 3D model, dále navrhnout a zkonstruovat vstřikovací formu na výrobu daného dílu světlometu. Při tvorbě modelu se vycházelo z reálného výrobku, který byl zadán vedoucím diplomové práce. Jedná se o díl části světlometu do automobilu. Pro konstrukci formy byl využit program CATIA V5R19 a bylo využíváno normálií od německé firmy HASCO.

8 POUŽITÉ PROGRAMY

8.1 CATIA V5R19

CATIA je konstruktérský program vyvinutý francouzskou firmou Dassault Systèmes a využívá se především v automobilovém a leteckém průmyslu. Jedná se o komplexní systém pro počítačový návrh, konstruování a výrobu. V programu lze při návrhu vstříkovací formy využít několik modulů určených pro tuto problematiku. Pomocí programu lze formu navrhnout od 3D modelu až po 2D výkresovou dokumentaci. Dále je zde možné využívat a vkládat díly z normálií (např. od firmy HASCO). Dále jen CATIA.

8.2 GOM Inspect V8

Tento program slouží k úpravě dat, které jsou výstupem po naskenování součásti. Pomocí tohoto programu lze na výrobku provést několik operací, které vedou k odstranění nedostatků a vad, které se při skenování přenesly do 3D modelu součásti. Program je od stejné firmy, jako je skenovací zařízení, pomocí kterého byl díl skenován. Dále jen GOM.

8.3 HASCO R1 - 2015

HASCO modul je 3D knihovna normálií, která obsahuje velkou řadu komponent, které se dají při návrhu vstříkovací formy využít. V programu se nachází několik návodů a dokumentace k tomu, jak normálie co nejefektivněji využít. Vybrané součásti lze z knihovny importovat do různých konstrukčních programů (Catia, Inventor, SolidWorks, atd.) nebo dle výkresu nakreslit.

8.4 Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2014

Program spadá pod skupinu Autodesk. Tento program se využívá na analýzu celého procesu vstříkování výrobku. Lze zde provádět jak tokové analýzy, tak i analýzy chlazení, deformace atd. Také tento program dokáže simulovat zástříky insertů a vice-komponentní vstříkování. Dále jen Moldflow.

9 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstřikovaným výrobkem je část světlometu automobilu. Jedná se o výrobek, který byl vyroben dvoukomponentní technologií vstřikování. Rozměry výstřiku jsou 150 x 135 mm a výška je 145 mm. Objem výstřiku je 79 cm³ a hmotnost 92 g. Materiál výrobku je transparentní a černý polycarbonat (PC).



Obr. 27. Pohled z přední strany na vymodelovaný výrobek



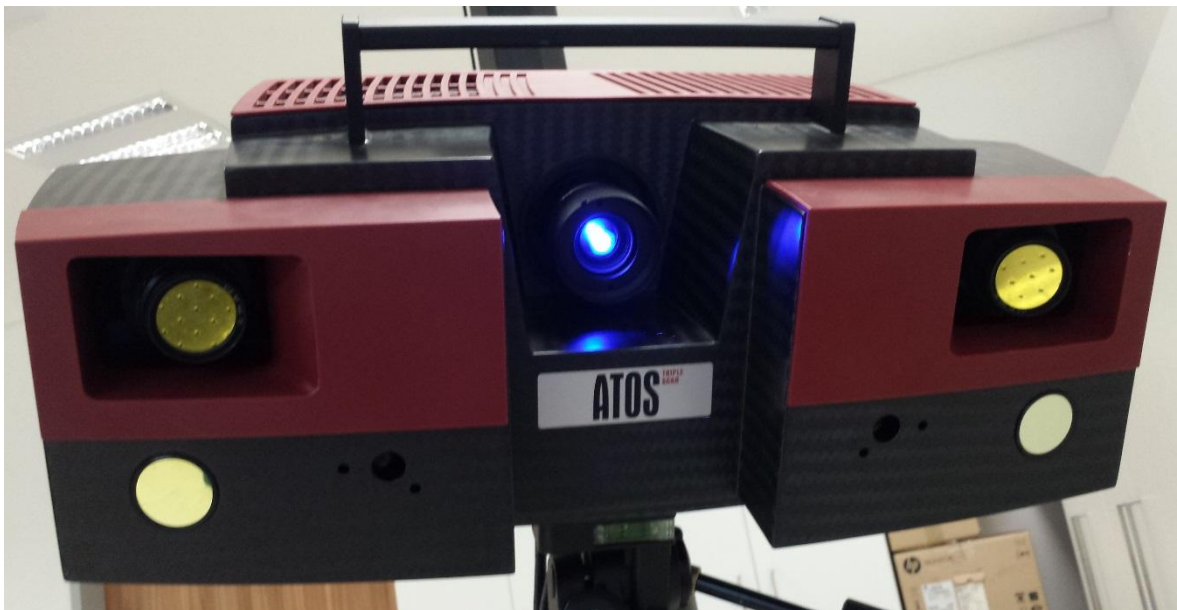
Obr. 28. Pohled ze zadní strany na vymodelovaný výrobek



Obr. 29. Pohled na reálný výrobek

9.1 Zhotovení 3D modelu

Při tvorbě 3D modelu bylo využito univerzitního 3D skeneru ATOS II. Jedná se o mobilní bezdotykový 3D optický skener od firmy GOM. Snímání probíhá postupně, dokud nedojde k nasnímání celé plochy výrobku. Skener je vybaven vysoce výkonnou výpočetní technikou, aby skenování probíhalo co možná nejrychleji.



Obr. 30. Skenovací zařízení ATOS II

Tab. 1. Parametry skenovacího zařízení

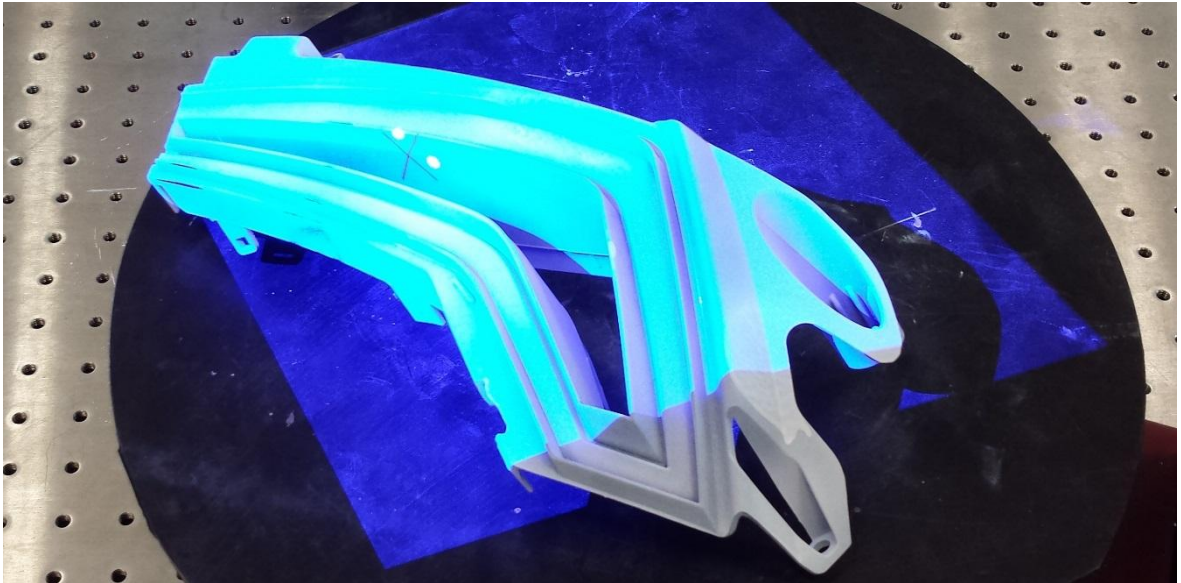
Skenovací zařízení	ATOS II
Objektiv	MV 170
Měřicí objem (D x Š x V)	170 mm x 130 mm x 130 mm
Vzdálenost mezi naměřenými body	0,07 mm
Doporučené referenční body	0,8 mm
Měřicí vzdálenost	830 mm
Kalibrační objektiv	CP 40 / MV 170 (Deska)

Před samotným skenováním musel být díl upraven, jelikož optika skeneru nemůže skenovat průhledné a lesklé výrobky. Pro úpravu dílu byl použit sprej MR 2000 Anti-Reflex L od firmy Marker.



Obr. 31. Úprava dílu před skenováním

Při skenování byl výrobek po malých krocích otáčen, dokud nebyl naskenován obrys celé součásti. Následně bylo prováděno do skenování míst, které optika nezabrala. Při skenování bylo využíváno otočného stolu. Po každém snímku se kontrolovalo, zda došlo ke správnému napojení snímku k už naskenovanému obrysu součásti. Tvar výrobku nebyl natolik složitý, proto nebyly využívány samolepící referenční body, které slouží skeneru pro lepší rozpoznání polohy a tvaru skenované součásti.

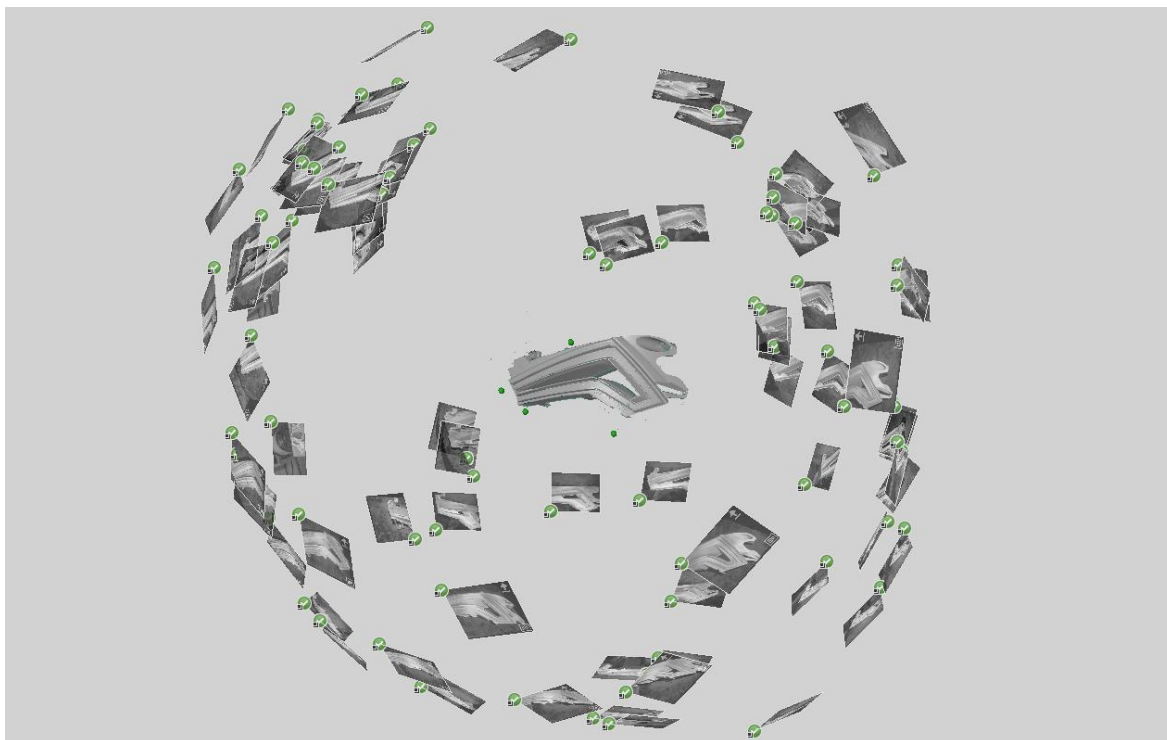


Obr. 32. Průběh skenování



Obr. 33. Záběr na skenovací zařízení a skenovaný výrobek

Pro samotné naskenování výrobku bylo zapotřebí provést 76 snímků. Na výrobku po skenování zůstaly ještě nedostatky v podobě menších vad na plochách a několika děr, kde optika skenovacího zařízení neviděla.

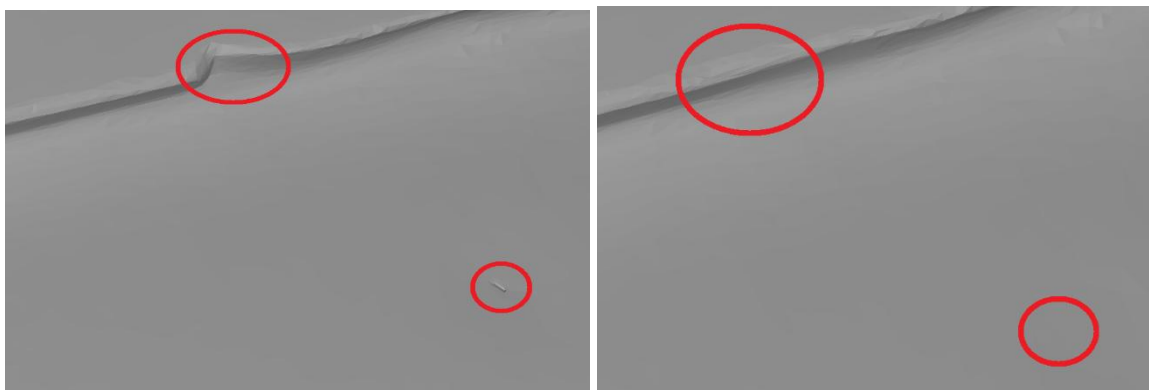


Obr. 34. Pořízené snímky a poskládaný obraz součásti

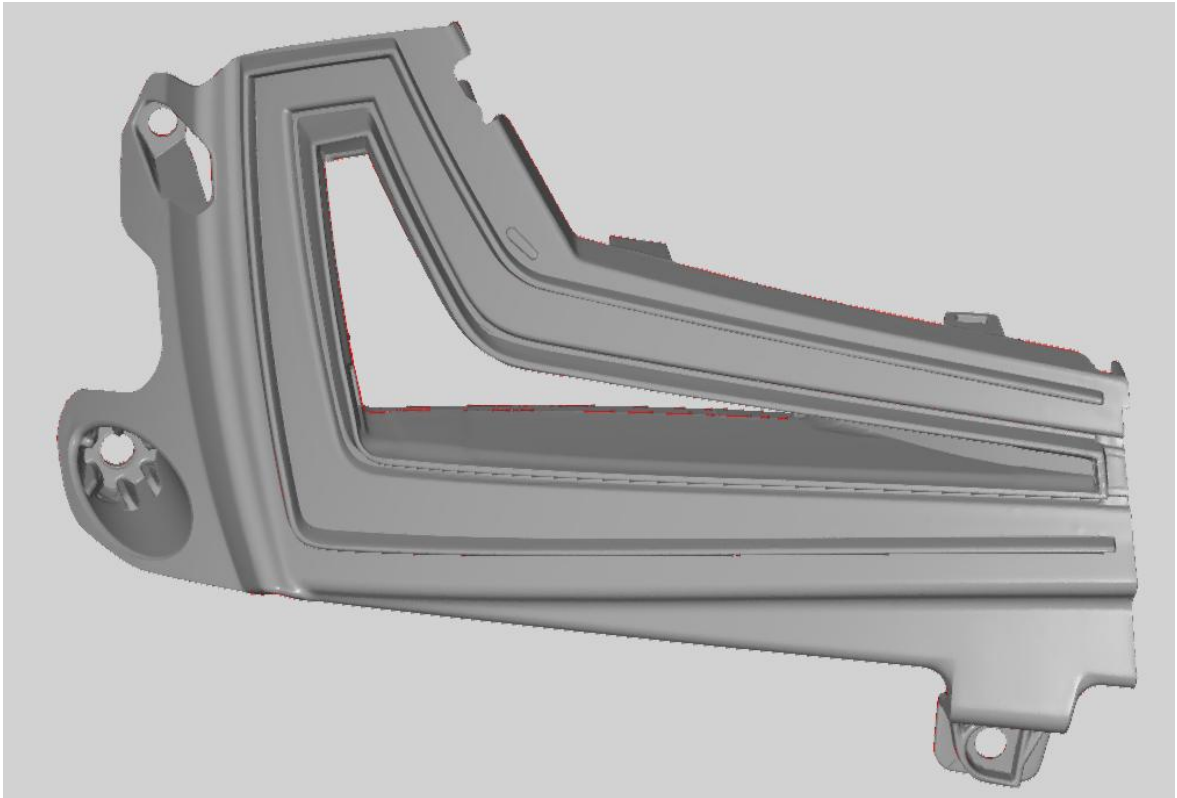
9.2 Úprava a převod dat do CATIE

Naskenovaná data se převedla do programu GOM, kde se provedlo několik úprav, aby bylo možné výrobek pomocí CATIE převést z formátu STL na 3D model, se kterým se dá dále pracovat.

Na obrázku *Obr. 35* lze vidět na levé straně ukázkou defektů, které se nacházely na součásti po naskenování. Tyto defekty a optické vady bylo zapotřebí opravit. Po kompletní úpravě modelu, bylo provedeno vyexportování dat ve formátu STL.



Obr. 35. Úprava defektů v programu GOM



Obr. 36. Upravený model v programu GOM

Na obrázku *Obr. 36* lze vidět, jak vypadal samotný model před vyexportováním. Po vyexportování byl model ve formátu STL načten v programu CATIA v příslušném modulu, který podporuje načtení tohoto formátu dat. Modul je obsažen v nabídce „Shape“ a jeho název je „Digitized Shape Editor“.

Po vložení byla provedena kontrola modelu, zda se na něm nenachází díry, které lidské oko nemůže zaregistrovat. K tomuto slouží nástroj „Fill Holes“ v panelu „Mesh“ a nástroj „Mesh Cleaner“, který se rovněž nachází v panelu „Mesh“.

Jakmile byl model zkontrolován, proběhlo v programu přepnutí do modulu „Quick Surface Reconstruction“ v nabídce „Shape“. V tomto modulu bylo využito nástroje „Automatic Surface“ z panelu „Surface Creation“, kdy se pomocí tohoto nástroje vytvoří na povrchu modelu plochy. Zde byla volena střední odchylka plochy od skutečného naskenovaného modelu v maximální odchylce 0,05 mm. Díky takto přesnému výpočtu bylo zapotřebí velmi výkonné výpočetní techniky.

Po vytvoření ploch, už proběhlo pouze převedení vzniklých ploch na objem. Po tomto kroku byl vytvořen 3D model zadaného dílu.



Obr. 37. 3D pohled na finální model zadaného výrobku

9.3 Materiál vstříkovaného výrobku

Materiál pro daný výrobek byl zvolen PC (Polycarbonat) od firmy BAYER. Obchodní název zvoleného materiálu pro černou část je Makrolon 2607 a pro transparentní část výrobku byl zvolen materiál s názvem Makrolon AL 2647. Jedná se o materiály, které mají vhodné vlastnosti pro daný typ výrobku a mají UV stabilizaci. Materiály jsou určeny a navrženy pro automobilový průmysl a využívají se v oblasti světlometů.

V příloze PI je přiložen materiálový list pro materiál Makrolon 2607, ve kterém lze nalézt základní hodnoty materiálu, jako je hustota, index toku taveniny, a další.

V příloze PII je přiložen materiálový list pro materiál Makrolon AL 2647, ve kterém lze nalézt základní hodnoty materiálu, jako je hustota, index toku taveniny, a další.

V příloze PIII jsou procesní podmínky, při kterých mají být materiály připraveny pro použití, zde lze najít teplotu sušení a čas potřebný pro vysušení materiálu. Dále v příloze lze nalézt podmínky pro vstříkovací proces. Teplota tavení materiálu, teplota temperování formy a hodnoty tlaků. Tyto hodnoty jsou pro oba materiály stejné.

10 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj byl zvolen od německé firmy Arburg s označením Arburg ALLROUNDER 630 S multi-component. Jedná se o stroj, který je plně hydraulický a plastikační jednotky byly dle EUROMAPU voleny 800-100.

Průměr šneku v hlavní plastikační jednotce byl zvolen 45 mm, kdy výkon plastikační jednotky je 318 cm³ na jeden pracovní cyklus. Průměr šneku ve svislé plastikační jednotce byl zvolen 25 mm, kdy výkon plastikační jednotky je 49 cm³ na jeden pracovní cyklus.

Základní hodnoty stroje jsou uvedeny v tabulce *Tab.2.* a ostatní parametry jsou v příloze PIV, kde jsou vypsány všechny parametry daného stroje.



Obr. 38. Ilustrativní obrázek zvoleného typu stroje [27]

Tab. 2. Základní parametry stroje a navržené vstříkovací formy

	Arburg 630 S m-c	Forma
Maximální uzavírací síla [kN]	2500	1600**
Maximální vyhazovací síla [kN]	90	-
Zdvih vyhazovačů [mm]	225	60
Průměr šneku [mm]	45 / 25	-
Maximální objem dávky [cm³]	318 / 49	66* / 13*
Vzdálenost mezi vodícími sloupky [mm]	630 x 630	596 x 546
Velikost upínací desky [mm]	900 x 900	596 x 546
Minimální výška formy [mm]	300	470
Celková světlost mezi upínacími deskami [mm]	1134	970***

* Následující hodnoty byly zjištěny z programu Moldflow.

