

Optimalizace plastového dílu a nástroje pro jeho výrobu

Bc. Matěj Weis

Diplomová práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Matěj Weis**
Osobní číslo: **T18318**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Optimalizace plastového dílu palivového systému a nástroje pro jeho výrobu**

Zásady pro vypracování

1. Vypracovat literární studii pro dané téma
2. Provést 3D konstrukci modelu
3. Navrhnout koncepci vstřikovací formy pro zadaný díl
4. Nakreslit 2D řez vstřikovací formou spolu s výkresy a kusovníkem
5. Provést analýzu procesu vstřikování a optimalizaci zadaného dílu

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

Seznam doporučené literatury:

ZEMAN, Lubomír. *Vstříkovací plastů: úvod do vstříkování termoplastů*. 1. vydání Praha: BEN ? technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.

REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2002. ISBN 3-446-21659-6.

OSSWALD, T. A. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich, Germany: Carl Hanser Publishers, 2008. 764 s. ISBN 978-3-446-40781-7.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Ve Zlíně dne 10. března 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
Podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na optimalizaci výrobku z hlediska procesu vstřikování a konstrukci vstřikovací formy.

V teoretické části je popsán proces vstřikování, vstřikovací stroj, konstrukce výrobků z plastů, vady vstřikovaných výrobků a konstrukce vstřikovací formy.

Praktická část je zaměřena na konstrukci 3D modelu výrobku, provedení tokových analýz a konstrukci 3D modelu vstřikovací formy včetně výkresové dokumentace. Na základě výsledků tokových analýz byla vybrána nejvhodnější varianta konstrukce temperačního a vtokového systému a podle této varianty navržen 3D model vstřikovací formy.

Klíčová slova: vstřikování, optimalizace, analýza, vstřikovací forma.

ABSTRACT

This thesis is focused on product optimization in terms of injection molding process and design of injection mold.

The theoretical part describes the injection molding process, injection molding machine, construction of plastic products, defects of injection molding products and injection mold construction.

The practical part is focused on the construction of the 3D product model, the execution of flow analyzes and the construction of the 3D model of the injection mold including drawing documentation. Based on the results of flow analyzes, the most suitable variant of the design of the tempering and inlet system was selected and a 3D model of the injection mold was designed according to this variant.

Keywords: injection molding, optimization. analysis, injection mold.

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph. D. za jeho cenné rady, ochotu, připomínky a čas, který věnoval ke zdárnému dokončení této práce.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 VSTŘIKOVACÍ TECHNOLOGIE.....	12
1.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	12
1.2 PLNIVA.....	14
1.2.1 Druhy plniv	15
2 VSTŘIKOVACÍ STROJ	16
2.1 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	16
2.2 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	17
Funkce vstřikovací jednotky	18
Vstřikovací kapacita	19
Plastifikační kapacita	19
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH DÍLCŮ.....	20
3.1 ZÁSADY PŘI KONSTRUKCI DÍLU Z PLASTU	20
3.1.1 Úkosity	20
3.1.2 Žebrování	21
3.1.3 Tloušťka stěny.....	23
3.1.4 Ostré rohy.....	24
3.1.5 Podkosity	24
3.1.6 Studené spoje	25
3.2 VADY VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ.....	25
3.2.1 Nejčastější vady výstřiků a důvody vzniku.....	26
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA	32
4.1 POSTUP PŘI NÁVRHU FORMY	33
4.2 VTOKOVÝ SYSTÉM	34
4.2.1 Studený vtokový systém	35
4.2.2 Vyhřívaný vtokový systém	39
4.3 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	41
4.3.1 Temperační prostředky.....	43
4.4 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	44
4.4.1 Mechanický vyhazovací systém.....	45
4.4.2 Hydraulický vyhazovací systém	45
4.4.3 Pneumatický vyhazovací systém.....	45
4.5 MATERIÁLY FOREM.....	46
II PRAKTICKÁ ČÁST	47
5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	48
6 POUŽITÝ SOFTWARE.....	49

6.1	CATIA V5 R19.....	49
6.2	DIGITÁLNÍ KATALOG HASCO DAKO MODUL	49
6.3	MOLDFLOW SYNERGY 2016	49
7	VSTŘIKOVANÝ DÍL.....	50
7.1	MATERIÁL VÝROBKU	50
7.1.1	PA6 GF35.....	51
7.1.2	POM GF25	51
8	TOKOVÉ ANALÝZY.....	52
8.1	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	52
8.2	TVORBA SÍTĚ NA MODELU VÝROBKU.....	53
8.3	UMÍSTĚNÍ VTOKU (GATE LOCATION)	53
8.4	VTOKOVÉ SYSTÉMY	55
8.4.1	Studený vtokový systém	55
8.4.2	Vyhřívaný vtokový systém	56
8.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	57
8.6	NAVRHOVANÉ VARIANTY.....	57
8.7	PROCESNÍ PARAMETRY	57
8.8	VYHODNOCOVANÉ PARAMETRY	57
8.9	VÝSLEDKY ANALÝZ	58
8.9.1	Varianta 1a	58
8.9.2	Varianta 2a	64
8.9.3	Varianta 3a	70
8.9.4	Varianta 1b.....	76
8.9.5	Varianta 2b.....	81
8.9.6	Varianta 3b.....	87
8.10	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	93
9	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	95
9.1	NÁVRH DĚLÍCÍCH ROVIN.....	98
9.2	TVAROVÉ VLOŽKY	98
9.3	VTOKOVÝ SYSTÉM	100
9.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	101
9.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	104
9.5.1	Hydraulické tahače.....	105
9.6	VODÍCÍ A STŘEDÍCÍ PRVKY.....	106
	ZÁVĚR	107
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	108
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	111
	SEZNAM OBRÁZKŮ	113
	SEZNAM TABULEK.....	117

SEZNAM PŘÍLOH.....	118
---------------------------	------------

ÚVOD

V současnosti je velká část běžně používaných materiálů (kov, dřevo, sklo, vlna, aj.) nahrazována plasty. Díky svým vlastnostem, snadným zpracováním a dostupností mají tyto materiály svou nezastupitelnou pozici v řadě různých průmyslů (např. automobilový, obalový, atd.). S větší poptávkou po plastových dílech zároveň rostou i požadavky na jejich kvalitu a na kvalitu používaných technologií.

Nejpoužívanější technologií pro zpracování plastů je vstřikování. Tato technologie umožňuje vyrábět tvarově velmi složité výrobky používané v automobilovém a leteckém průmyslu, ale i jednoduché výrobky pro běžné použití. Vstřikování se provádí na vstřikovacích strojích, jejichž nedílnou součástí je vstřikovací forma. Forma dává výrobku požadovaný vzhled, tvar i povrchovou kvalitu. Forma musí mít velkou tvarovou i rozměrovou stálost, musí odolávat vysokým tlakům a musí umožnit i snadné odformování výrobku.

Konstrukce formy je náročný proces a řeší se pro každý výrobek individuálně. Konstrukční řešení formy závisí zejména na druhu vstřikovaného materiálu, na vstřikovacím stroji a složitosti výrobku. Pro zjednodušení a zrychlení konstrukce vstřikovací formy se využívá různých softwarů, které umožňují samotné vytvoření 3D modelu formy, ale i různé simulace, díky kterým můžeme předejít různým konstrukčním chybám, např. chybně umístěnému vtokovému ústí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘIKOVACÍ TECHNOLOGIE

Vstřikování patří mezi hlavní metody zpracování polymerních materiálů. Podstatou vstřikování je vstříknutí dávky roztaveného a plastifikovaného materiálu z plastikační jednotky vstřikovacího stroje do tvarové dutiny vstřikovací formy. Ve formě materiál zatuhne a získá tvar požadovaného výrobku. Vstřikovací cyklus zpravidla probíhá několik sekund. U vstřikování je potřeba velké vstřikovací rychlosti a vstřikovacího tlaku, aby bylo zajištěno, že se tavenina dostane včas do všech míst dutiny formy dříve, než zatuhne a nedocházelo tak ke vzniku povrchových i vnitřních defektům výrobku. Výrobky vyrobené touto technologií se nazývají výstřiky. Vstřikováním se nejčastěji vyrábí již finální výrobky, polotovary určené pro zpracování dalšími technologiemi nebo jednotlivé díly pro pozdější sestavení samostatného výrobku. Technologie vstřikování je hojně využívána především v automobilovém či elektrotechnické průmyslu. Technologie vstřikování je diskontinuální výrobní proces. U cyklické výroby je nutné zajistit stabilitu procesu. Je tedy nutné, aby všechny vstřikovací cykly měly stejné parametry vstřikování a průběh vstřikovacího cyklu, aby byla zajištěna výroba shodných dílů [1,2,24].

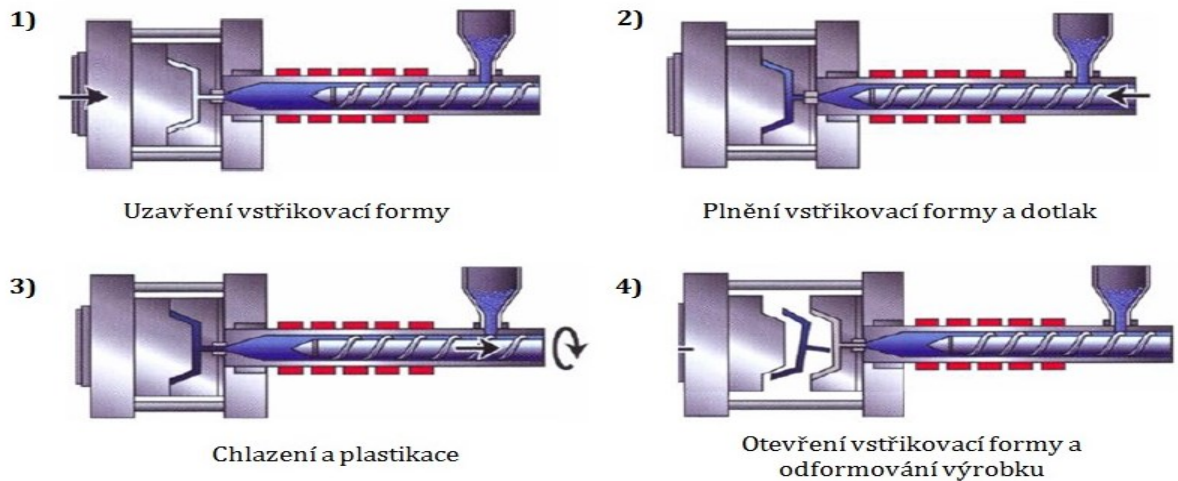
1.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je sled přesně určených po době následujících technologických operací. Tento cyklus je neizotermický – polymerní materiál prochází určitým teplotním cyklem (např. tavení polymeru, chlazení výstřiku atd.). Vstřikovací cyklus probíhá ve vstřikovacím stroji a vstřikovací formě za určitých procesních parametrů [2,3].

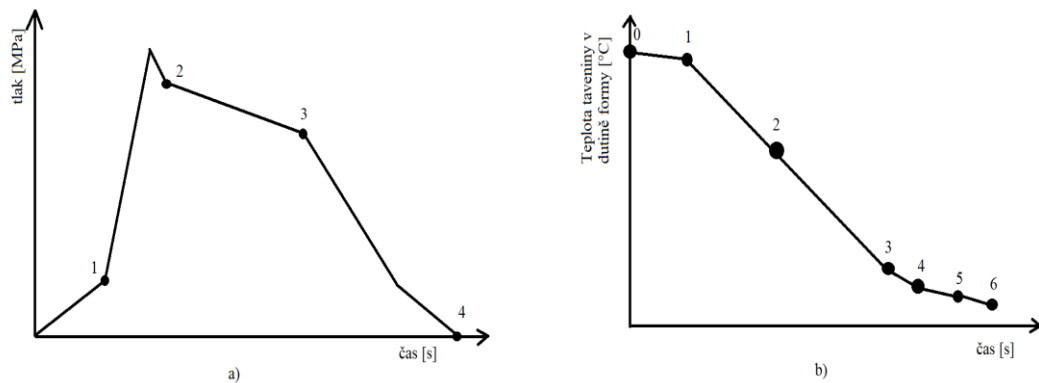
Princip:

Do násypky vstřikovacího stroje je přiveden polymer většinou v podobě granulátu. Z násypky je granulát dopraven do pracovní části vstřikovacího stroje – šneku nebo pístu. Šnek nebo píst dopraví granulát do tavicí komory, kde za zvýšené teploty a pomocí disipace je přeměněn v taveninu. Jakmile se uzavře vstřikovací forma, dojde ke vstříknutí plastifikované hmoty požadované teploty pod určitým tlakem do dutiny formy. Tavenina zcela vyplní dutinu formy a pomocí dotlaku zůstane tavenina v uzavřené dutině formy, dokud se dostatečně neochladí. Dotlak zabrání vytékání materiálu z formy a umožní doplnění taveniny o zmenšený objem vlivem smršťování materiálu. Po ukončení fáze dotlaku odjede plastifikační jednotka od vstřikovací formy a začne tavení granulátu

pro další dávky vstřikovacího cyklu. Při poslední fázi se forma otevře a pomocí vyhazovacího systému je výrobek odformován (vyhozen z formy) a cyklus se znovu opakuje [2,3,24].



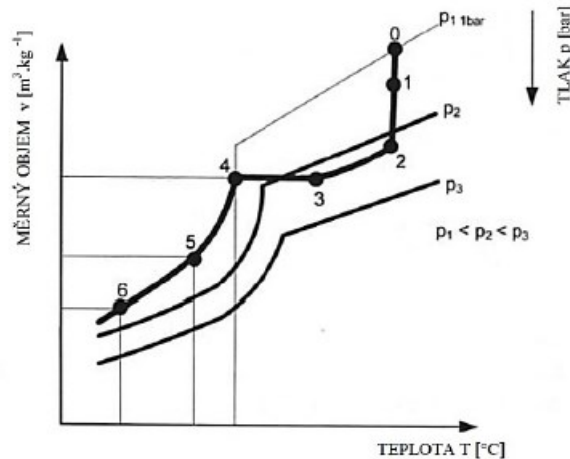
Obr. Vstřikovací cyklus [5]



Obr. 1 a) Průběh tlaku během vstřikovacího cyklu, b) Průběh teploty taveniny v dutině formy [1]

0-1: plnění dutiny formy tavenou, 1-2: komprese taveniny, 2-3: dotlak, 3-4: izochorické chlazení, 4-5: chlazení bez působení tlaku, 5-6: chlazení mimo formu

Důležitým grafem pro popis průběhu vstřikovacího cyklu je také pV diagram (p – tlak, v – měrný objem a T – teplota hmoty). Průběh těchto veličin závisí zejména na typu vstřikovaného materiálu, konstrukci výrobku, tloušťce stěn výrobku, vstřikovacím tlaku, dotlaku, vstřikovací rychlosti, teplotě taveniny a teplotě formy [1].



Obr. 2 pV diagram amorfního polymeru [1]

Z hlediska kvality výstřiků je jedním z důležitých parametrů fáze chlazení teplota formy a doba chlazení. Výstřik musí být dostatečně ochlazen, aby při vyhození výstřiku z formy měl dostatečnou tuhost a nedocházelo k jeho deformaci nebo poškození [1].

Intenzita chlazení výstřiku je určujícím parametrem pro relaxační jevy. Tyto jevy ovlivňují výsledný stupeň a orientaci molekul a vláken, tepelné pnutí a u semikrystalických polymerů také stupeň krystalinity. S rostoucí teplotou formy klesá intenzita chlazení výstřiku a je nutná delší doba k ochlazení výrobku. Obecně platí, že s klesající intenzitou chlazení roste obsah krystalického podílu u semikrystalických polymerů. U výstřiku pak dochází ke většímu smrštění. Výstřik má větší specifickou hmotnost, tuhost, tvrdost a pevnost. Zvýšení teploty vstřikovací formy navíc pozitivně ovlivňuje povrchový lesk a celkovou kvalitu povrchu výrobku [1].

1.2 Plniva

Plniva jsou látky organického nebo anorganického původu. Do polymerní směsi jsou přidávána zejména z důvodu snížení ceny výstřiku nebo pro zlepšení mechanických vlastností výstřiků – tvrdost, pevnost, tuhost atd. [1].

1.2.1 Druhy plniv

Částicová plniva – minerální plniva (talek, uhličitán vápenatý), skleněné kuličky aj. Tyto plniva většinou snižují hodnotu smršťení a nevyvolávají anizotropii, zvyšují tepelnou vodivost a tvrdost. Plniva tohoto typu často plní úlohu pigmentů nebo retardérů hoření. Nejčastěji mají kulovitý nebo destičkovitý tvar a velikost částic je v řádu mikronů. Obsah částicových plniv ve výstřiků bývá většinou (1 - 10) % [1].

Vláknová plniva – tyto plniva mají vyztužující účinek a vyvolávají anizotropii. Zvyšují zejména pevnost a tuhost, odolnost vůči ohybu a také tvarovou stálost. Naopak snižují tažnost a smršťení. Nejčastěji jsou používaná vlákna skleněná, uhlíková nebo aramidová, která mají délku několik desetin milimetrů až několik jednotek milimetrů. Obsah vláknových plniv bývá nejčastěji v rozmezí 5 až 60 hmotnostních % [1].

Z Tab 1. vyplývá, že při použití materiálu plněného skelnými vlákny, lze snížit hodnotu smršťení podél toku taveniny až o 80 %. Nevýhodou použití vláknového plniva je vznik anizotropních vlastností [1].

Plnivo	Smršťení podél toku/kolmo na tok (-)
bez plniva	1,0/1,2
minerální plnivo	1,2/1,2
30% skelných vláken	0,2/0,8

Tab. 1 Vliv druhu plniva na smršťení [1]

Přidáváním vláknových plniv do polymerního materiálu lze snížit hodnotu smršťení jen do určitého obsahu hmotnostních %. Při překročení určitého obsahu hmotnostních % nedochází již ke zlepšení hodnoty smršťení a nemá smysl obsah vláken v polymerním materiálu zvyšovat (viz Tab. 2) [1].

Materiál	Smršťení podél toku/kolmo na tok (-)
PA66 15% SV	0,55/1,38
PA66 25% SV	0,42/1,34
PA66 30% SV	0,35/1,22
PA66 35% SV	0,35/1,20

Tab. 2 Vliv obsahu skelných vláken na smršťení [1]

2 VSTŘIKOVACÍ STROJ

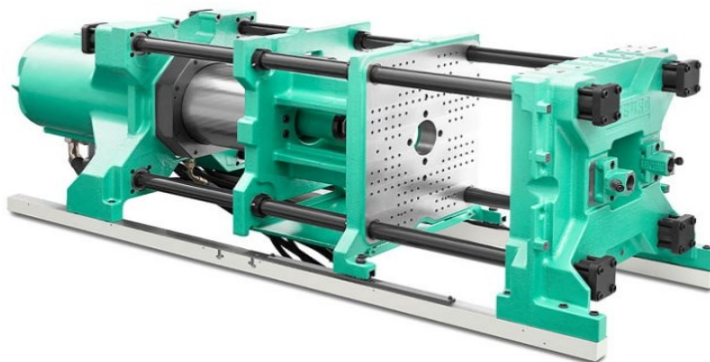
Hlavním úkolem vstřikovacích strojů je zpracování polymerních materiálů, především v podobě granulátu, do požadovaného tvaru výrobku. Polymery a směsi mohou být dodávány také ve formě prášku či hmoty těstovinové konzistence. Vstřikovací stroje mohou být z hlediska typu pohonu hydraulické, elektrické nebo hybridní. Vstřikovací stroje jsou složeny ze vstřikovací a uzavírací jednotky, dále z řízení a regulace. Pořizovací cena stroje i vstřikovací formy je však hodně vysoká, tudíž je vhodná především pro velkosériovou a hromadnou výrobu [5].

Vstřikovací stroj pro přesnou výrobu musí splňovat tyto parametry [5]:

- pevnost a tuhost při vstřiku,
- konstantní tlak, teplota, rychlost a časování,
- přesná reprodukovatelnost – každý výrobek musí mít stále stejné parametry.

2.1 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje má za úkol zajistit bezpečné upnutí a plynulé pohyby vstřikovací formy (otevírání, zavírání a případné vyprázdnění formy). Mezi základní součásti patří pohyblivá a pevná upínací deska, vodící sloupky a mechanismus, který vyvolává sílu potřebnou pro uzavírání a otevírání formy. Dále tenhle mechanismus vytváří uzavírací sílu, která odolává vstřikovacímu tlaku a udržuje během vstřikovacího cyklu formu uzavřenou. Uzavírací síla může být vyvolána mechanicky (zapříčení formy v určité poloze), hydraulicky (síla je vyvozena pístem) nebo kombinací obou systémů. Uzavírací jednotku můžeme dělit dle pohonu, který pohybuje s pohyblivou deskou, na hydraulické (hydraulický píst) nebo elektrické (elektromotor) [5].



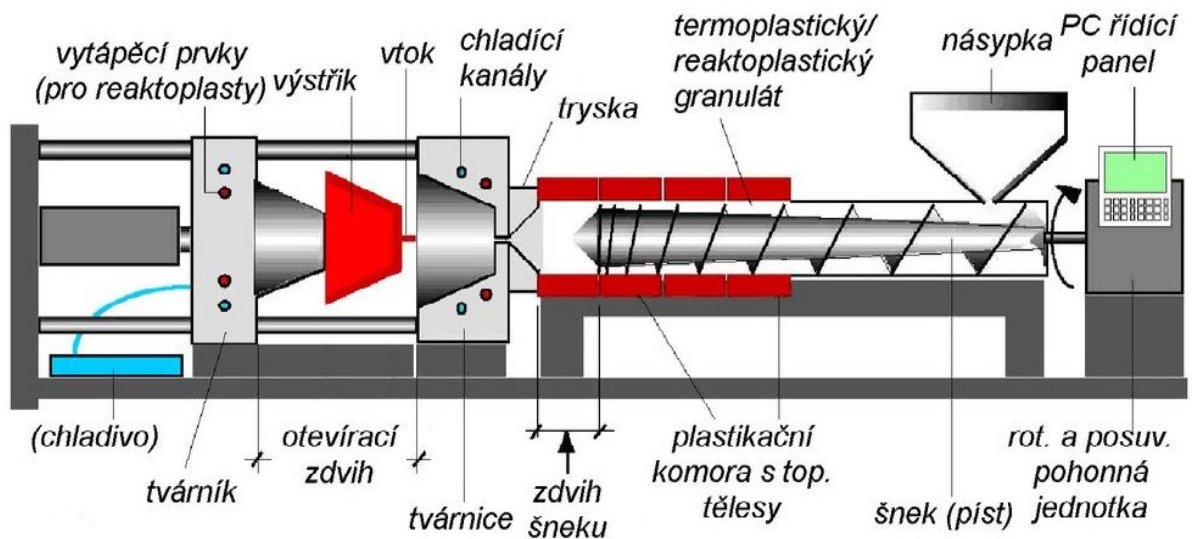
Obr. 3 Uzavírací jednotka [5]

2.2 Vstřikovací jednotka

Hlavními úkoly vstřikovací jednotky je přeměna granulátu polymeru na homogenní taveninu o určité viskozitě a poté vstříknutí taveniny vysokou rychlostí a pod velkým tlakem do tvarové dutiny formy. První vstřikovací jednotky bývaly pístové, které byly postupem času nahrazeny jednotkami šnekovými. Vývojem šnekové vstřikovací jednotky se vyřešily hlavní vady pístových jednotek [5].

Největší výhody šnekových strojů [5]:

- dobrá plastikace a výborná homogenizace roztaveného polymeru,
- materiál se v tavicí komoře nepřehřívá,
- velký plastifikační výkon a velký zdvihový objem,
- snadné čištění vstřikovací komory při změně materiálu,
- přesné dávkování hmoty,
- malé ztráty tlaku při pohybu hmoty,
- větší účinnost zásahu do vstřikovacího procesu, například řízení dotlaku.