** Hodnota byla vypočtena v Moldflow a z důvodu bezpečnosti navýšena o 20%.

*** K výšce formy bylo přičteno 500 mm pro hlavu robota, která bude díl odebírat.

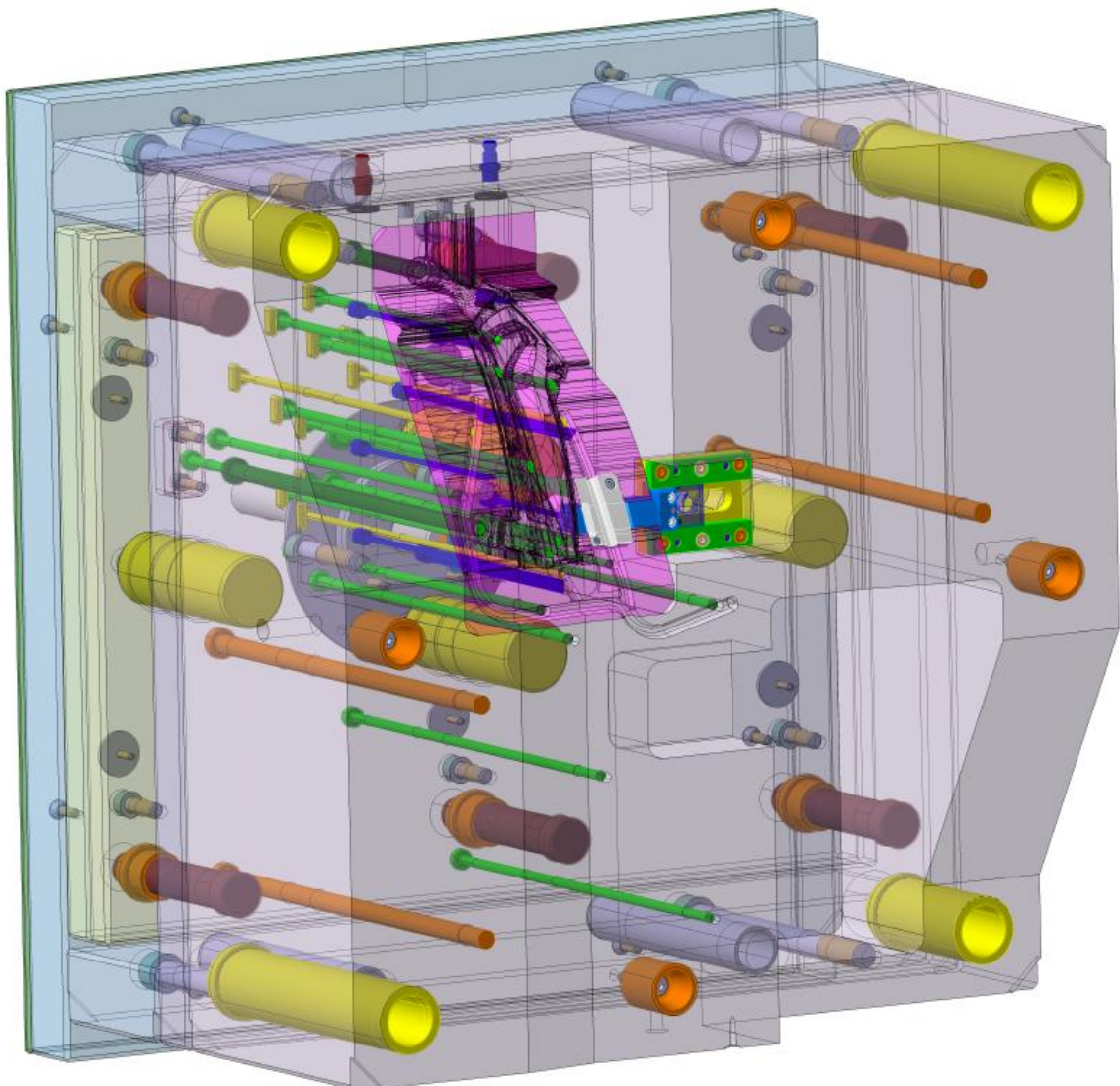
Zvolený vstříkovací stroj je v některých parametrech předimenzovaný. Z důvodu velikosti vstříkovací formy bylo zapotřebí, ale zvolit tuto velikost (630 S). Na následujícím obrázku lze vidět otočnou desku, kterou bude stroj otáčet pohyblivou stranu formy.



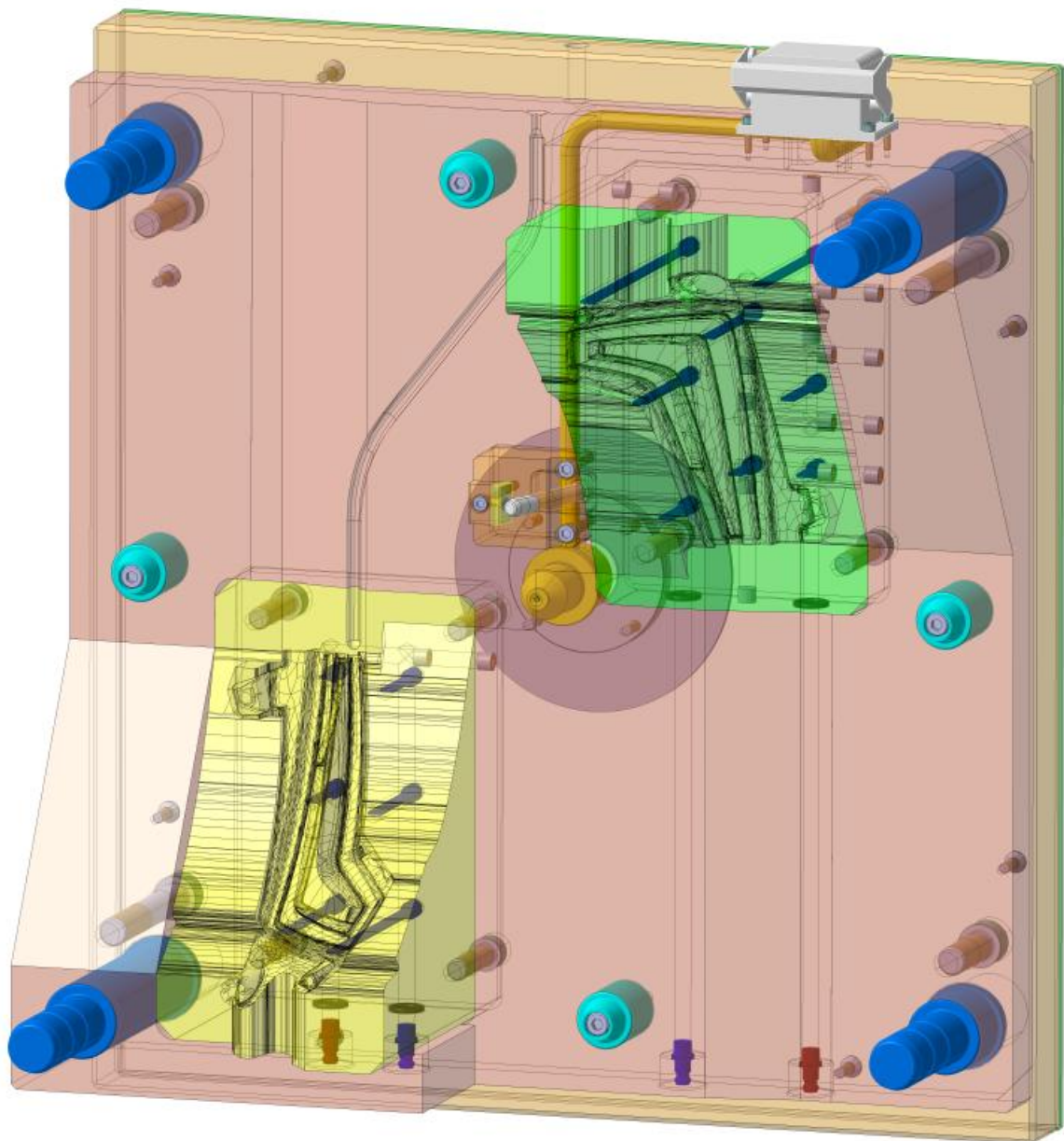
Obr. 39. Otočná deska stroje [21]

11 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Před samotným návrhem vstřikovací formy, bylo zapotřebí navrhnout, jak se bude daný díl vyrábět. Koncepce byla zvolena následovně. Nejprve dojde v jednom cyklu k vstříknutí černého PC a tudíž k vytvoření nosné části světlometu. Poté dojde k otevření vstřikovací formy, kdy se pohyblivá strana formy otočí o 180° a poté se znovu vstřikovací forma uzavře. Následně dojde k vstříknutí transparentního PC a spojení obou černých nosných částí světlometu. Poté dojde k otevření vstřikovací formy a odformování s následným odebráním dílu pomocí robotu, který bude vybaven podtlakovými přísavkami. Díl se nesmí při odformování poškodit, proto je nutné jeho odebrání robotem nebo manipulátorem.



Obr. 40. Pohled na levou stranu vstřikovací formy



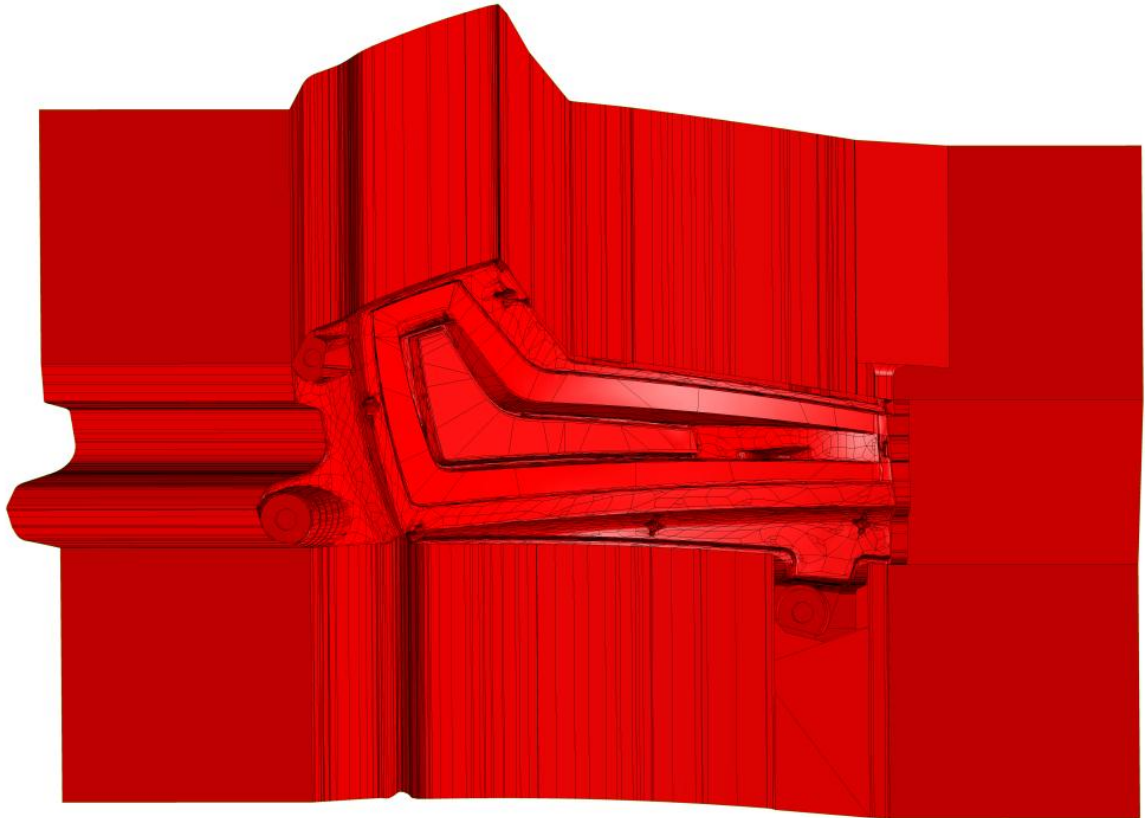
Obr. 41. Pohled na pravou stranu vstřikovací formy

11.1 Zaformování vstřikovaného výrobku

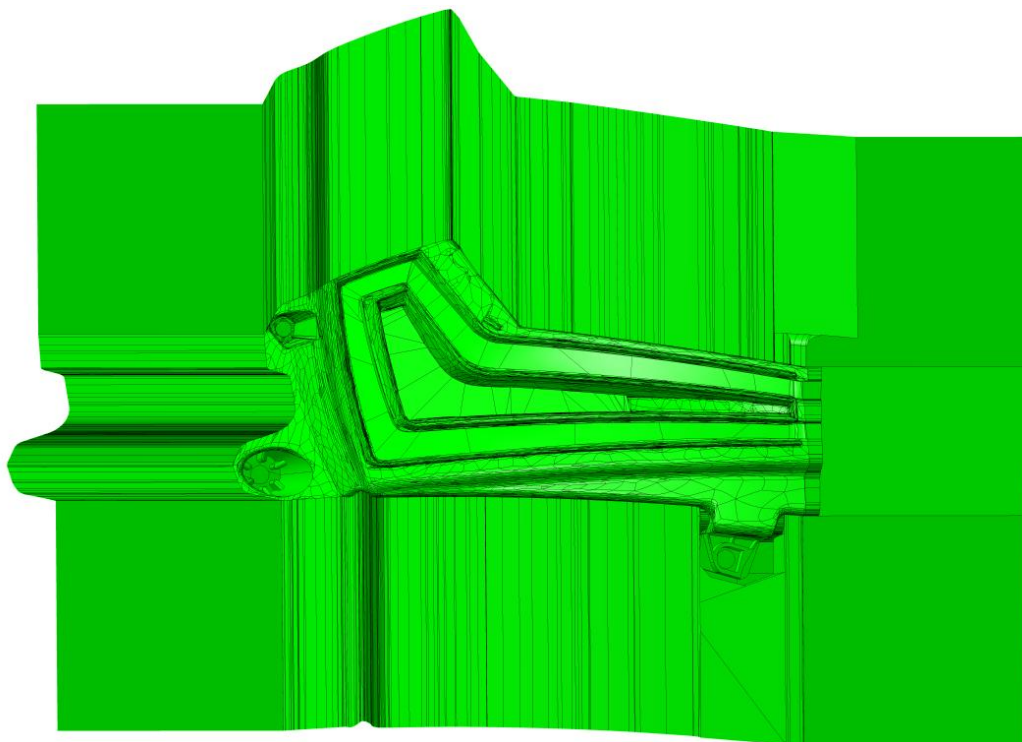
Zadaný díl má dosti složitou dělicí rovinu, proto bylo využito při zaformování a tvorbě tvárníku a tvárnic modulu Core & Cavity Design. Tento modul slouží k rozdělení tvarových ploch do několika skupin. První skupinou jsou plochy, které spadají do tvárníku, další skupinou jsou plochy, které spadají do tvárnice. Plochy, které nemají žádné úkosy vzhledem k dělicí rovině označí jinou barvou a oddělí je. Tyto plochy je buďto zapotřebí upravit, aby obsahovaly úkos nebo je manuálně převést do některé ze dvou skupin, pokud není možné na tyto plochy dát úkosy.

Výsledkem byly dvě celistvé plochy, pomocí kterých se vytvoří dutiny do tvarových vložek. Dalším krokem bylo vytvoření třetí plochy, která byla upravena tak, aby při vstříkování nosné části světloometu nedošlo k zatečení do míst, kde se bude nacházet transparentní materiál.

Nezbytným úkonem bylo při tvorbě těchto ploch jejich zvětšení o míru smrštění daného materiálu. V tomto případě to činilo 0,7%, hodnota byla odečtena z materiálových listů.

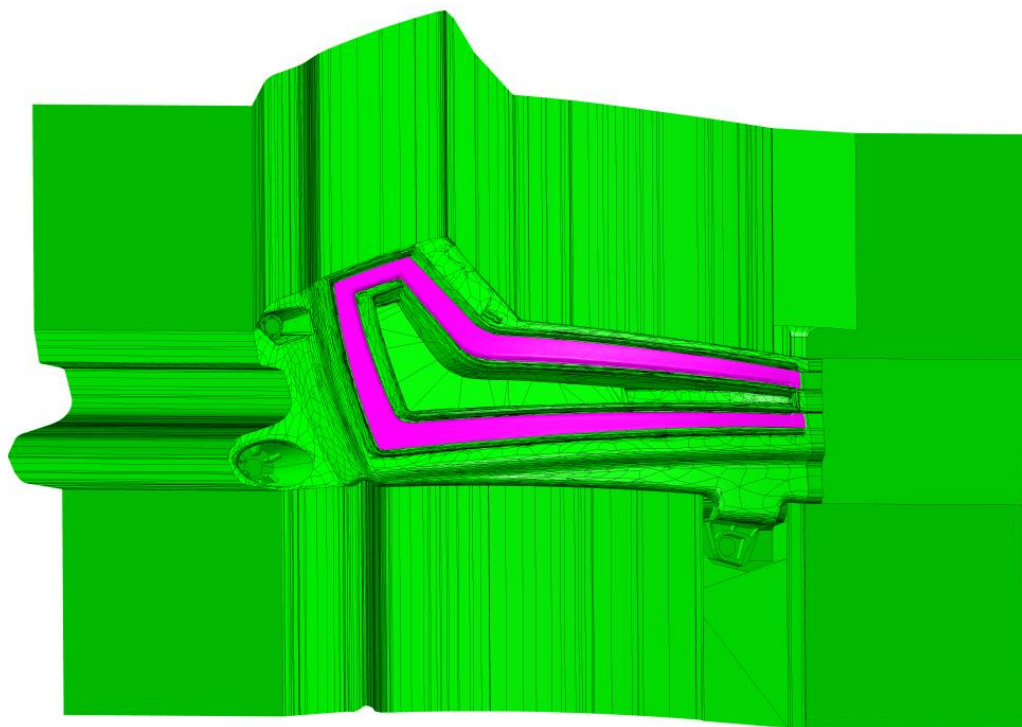


Obr. 42. Plocha pro vytvoření tvárníku



Obr. 43. Plocha pro vytvoření tvárnice č. 1

Na obrázku *Obr. 44.* je barevně zvýrazněno, jak se daná plocha tvárnice liší od tvárnice č. 1. Na této ploše je přidáno několik ploch, aby došlo k vytvoření dutiny pro transparentní PC.



Obr. 44. Plocha pro vytvoření tvárnice č. 2

11.1.1 Násobnost formy

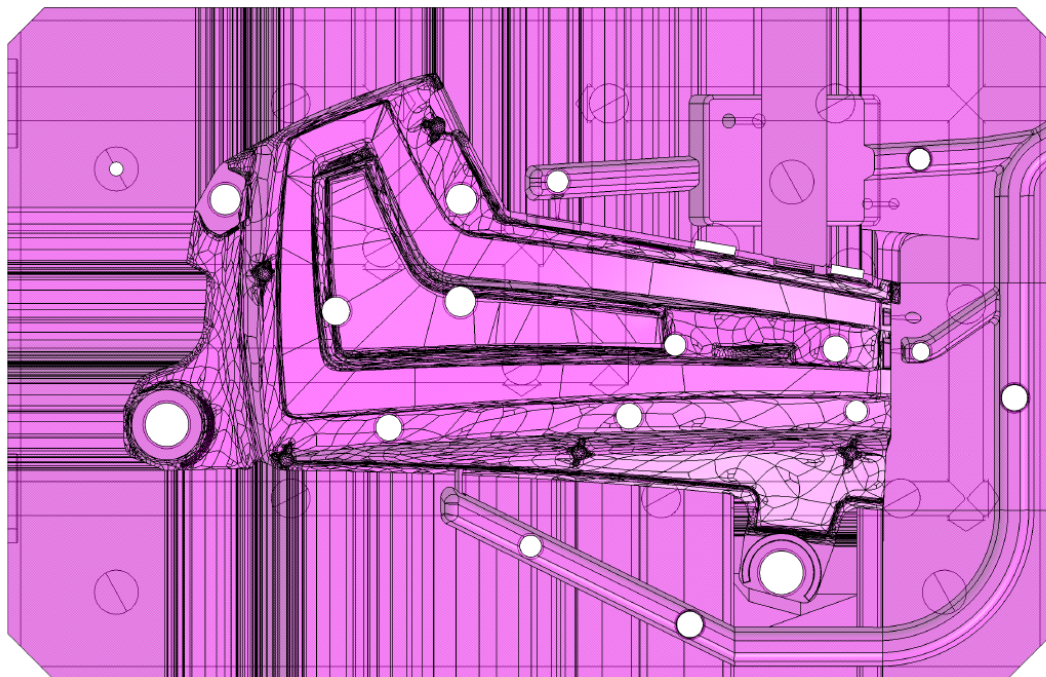
Vstřikovací forma byla zadána jako jednonásobná, kdy dutinu tvoří tři tvarové vložky. Při prvním uzavření vytvoří tvárník a tvárnice č. 1 dutinu pro vstříknutí černého PC. Při otočením formy a uzavření tvárníku a tvárnice č. 2 se vytvoří dutina pro vstříknutí transparentní části světlometu.

11.1.2 Tvárník a tvárnice

Navržená vstřikovací forma obsahuje tři tvarové vložky, jedna vložka je tvárník a zbylé dvě vložky jsou tvárnice.