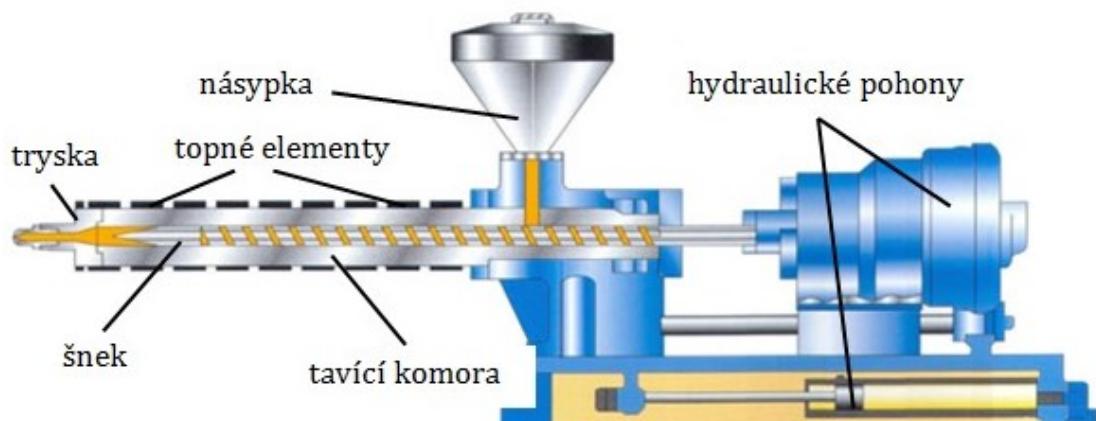


Obr. 4 Vstřikovací stroj [5]

Vstřikovací jednotka je složena z několika částí (Obr. 5). Vstupní část tvoří násypka, kde je shromážděný materiál většinou ve formě granulátu. Na násypku navazuje plastikační (tavící) komora obklopena topnými pásy. Plastikační komora je zakončena tryskou, která těsně dosedá na vtokovou vložku vstřikovací formy, přes kterou tavenina polymeru proudí dále do dutiny formy. Uvnitř tavící komory se nachází šnek s určitou geometrií. Během plastikace se polymer zahřívá pomocí topných pásů, ale také je polymer značně zahříván vlivem tření mezi stěnami tavící komory a šneku [5].

Funkce vstřikovací jednotky

Šnek se při plastikaci otáčí a v hrdle násypky sbírá granulát polymeru, který šnek stlačí a dopraví dále do tavící komory. Jednotlivé části v tavící komoře jsou vyhřívány. Materiál se roztaví a ve formě taveniny se nahromadí před čelem šneku, poté se šnek dále otáčí a odjíždí dozadu. Po roztavení požadovaného množství materiálu se šnek přestane otáčet a zastaví se. Poté se šnek, aniž by se otáčel, pohybuje jako píst dopředu a vstřikuje taveninu do dutiny formy. Maximální vstřikované množství nesmí přesáhnout 90 % kapacity vstřikovací jednotky, protože je nutná rezerva pro doplnění úbytku hmoty při chlazení (smrštění). Vstřikovací cyklus je oproti pístovým strojům výrazně kratší, jelikož plastikace další dávky polymeru může probíhat už během chlazení výstřiku ve formě. Při použití šneku je polymer možné dále barvit, přimíchávat plniva nebo přidávat další přísady přímo v průběhu plastikace [5].



Obr. 5 Vstřikovací jednotka [5]

Vstříkovací kapacita

Mezi základní charakteristiky vstříkovací jednotky patří vstříkovací kapacita, která představuje maximální objem taveniny, který je možné na určitém vstříkovacím stroji vystříknout z tavící komory do volného prostoru během jednoho pracovního zdvihu šneku. Určuje tedy maximální objem tavící komory vymezené čelem šneku v jeho krajních polohách. Nejčastěji je udávána v cm^3 . Vstříkovací kapacita tedy udává informace o maximálním objemu výstříku, který se dá na určité vstříkovací jednotce vyrobit. Při určování objemu výstříku je ovšem také nutné počítat i s objemem vtokového systému [5].

Plastifikační kapacita

Dalším důležitým parametrem, který charakterizuje určitou vstříkovací jednotku, je plastifikační kapacita. Ta podává informaci o maximálním množství taveniny, kterou je vstříkovací jednotka schopna převést do plastického stavu za jednotku času. Plastifikační kapacita je nejčastěji udávána v kilogramech za hodinu (kg/hod). Udává množství materiálu, které je při daných otáčkách šneku vytlačeno pouze rotačním pohybem šneku před čelo šneku a do volného prostoru. Tato hodnota má spíše orientační charakter, proto bývá používána pouze jako orientační údaj pro provedení hrubého výpočtu doby potřebné pro plastikaci daného množství materiálu [5].

Doba plastikace může být totiž kromě otáček šneku ovlivněna také typem zpracovávaného polymeru, dále teplotou, při které materiál vstříkujeme, geometrií šneku, případně i typem zpětného uzávěru [5].

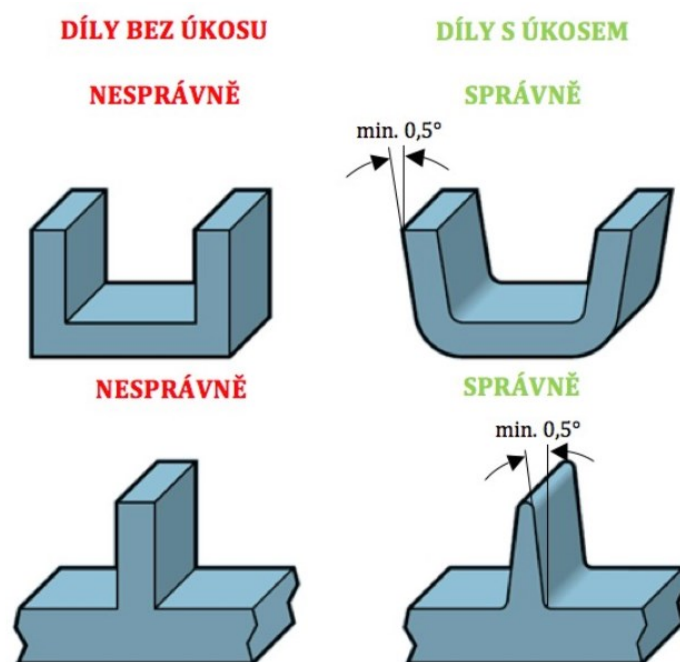
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH DÍLCŮ

Konstrukce plastových výstřiků podléhá odlišným pravidlům než při konstrukci dílů z kovu. Konstruktor by měl být seznámen s polymerními materiály, technologií vstřikování, konstrukcí výstřiku a konstrukcí vstřikovací formy. Vhodnou volbou materiálu a správnou konstrukcí jak výstřiku, tak vstřikovací formy lze předejít možnému vzniku defektů u výstřiku a následným úpravám formy [6,7].

3.1 Zásady při konstrukci dílu z plastu

3.1.1 Úkosy

Plastové díly obsahují velmi často úkosy. Hlavním důvodem je usnadnění odformování a vyhození výstřiku. Počet a velikost úkosů závisí na geometrii dílu, povrchové úpravě formy, konstrukci formy a typu vyhazovacího systému. Je-li úhel úkosu příliš malý, je vyšší pravděpodobnost, že výsledný výstřik bude při odformování poškozený. Pokud konstrukce dílu nedovolí použít větší úkos, je nutné povrch formy speciálně upravit, čímž se zvýší výrobní náklady na vstřikovaný díl. Obecně platí, že při použití leštěných povrchů dutin formy vystačí na díle menší úkosy. U dutin vyrobených běžným obráběním je nutné použít větší úkosy [6,7].



Obr. 6 Úkosy [6]

Typ úkosu	Doporučená hodnota úkosu
Vnější plochy	30' - 2° (1°)
Vnitřní plochy	30' - 3° (2°)
Hluboké otvory	1° - 10°
Otvory do hloubky 2D	30' - 1° (45')
Výstupky	2° - 10°
Žebra a nálitky	1° - 10° (3°)

Tab. 3 Doporučené hodnoty úkosů [6]

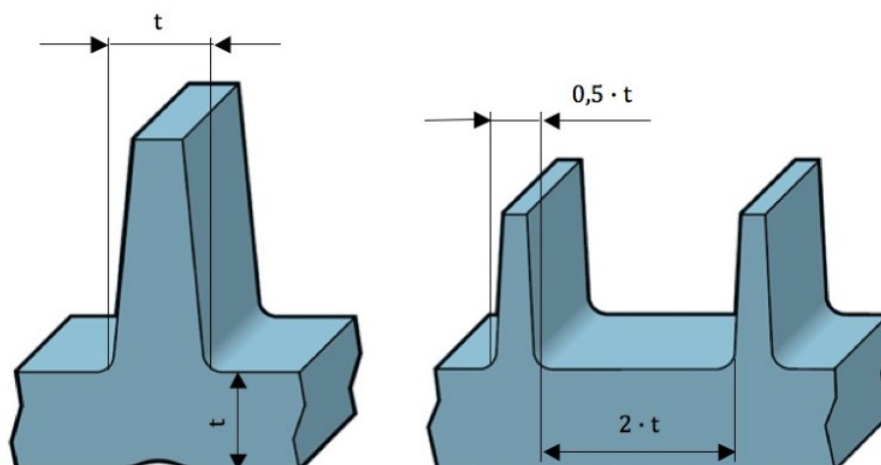
3.1.2 Žebrování

Plastové výrobky obsahují žebrování. Toto žebrování slouží ke zvýšení tuhosti a pevnosti bez nutnosti zvýšení tloušťky stěny vstřikovaného dílu, což vede ke snížení spotřeby materiálu a ekonomické úspoře. Dále žebrování může sloužit k zajištění lícování dílů, jako dorazy či vedení pomocných mechanismů nebo při pozicování dílů při montáži [6,7].

Žebrování je charakterizováno několika parametry:

- výška a tloušťka žebra,
- umístění a počet žeber.

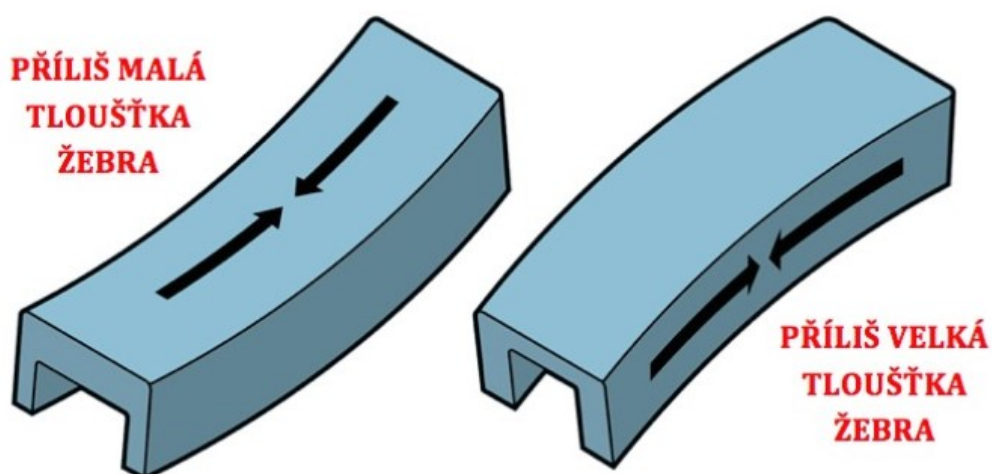
Obecně platí, že vyšší výška žebra zajistí i vyšší tuhost dílu. Aby nevznikaly problémy při plnění dutiny formy, odformávání nebo s odvzdušněním, neměla by výška žebra přesáhnout trojnásobek tloušťky žebra. V případě, kdy je žebrování opatřeno úkosy, může dojít k nežádoucí minimalizaci tloušťky žebra. Vysoké žebra jsou také více náchylná k mechanickému poškození. Z těchto důvodů je vhodnější použít více menších žeber s výrazně lepší odformovatelností a stejným vyztužujícím účinkem (Obr. 7). V optimální případě by vzdálenost mezi žebry měla být dvojnásobek tloušťky stěny žebra, tloušťka žebra by neměla přesáhnout 0,7 násobku tloušťky stěny, na níž jsou žebra napojena (vznik propadlin). Dále by neměly být kombinovány žebra s malou a velkou tloušťkou stěny a v křížení žeber nesmí docházet k hromadění materiálu [6,7].



Obr. 7 Nahrazení vysoké žebra dvěma menšími [6]

Tuhost v ohybu v jednom směru lze zvýšit jednoduchým žebrováním. Tuhost v krutu a víceosém ohybu lze zvýšit křížovým nebo diagonálním žebrováním.

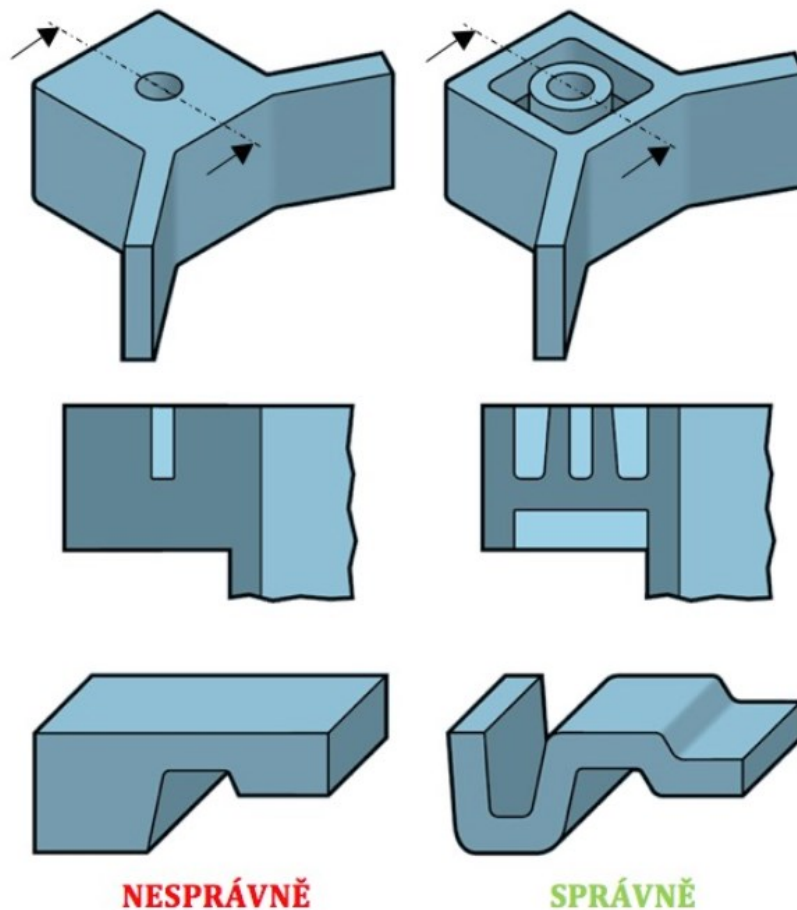
U materiálů s rovnoměrným smrštěním ve směru tečení i kolmo na směr tečení může nastat případ, kdy tenká žebra zatuhnou dříve než stěny, ke kterým jsou připojena a může dojít k rozdílnému smrštění žebra a stěny. V takovém případě dojde k deformaci žebrovaneých dílců (Obr. 8). Tyto deformace lze omezit přiblížením tloušťky stěny žebra k tloušťce stěny. Blíží-li se ale tloušťka stěny žebra k tloušťce stěny dílu, na kterou jsou připojena, vzniká větší riziko vzniku propadlin. Těmto negativním jevům lze předejít použitím intenzivnější temperace v žebrované části dílu [6,7].



Obr. 8 Vliv tloušťky žebra na deformaci dílu [6]

3.1.3 Tloušťka stěny

Tloušťka stěny výrazně ovlivňuje mnoho zásadních vlastností vstříkovaného dílu. Jedná se zejména o pevnost a tuhost, odolnost, zpracovatelnost, celkový vzhled a cenové náklady. Optimální tloušťka stěny se volí na základě kompromisu mezi protikladnými vlastnostmi – pevnost/hmotnost, odolnost/náklady. Vhodnou volbou stěny výstřiku lze do značné míry eliminovat budoucí defekty dílu a tím snížit náklady na pozdější úpravy vstříkovací formy. V případě plochých dílů navýšení tloušťky o 10% způsobí zvýšení tuhosti dílu přibližně o 33%. Zvýšení tloušťky stěny dílu ale způsobí zvýšení hmotnosti, prodloužení vstříkovacího cyklu a zvýšení materiálových nákladů. Ke zvýšení tuhosti dílů je tedy výhodnější využití konstrukčních prvků – např. žebra, zakřivení či zvlnění [6,7].



Obr. 9 Řešení tloušťky stěn [6]

3.1.4 Ostré rohy

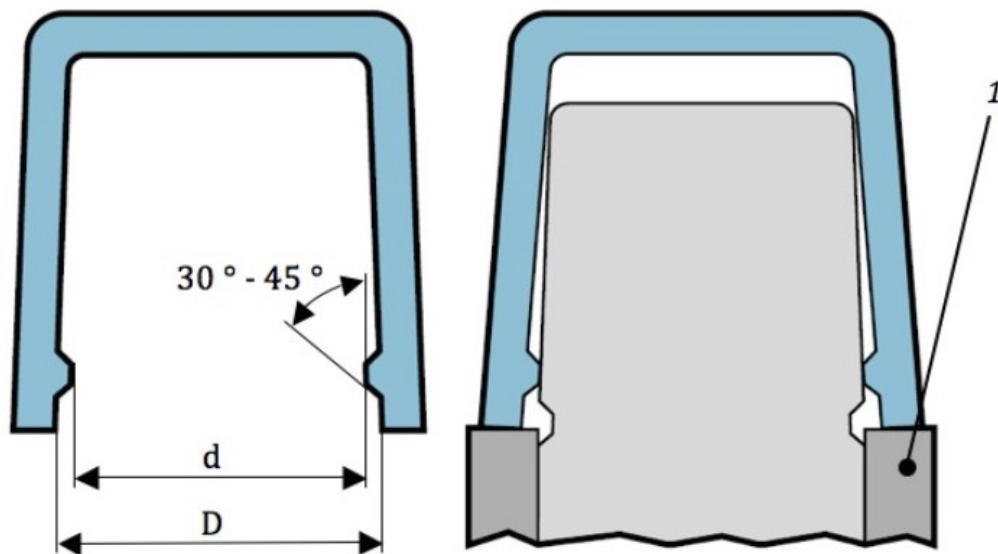
Plastový vstřík by neměl mít ostré rohy – vzniká zde koncentrace napětí vyvolaného mechanickým zatížením (snížení mechanické odolnosti) a navíc zde materiál při vstřikování špatně zatéká. Pro eliminaci těchto napětí a zlepšení stékvosti materiálu jsou vstřikované díly opatřeny zaoblením. Tyto zaoblení navíc zajistí rovnoměrnou tloušťku stěn v místech přechodu a předcházejí hromadění materiálu. Výstříky opatřené rádiusy vykazují až o 50% zlepšení rázové houževnatosti a výstříky jsou také méně náchylné k praskání. Další výhodou při zaoblení ostrých rohů je snížení vstřikovacích tlaků a tím zvýšení životnosti formy [6,7,8].

Minimální poloměr			Doporučený poloměr	
Plast	r [mm]	R [mm]	r	l
Plněné PA, PC	1,5	r + s	1,6	>50
PS, PC, CAB, PMMA, PVC	0,6-1	r + s	2,5	50-100
PE, PP, CA, PPO, POM, PETP, PA, ABS, SAN	0,5	r + s	4	100-150
			5	150-200
			6	200-250
			8	250-300
			12	300-400
			20	400-500

Tab. 4 Minimální a doporučené hodnoty zaoblení [8]

3.1.5 Podkoso

Při standardním odformování vstřikovaného dílu mohou být určité konstrukční prvky překážkou. V některých případech lze tyto konstrukční prvky řešit tzv. deformačním odformováním podkosů. Tyto případy nevyžadují další odformovatelné prvky (boční tvarová jádra atp.) -> značné zjednodušení konstrukčního řešení formy a úspora financí. Pro provedení tohoto řešení musí mít dílec vhodný tvar pro přetažení tohoto konstrukčního prvku. Toto řešení lze použít pouze tehdy, jsou-li podkoso umístěny v místě mimo tuhé oblasti dílu. (žebra, rohy atd.) a ve formě musí být dostatek místa pro pružnou deformaci dílu. Základním pravidlem pro správný návrh odformovatelného podkosu je dodržení procentuálního poměru mezi vnitřním rozměrem dílu a vnitřním rozměrem podkosu. Obecně se nedoporučuje používat podkoso u křehkých a tuhých materiálů – např. plasty vyztužené vlákny [6,7].



Obr. 10 Doporučená konstrukce podkosů [6]

3.1.6 Studené spoje

Studený spoj ve výstřiku vzniká, když tavenina musí v dutině formy překonat nějakou překážku. Tímto je jeden proud taveniny rozdělen do dvou a po obečtení překážky jsou čela taveniny opět spojena. Tyto místa, kde se střetnou čela taveniny obou proudů a jsou opět spojena do jednoho proudu, se nazývají studené spoje. Rozdělené proudy taveniny se již nemohou zcela znovu spojit. Výsledkem toho je vznik místa, které má zhoršené mechanické vlastnosti. V těchto místech často dochází k mechanickému porušení výrobku. Konstruktor by tedy měl dbát na to, aby místa, kde vznikají studené spoje, byly umístěny do oblastí, které nejsou příliš mechanicky zatěžovány [8].

3.2 Vady vstřikovaných dílů

Vada výstřiku je defekt, kvůli kterému má výsledný výstřik odlišný vzhled, tvar, rozměry nebo vlastnosti od požadovaného dílu specifikovaného většinou výkresem nebo 3D modelem. Tyto defekty mohou vznikat špatnou volbou zpracovávaného plastu, v konstrukci výstřiku, vstřikovacími stroji, konstrukci formy a také ve zvolených zpracovatelských podmínkách (teplota taveniny, teplota formy, vstřikovací rychlost atd.). Vady výstřiků dělíme na vady zjevné a vady skryté [9].

Vady zjevné

Vady zjevné jsou defekty, které lze identifikovat pouhou vizuální kontrolou výstřiku. Patří sem vady tvaru (propadliny, deformace, nedostříknutý výstřík, delaminace atd.) a povrchu (stříbrné pruhy, nehomogenní lesk, spáleniny, bubliny, stopy po vlhkosti atd.) [9].

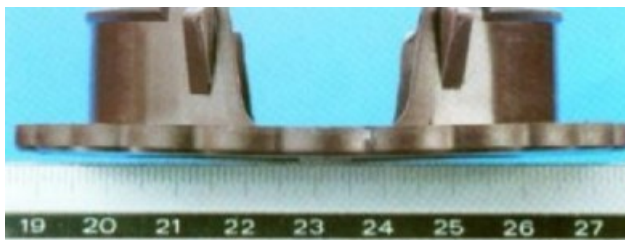
Vady skryté

Vady skryté jsou defekty, které nelze identifikovat běžnou vizuální kontrolou výstřiku. Tyto vady značně ovlivňují výsledné vlastnosti výstřiku a z aplikačního hlediska jsou nebezpečné. Patří sem degradace materiálu (snížení pevnosti a houževnatosti), bubliny, vnitřní pnutí, nerovnoměrná krystalizace u semikrystalických polymerů, orientace vláken a makromolekul atd. [9].

3.2.1 Nejčastější vady výstřiků a důvody vzniku

Deformace výstřiku

- nedostatečná doba chlazení,
- příliš dlouhá doba dotlaku,
- velký podkos,
- orientace plniv,
- špatná volba vyhazovacího systému,
- špatný výběr materiálu,
- vysoká teplota formy nebo nerovnoměrné chlazení výstřiku [1].



Obr. 11 Deformace výstřiku po vyhození z formy [9]

Křehkost dílce

- degradace materiálu během vstřikování,
- špatně vysušený materiál [1].

Delaminace

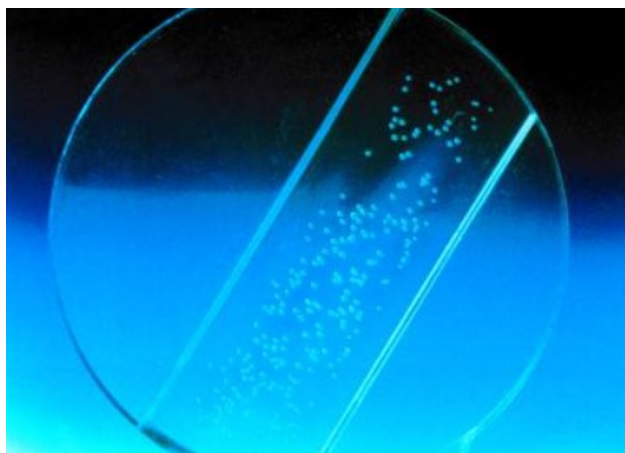
- nízká teplota formy,
- nízká vstřikovací rychlost,
- špatně vyčištěný stroj při výměně materiálu. [1]



Obr. 12 Delaminace [9]

Bubliny ve výstřiku

- nízký vstřikovací tlak,
- špatné od vzdušnění formy – těkavé látky a plyn uvnitř dílce,
- náhlý přechod ze slabé do silné stěny,
- nízká teplota formy,
- špatná konstrukce výrobku,
- přehřátá hmota,
- nevysušený materiál [1].