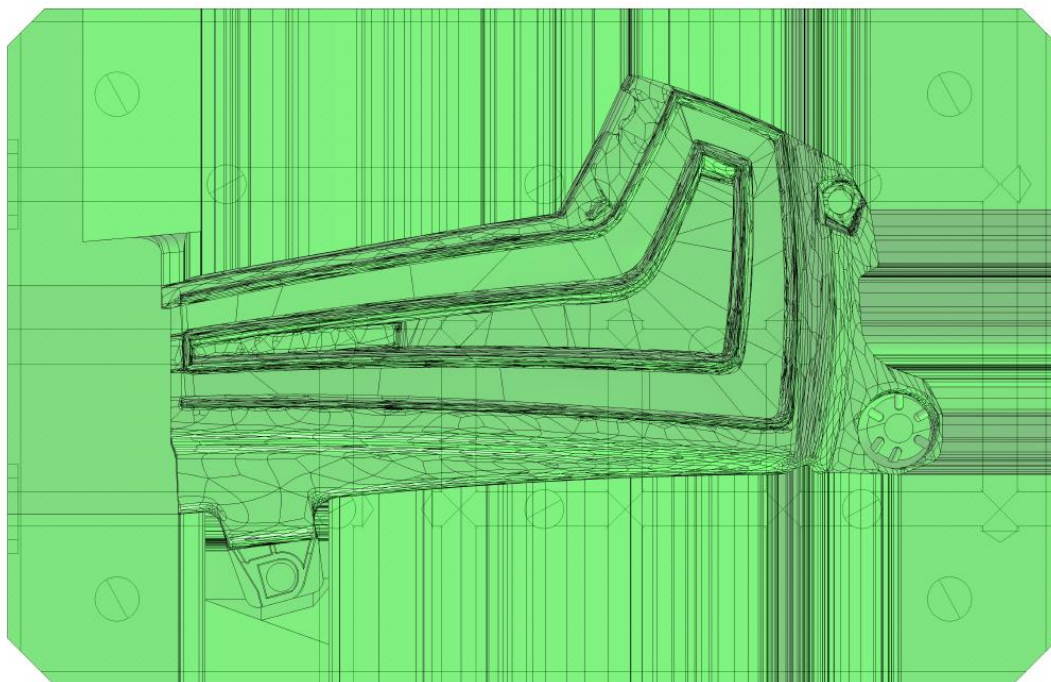
Tvárník je tvořen tvarovou vložkou, která je ukotvena v opěrné desce pomocí čtyř šroubů M12. Rozměr této tvarové vložky je 154 x 240 mm a výška je 203 mm. V tvárníku jsou vytvořeny otvory kruhového a obdélníkového průřezu pro vyhadzovače. Dále je v tvárníku vytvořena temperace, která má kanály o průměru 9 mm a obsahuje celkem 8 obtokových můstků.

V tvárníku je zhotovena kapsa na vtokový můstek a prostor pro posuvnou kostku, pomocí kterého se na výrobku odformována drážka o velikosti 6 x 3 mm a hloubce 2 mm.

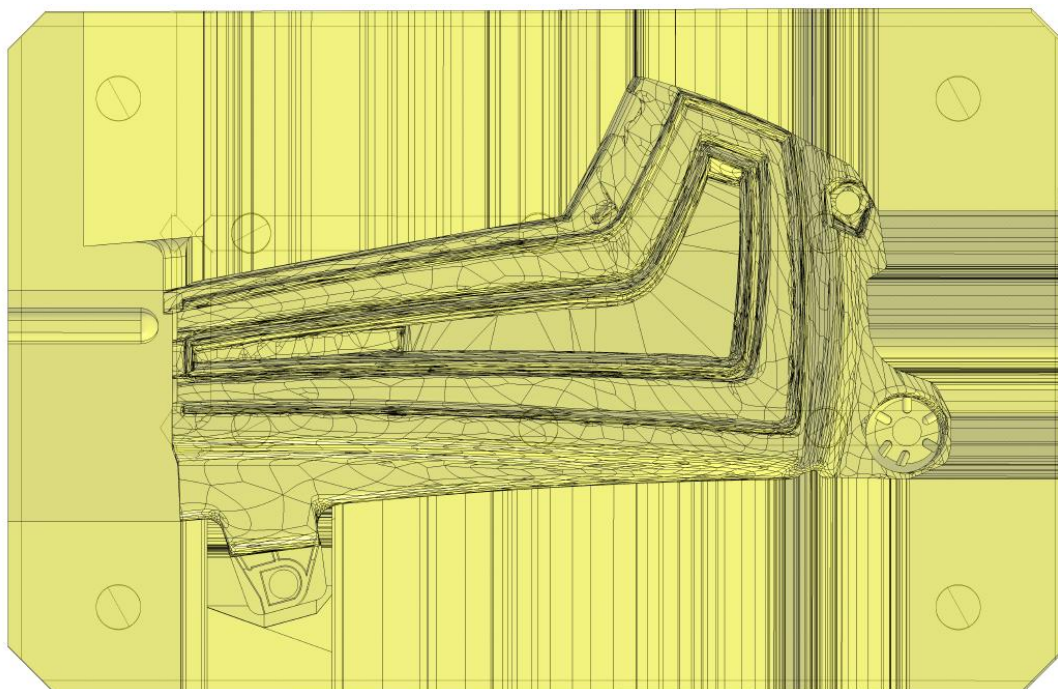


Obr. 45. Tvárník

Tvárnice je ve vstřikovací formě obsažena 2x. Rozměr těchto tvarových vložek je 154 x 240 mm a výška je 210 mm. Obě tvárnice jsou si dosti podobné, ale liší se ve tvarové části a teplotě. Tvárnice č. 1 s tvárníkem vytvoří dutinu pro černý PC. Tvárnice č. 2 je upravena pro plnění transparentní částí.



Obr. 46. Tvárnice č. 1



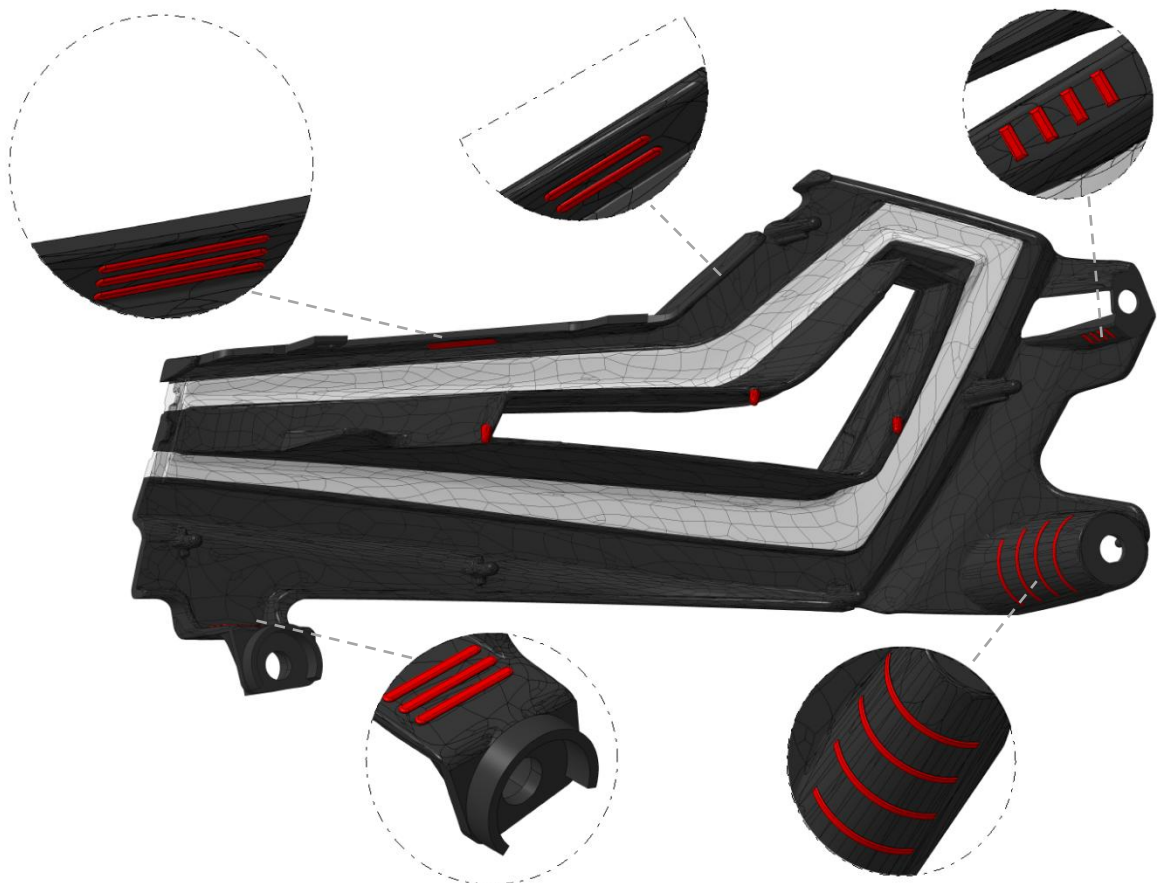
Obr. 47. Tvárnice č. 2

11.1.3 Zajištění výstřiku při otáčení

Jakmile je vstříknut do dutiny formy černý PC a ochlazení, dochází k otočení formy o 180°. při tomto otáčení a opětovném uzavření formy by mohlo docházet k posunutí předstříku a proto jsou na výrobku přidržovače.

Přidržovače pro obvodovou část výrobku jsou umístěny v tvárníku a jsou vyrobeny ve vložce. Přidržovače středové části jsou v podobě krátkých výstupků, které jsou vyrobeny ve vyhazovačích a k jejich odformování dochází při odebrání hotového výrobku z dutiny formy robotem.

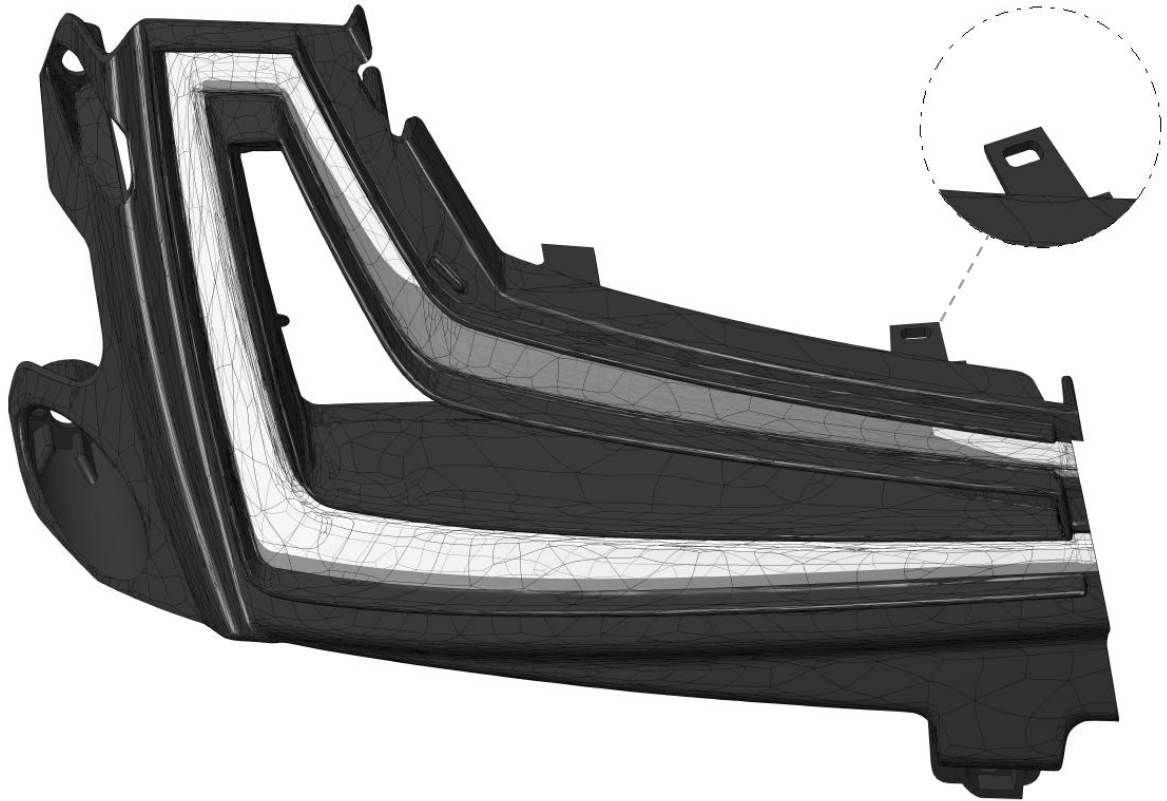
Na následujícím obrázku je vidět, kde se dané přidržovače nachází. Přidržovače, které se nachází na obvodovém dílu jsou zvětšeny. Středový díl je přidržován pomocí vyhazovačů a výstupky jsou zvýrazněny na dílu (jedná se o 3 výstupky).



Obr. 48. Přidržovače na výrobku

11.2 Boční odformování

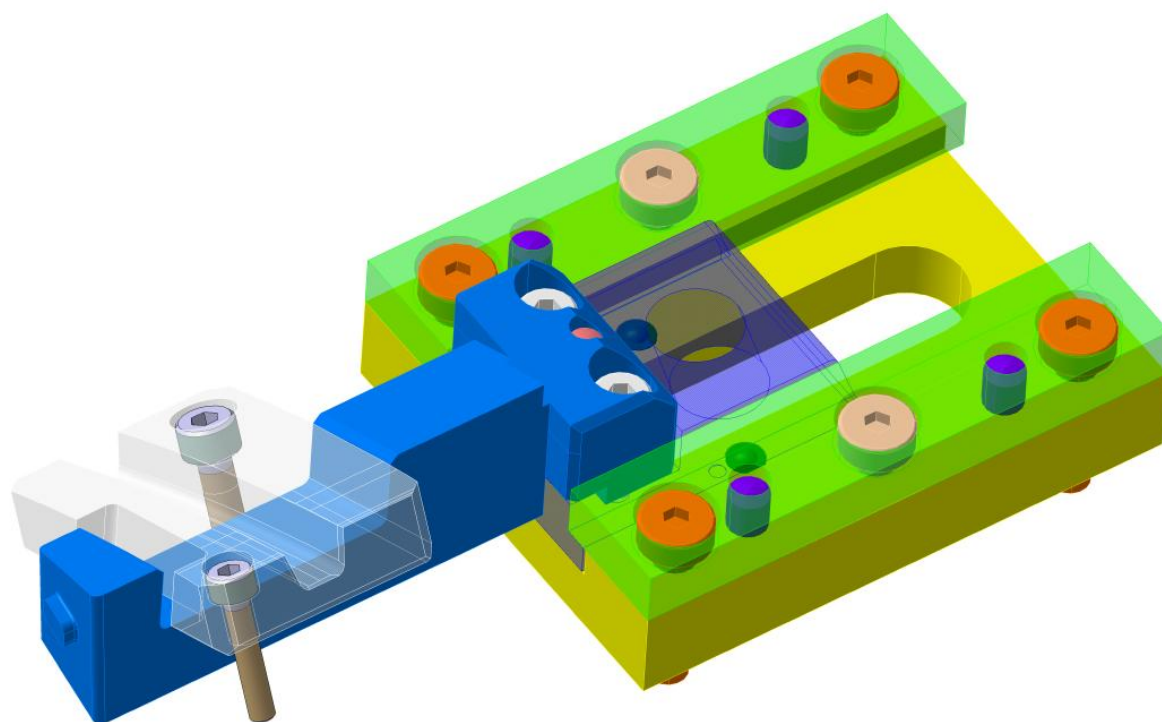
Na zadaném výrobku se nachází funkční otvor, který je potřeba odformovat pomocí boční posuvné čelisti.



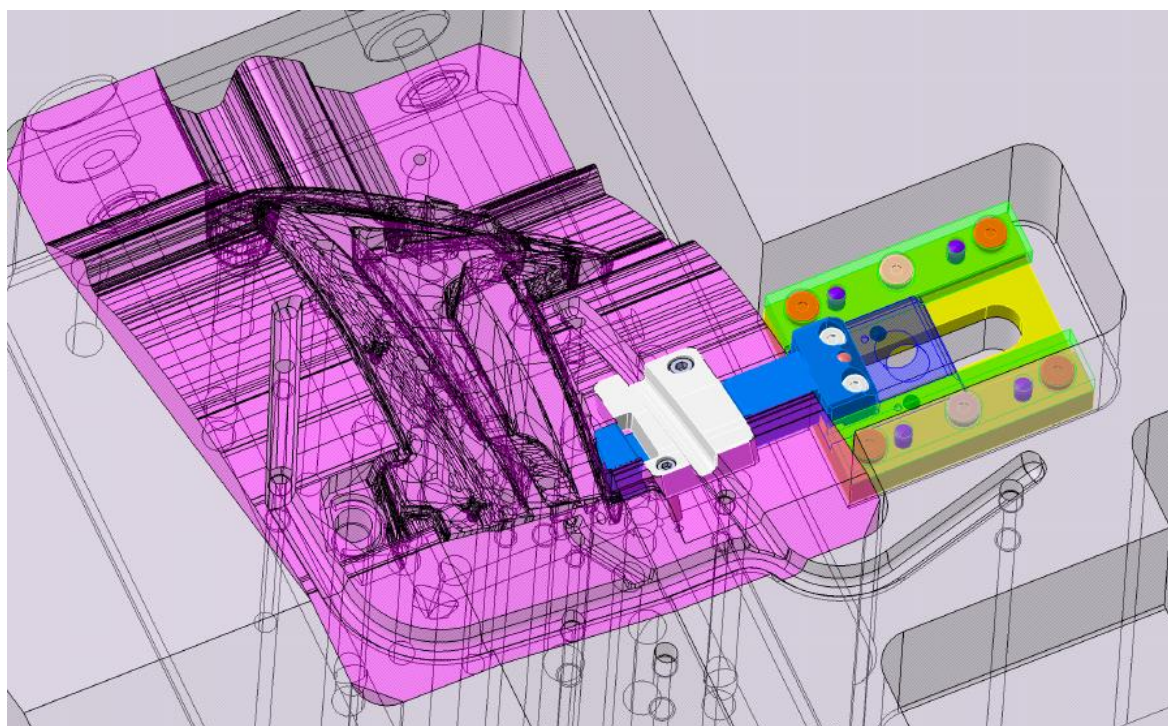
Obr. 49. Otvor pro boční odformování

Boční odformování je umístěno v tvárníku a po vstříknutí černého PC dochází při otevírání a otáčení formy k vysunutí posuvné čelisti z výstřiku. Během zavírání a vstřikování transparentní části zůstává posuvný vozík vysunut a zajištěn pružnými kuličkami, aby nedošlo k posunutí vlivem gravitace při otáčení.

Jakmile se pracovní cyklus výrobku opakuje, je boční posuvná čelist vrácena do původní polohy pomocí šikmého kolíku. A celý cyklus posouvání se opakuje.



Obr. 50. Pohled na boční odformování



Obr. 51. Pohled na zaformování boční čelisti

11.3 Vtokový systém

Vtokový systém byl zvolen jako kombinace horkého a studeného vtokového systému pro nosnou část (černý PC) a pro transparentní část byl vtokový systém volen studený.

Pro černý PC platí, že je do dutiny přiváděn horkou tryskou, která je zaformována v pravé straně vstřikovací formy a v levé straně se nachází rozvodný kanál. Rozvodný kanál byl volen lichoběžníkového průřezu, který má tři různé průřezy a rozvádí materiál ke třem vtokovým ústím.

Pro sekundární materiál platí, že je do dutiny přiváděn ze svislé plastikační jednotky a do dutiny teče v lichoběžníkovém kanálu až k tunelovému vtokovému ústí, kde přichází do kontaktu s černým PC a vytváří na výrobku průhlednou vrstvu pro průchod signálního světla.

11.3.1 Horká tryska

Horká tryska byla volena z normálií firmy HASCO. Vyhřívání trysky je realizováno pomocí odporového drátu, který je přiveden k zásuvce horkých trysek, která se nachází na vrchní straně nepohyblivé části vstřikovací formy. Horká tryska byla volena otevřená s průměrem 2,5 mm a otvor pro plnění trysky od plastikační jednotky má průměr 5mm. Katalogové číslo této trysky je HASCO Z103T/38 x 75/2,5.

11.3.2 Rozvodný kanál

Jak už bylo uvedeno, rozvodné kanály byly voleny lichoběžníkové z důvodu menší náročnosti na výrobu. V případě černého PC byl rozvodný kanál odstupňován, kdy správné rozměry byly stanoven pomocí simulace v programu Moldflow.

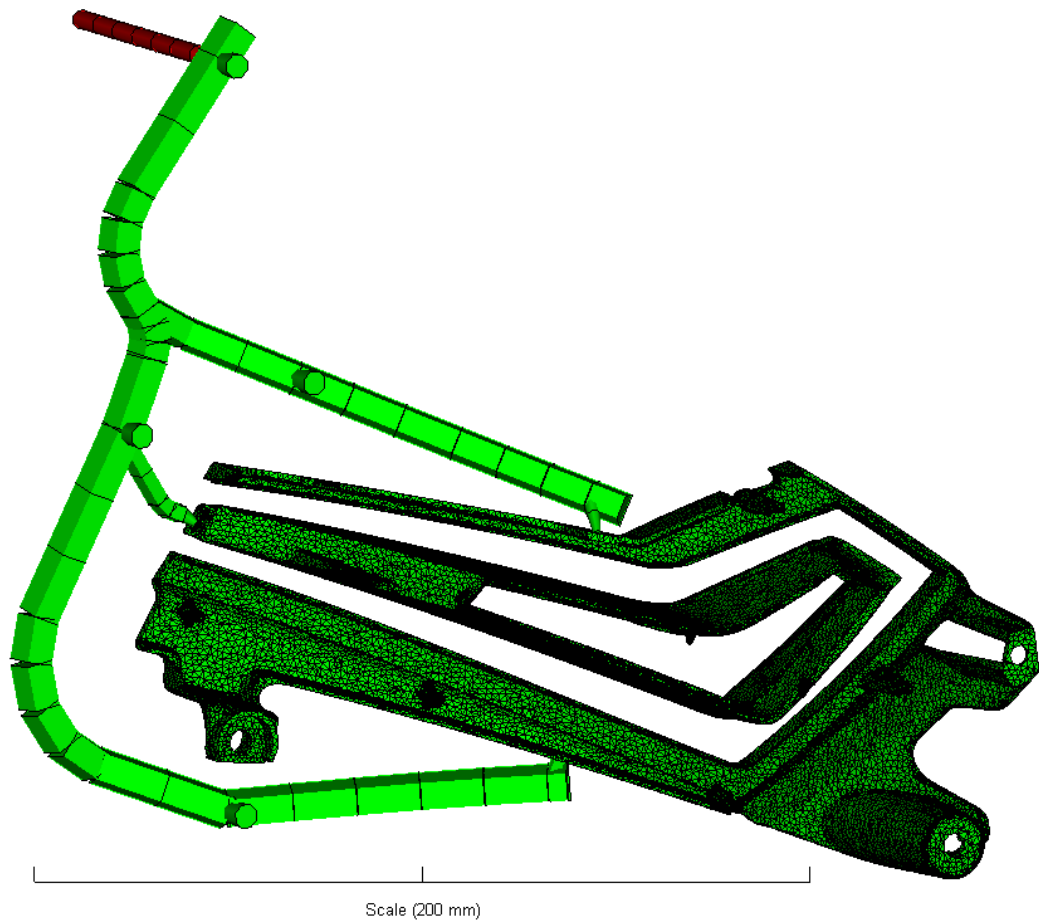
V případě rozvodu transparentního materiálu byl navržený kanál ověřen také programem Moldflow, zda navržený rozměr je dostatečný nebo není naopak příliš velký.