Obr. 13 Bubliny uvnitř transparentního výrobku [9]

Propadliny

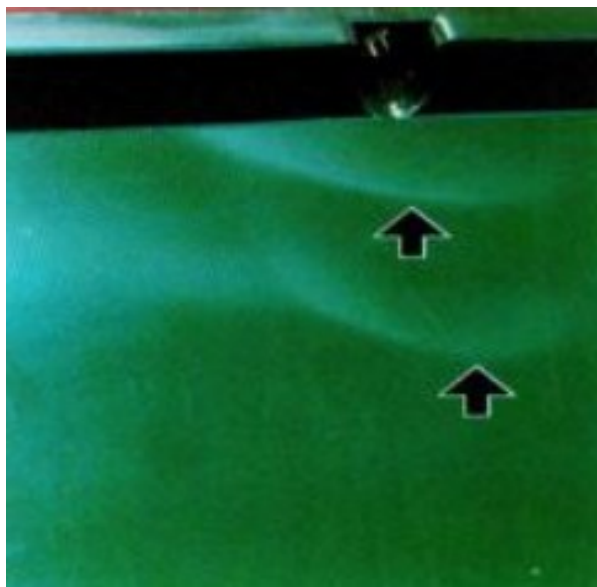
- vysoká zpracovatelská teplota nebo teplota formy,
- nízký vstřikovací tlak,
- špatné odvzdušnění formy,
- nesprávně navrhnutý vtokový systém [1].



Obr. 14 Propadliny [9]

Stříbrné nebo bílé pruhy

- vysoká teplota taveniny,
- přehřátý materiál v místě vtoku nebo ve stroji,
- špatné odvzdušnění formy,
- nevysušený materiál [1].



Obr. 15 Bílé pruhy [9]

Spálená místa

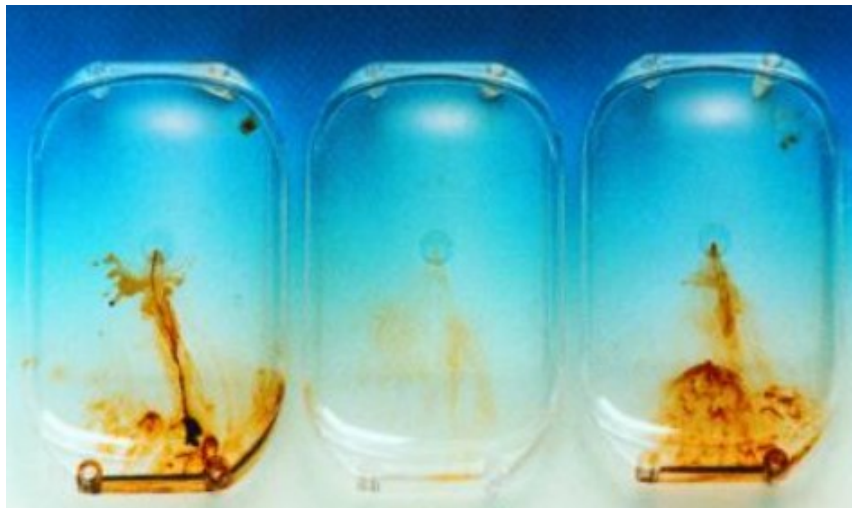
- vysoká teplota taveniny,
- vysoká vstřikovací rychlost,
- přehřátý materiál v místě vtoku nebo ve stroji,
- špatné odvzdušnění [1].



Obr. 16 Spálenina [9]

Černé skvrny

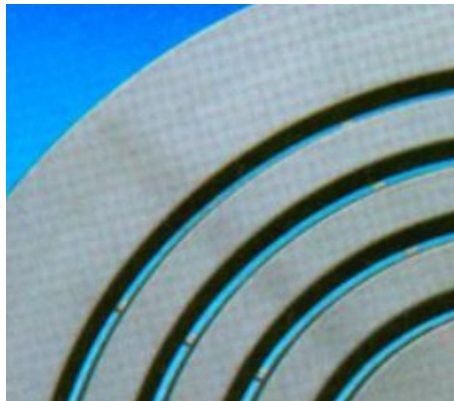
- nahromadění degradovaného materiálu z plastikací jednotky,
- dlouhý prostoj stroje,
- vtlačené nečistoty [1].



Obr. 17 Zdegradovaný materiál ve výstřiku [9]

Studené spoje

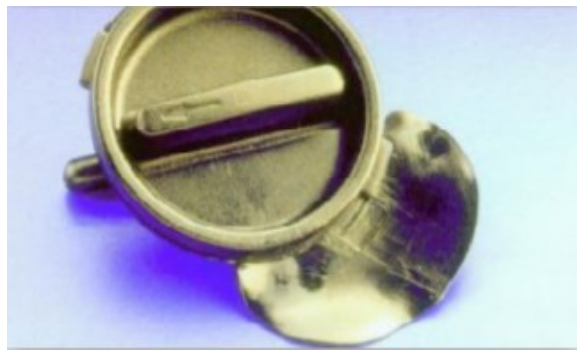
- nízká teplota materiálu,
- značná délka toku taveniny,
- nízká vstřikovací rychlost,
- nízká teplota formy,
- nesprávná konstrukce výrobku [1].



Obr. 18 Studený spoj [9]

Přetoky

- vysoká teplota materiálu,
- nízká uzavírací síla stroje,
- vysoký vstřikovací tlak,
- špatné upnutí formy,
- znečištěný povrch formy v dělicí rovině [1].



Obr. 19 Přetok [9]

Jetting – volný proud taveniny

- nízká teplota materiálu,
- nízká teplota formy,
- malé ústí vtoku,
- vysoká vstřikovací rychlost,
- špatné umístění a tvar vtoku [1].



Obr. 20 Jetting [9]

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

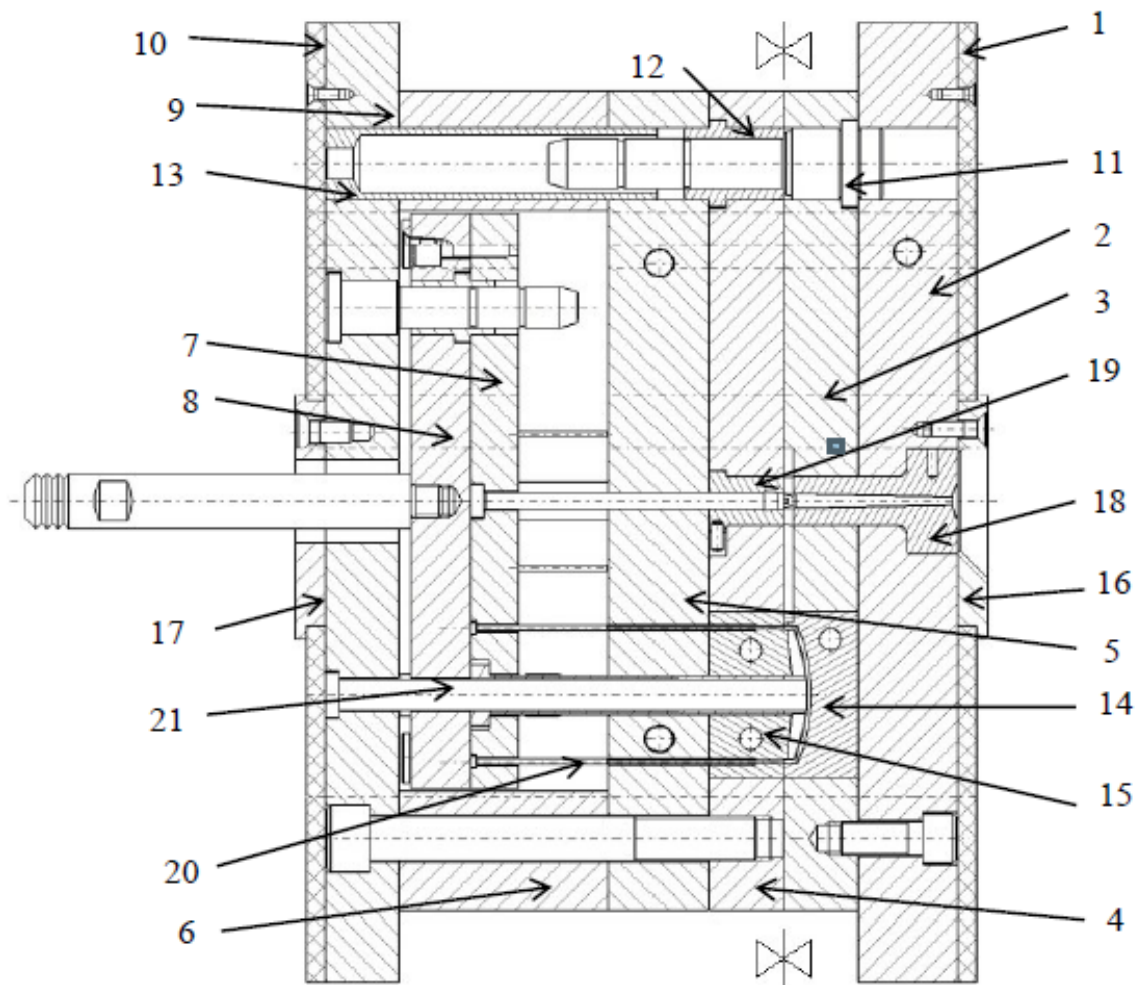
Vstřikovací forma v současné době patří mezi nejrozšířenější nástroje pro zpracování polymerních materiálů i přes její velmi značnou složitost a finanční nákladnost. Forma je složena ze systému navzájem spojených desek. Skládá se ze tří hlavních částí – vstřikovací nepohyblivá část, vyhazovací pohyblivá část a vyhazovací systém [12,23].

Forma dává po ochlazení taveniny výrobku potřebný tvar a určité rozměry. Forma musí odolávat vysokým vstřikovacím tlakům a zároveň musí splňovat nároky na vysokou přesnost vstřikovaných dílů. Dále pomocí vyhazovacích systémů musí být výrobky z formy snadno vyjmutelné a forma musí pracovat automaticky po celou dobu její životnosti. Volba materiálů vstřikovací formy závisí především na ceně, na požadovaném počtu vstřikovacích cyklů, dále také na typu zpracovaného materiálu, velikosti, tvaru a složitosti výrobku, tepelné odolnosti, korozivzdornosti, opotřebení a použité technologii. Dalším důležitým faktorem zvyšujícím životnost formy je tepelné zpracování na tvarových částech formy [12,23].

Návrh konstrukce vstřikovací formy se odvíjí od těchto údajů:

- konstrukce výrobku – tvar, rozměry a tolerance,
- druh vstřikovaného polymeru,
- typ vstřikovacího stroje,
- chování polymeru při vstřikování,
- počet plánovaných vyrobených kusů formy. [12].

Pro vstřikovací formy existuje spousta různých konstrukčních řešení. Je možné je rozdělit do různých skupin, např. podle počtu vyrobených kusů za jeden vstřikovací cyklus (násobnost formy) na jednonásobné a vícenásobné nebo podle počtu desek a jejich uspořádání na dvoudeskové, tříděskové, etážové, čelist'ové, vytáčecí apod. nebo podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny [12,23].



Obr. 21 Řez vstříkovací formou [5]

1-izolační deska pravá, 2-upínací deska pravá, 3-kotevní deska pravá, 4-kotevní deska levá
 5-opěrná deska, 6-rozpěrná deska, 7-kotevní vyhadzovací deska, 8-opěrná vyhadzovací deska
 9-upínací deska levá, 10-izolační deska levá, 11-vodící čep, 12-vodící pouzdro,
 13-středicí trubka, 14-tvárník, 15-tvárnice, 16-středicí kroužek pravý,
 17-středicí kroužek levý 18-vtoková vložka, 19-přidržovač vtoku, 20-válcový vyhadzovač,
 21-trubkový vyhadzovač

4.1 Postup při návrhu formy

Pro návrh konstrukce vstříkovací formy je nejdůležitější znát konstrukci vstříkovaného dílce a jeho výkres. Dalšími důležitými informacemi jsou materiál výstříku, funkce výstříku, typ vstříkovacího stroje, počet vyráběných kusů a s tím spojená konečná cena jak výstříku, tak formy [10,12].

Postup při návrhu vstřikovací formy:

1. zhodnocení konstrukce výrobku – tvar, rozměry, eliminace ostrých hran a rohů vhodným zaoblením, eliminace velkých rozdílů v tloušťce stěn,
2. výběr vhodného vstřikovaného materiálu s ohledem na požadované výsledné mechanické a estetické vlastnosti výstřiku,
3. návrh dělicí roviny formy včetně zaformování vstřikovaného dílu s ohledem na vzhled a funkci dílu, směr a velikost úkosů,
4. určení počtu vyrobených dílců – volba násobnosti formy a navržení vhodného vtokového systému,
5. navržení vhodného vyhazovacího, temperačního a odvzdušňovacího systému,
6. navržení vhodného rámu formy s ohledem na použitý vstřikovací stroj, typ formy, vyhazovací systém a temperaci formy,
7. určení způsobu upnutí formy na vstřikovací stroj,
8. kontrola funkce a bezpečnosti formy,
9. testování formy – kontrola funkčnosti formy a kontrola výstřiku,
10. úprava procesních parametrů nebo formy, popř. je-li výstřik v pořádku – zavedení výroby dílu [12]

4.2 Vtokový systém

Vtokový systém ve vstřikovací formě slouží k dopravě taveniny z plastikační jednotky vstřikovacího stroje do dutiny formy. Jedná se o systém rozvodných kanálů a ústí vtoků. Správně navržený vtokový systém má za úkol co nejrychleji zaplnit dutinu formy s minimálním odporem toku taveniny a také zajistit rovnoměrné vyplnění dutiny formy taveninou a snadné oddělení vtokových zbytků od výstřiku. Návrh vtokového systému závisí zejména na násobnosti formy, vstřikovaném materiálu, volbě studeného či vyhřívaného vtokového systému a na umístění tvarových dutin [12,13].

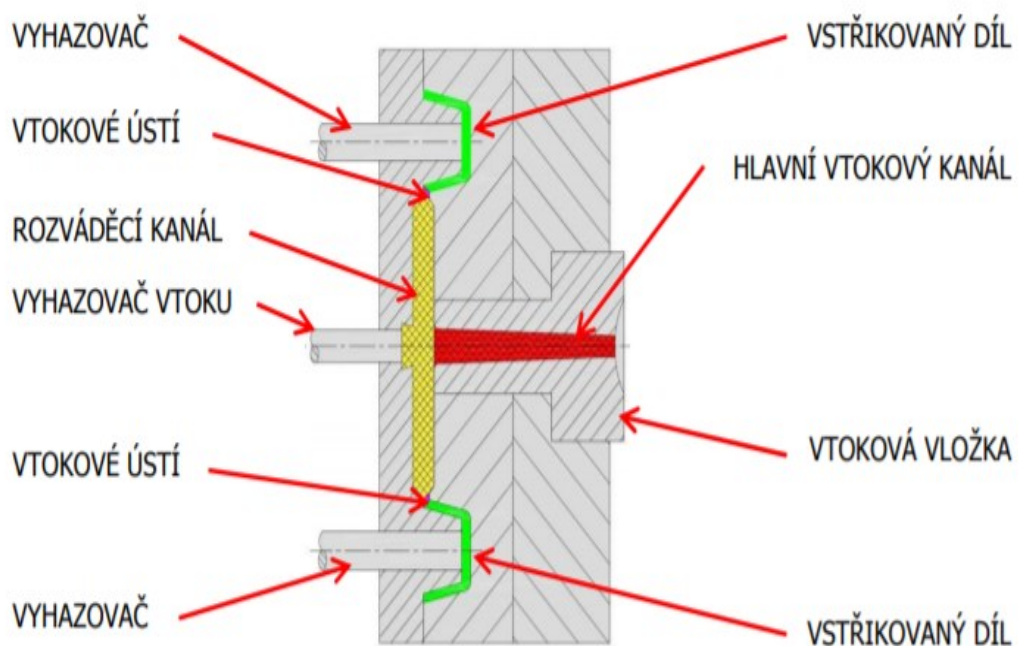
Vtokový systém má významný vliv na proudění taveniny, tvorbu studených spojů, povrchový vzhled výstřiku, vlastnosti a rozměry dílu, vznik defektů, orientaci makromolekul a plniv atd. [12,13].

4.2.1 Studený vtokový systém

Studený vtokový systém (SVS) je konstrukčně i ekonomicky méně náročná varianta vtokového systému. SVS slouží k dopravě taveniny z plastikační jednotky vstřikovacího stroje skrz rozvodné kanály a vtokové ústí až do tvarové dutiny formy. Při vstříknutí taveniny do SVS dochází k okamžitému tuhnutí vstřikovaného materiálu na stěnách systému, zvýší se viskozita a vzniká tak izolační vrstva ztuhlého plastu. Tavenina dále proudí pouze horkým jádrem. Je proto nutné, aby tavenina vyplnila dutinu formy v co nejrychlejším čase. U vícenásobných forem je nutné zajistit, aby se všechny tvarové dutiny zaplnily ve stejný čas. Díky zvýšené viskozitě během vstřikování je nutné použití vyšších vstřikovacích tlaků (až 200 MPa). Pomocí dotlaku je doplňována tavenina nahrazující ztrátu objemu vlivem smrštění (ochlazování vstřikovaného materiálu během dopravy taveniny). Značnou nevýhodou SVS jsou vtokové zbytky, které mohou tvořit až 50 % vstřikované dávky [14,15,26].

Hlavní části SVS:

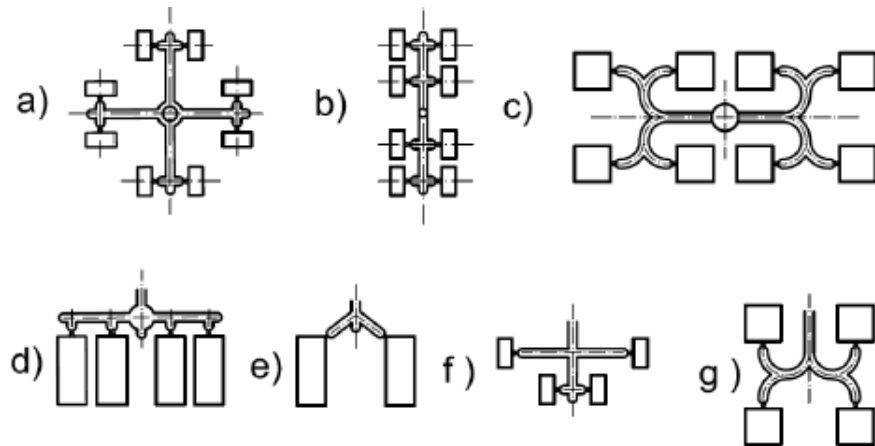
- hlavní vtok = vtoková vložka,
- rozvodný kanál,
- vtokové ústí. [14].



Obr. 22 SVS [14]

Zásady konstrukce SVS:

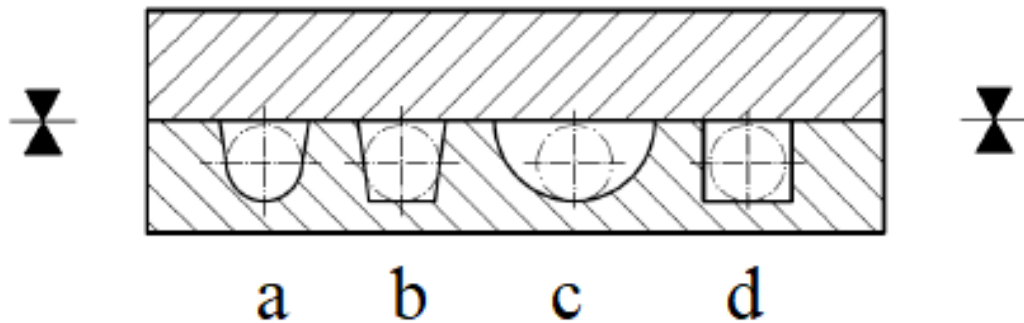
- tavenina musí vyplnit dutinu formy v co nejkratším čase – volba vhodné vstřikovací rychlosti,
- u vícenásobné formy musí dojít k zaplnění všech tvarových dutin ve stejný čas – odstupňování kanálů,



Obr. 23 Vtokové soustavy [14]

a, c, e, f, g – vhodné řešení, b, d – nevhodné řešení

- jádro taveniny musí zůstat v plastickém stavu – dostatečný průřez vtokových kanálů
- zaoblení všech ostrých hran vtokového kanálu
- ústí vtoků musí být navrženo v místě, aby tavenina proudila od nejtlustšího průřezu výrobku do nejtěnějšího
- kanály musí obsahovat úkos pro snadnější odformování – min. $1,5^\circ$,
- vyvarovat se míst, kde může docházet k hromadění materiálu
- leštěný povrch kanálů – malý odpor při tečení polymeru
- co nejkratší ústí vtoků (0,5-1,2) mm,
- vtokový kanál by měl mít co největší průřez při minimálním povrchu – menší tepelné ztráty. [14,15].

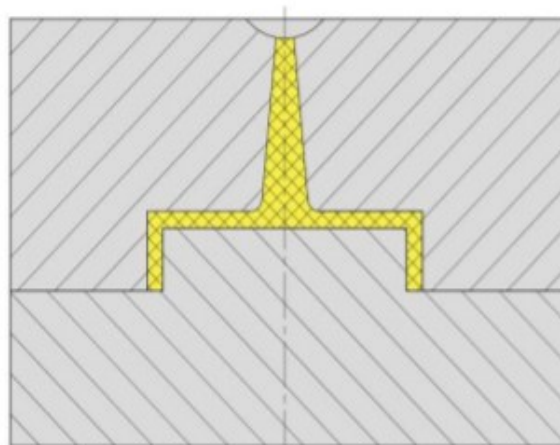


Obr. 24 Průřezy vtokových kanálů [3]

a, b – vhodné řešení; c, d – nevhodné řešení

Typy vtokových ústí: [4,14]

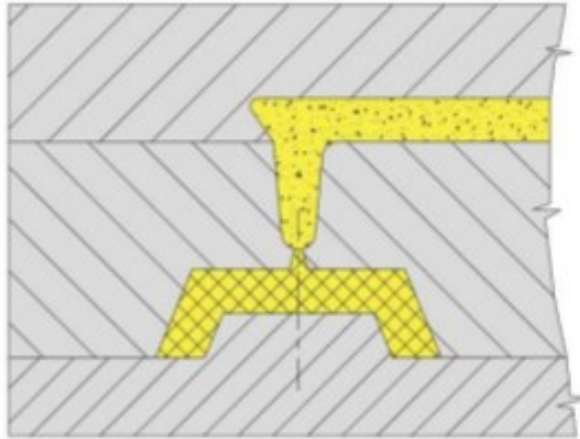
- **Plný kuželový vtok** se využívá u jednonásobných forem, kde se zaplňuje symetricky uložená tvarová dutina. Tento vtok je vhodný pro tlustostěnné a méně tvarově složité výrobky a u dílů, u kterých nevádí stopa po odstranění vtokového zbytku. Používá se u materiálů s vyšší viskozitou. U těchto materiálů je nutnost prodloužit dobu dotlaku.



Obr. 25 Kuželový vtok [14]

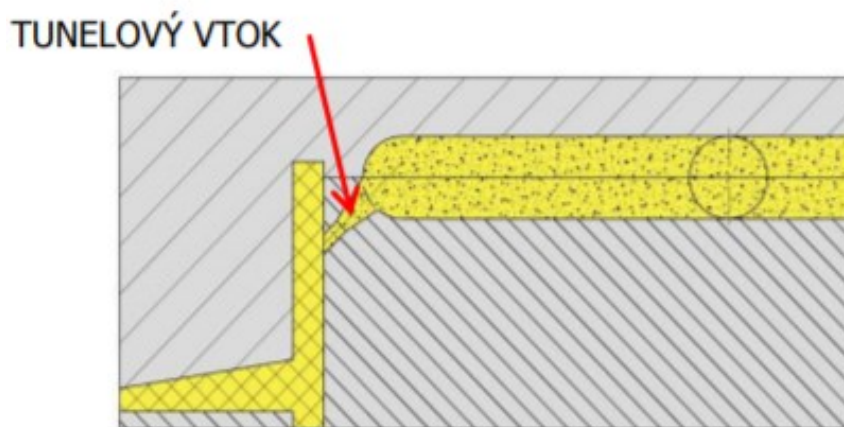
- **Bodový vtok** se využívá u tenkostěnných výrobků. Jedná se o zúžené vtokové ústí většinou kruhového průřezu rozšiřující se směrem k výrobku, aby došlo k odtržení vtokového systému od výrobku. Bodový vtok se využívá u třídeskových forem, kde se nejprve otevře vedlejší dělicí rovina (dojde k odtržení vtokového ústí) a až

poté hlavní dělicí rovina s výstřikem. Po odtržení vtokového zbytku zůstává na díle stopa. Bodový vtok není vhodné používat pro výrobky větších rozměrů a plastů méně viskózních a plněných.