Aby bylo zaručeno, že se vtokový systém během otáčení formy nepohne, jsou na levé straně vytvořeny přidržovače vtoku jak pro černý tak i transparentní materiál.

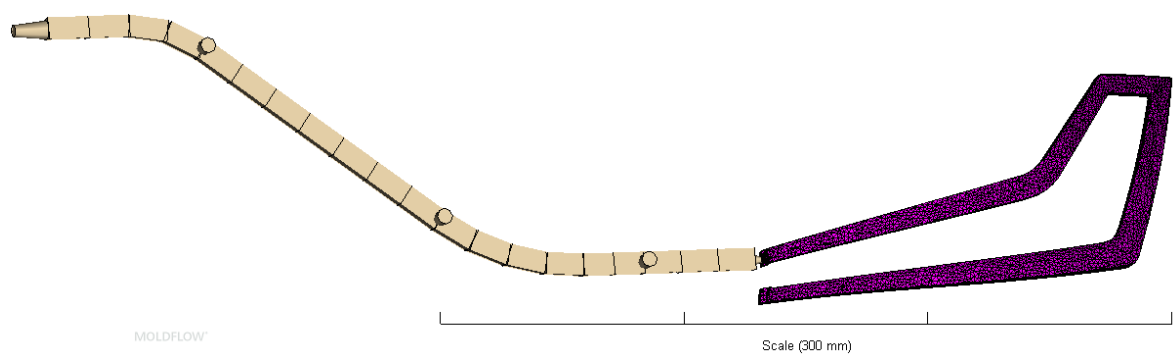
Rozvodný kanál je také opatřen vtokovými jímkami, aby při vstupu do dutiny formy nevstupovalo ochlazené čelo taveniny, které vzniklo při toku materiálu rozvodným kanálem. Také jsou hrany rozvodného kanálu zaobleny pro co nejmenší odpor taveniny při toku.

11.3.3 Vtokové ústí

U zadaného dílu byly voleny čtyři vtokové ústí. Tři vtokové ústí pro černý materiál a to dvě tunelové a jedno štěrbinové. Pro transparentní materiál bylo voleno tunelové vtokové ústí. U každého vtokového ústí byl umístěn vyhazovač, aby došlo ke správnému odformování.



Obr. 52. Schéma vtokového systému pro černý PC



Obr. 53. Schéma vtokového systému pro transparentní PC

11.4 Temperační systém

Temperace hraje ve vstřikovací formě důležitou roli, jelikož má za úkol vytvořit rovnoměrné teplotní pole. Temperační systém má vliv na výslednou kvalitu výstřiku a jeho optickou stránku. Také zajišťuje, aby ve výstřiku nezamrzly zbytkové napětí, které by se mohlo později uvolnit a mohlo by dojít k znehodnocení výrobku.

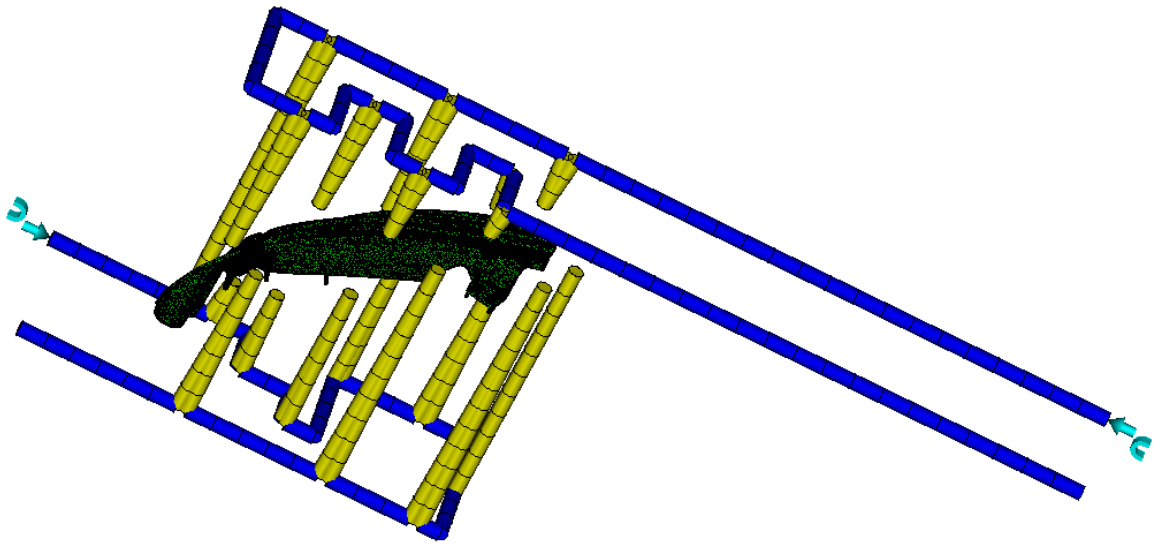
11.4.1 Temperace levé strany vstřikovací formy

Temperace na levé straně vstřikovací formy je řešena pomocí vrtaných kanálů a obtokových můstků o průměru 9 mm. Počet obtokových můstků je 9 a jejich délka závisí na tvaru vložky, tak aby byla dodržena správná vzdálenost od výstřiku. Velikost temperačního kanálu byla omezena prostorem, kvůli husté síti otvorů, které jsou pro vyhazovací systém. Střed kanálů je od spodní strany tvarové vložky vzdálen 17 mm. Přechody mezi tvarovou vložkou a kotevní deskou byly utěsněny o-kroužky. Pro vymezení dráhy bylo využito zátek a obtokových můstků se závitem M10x1 od firmy HASCO. Nátrubky byly voleny otevřené s průměrem 6mm a katalogovým číslem HASCO Z81/9/10x1.

11.4.2 Temperace pravé strany vstřikovací formy

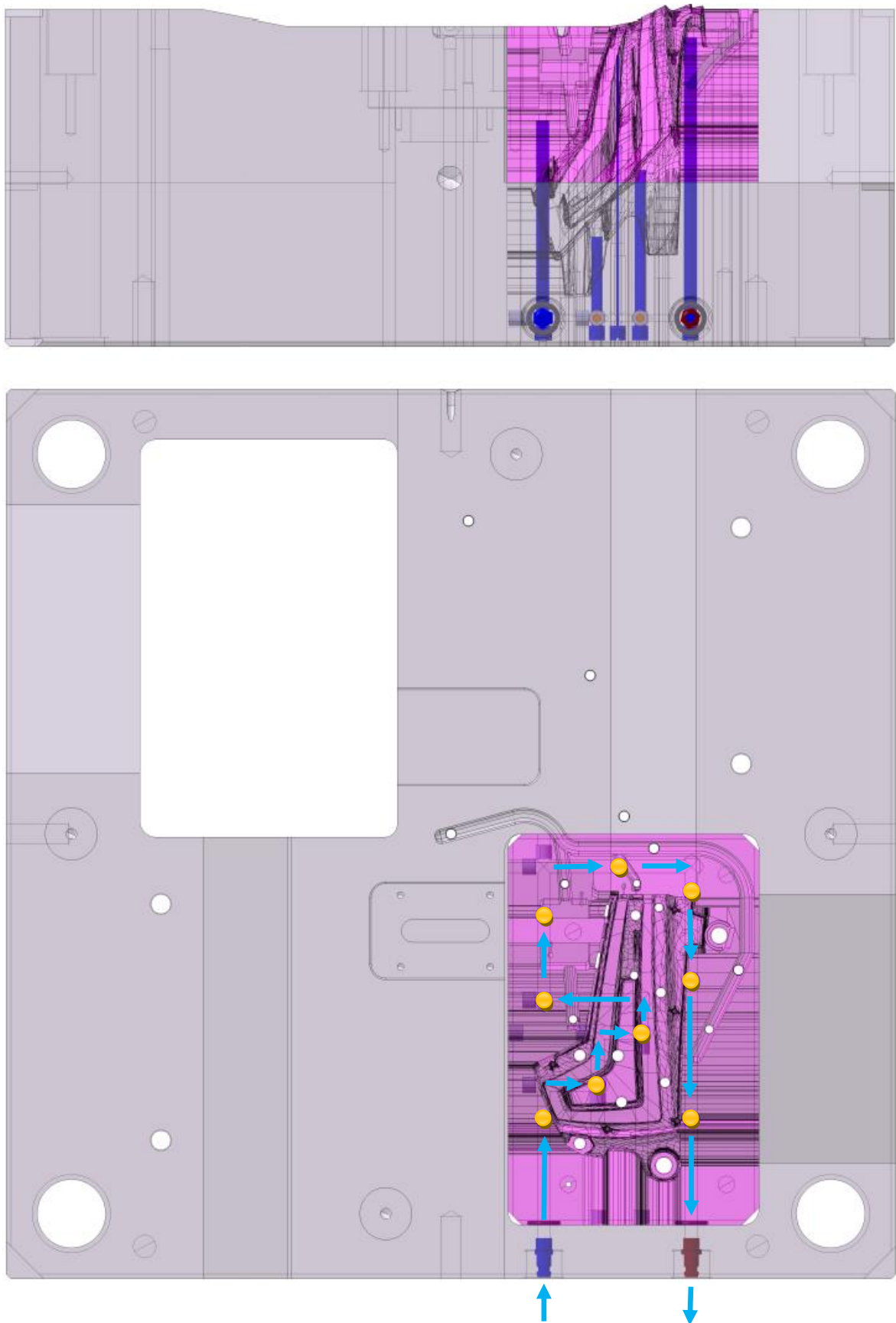
Pro tvárnici č. 1 bylo využito vrtaných kanálů a obtokových můstků o průměru 8,9mm. Počet obtokových můstků je 8, jejich délka je rovněž závislá od tvaru vložky. Střed kanálů je od spodní strany vložky vzdálen 17 mm. Přechody mezi tvarovou vložkou a kotevní deskou byly utěsněny o-kroužky. Pro vymezení dráhy bylo využito zátek a obtokových můstků se závitem M10x1 od firmy HASCO. Nátrubky byly voleny otevřené s průměrem 6mm a katalogovým číslem HASCO Z81/9/10x1.

Pro tvárnici č. 2 bylo využito vrtaných kanálů a obtokových můstků o průměru 9 mm. Počet obtokových můstků je 6, jejich délka je rovněž závislá od tvaru vložky. Střed kanálů je od spodní strany vložky vzdálen 17 mm. Přechody mezi tvarovou vložkou a kotevní deskou byly utěsněny o-kroužky. Pro vymezení dráhy bylo využito zátek a obtokových můstků se závitem M10x1 od firmy HASCO. Nátrubky byly voleny otevřené s průměrem 6 mm a katalogovým číslem HASCO Z81/9/10x1.

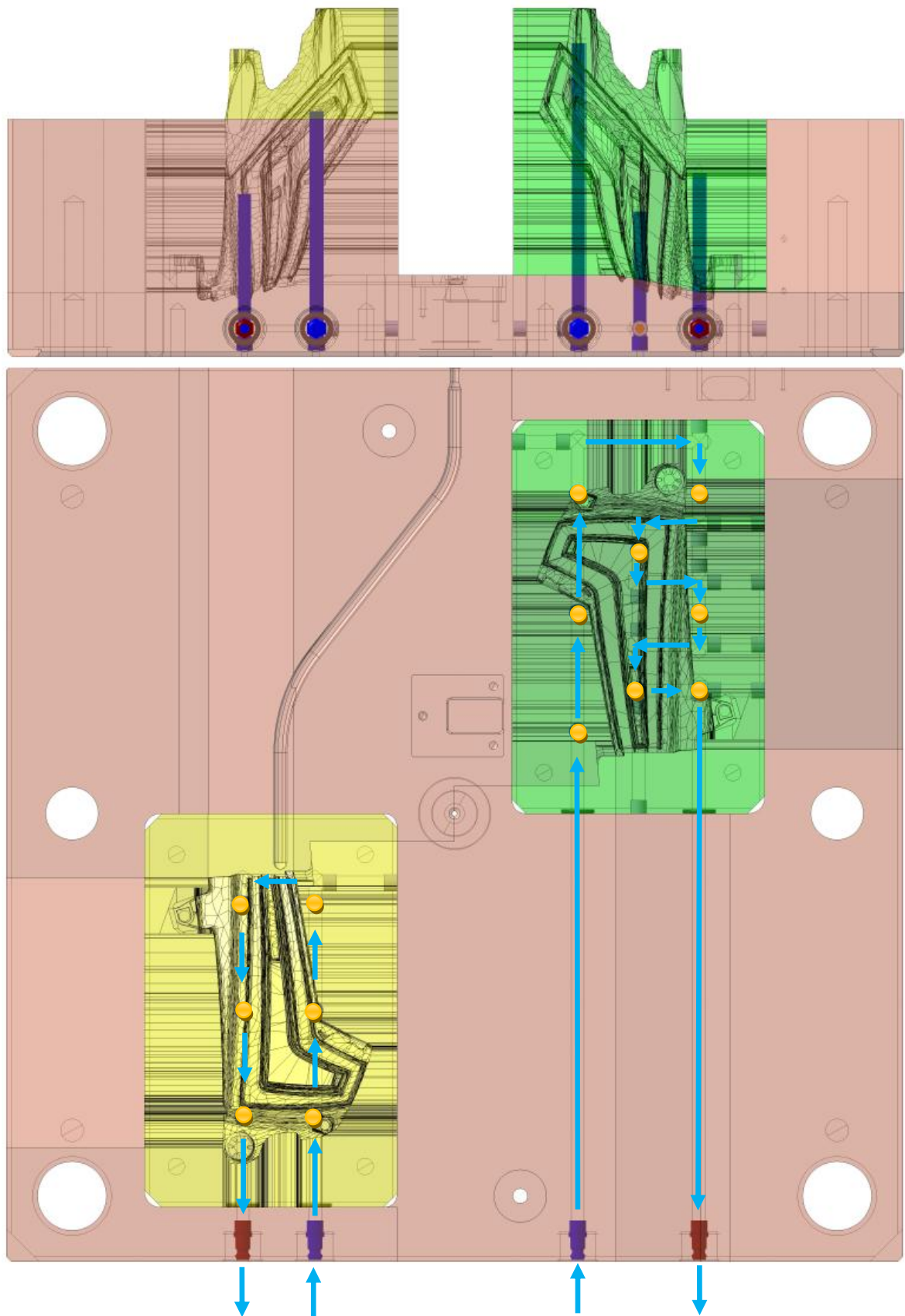


Obr. 54. 3D pohled na temperaci dutiny pro černý PC

Na následujících dvou obrázcích je vyobrazena levá a pravá kotevní deska včetně tvarových vložek, ve kterých je znázorněn tok temperačního média. Šipky znázorňují tok média a oranžové kolečka představují obtokové můstky, které mají rozlišné délky.



Obr. 55. Pohled na levou stranu vstřikovací formy



Obr. 56. Pohled na pravou stranu vstřikovací formy

11.5 Vyhazovací systém

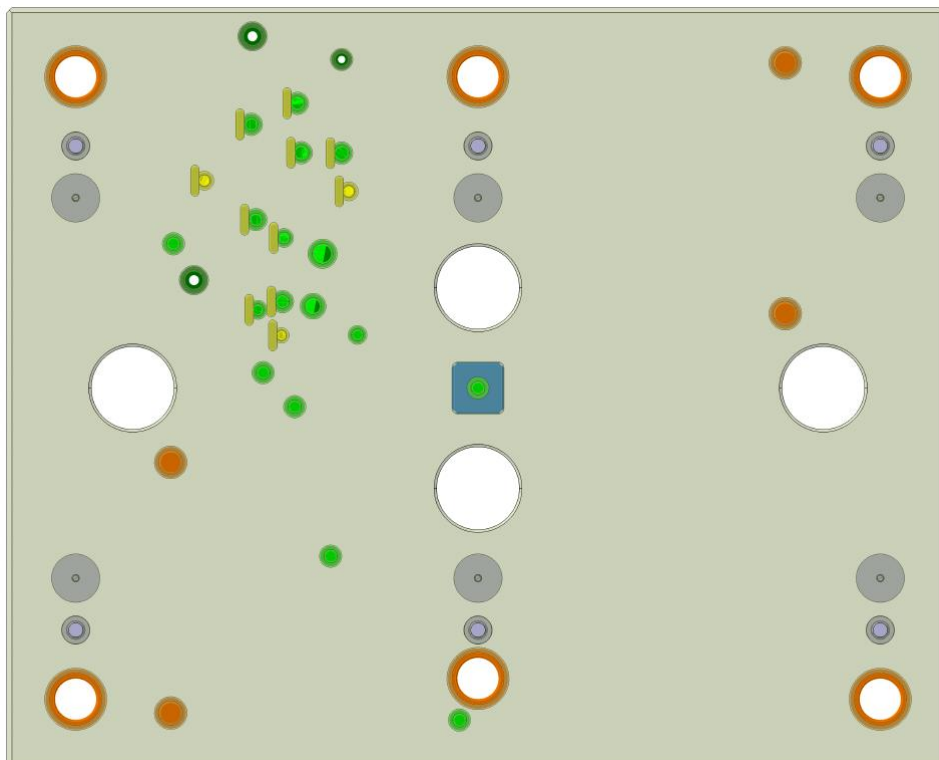
K odformování ochlazeného výrobku dochází až po zastříknutí obou materiálů do dutiny vstřikovací formy. Během odformování výrobku dochází k vyhození i vtokového systému pro oba materiály. Systém je ovládán vyhazovacím táhlem, které je ukotveno v opěrné desce vyhazovacího systému pomocí závitového kolíku a druhý konec se ukotví ve vstřikovacím stroji.

Vyhazovací systém má hnedka několik druhů vyhazovačů, které byly voleny s ohledem na tvar výrobku. Celý systém je díky jednomu tvárníku vyosen vůči středu, proto bylo použito 6 vodících pouzder a čepů.

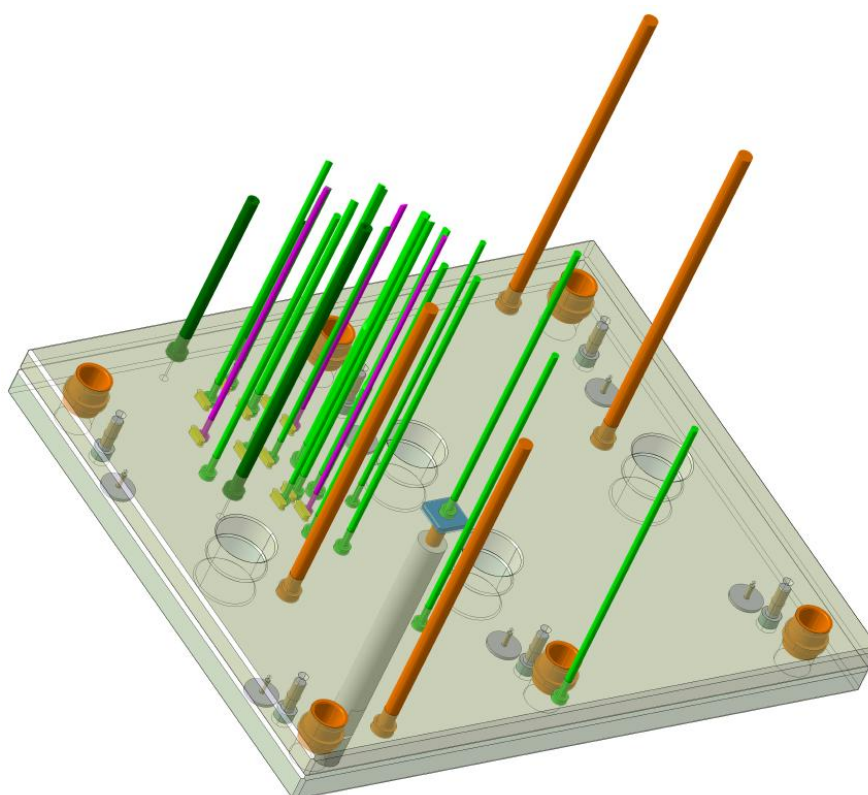
Vyhazovací systém obsahuje celkem 16 vyhazovačů, 7 přídržovačů a 4 odsunovače. Odsunovače byly voleny z důvodu bezpečnosti, aby nedošlo při manipulaci při zavřené formě k nabourání tvárnic vlivem posunu vyhazovačů. Jednotlivé vyhazovače jsou vypsány v tabulce včetně katalogového čísla.