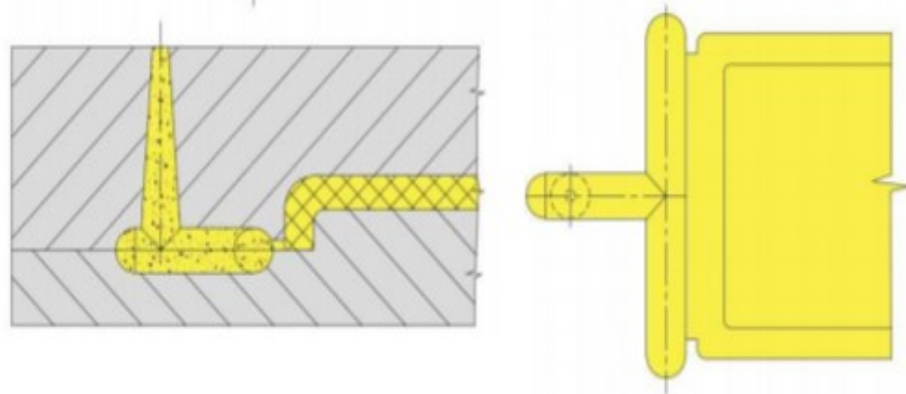
Obr. 26 Bodový vtok [14]

- **Tunelový vtok** je speciálním případem bodového vtoku. Tunelový vtok zajišťuje automatické oddělení vtokového zbytku od výstřiku. Pro odformování vtokového zbytku od dílu je nutná existence ostré hrany. K oddělení vtokového zbytku dojde během otevírání formy nebo při vyhození výrobku z formy. U tohoto typu vtoku leží rozvodný kanál v dělicí rovině a není proto zapotřebí třideskového systému formy. Tento typ vtoku není vhodný pro křehké materiály jako např. PS nebo PMMA nebo pro polymery plněné vlákny.



Obr. 27 Tunelový vtok [14]

- **Boční vtok** patří mezi nejběžněji používané vtokové ústí, které leží v dělicí rovině. Průřez bývá většinou obdélníkový. Vtokový zbytek zůstává neoddělen od dílu.
- **Filmový vtok** se využívá u tenkých plošných dílů obdélníkového tvaru. Vtok se umísťuje do kratší stěny výrobku. Vtokový zbytek nelze odstranit automaticky a musí být odstraněn mimo formu. Je vhodný pro materiály plněné polymery.



Obr. 28 Filmový vtok [14]

4.2.2 Vyhříváný vtokový systém

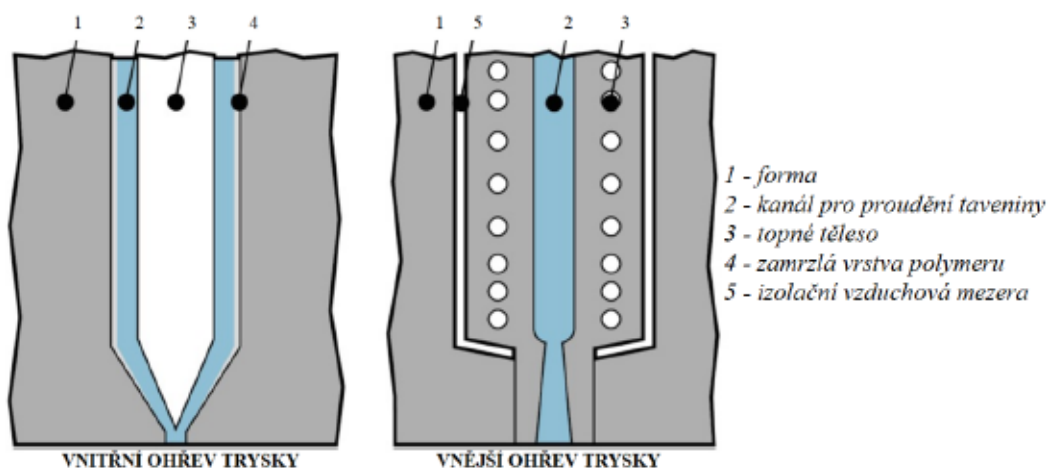
Vyhříváný vtokový systém (VVS) byl vyvinut zejména z důvodu snížení spotřeby vstříkovaného materiálu (nevzniká vtokový zbytek), automatizace a s tím spojené zkrácení vstříkovacího cyklu. Při použití VVS odpadá nutnost odstraňování a recyklace vtokových zbytků a na výrobcích nezůstávají stopy po jejich odstranění a dojde i ke snížení nákladů na dokončovací práce. Nevýhodou VVS je její finanční náročnost, složitější konstrukce formy a nutnost zakoupení dalších prvků – snímače teplot, regulátory aj. Pomocí VVS lze regulovat a měnit teplotu taveniny během vstříkování. VVS nejdříve předcházela řada jednodušších systémů (např. izolované vtokové soustavy s předkomůrkami nebo zesílené vtoky). V dnešní době jsou ve vstříkovacích formách nejčastěji použity vyhříváné trysky nebo vyhříváné rozvodné bloky [12,21].

Principem VVS je udržení konstantní teploty taveniny během dopravy taveniny do tvarových dutin formy, čímž nedojde k zatuhnutí polymeru ve vtokovém systému. To umožňuje použití bodového ústí o velmi malém průřezu, které je vhodnější pro spoustu vstříkovaných materiálů. Teplota taveniny u VVS je výrazně vyšší než u SVS. VVS se používá u tvarově a hlavně rozměrově složitějších výstřiků [12].

Vyhřívání trysky

Vyhřívání trysky nejčastěji obsahuje vlastní vyhřívání článku s regulací nebo může být vytápěna jiným vnějším zdrojem. K ohřevu trysky dochází pomocí elektrické kabeláže. Tryska s vnitřním ohřevem je vyhřívána pomocí topného tělesa umístěného uvnitř trysky, kolem které obíhá tavenina (může docházet k tlakovým úbytkům). Tryska s vnějším ohřevem je opatřena navinutým svazkem topného tělesa okolo trysky. Vyhřívání trysky značně zlepšuje technologické podmínky při vstřikování. Značnou výhodou použití vyhřívání trysky je odstranění stopy po vtoku. U transparentních výrobků, kde je kladen velký důraz na kvalitu, není vhodné používat vyhřívání trysky [16].

U polymerů, které táhnou vlas, nebo u objemných a tvarově složitých výrobků bývá tryška opatřena uzavírací jehlou. Ovládání jehly bývá zajištěno nejčastěji pomocí hydraulických nebo pneumatických válců nebo elektromagneticky. Pomocí jehly lze i úplně odstranit stopu po vtoku [16].

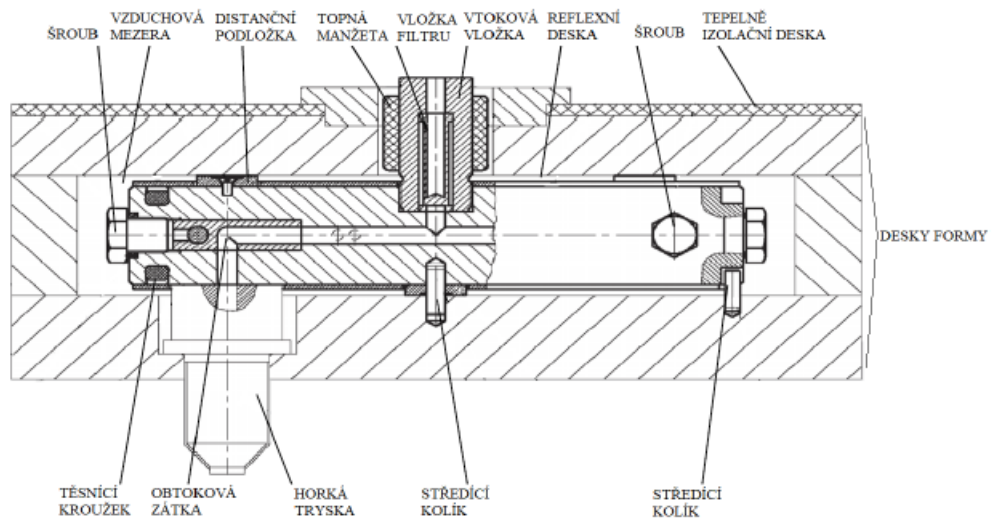


Obr. 29 Vyhřívání trysky [6]

Vyhřívání rozvodné bloky

Vyhřívání blok slouží k rozvodu taveniny uvnitř dutiny formy u vícenásobných forem. Blok je vyhříván a zajišťuje regulaci a konstantní teplotu taveniny uvnitř formy. Uvnitř bloku jsou vyvrtány kanálky, ve kterých proudí tavenina. Blok je vyhříván topnými elementy (odporové topení, patrony, hadí) a teplo se do taveniny přenáší stěnami rozvodných kanálů. Topné elementy musí být v rozvodném bloku rozloženy rovnoměrně, aby bylo zajištěno rovnoměrné teplotní pole uvnitř rozvodného bloku. Rozvodný blok bývá nejčastěji tvaru písmene I, X, Y, H nebo hvězdy. Rozvodný blok je od ostatních

komponentů formy tepelně izolován vzduchovou mezerou. Na koncích rozvodného bloku jsou umístěny vyhřívané trysky [16].



Obr. 30 Řez vyhříváním rozvodným blokem [15]



Obr. 31 Tvarové řešení vyhřívání rozvodných bloků [17]

4.3 Temperační systém

Temperace vstřikovacích forem má zásadní podíl na kvalitě vyráběného dílce, vzniku smrštění a deformací či defektů. Hlavním důvodem temperování forem je zajištění konstantního teplotního pole uvnitř formy během vstřikovacího cyklu. Dobře navržený temperační systém je předpokladem pro správné zaplnění dutiny formy a tuhnutí

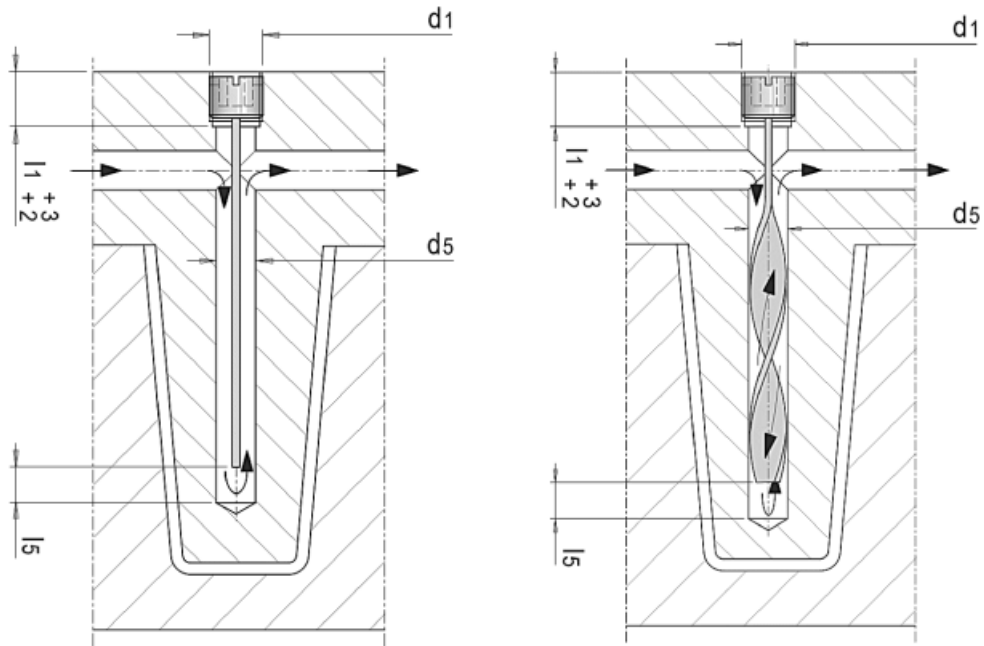
polymeru uvnitř dutiny formy. Během procesu vstřikování se jednotlivé části formy zahřívají a takto vzniklé teplo je nutné efektivně odvádět, aby bylo zajištěno, že vstřikovací cyklus probíhá za stejných teplotních podmínek a nebudou vyráběny neshodné dílce. V určitých případech bývají různé části formy temperovány na různou teplotu, čímž je zabráněno vzniku tvarových deformací výstřiku [6].