Tab. 3. Zvolené vyhazovače

Vyhazovač (jádro)	Katalogové číslo	Počet
Válcový Ø4,2 mm	HASCO Z40/4,2x315	1 Ks
Válcový Ø4,5 mm	HASCO Z40/4,5x250	1 Ks
Válcový Ø5 mm	HASCO Z40/5x315	3 Ks
Válcový Ø5 mm	HASCO Z40/5x400	1 Ks
Válcový Ø6 mm	HASCO Z40/6x400	5 Ks
Válcový Ø6,5 mm	HASCO Z40/6,5x250	1 Ks
Válcový Ø7 mm	HASCO Z40/7x315	2 Ks
Prizmatický obdélníkový 7,5 x 2 mm	HASCO Z465/7,5x2/315	1 Ks
Prizmatický obdélníkový 9,5 x 2 mm	HASCO Z465/9,5x2/315	1 Ks
Trubkový vyhazovač 10 x 6 mm	HASCO Z45/10x6x175	1 Ks
Trubkový vyhazovač 10 x 6 mm	HASCO Z45/10x6x300	1 Ks
Trubkový vyhazovač 7 x 4,5 mm	HASCO Z45/7x4,5x160	1 Ks
Přídržovače		
Válcový Ø6 mm	HASCO Z40/6x315	6 Ks
Válcový Ø5 mm	HASCO Z40/5x315	1 Ks
Odsunovače		
Válcový Ø12 mm	HASCO Z40/12x400	4 Ks



Obr. 57. Pohled z dutiny vstřikovací formy na vyhazovací systém



Obr. 58. 3D pohled na vyhazovací systém

11.6 Odvzdušnění

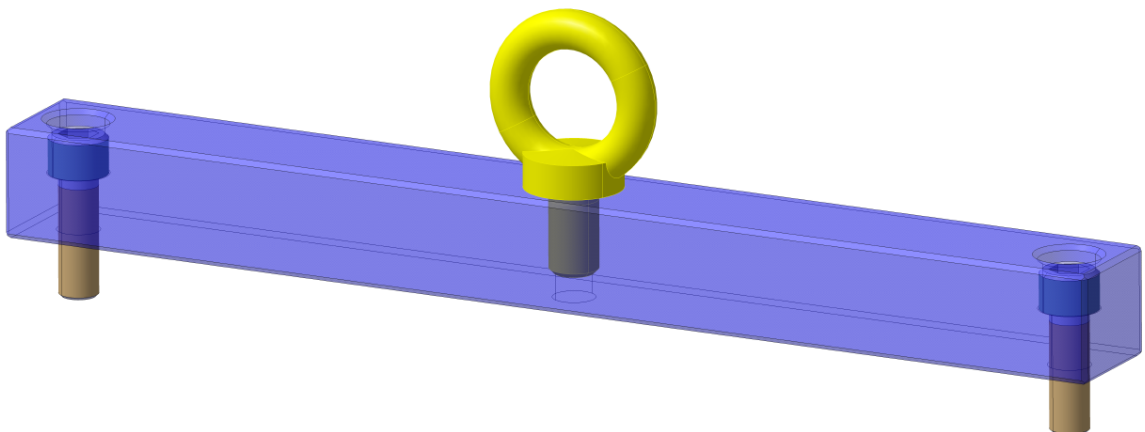
Odvzdušnění vstřikovací formy má vliv na kvalitu výstřiku, jelikož dutiny jsou po uzavření naplněny vzduchem, který při vstřikování roztaveného polymeru musí uniknout. U navržené vstřikovací formy byl únik uvažován vůle mezi vyhazovači, které byly umístěny v hlubokých místech, kde by se vzduch mohl hromadit. Dále byl únik vzduchu uvažován vůlí v dělicí rovině, zde je nutné, ale podotknout, že nesmí docházet k přestříknutí a vytvoření ořepů na hraně výstřiku.

11.7 Pomocné systémy

V následující kapitole byly ještě dále popsány vybrané systémy, které vstřikovací forma obsahuje.

11.7.1 Transportní systém

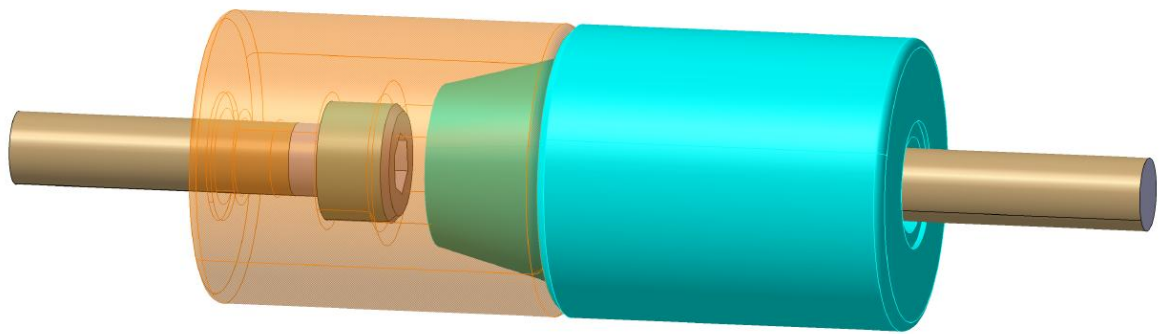
Navržená vstřikovací forma je opatřena transportním systémem v podobě transportního hranolu 45 x 50 mm, dvěma šrouby M16x50 pomocí kterých je ukotven hranol do upínacích desek formy. Posledním komponentem je šroubem s okem od firmy HASCO, který má nosnost 1200 kg (forma 1050 kg).



Obr. 59. Pohled na transportní systém

11.7.2 Středění vstřikovací formy

Vstřikovací forma je osazena vodícími čepý a vodícími pouzdry z normálií firmy HASCO. Průměry zvolených čepů jsou 32 mm. Dále je forma vybavena dostřed'ovacími válečky, které jsou celkem 4. Tento mechanismus je také použit z normálií HASCO. Systém je vyobrazen na obrázku 60.

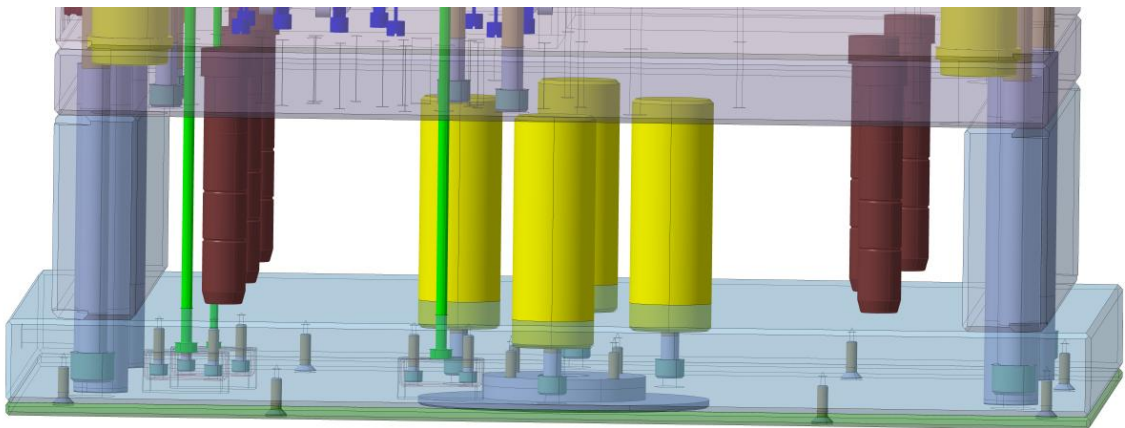


Obr. 60. Dostředovací systém formy

11.7.3 Rozpěrné sloupky

Vstřikovací forma je vybavena rozpěrnými sloupky, které jsou umístěny mezi opěrnou a upínací deskou na pohyblivé straně formy. Důvod použití byl, aby nedocházelo při vstřikování k průhybu opěrné desky a také, aby se zvýšila celková tuhost vstřikovací formy.

Průměr sloupků byl volen 45 mm a celkový počet je 4. Rozpěrné sloupky jsou na následujícím obrázku znázorněny žlutou barvou.



Obr. 61. Pohled na rozpěrné sloupky

12 TOKOVÉ ANALÝZY

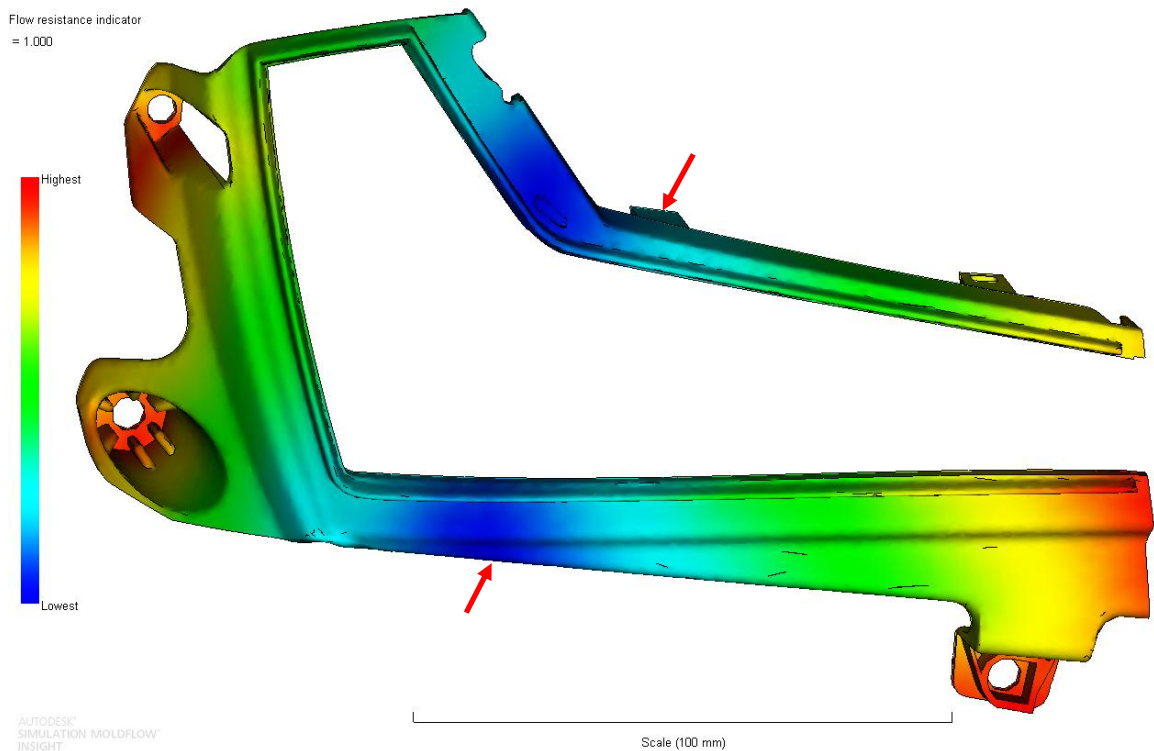
Samotná vstřikovací forma byla při konstrukci postupně analyzována v programu Moldflow. Nejprve byla provedena analýza na určení poloh vtokových ústí. Na základě tohoto výsledku a konstrukčních možností byly stanoveny celkem 4 vtokové ústí (3+1). Dále byla forma doladována pomocí analýzy plnění dvoukomponentního výstříku.

12.1 Analýzy umístění vtokových ústí

Pomocí této analýzy byly hledány optimální místa pro umístění vtokových ústí. Celkem byly provedeny tři analýzy. První analýza byla pro obvodový rám části světlometu. Druhá analýza bylo pro střední část světlometu a poslední byla pro světlovod.

12.1.1 Umístění vtokového ústí na obvodovém části

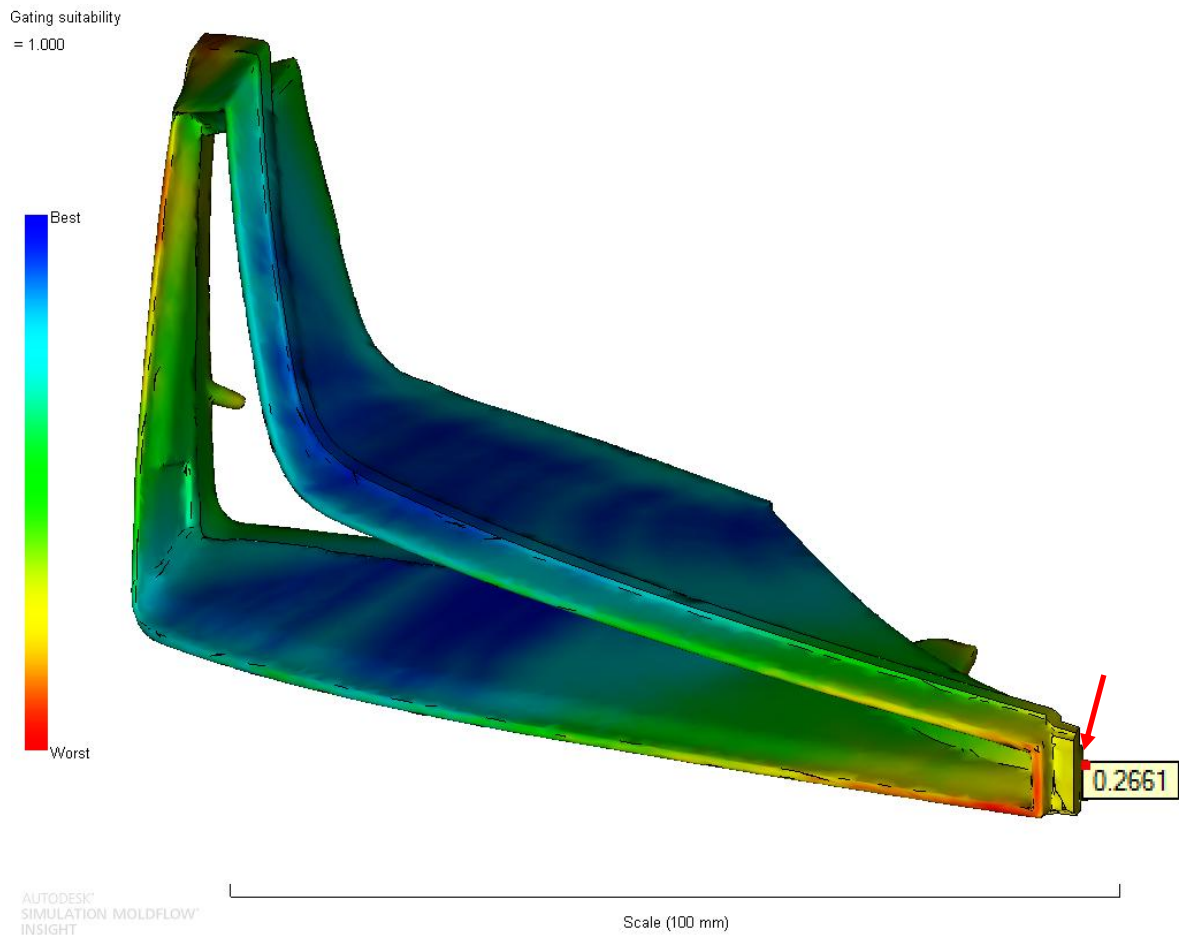
Pro obvodový část světlometu byly zvoleny dvě vtoková ústí. Důvodem je velikost a tvar výstříku. Předběžně zvolené místo vtokových ústí znázorňují na obrázku šipky. Na výsledku lze vidět odpor taveniny vůči toku, kdy modrá znázorňuje místa s nejmenším odporem a tedy místa nejvhodnější pro umístění vtokových ústí.



Obr. 62. Odpor taveniny vůči toku na obvodovém dílu

12.1.2 Umístění vtokového ústí na střední části světlometu

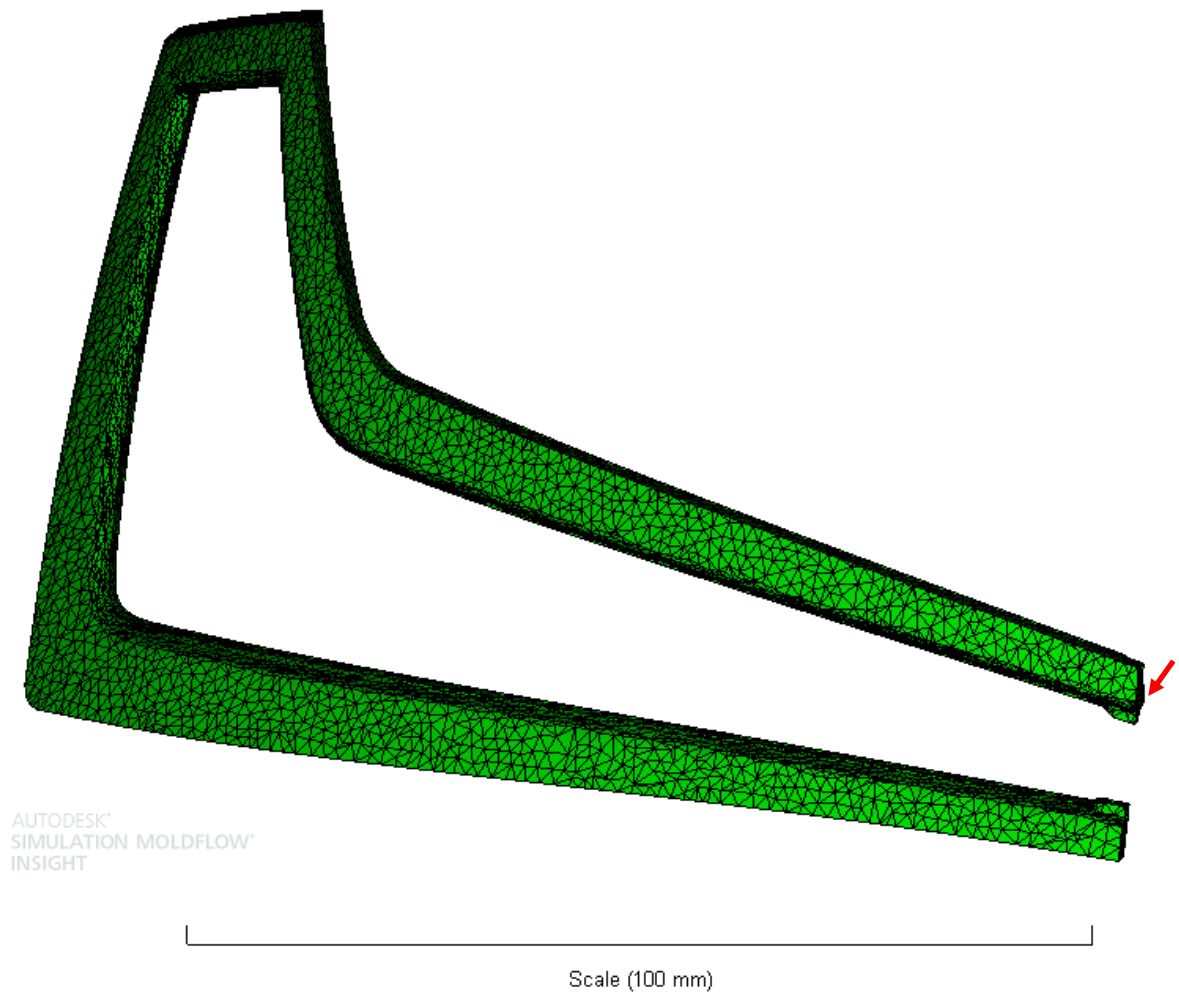
Zde bylo z důvodu konstrukčního řešení a možnosti vzhledem k výrobku zvoleno jedno vtokové ústí. Ve zvoleném místě je dle programu Moldflow vhodnost přibližně 27%. Poloha vtokového ústí nešlo zvolit na jiném místě, jelikož díl je z přední strany pohledový a plnění ze zadní strany by bylo velmi komplikované.



Obr. 63. Analýza umístění vtoku na střední části světlometu

12.1.3 Umístění vtokového ústí na světlovodu

Na tomto dílu bylo stanoveno pouze jedno vtokové ústí. Nelze zde volit více vtokových ústí, jelikož by při spojení čel taveniny došlo na funkční ploše k optické vadě. Tento díl byl plněný z boční strany, jak je vidět na následujícím obrázku. Místo umístění vtoku znázorňuje na obrázku šipka.



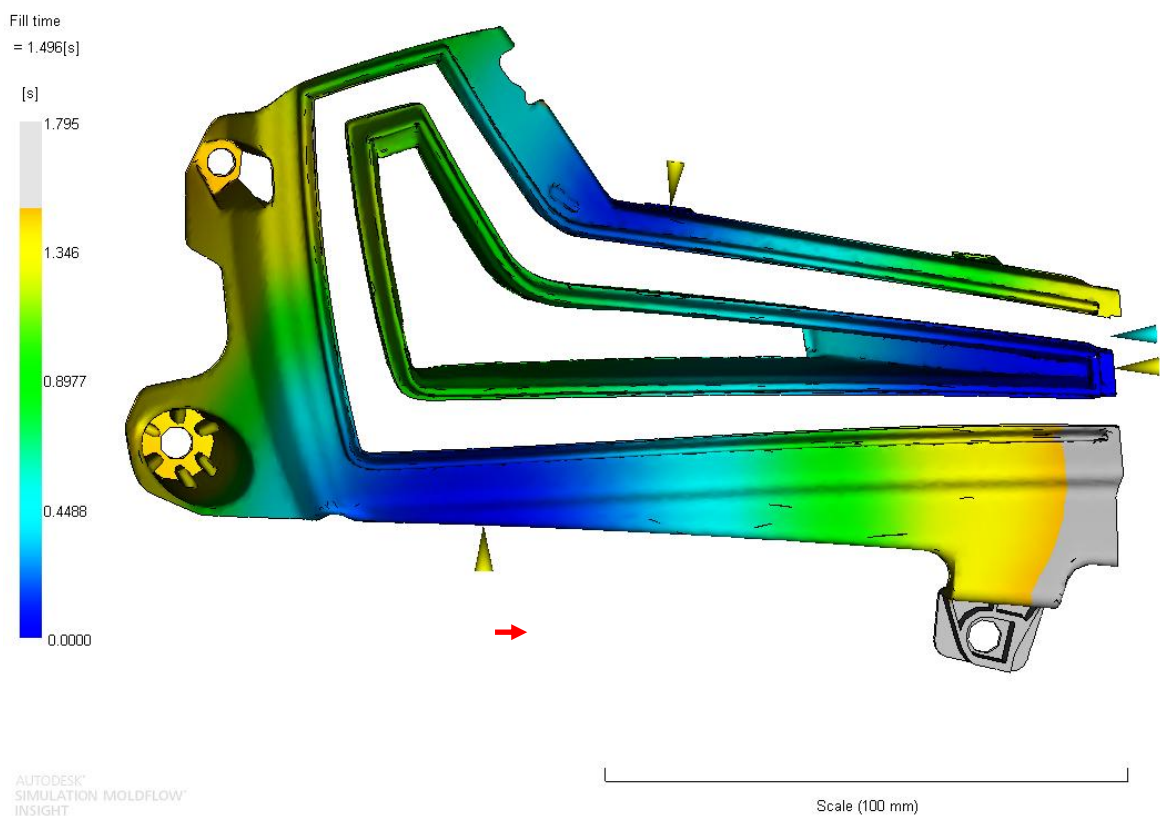
Obr. 64. Místo umístění vtoku na světlovodu

12.2 Analýzy plnění

Pomocí této analýzy byly optimalizovány polohy vtokových ústí, aby plnění dutiny vstřikovací formy bylo co možná nejrovnoměrnější. Aby nedocházelo vlivem přeplňování k nežádoucí deformaci po odformování výstřiku z dutiny formy. Dále bylo odladováno plnění pomocí průřezů vtokových ústí a rozvodných kanálů, kde se kontrolovaly jejich průřezy, zda nedochází při plnění k degradování materiálu nebo přeplňování výstřiku.

12.2.1 Analýza času plnění

Při první analýze byly kontrolovány polohy ústí vtoku, zda je dutina formy rovnoměrně zaplňována materiálem. Na obrázku 65. lze vidět, že plnění není optimální, jelikož už v levé straně došlo ke spojení čel taveniny, ale pravá strana dílu ještě stále není zaplněna. Proto bylo posunuto vtokové ústí posunuto více na pravou stranu.



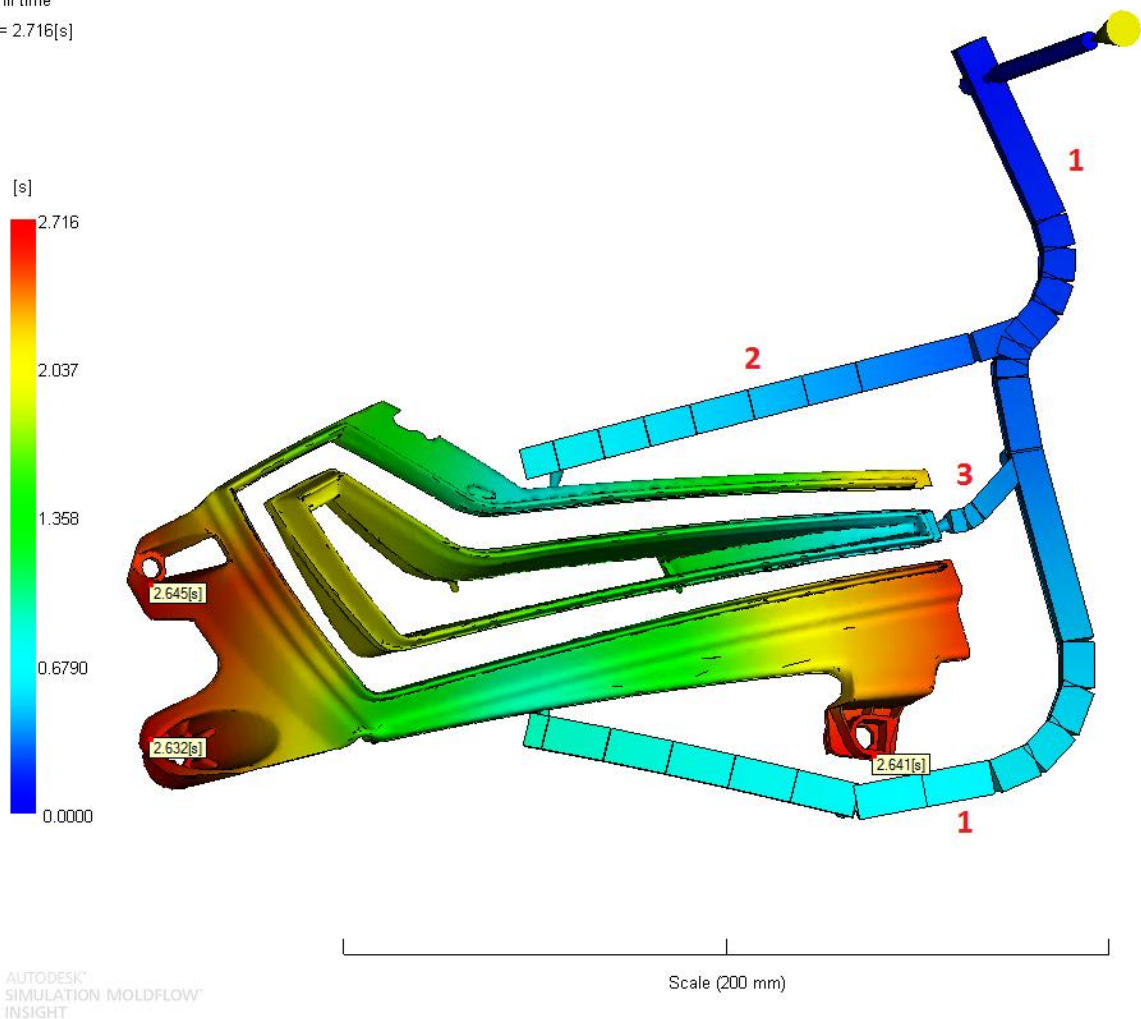
Obr. 65. Prvotní analýzy umístění vtokových ústí

Po zjištění tohoto problému, bylo posunuto vtokové ústí o hodnotu 14,5 mm na pravou stranu (viz. šipka na obrázku 65). Výsledkem bylo rovnoměrnější plnění. Tato analýza byla prováděna i s vtokovým systémem. Zvolené rozměry kanálů jsou zaznamenány v následující tabulce.

Tab. 4. Rozměry navrhnutého vtokového systému

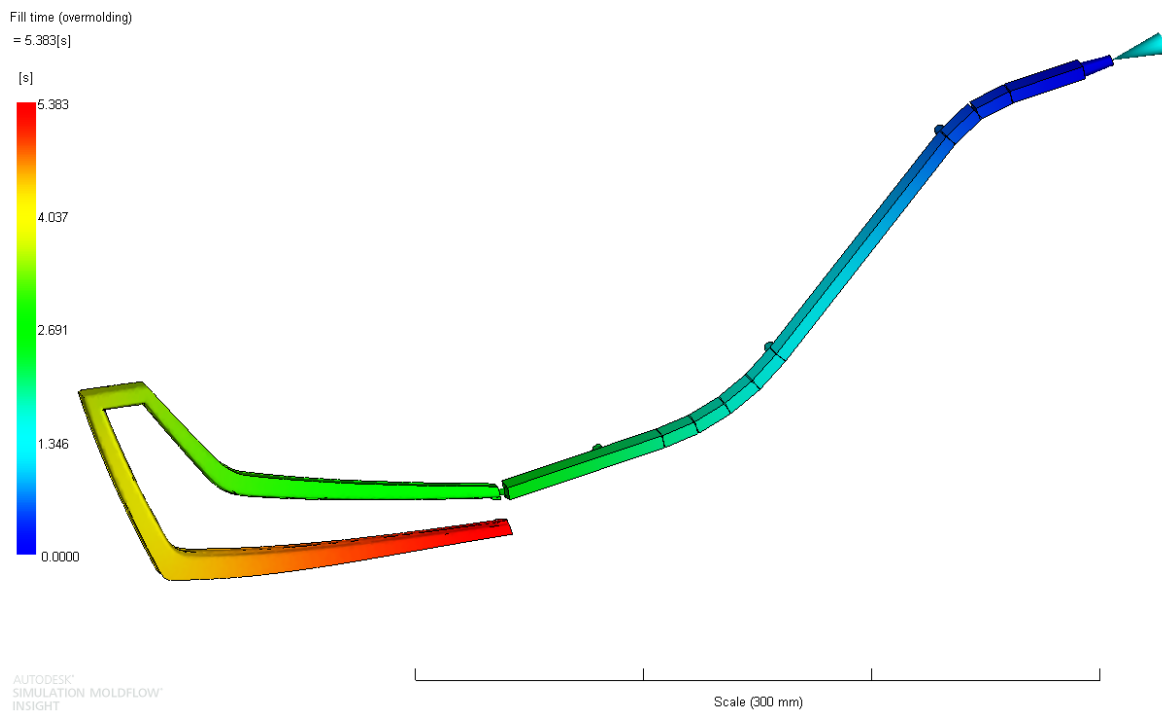
Číslo vtokového kanálu	Rozměr lichoběžníku	Vtokové ústí
1	9 x 6 x 6	2 x 1,8
2	8 x 5 x 6	1,8 x 5
3	6 x 4 x 5	1,8 x 4
4	6 x 8 x 6	2 x 4

Fill time
= 2.716[s]



Obr. 66. Analýza plnění u opraveného vtokového ústí

Po provedení výpočtu bylo zjištěno, že posunutí vtokového ústí celý proces plnění zlepšilo. Plnění je rovnoměrnější, ale čas plnění je příliš malý. Výsledkem je nedodržení smykové rychlosti $\leq 40\,000\text{ s}^{-1}$. Hodnota smykové rychlosti byla $90\,552\text{ s}^{-1}$. Proto byla provedena korekce času plnění a také, byla provedena korekce průřezů rozvodných kanálů a vtokových ústí.



Obr. 67. Analýza plnění světlovodu materiálu č. 2

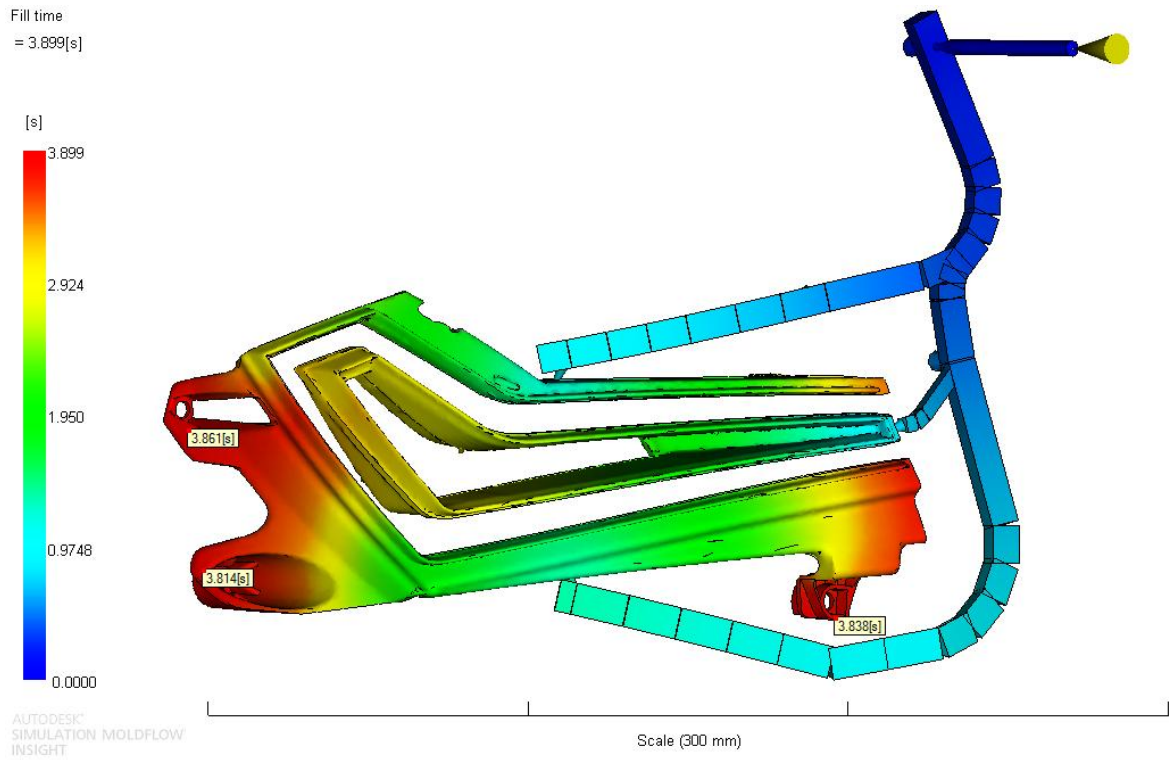
Při výpočtu analýzy světlovodu, bylo zjištěno, že reologické parametry se nachází v dovolených mezích. Zde došlo pouze ke korekci času plnění a ke snížení teploty materiálu při plnění. Docházelo totiž k překročení dovolené maximální teploty 320°C o 2°C.

Tab. 5. Zvolené rozměry vtokových kanálů

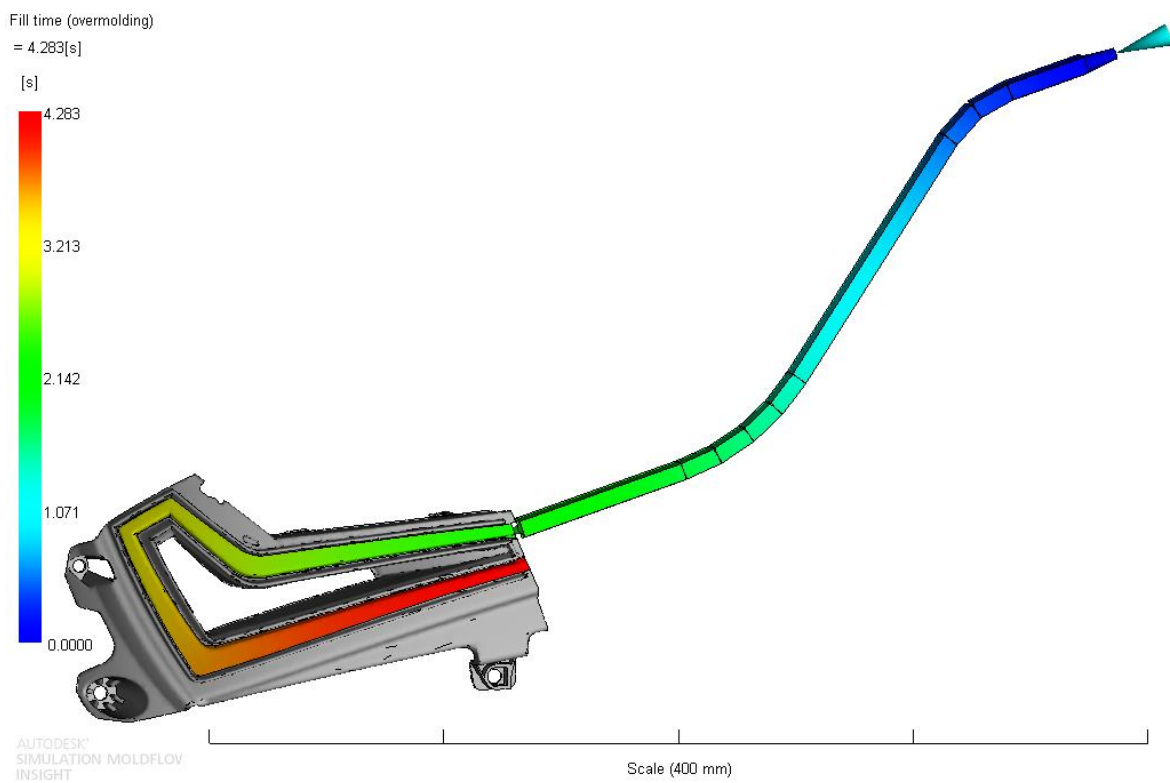
Číslo vtokového kanálu	Rozměr lichoběžník	Vtokové ústí
1	9 x 6 x 7	2,5 x 1,8
2	8 x 5,5 x 6	2 x 5
3	6 x 4 x 5	2 x 4
4	6 x 8 x 6	2 x 4

Po úpravě kanálu u dílů plněných černým PC a procesních podmínek bylo docíleno času plnění 3,9s a zároveň byl reologický parametr smyková rychlost v dovolené toleranci $38\,092\text{ s}^{-1} \leq 40\,000\text{ s}^{-1}$. Návrh lze označit za optimální i podle časů plnění v krajních místech viz obrázek 68.

Pro světlovod byly upraveny procesní podmínky a bylo dosaženo času plnění 4,3 s. Výsledek lze také označit za optimální, smyková rychlost dosahovala hodnot $8\,325\text{ s}^{-1}$.



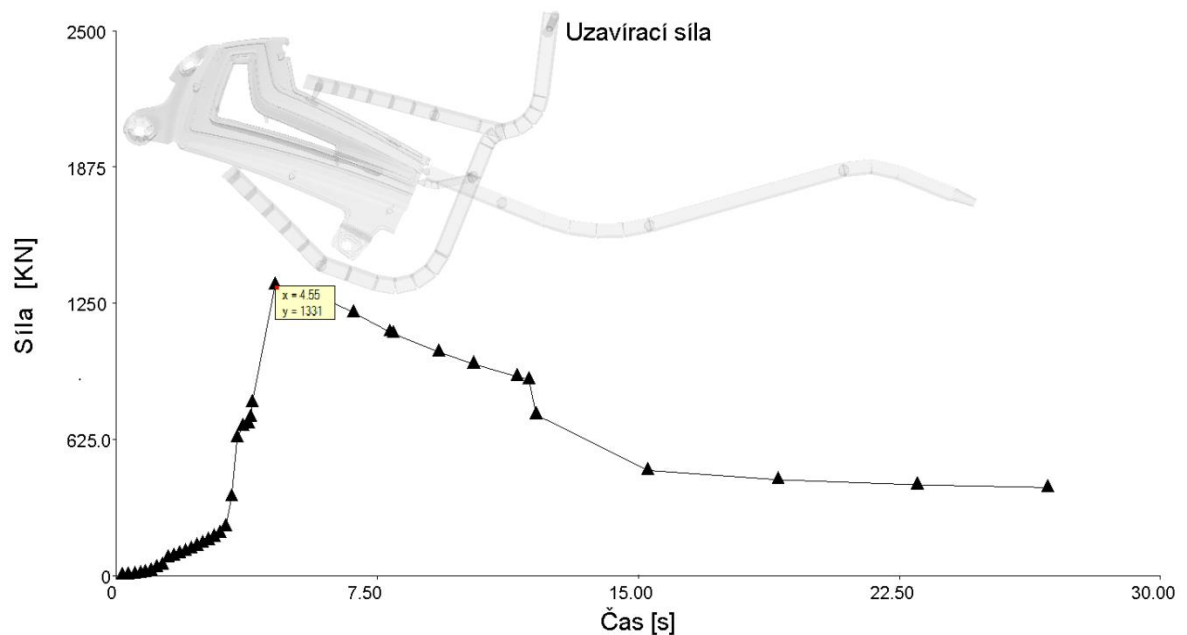
Obr. 68. Optimální plnění pro černý PC



Obr. 69. Optimální plnění pro světlovod

12.2.2 Uzavírací síla

Při vstřikování černého PC Moldflow vypočetlo potřebnou uzavírací sílu na hodnotu 1331 kN a to ve fázi dotlaku přibližně 4,5 s po začátku plnění. Tato hodnota byla zvětšena z důvodu bezpečnosti o 20% na hodnotu 1600 kN. Uzavírací síla stroje je 2500 kN. Pro vstřikování světlovodu platí, že hodnota potřebné uzavírací síly je pouze 620 (520) kN.



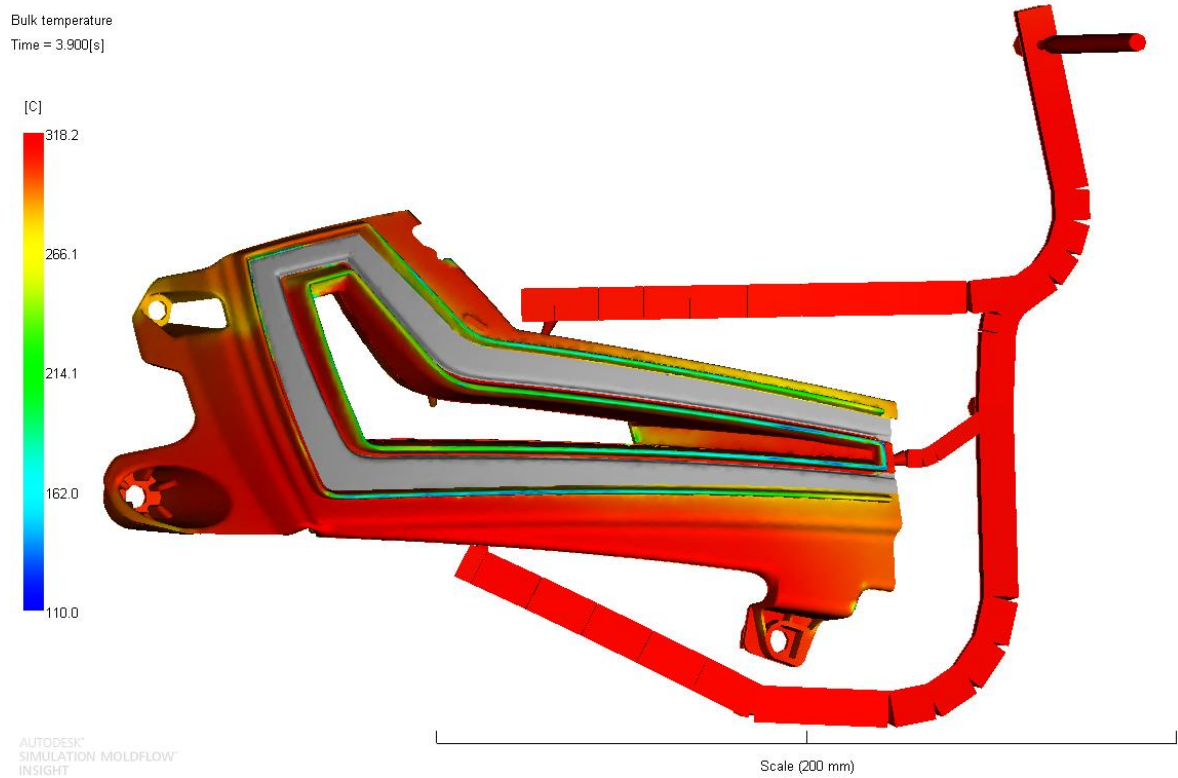
Obr. 70. Průběh uzavírací síly při vstřikování černého PC

12.2.3 Teplotní rozložení na konci plnění

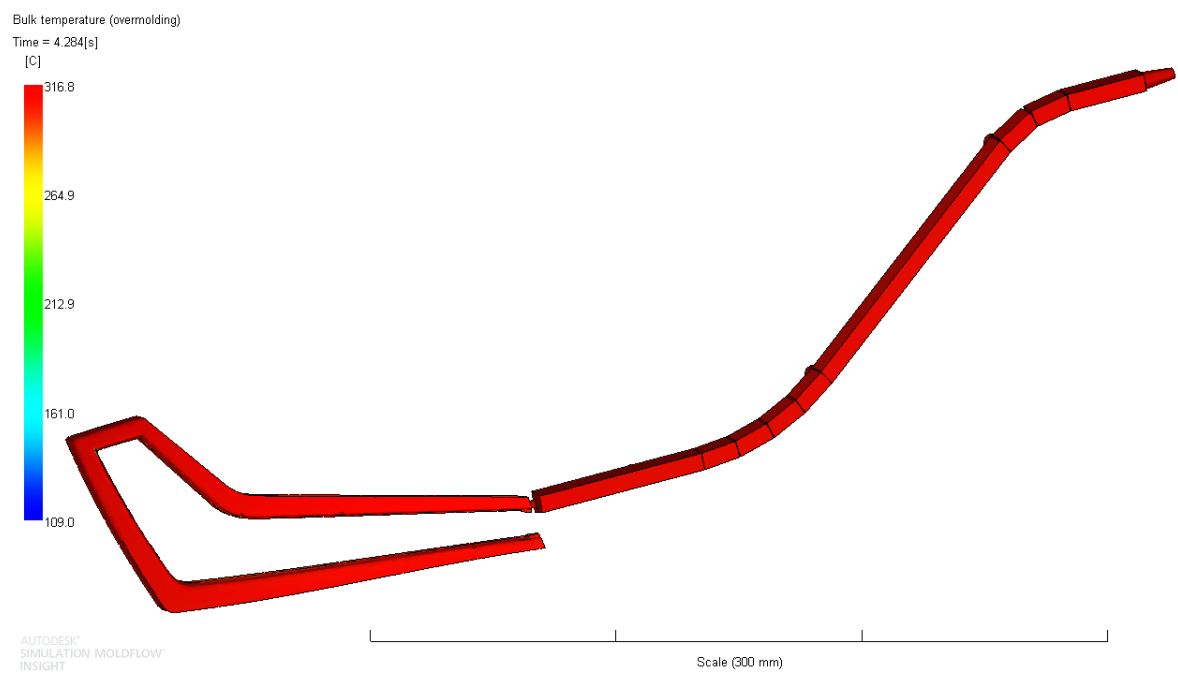
Na obrázcích 71 a 72 lze vidět teplotní pole taveniny na konci fáze plnění, kdy dochází k přepnutí na dotlak. V případě obou plnění nedochází k degradaci materiálu vlivem přehřátí taveniny nad maximální teplotu 320°C.

Pro vstřikování černého PC, že materiál je stále roztaven a fáze dotlaku bude účinná. Pouze pár míst na výrobku už má nízkou teplotu, jedná se především o zaoblené konce ploch, kde už dotlak nebude hrát roli.

Pro vstřikování světlovodu platí, že materiál je stále roztaven na teplotu tečení. Lze zde předpokládat, že nebudou vznikat optické vady od fáze dotlaku.



Obr. 71. Teplotní pole na konci plnění před dotlakem pro černý PC



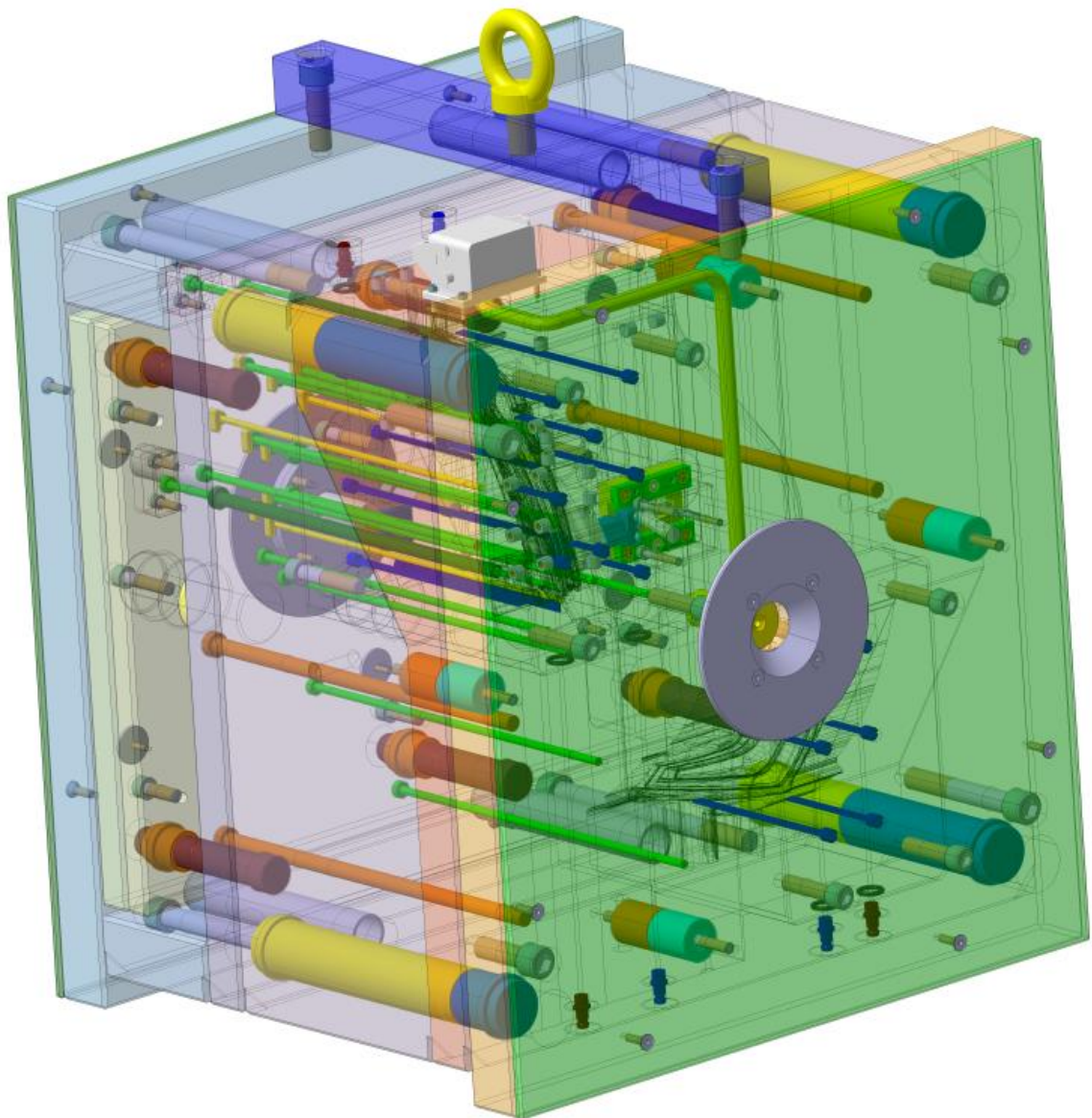
Obr. 72. Teplotní pole na konci plnění před dotlakem pro transparentní PC

12.3 Procesní podmínky

Celý proces analyzování vyžaduje nastavení procesních podmínek, podle kterých výpočet probíhal. Pro navrženou vstřikovací formu platí následující procesní podmínky, které jsou uvedeny v tabulce.

Tab. 6. Procesní podmínky

Parametr	Hodnota
Typ vstřikovacího stroje	Arburg ALLROUNDER 630S m-c
Čas plnění pro černý PC	3,9s
Čas plnění pro transparentní PC	4,3s
Fáze dotlaku pro černý PC	4s – 80% a 4s 70% plnicího tlaku
Fáze dotlaku pro transparentní PC	4s – 80% a 4s 70% plnicího tlaku
Teplota povrchu formy	110°C
Teplota tavení obou materiálů	298°C
Přepnutí na fázi dotlaku	99% zaplnění (vychází z času plnění)
Označení černého PC	Makrolon 2607 - Black
Označení transparentního PC	Makrolon AL2647 - Transparent



Obr. 73. Pohled na navrženou vstřikovací formu

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem diplomové práce bylo v teoretické rovině navrhnout vstříkovací formu na výrobu dílu, který byl zadán vedoucím diplomové práce. Jedná se o část světlometu, kdy rozměry dílu jsou 150 x 135 mm a výška je 145 mm. Objem výstřiku je 79 cm³ a hmotnost 92 g. Tento výrobek je vyráběn technologií dvoukomponentního vstříkování.

Navržená vstříkovací forma měla být plně funkční se všemi potřebnými komponenty, které forma musí obsahovat. Při konstrukčním návrhu bylo využíváno normálií firmy HASCO. Násobnost vstříkovací formy byla zadána vedoucím jako jednonásobná s kombinací studeného a horkého vtokového systému. Horký vtokový systém je v tomto případě zastoupen vyhřívanou vtokovou tryskou pro přívod černého PC. Studený vtokový systém byl využit na rozvodné kanály a vtokové ústí. Pro vstříkování transparentní části bylo využito pouze studeného vtokového systému. Desky, které přichází do kontaktu s roztaveným polymerem, byly voleny z materiálu 1.2343. Materiál ostatních desek byl volen 1.0570.

Koncepce vstříkovací formy byla zvolena následovně. Nejprve dochází k vstříknutí černého PC, pro který vytvoří tvárník s vyhazovači a bočním odformováním spolu s tvárnicí č. 1 dutinu. Po ochlazení dochází k otevření vstříkovací formy. Během otevírání se odsouvá boční posuvná kostka, která se vrací na své místo až při opětovném cyklu. Pohyblivá strana formy se otočí o 180° a dochází k opětovnému zavření formy, z dutiny se nic nevyjímá při otáčení. Jakmile se forma uzavře, dochází ke vstříknutí transparentního PC ve vertikálním směru. Pro materiál vytvoří dutinu tvárnice č. 2 spolu s tvárníkem a již vstříknutou částí. Jakmile je celý výstřík ochlazen, dochází k otevření vstříkovací formy. Zde přichází na řadu vyhazovací systém, který vysune výstřík o hodnotu 55 mm a stále drží výstřík na středových přídržovačích. Z těchto přídržovačů díl odebere robot, který bude mít pracovní hlavu vybavenou podtlakovými přísavkami.

Materiály, které byly zvoleny pro vstříkování, mají úpravu pro použití v automobilovém průmyslu a to na oblast světlometů. Jedná se o materiály od firmy Bayer s označením Makrolon 2607 Black a Makrolon AL2647.

Zadaný díl byl naskenován optickým skenerem ATOS II Triplescan od firmy GOM. Díl se před samotným skenováním musel upravit nástřikem antireflexní vrstvy. Po úpravě dílu bylo provedeno samotné skenování. Výstupem byly data ve formátu STL. Tyto data se upravily v programu GOM, který dodává společnost k optickému skeneru. Po úpravě byl

model nahrán do příslušného modulu v programu CATIA. Zde se provedlo automatické vytvoření ploch a následné převedení na objem. Po převedení na objem se provedly na dílu opravy a pomocí modulu Core & Cavity Design se vytvořily tvarové plochy pro vytvoření tvárníku a tvárnic.

Samotná konstrukce vstřikovací formy probíhala následovně. Vytvořily se tvarové vložky, jeden tvárník a dvě tvárnice, kdy jedna slouží ke vstřikování černého PC a druhá tvoří dutinu pro vstříknutí transparentní části. Z velikosti tvarových vložek a nutných komponent se navrhla velikost kotevních desek, které mají rozměr 546 mm. Následně bylo vytvořeno boční odformování spolu s vtokovým systémem. Dalším krokem bylo vytvoření ostatních systémů, jako je vyhazovací systém, středící systém atd. A na závěr byly dodělány klasické komponenty, které každá vstřikovací forma obsahuje (šrouby atd.).

Během celého návrhu vstřikovací formy bylo využíváno programu Moldflow, který slouží na tokové analýzy polymerní taveniny. Zde byla provedena prvotní analýza, ze které se vycházelo. Následně byla forma podrobena optimalizaci a proběhlo několik úprav, aby plnění dutin bylo optimální. Výsledkem je optimální plnění, kdy hodnota plnění černého PC je 3,9 s a fáze dotlaku trvá 8 s, plnění transparentní části trvá 4,3 s a fáze dotlaku trvá 8 s. V závěru kapitoly tokové analýzy jsou uvedeny procesní podmínky, které byly zadány při výpočtu analýz.

ZÁVĚR

V teoretické části diplomové práce byl popsán princip technologie vstřikování a materiály, které se touto technologií zpracovávají. Dále je popsána konstrukce výstřiků a vstřikovacích forem. V závěru teoretické části jsou vzpomenuty speciální způsoby vstřikování.

Praktická část se zabývá popisem zadaného dílu. Následně je popsáno samotné skenování dílu a jeho následná úprava až po vytvoření 3D modelu. Následuje samotný konstrukční návrh vstřikovací formy v programu CATIA s využitím normálií od firmy HASCO. Během návrhu byl využit program na tokové analýzy Moldflow.

Úkolem bylo navrhnout vstřikovací formu včetně všech příslušných komponentů. Konstrukční návrh formy je doložen výkresovou dokumentací, která obsahuje 2D řez vstřikovací formou, kusovník, řez vyhadzovacím systémem a pohledy do levé a pravé strany formy). V příloze se nachází materiálové listy obou zvolených materiálů, dále procesní podmínky pro dané materiály, technické parametry zvoleného vstřikovacího stroje, 2D výkresová dokumentace a DVD disk na kterém se nachází 3D model výrobku, 3D model navržené vstřikovací formy včetně výkresové dokumentace, analýzy umístění vtoku a tokové analýzy a kompletní zprávu.

Výsledkem diplomové práce je konstrukční návrh vstřikovací formy. V případě výroby formy podle tohoto návrhu by se po vyrobení jednalo o plně funkční vstřikovací formu pro výrobu zadaného výrobku. Pro snadnější a rychlejší návrh a výrobu byly využívány normálie v tomto případě od německé firmy HASCO. Její funkčnost je podložena tokovými analýzami v programu Moldflow. Výsledky analýz lze označit za optimální a výše jsou prezentovány jejich výsledky včetně komentářů. Princip a výrobní cyklus vstřikovací formy byl popsán v diskuzi výsledků. Celkový rozměr vstřikovací formy je 546 mm x 596 mm a výška 470 mm. Hmotnost kompletní vstřikovací formy je 1050 kg.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

monografie

- [1] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. 1.vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009. 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [2] MÉZL, Milan. *Základy technológie vstrekovania plastov*. Olomouc: Mapro, 2012. 301 s. ISBN 978-80-970749-7-5.
- [3] 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.
- [4] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl - Vstřikování termoplastů*. 2.upr. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 133 s.
- [5] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl - Vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [6] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II*. 1. vydání. Brno: VUT, 1990. 199s. ISBN 80-214-0213-X
- [7] KAMAL, Musa R, Avraam I ISAYEV a Shih-Jung LIU. *Injection molding: technology and fundamentals*. Munich: Hanser, c2009, xxviii, 926 s. ISBN 978-1-56990-434-3.
- [8] TOMIS, F. *Základy gumárenské a plastikářské technologie*. 2. vydání. Brno: VUT Brno, 1980. 278 s.
- [9] GASTROW, Hans. *Injection Molds: 130 proven design*. 3rd ed. Munich: Hanser Publisher, 2002. 313s. ISBN 3-446-21448-8.
- [10] RESS, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Munich: Hanser Publisher, 2002. 688s. ISBN 3-446-21659-6.
- [11] ROSATO, D. V., ROSATO, D. V., ROSATO, M. G. *Injection Molding Handbook (3rd Edition)*. NYC, NY, USA: Springer - Verlag, 2000. 1485s. ISBN 978-0-7923-8619-3.
- [12] BRUMEL, M. a kol. *Rozměrově přesné výrobky z plastů*. 1. vyd. Praha: VÚNM, 1977. 272 s.
- [13] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986. 229 s.
- [14] PLESNÍK, David. *Návrh vstřikovací formy pro výrobu dílu palubní desky: bakalářská práce*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická, 2013. 64s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Staněk Ph.D.
- [15] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 1st ed. Munich: Hanser, c2004, xvi, 286 s. ISBN 1569903476.

internetové zdroje

- [16] Temperace [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c6/TS.pdf>.
- [17] Plasty [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm>.
- [18] Vtokové soustavy [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/VS.pdf>.
- [19] Vstřikování plastů [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm>.
- [20] Vstřikovací stroj Arburg [online]. [cit. 2015-01-30]. Dostupné z WWW:
<<http://konferencje.eplastics.pl/academy/files/2011/01/allrounder-470-c.jpg>>.
- [21] Arburg [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW:
<<http://www.arburg.com/cs/cz/reseni>>.
- [22] Arburg [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW:
<<http://www.arburg.com/cs/reseni/processes/vicekomponentni-vstrikovani/#!prettyPhoto>>.
- [23] Horké trysky [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW:
<<http://www.jansvoboda.cz/nove-samostatne-trysky-s-jednoduchym-topenim>>.
- [24] Hasco [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.hasco.com>>.
- [25] Vyhřívané vtokové soustavy [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z WWW:
<http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf>.
- [26] Speciální způsoby vstřikování [online]. [cit. 2015-03-10]. Dostupné z WWW:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/05.htm>.
- [27] Arburg 570 S [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z WWW:
<www.arabplasticsnews.com>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvourozměrný prostor
3D	Trojrozměrný prostor
IT	Stupeň přesnosti
PA	Polyamid
PP	Polypropylen
PC	Polycarbonat
PVC	Polyvinylchlorid
pV _T	Závislost tlaku, měrného objemu a teploty
T _f	Teplota tečení (plastického toku) [°C]
T _g	Teplota skelného přechodu [°C]
T _m	Teplota tání [°C]
VS	Vyhazovací systém

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Vstřikovací cyklus [5]</i>	15
<i>Obr. 2. Vstřikovací stroj [20]</i>	16
<i>Obr. 3. Uzavírací jednotka hydraulická [21]</i>	17
<i>Obr. 4. Schéma procesu na řídicím panelu stroje [22]</i>	18
<i>Obr. 5. pV diagram [1]</i>	21
<i>Obr. 6. Řez vstřikovací formou [14]</i>	26
<i>Obr. 7. Průběh smrštění [1]</i>	29
<i>Obr. 8. Studená vtoková soustava [18]</i>	30
<i>Obr. 9. Průřezy vtokových kanálů [15]</i>	30
<i>Obr. 10. Plný kuželový vtok [15]</i>	31
<i>Obr. 11. Bodový vtok [15]</i>	32
<i>Obr. 12. Tunelový vtok [15]</i>	32
<i>Obr. 13. Návrh tunelového vtokového ústí [15]</i>	33
<i>Obr. 14. Srpkovitý vtok [15]</i>	33
<i>Obr. 15. Boční obdélníkový vtok [15]</i>	33
<i>Obr. 16. Filmový vtok [15]</i>	34
<i>Obr. 17. Plnění více vtoky [15]</i>	34
<i>Obr. 18. Horká tryska firmy Thermoplay [23]</i>	35
<i>Obr. 19. Vytápěný rozvodný blok [25]</i>	36
<i>Obr. 20. Válcový vyhazovač [24]</i>	37
<i>Obr. 21. Prizmatický vyhazovač [24]</i>	37
<i>Obr. 22. Trubkový vyhazovač [24]</i>	38
<i>Obr. 23. Šikmý válcový kolík [24]</i>	39
<i>Obr. 24. Dvoukomponentní vstřikování [26]</i>	44
<i>Obr. 25. Dvoukomponentní vstřikovací stroj [21]</i>	44
<i>Obr. 26. Nastavení dvoukomponentního vstřikování [21]</i>	46
<i>Obr. 27. Pohled z přední strany na vymodelovaný výrobek</i>	50
<i>Obr. 28. Pohled ze zadní strany na vymodelovaný výrobek</i>	50
<i>Obr. 29. Pohled na reálný výrobek</i>	51
<i>Obr. 30. Skenovací zařízení ATOS II</i>	51
<i>Obr. 31. Úprava dílu před skenováním</i>	52
<i>Obr. 32. Průběh skenování</i>	53

<i>Obr. 33. Záběr na skenovací zařízení a skenovaný výrobek.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 34. Pořízené snímky a poskládaný obraz součásti</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 35. Úprava defektů v programu GOM</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 36. Upravený model v programu GOM.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 37. 3D pohled na finální model zadaného výrobku.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 38. Ilustrativní obrázek zvoleného typu stroje [27]</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 39. Otočná deska stroje [21]</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 40. Pohled na levou stranu vstřikovací formy</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 41. Pohled na pravou stranu vstřikovací formy</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 42. Plocha pro vytvoření tvárníku</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 43. Plocha pro vytvoření tvárnice č. 1</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 44. Plocha pro vytvoření tvárnice č. 2</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 45. Tvárník.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 46. Tvárnice č. 1</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 47. Tvárnice č. 2</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 48. Přidržovače na výrobku.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 49. Otvor pro boční odformování.....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 50. Pohled na boční odformování</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 51. Pohled na zaformování boční čelisti</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 52. Schéma vtokového systému pro černý PC</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 53. Schéma vtokového systému pro transparentní PC</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 54. 3D pohled na temperaci dutiny pro černý PC.....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 55. Pohled na levou stranu vstřikovací formy.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 56. Pohled na pravou stranu vstřikovací formy</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 57. Pohled z dutiny vstřikovací formy na vyhazovací systém.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 58. 3D pohled na vyhazovací systém.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 59. Pohled na transportní systém</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 60. Dostřed'ovací systém formy</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 61. Pohled na rozpěrné sloupky</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 62. Odpor taveniny vůči toku na obvodovém dílu</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 63. Analýza umístění vtoku na střední části světlometu</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 64. Místo umístění vtoku na světlovodu.....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 65. Prvotní analýzy umístění vtokových ústí</i>	<i>81</i>

<i>Obr. 66. Analýza plnění u opraveného vtokového ústí</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 67. Analýza plnění světlovodu materiálu č. 2</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 68. Optimální plnění pro černý PC</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 69. Optimální plnění pro světlovod</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 70. Průběh uzavírací síly při vstřikování černého PC</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 71. Teplotní pole na konci plnění před dotlakem pro černý PC.....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 72. Teplotní pole na konci plnění před dotlakem pro transparentní PC.....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 73. Pohled na navrženou vstřikovací formu</i>	<i>88</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Parametry skenovacího zařízení.....</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 2. Základní parametry stroje a navržené vstříkovací formy.....</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 3. Zvolené vyhazovače</i>	<i>74</i>
<i>Tab. 4. Rozměry navrhnutého vtokového systému</i>	<i>82</i>
<i>Tab. 5. Zvolené rozměry vtokových kanálů.....</i>	<i>83</i>
<i>Tab. 6. Procesní podmínky</i>	<i>87</i>

SEZNAM PŘÍLOH

- PI Materiálový list Makrolon 2607
- PII Materiálový list Makrolon AL 2647
- PIII Procesní a zpracovatelské podmínky
- PIV Technické parametry stroje
- PV Výkresová dokumentace - 2D řez, kusovník, řez vyhazovacím systémem a pohledy do pravé a levé strany vstřikovací formy
- PVI DVD - disk

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST MAKROLON 2607

CAMPUS® Datasheet

Makrolon® 2607 - PC
Bayer MaterialScience



Product Texts

- MVR (300 °C/1.2 kg) 12 cm³/10 min
- general purpose
- medium viscosity
- UV stabilized
- easy release
- available in transparent, translucent and opaque colors

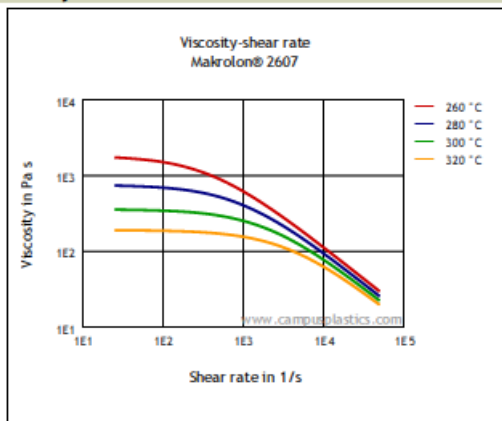
Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate, MVR	12	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	300	°C	ISO 1133
Load	1.2	kg	ISO 1133
Molding shrinkage, parallel	0.7	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	0.8	%	ISO 294-4, 2577
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	2400	MPa	ISO 527-1/-2
Yield stress	66	MPa	ISO 527-1/-2
Yield strain	6.1	%	ISO 527-1/-2
Nominal strain at break	>50	%	ISO 527-1/-2
Tensile creep modulus, 1h	2200	MPa	ISO 899-1
Tensile creep modulus, 1000h	1900	MPa	ISO 899-1
Charpy impact strength, +23 °C	N	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength, -30 °C	N	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Puncture - maximum force, +23 °C	5400	N	ISO 6603-2
Puncture - maximum force, -30 °C	6300	N	ISO 6603-2
Puncture energy, +23 °C	60	J	ISO 6603-2
Puncture energy, -30 °C	65	J	ISO 6603-2
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Glass transition temperature, 10 °C/min	143	°C	ISO 11357-1/-2
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	123	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load, 0.45 MPa	135	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature, 50 °C/h 50N	143	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion, parallel	65	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, normal	65	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at thickness h	V-2	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	0.8	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL	-	-
Oxygen index	28	%	ISO 4589-1/-2
Electrical properties	Value	Unit	Test Standard
Relative permittivity, 100Hz	3.1	-	IEC 60250
Relative permittivity, 1MHz	3	-	IEC 60250
Dissipation factor, 100Hz	5	E-4	IEC 60250
Dissipation factor, 1MHz	90	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	>1E13	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	>1E15	Ohm	IEC 60093
Electric strength	34	kV/mm	IEC 60243-1

Makrolon® 2607 - PC
Bayer MaterialScience

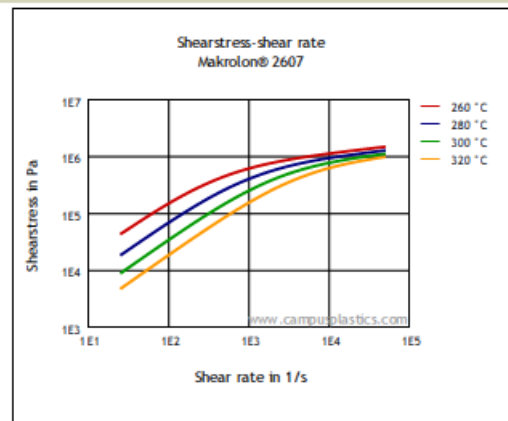
Comparative tracking index	250	-	IEC 60112
Other properties			
Water absorption	0.3	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	0.12	%	Sim. to ISO 62
Density	1200	kg/m ³	ISO 1183
Material specific properties			
Luminous transmittance	89	%	ISO 13468-1, -2
Rheological calculation properties			
Density of melt	1020	kg/m ³	-
Thermal conductivity of melt	0.214	W/(m K)	-
Spec. heat capacity of melt	2100	J/(kg K)	-
Eff. thermal diffusivity	1E-7	m ² /s	-
Ejection temperature	130	°C	-
Test specimen production			
Injection Molding, melt temperature	290	°C	ISO 294
Injection Molding, mold temperature	80	°C	ISO 10724
Injection Molding, injection velocity	200	mm/s	ISO 294

Diagrams

Viscosity-shear rate



Shearstress-shear rate



PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST MAKROLON AL 2647

CAMPUS® Datasheet

Makrolon® AL2647 - PC
Bayer MaterialScience



Product Texts

- MVR (300 °C/1.2 kg) 12 cm³/10 min
- Automotive lighting
- medium viscosity
- UV stabilized
- easy release
- available in clear transparent colors and in various signal colors
- headlamp lenses for automotive forward lighting

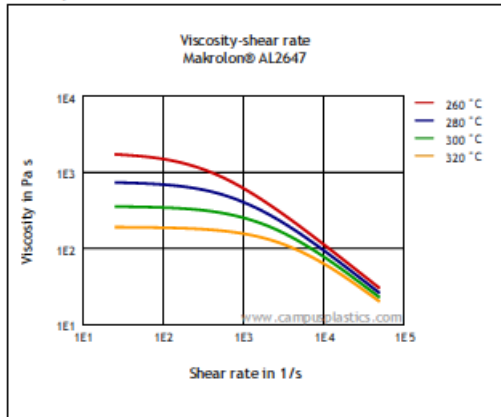
Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate, MVR	12	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	300	°C	ISO 1133
Load	1.2	kg	ISO 1133
Molding shrinkage, parallel	0.7	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	0.8	%	ISO 294-4, 2577
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	2400	MPa	ISO 527-1/-2
Yield stress	67	MPa	ISO 527-1/-2
Yield strain	6.1	%	ISO 527-1/-2
Nominal strain at break	>50	%	ISO 527-1/-2
Tensile creep modulus, 1h	2200	MPa	ISO 899-1
Tensile creep modulus, 1000h	1900	MPa	ISO 899-1
Charpy impact strength, +23 °C	N	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength, -30 °C	N	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Puncture - maximum force, +23 °C	5400	N	ISO 6603-2
Puncture - maximum force, -30 °C	6300	N	ISO 6603-2
Puncture energy, +23 °C	60	J	ISO 6603-2
Puncture energy, -30 °C	65	J	ISO 6603-2
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Glass transition temperature, 10 °C/min	144	°C	ISO 11357-1/-2
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	123	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load, 0.45 MPa	136	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature, 50 °C/h 50N	143	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion, parallel	65	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion, normal	65	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at thickness h	V-2	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	0.8	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	UL	-	-
Oxygen index	28	%	ISO 4589-1/-2
Electrical properties	Value	Unit	Test Standard
Relative permittivity, 100Hz	3.1	-	IEC 60250
Relative permittivity, 1MHz	3	-	IEC 60250
Dissipation factor, 100Hz	5	E-4	IEC 60250
Dissipation factor, 1MHz	90	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	>1E13	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	>1E15	Ohm	IEC 60093

Makrolon® AL2647 - PC
Bayer MaterialScience

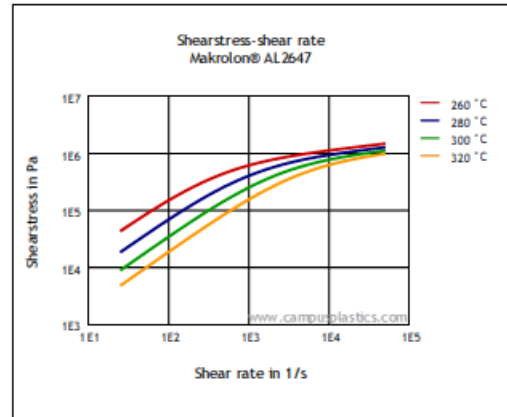
Electric strength	34	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	250	-	IEC 60112
Other properties			
Water absorption	0.3	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	0.12	%	Sim. to ISO 62
Density	1200	kg/m ³	ISO 1183
Material specific properties			
Luminous transmittance	89	%	ISO 13468-1, -2
Rheological calculation properties			
Density of melt	1020	kg/m ³	-
Thermal conductivity of melt	0.214	W/(m K)	-
Spec. heat capacity of melt	2100	J/(kg K)	-
Eff. thermal diffusivity	1E-7	m ² /s	-
Ejection temperature	130	°C	-
Test specimen production			
Injection Molding, melt temperature	290	°C	ISO 294
Injection Molding, mold temperature	80	°C	ISO 10724
Injection Molding, injection velocity	200	mm/s	ISO 294

Diagrams

Viscosity-shear rate



Shearstress-shear rate



PŘÍLOHA P III: PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ PODMÍNKY

Characteristics	
Processing Injection Molding	Special Characteristics Light stabilized or stable to light, U.V. stabilized or stable to weather, Transparent
Delivery form Pellets	Regional Availability North America, Europe, Asia Pacific, South and Central America, Near East/Africa
Additives Release agent	
Other text information	
Injection molding	
PREPROCESSING	
Max. Water content: 0.02 %	
Drying temperature: 120 °C	
Drying time:	
Circulating air drying oven (50 % fresh air) 4-12 h	
Fresh air dryer (high speed dryer) 2-4 h	
Dry air dryer 2-3 h	
PROCESSING	
Melt temperature:	280 - 320 °C
Mold temperature:	80 - 120 °C

Bayer MaterialScience AG

The manner in which you use and the purpose to which you put and utilize our products, technical assistance and information (whether verbal, written or by way of production evaluations), including any suggested formulations and recommendations, are beyond our control. Therefore, it is imperative that you test our products, technical assistance and information to determine to your own satisfaction whether our products, technical assistance and information are suitable for your intended uses and applications. This application-specific analysis must at least include testing to determine suitability from a technical as well as health, safety, and environmental standpoint. Such testing has not necessarily been done by us. Unless we otherwise agree in writing, all products are sold strictly pursuant to the terms of our standard conditions of sale which are available upon request. All information and technical assistance is given without warranty or guarantee and is subject to change without notice. It is expressly understood and agreed that you assume and hereby expressly release us from all liability, in tort, contract or otherwise, incurred in connection with

PŘÍLOHA P IV: TECHNICKÉ PARAMETRY STROJE

630 S |

Technical data

Machine model		630 S 2500	630 S 2500	630 S 2500	630 S 2500
Clamping unit					
Clamping force	max. kN	2500	2500	2500	2500
Closing force	max. kN	110	110	110	110
Opening force / increased	max. kN	70 / 725	70 / 725	70 / 725	70 / 725
Opening stroke	max. mm	600	600	600	600
Mould height	min. mm	300-700	300-700	300-700	300-700
Daylight	max. mm	900-1300	900-1300	900-1300	900-1300
Distance between tie bars	mm	630 x 630	630 x 630	630 x 630	630 x 630
Platen size (hor. x vert.)	mm	900 x 900	900 x 900	900 x 900	900 x 900
Weight of mov. mould half	max. kg	2500	2500	2500	2500
Ejector force	max. kN	90	90	90	90
Ejector stroke	max. mm	225	225	225	225
Control cabinet					
Safety standard according to		DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204
Socket combination (1 single phase, 1 three phase)		1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A
Miscellaneous					
Oil capacity ²⁾	l	590	590	590	590
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow					
Injection unit according to EUROMAP³⁾					
Screw diameter	mm	18 / 22 / 25	20 / 25 / 30	25 / 30 / 35	30 / 35 / 40
Effective screw length	L/D	24,5 / 20 / 17,5	25 / 20 / 16,7	24 / 20 / 17	23,3 / 20 / 17,5
Screw stroke	max. mm	90	100	120	150
Calculated injection volume	max. cm ³	23 / 34 / 44	31 / 49 / 71	59 / 85 / 115	106 / 144 / 188
Shot weight	max. g PS	21 / 31 / 40	29 / 45 / 65	54 / 77 / 105	97 / 132 / 172
Material throughput ⁴⁾	max. kg/h PS	4,1 / 5,5 / 6,5	5,5 / 8 / 9,5	10 / 13,5 / 16	17 / 20,5 / 24,5
	max. kg/h PA 6.6	2,1 / 2,8 / 3,3	2,8 / 4 / 4,9	5 / 7 / 8	8,5 / 10,5 / 12,5
Injection pressure	max. bar	2500 / 2000 / 1550	2500 / 2000 / 1390	2500 / 2000 / 1470	2500 / 2000 / 1530
Injection flow with accumulator	max. cm ³ /s	138 / 208 / 268	172 / 268 / 388	216 / 312 / 424	316 / 430 / 562
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 200	350 / 200	350 / 200	350 / 200
Circumferential screw speed	max. m/min	49 / 60 / 68	34 / 43 / 51	43 / 52 / 60	41 / 48 / 54
Screw torque	max. Nm	90 / 110 / 120	120 / 150 / 180	210 / 250 / 290	320 / 380 / 430
Nozzle contact force	max. kN	50	50	50	60
Nozzle retraction stroke	max. mm	150	180	210	240
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	3,75 / 3	4,3 / 4	8,8 / 4	5,8 / 4
Installed nozzle heating power	kW	0,3	0,6	0,6	0,6
Variable values					
Horizontal injection unit - vertical ⁵⁾		800-70 / -100 / -170 / -290 / -400	1300-70 / -100 / -170 / -290 / -400	2100-70 / -100 / -170 / -290 / -400	
Drive power of the hydraulic pump ⁶⁾	kW	55	55	55	
Total connected load ³⁾	kW	82 / 82 / 86 / 84 / 87	85 / 86 / 89 / 87 / 90	93 / 94 / 98 / 96 / 99	
Net weight	kg	13850 / 13850 / 14020 / 14010 / 14190	14460 / 14460 / 14630 / 14620 / 14800	14560 / 14560 / 14730 / 14720 / 14900	
Electrical connection	motor ⁷⁾	A	125	125	125
	heating ⁷⁾	A	40 / 50 / 50 / 50 / 63	40 / 50 / 63 / 50 / 63	63 / 63 / 80 / 63 / 80

1) Max. dosage volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)

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

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

4) The drive power of the hydraulic pump is determined by the required injection cycle.

5) The required oil filling volume is determined by the drive power of the hydraulic pump.

6) Further injection unit combinations on request.

The shown specifications reflect the state at the time of printing. In the interest of a continuous development of our products, we reserve the right to modify specifications.

Machine model		630 S 2500	630 S 2500	630 S 2500	630 S 2500
Clamping unit					
Clamping force	max. kN	2500	2500	2500	2500
Closing force	max. kN	110	110	110	110
Opening force / increased	max. kN	70 / 725	70 / 725	70 / 725	70 / 725
Opening stroke	max. mm	600	600	600	600
Mould height	min. mm	300-700	300-700	300-700	300-700
Daylight	max. mm	900-1300	900-1300	900-1300	900-1300
Distance between tie bars	mm	630 x 630	630 x 630	630 x 630	630 x 630
Platen size (hor. x vert.)	mm	900 x 900	900 x 900	900 x 900	900 x 900
Weight of mov. mould half	max. kg	2500	2500	2500	2500
Ejector force	max. kN	90	90	90	90
Ejector stroke	max. mm	225	225	225	225
Control cabinet					
Safety standard according to		DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204
Socket combination (1 single phase, 1 three phase)		1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A
Miscellaneous					
Oil capacity ⁵⁾	l	590	590	590	590
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow					
Injection unit according to EUROMAP¹⁾					
Screw diameter	mm	35 / 40 / 45	45 / 50 / 55	55 / 60 / 70	60 / 70 / 80
Effective screw length	LD	23 / 20 / 18	22 / 20 / 18	22 / 20 / 17	23 / 20 / 17,5
Screw stroke	max. mm	160	200	235	280
Calculated injection volume	max. cm ³	154 / 201 / 254	318 / 392 / 474	558 / 664 / 904	792 / 1078 / 1407
Shot weight	max. g PS	141 / 184 / 232	291 / 359 / 434	510 / 607 / 826	723 / 984 / 1286
Material throughput ²⁾	max. kg/h PS	25 / 29 / 35	46 / 53 / 59	86 / 96 / 115	125 / 145 / 175
	max. kg/h PA 6.6	12,5 / 15 / 17,5	23 / 27 / 30	43 / 48 / 58	62 / 74 / 88
Injection pressure	max. bar	2500 / 2000 / 1580	2470 / 2000 / 1650	2380 / 2000 / 1470	2500 / 2000 / 1530
Injection flow with accumulator	max. cm ³ /s	492 / 642 / 814	530 / 656 / 792	714 / 848 / 1156	1132 / 1540 / 2012
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 160	350 / 190	350 / 190	350 / 200
Circumferential screw speed	max. m/min	29 / 34 / 38	51 / 57 / 62	24 / 27 / 31	26 / 31 / 35
Screw torque	max. Nm	480 / 550 / 610	880 / 880 / 880	1510 / 1640 / 1920	2140 / 2500 / 2500
Nozzle contact force	max. kN	60	70	90	110
Nozzle retraction stroke	max. mm	300	400	550	600
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	8,8 / 4	19,3 / 7	21,9 / 7	30,3 / 7
Installed nozzle heating power	kW	0,6	0,6	1	1,1
Variable values					
Horizontal injection unit - vertical ³⁾		800-70 / -100 / -170 / -290 / -400	1300-70 / -100 / -170 / -290 / -400	2100-70 / -100 / -170 / -290 / -400	
Drive power of the hydraulic pump ⁴⁾	kW	55	55	55	
Total connected load ⁵⁾	kW	82 / 82 / 86 / 84 / 87	85 / 86 / 89 / 87 / 90	93 / 94 / 98 / 96 / 99	
Net weight	kg	13850 / 13850 / 14020 / 14010 / 14190	14460 / 14460 / 14630 / 14620 / 14800	14560 / 14560 / 14730 / 14720 / 14900	
Electrical connection	motor ⁶⁾	A	125	125	125
	heating ⁷⁾	A	40 / 50 / 50 / 50 / 63	40 / 50 / 63 / 50 / 63	63 / 63 / 80 / 63 / 80

1) Max. dosage volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)

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

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

4) The drive power of the hydraulic pump is determined by the required injection cycle.

5) The required oil filling volume is determined by the drive power of the hydraulic pump.

6) Further injection unit combinations on request.

7) The shown specifications reflect the state at the time of printing. In the interest of a continuous development of our products, we reserve the right to modify specifications.