Temperační systém bývá nejčastěji navržen jako systém vyvrtaných kanálků uvnitř formy, ve kterých proudí vhodné temperační médium. Do temperačního systému bývají často zařazeny i další prvky jako např. obtokové vložky, spirály, fontánky atd., které zlepšují odvod tepla v určité části temperačního systému. Rozměry a počet temperačních kanálků je třeba navrhnout v souladu s celkovou koncepcí formy s ohledem na tuhost a pevnost částí formy. V okolí tvarových částí dutiny formy je vhodné, aby temperační kanálky byly rozloženy rovnoměrně s ohledem na tloušťku stěny výrobku. Velikost průřezu kanálků se volí zejména podle zpracovaného polymeru, velikosti výstřiku a způsobu zaformování. Vzhledem k intenzitě ochlazování je vhodné zvolit větší počet kanálků s menším průřezem než menší počet kanálků s větším průřezem, jelikož zvětšování průřezu kanálku je neefektivní a intenzita odvodu tepla se zvýší pouze nepatrně a sníží se tím značně tuhost formy [6,11]

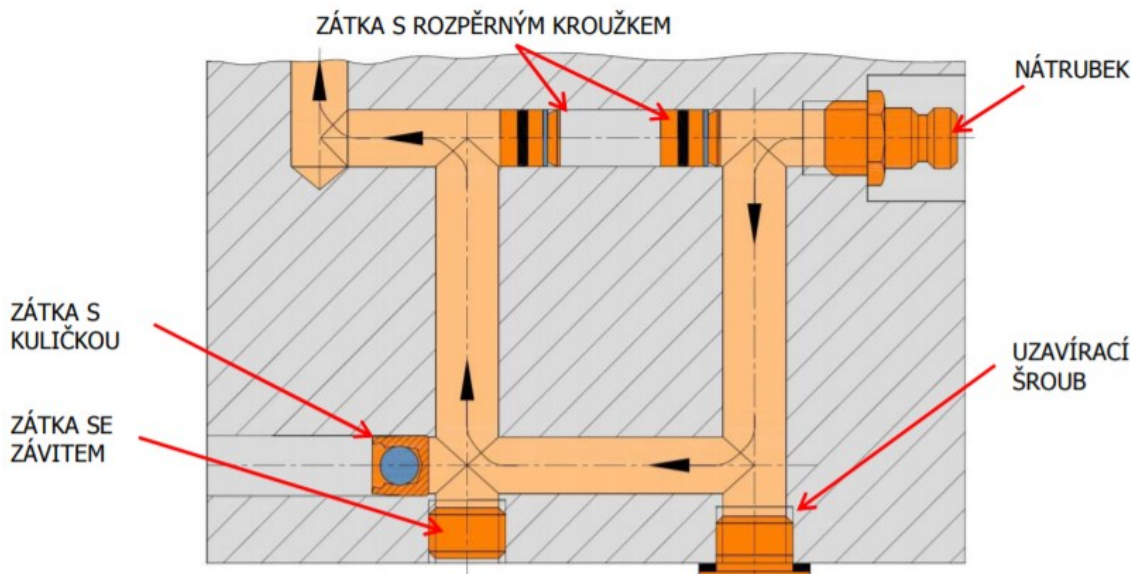
Materiál	Doporučená teplota povrchu formy (°C)	Teplota taveniny (°C)
ABS	50	250
PA6	65	250
PC	82	300
PE	52	220
PP	50	230
TPE	45	250

Tab. 5 Doporučené teploty různých materiálů [25]

Pro chlazení tvárnků se často využívají obtokové vložky nebo spirály vložené do temperačního kanálku. Tímto způsobem lze dosáhnout lepšího odvodu tepla a zajištění rovnoměrného teplotního pole uvnitř tvárnku. Nevýhoda použití přepážek je v tom, že je nutné zajistit jejich přesné umístění, aby byl kanálek rozdělen přesně na poloviny a docházelo tak ke stejnému odvodu tepla z obou částí kanálku. Přepážka bývá nejčastěji jako normalizovaný díl opatřená závitem a těsněním, aby nedocházelo k úniku temperačního média, a je vyráběna z vysoce tepelně vodivého materiálu. Spirála funguje na stejném principu jako přepážka, jenom je plochý průřez nahrazen spirálou. Tímto dílem lze dosáhnout zlepšení rovnoměrnosti teplotního pole uvnitř tvárnku [6,12].



Obr. 32 Normalizované přepážky a spirály od firmy Meusburger [19]



Obr. 33 Příklad temperačního okruhu [6]

4.3.1 Temperační prostředky

Temperační prostředky mají za úkol vytvořit optimální teplotní pole uvnitř formy a zajistit optimální tepelné podmínky při vstřikování. Tyto prostředky se dělí na:

- aktivní působící přímo ve formě,
- pasivní ovlivňující teplotní pole svými fyzikálními vlastnostmi [12].

Aktivní temperační prostředky:

- Kapaliny proudící uvnitř temperačního systému, u kterých dochází k přestupu tepla. Mezi kapalnými temperačními prostředky patří voda, olej nebo glykol. Voda patří mezi nejpoužívanější kapalná temperační média. Má velkou hodnotu přestupu tepla, nízkou viskozitu a je ekologicky nezávadná. Olej se používá v případech, kdy je nutné temperovat formu na vyšší teplotu. Nevýhodou použití oleje je jeho menší tepelná vodivost než u vody. Glykol nezpůsobuje korozi a neucpává kanály, je ekologicky závadný a rychle stárne (často se používá v kombinaci s vodou).
- Vzduch se používá pouze v případech, kdy není ve formě dostatek místa na temperační kanálky s využitím kapalin. Vzduch má velmi malou hodnotu tepelné vodivosti oproti kapalinám
- Elektrické topné články se využívají zejména v případech, kdy ztráty do okolí převyšují teplo dodané vstříkovaným plastem. Nejčastěji se používají topné patrony [12].

Pasivní temperační prostředky:

- Tepelně izolační materiály se používají ke snížení odvodu tepla z formy. U forem, které jsou vytápěny na menší nižší teploty, obsahují izolační desky upevněné k upínacím deskám formy. Tímto je zamezeno přestupu tepla z formy do vstříkovacího stroje. U forem, které se temperují na vyšší teploty, je vhodné zaizolovat celý povrch formy, aby nedocházelo k velkým tepelným ztrátám do okolí. Materiálem izolačních desek bývá nejčastěji PA 66 nebo pryskyřice.
- Tepelně vodivé materiály se používají zejména k přívodu nebo odvodu tepla z těžce dostupných míst tvárníků, jader nebo pohyblivých tvarových čelistí. Používají se materiály s velkou tepelnou vodivostí – měď, hliník a jejich slitiny [12].

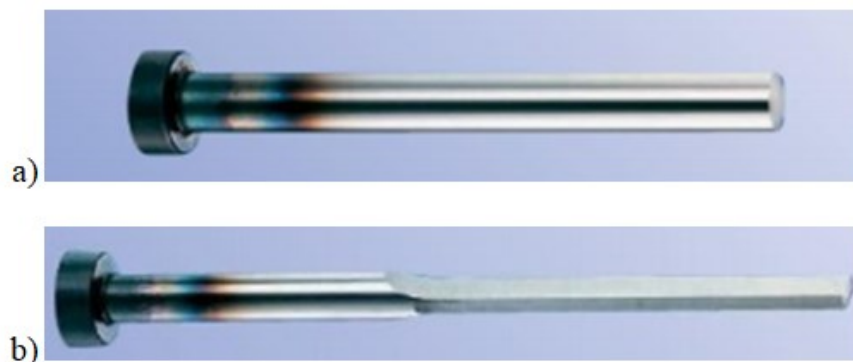
4.4 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je nedílnou součástí vstříkovací formy, který zajišťuje automatický výrobní cyklus. Jeho úkolem je odformování hotových výstřiků z otevřené formy nejčastěji z tvárníku. U forem se studeným vtokovým systémem také zajišťuje odformování vtokových zbytků. Pro vyhození výrobku z formy vykonává tento systém dopředný pohyb a poté se zpětným pohybem vrací do původní polohy. Systém musí být navržený tak, aby nedocházelo k poškození výstřiku nebo jeho deformaci. Jedním

z předpokladů pro hladký průběh vyhazování, je hladký povrch výstřiku, úkosovitost stěn ve směru vyhození a rovnoměrné uspořádání vyhazovačů. Existuje několik typů vyhazovacího systému [12].

4.4.1 Mechanický vyhazovací systém

Tento systém patří mezi nejrozšířenější. Patří sem vyhazování výstřiku za pomoci vyhazovacích kolíků, šikmých vyhazovačů, trubkových vyhazovačů, stírací desky nebo systémem postupného vyhazování. Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků je nejčastější a nejlevnější varianta. Vyhazovací kolíky musí být snadno vyrobitelné, musí mít dostatečnou tuhost, aby nedocházelo k deformacím kolíků během vyhazování. Kolíky se umísťují zpravidla na nepohledovou část výstřiku, jelikož po nich vznikají stopy na výstřiku [12].



Obr. 34 Vyhazovací kolíky [20]

a) Válcový vyhazovač, b) prizmatický vyhazovač

4.4.2 Hydraulický vyhazovací systém

Hydraulický systém se používá k ovládní mechanických vyhazovačů nebo bočních posuvných čelistí. Tento systém je součástí vstřikovacího stroje a zajišťuje plynulejší ovládní [12].

4.4.3 Pneumatický vyhazovací systém

Pneumatický systém se používá pro vyhazování tenkostěnných výstřiků o velkých rozměrech ve tvaru nádob, které je nutné zavzdušnit, aby bylo zamezeno vzniku deformací. Výhodou tohoto systému je, že není nutné použití velkého zdvihu

jako u mechanického systému. Nevznikají zde stopy po vyhazovačích ani místní přetížení. Stlačený vzduch je přiváděn přes ventil mezi výrobek a líc formy [12].

4.5 Materiály forem

Volba vhodného materiálů jednotlivých komponentů vstřikovací formy je nedílnou součástí návrhu konstrukce formy. Volba materiálu se odvíjí zejména od jeho ceny, druhu vstřikovaného polymeru, životnosti formy, velikosti komponentu a jeho funkce, dále také od přesnosti a jakosti výrobku nebo podmínkách vstřikování. Při konstrukci formy je vhodné v místech vzniku velkého opotřebení použít vložky a tím zajistit snadnou výměnu. V částech, kde je nutné zajistit větší přesnost, je také vhodné použití vložek z lepšího materiálu než ve zbytku formy [22].

Použitím tepelného nebo chemicko-tepelného zpracování nebo pomocí povlakování lze značně prodloužit životnost komponentu a výrazně zlepšit mechanické vlastnosti – tvrdost, pevnost, odolnost vůči opotřebení, zlepšení kluzných vlastností atd. [22].

Materiály [22]:

- **Ocel** je nejvýznamnějším a nenahraditelným materiálem ve vstřikovací formě. Jednotlivé díly nemají stejnou funkci, proto se na materiál kladou specifické požadavky (odolnost vůči opotřebení, životnost, kluzné vlastnosti...). S ohledem na funkčnost dílu musí ocel splňovat:
 - dobrou obrobiteľnosť,
 - odolnosť proti korozi a chemickým vlivům polymeru,
 - stálost rozměrů a minimální deformace při kalení,
 - vhodné fyzikální vlastnosti,
 - zvýšená odolnost vůči opotřebení.
- **Neželezné slitiny kovů (Cu, Al, ...)** se používají, protože mají lepší specifické vlastnosti než ocel jako např. velmi dobrá tepelná vodivost, chemická odolnost nebo dobré kluzné vlastnosti. Slitiny mědi se nejčastěji používají pro temperační trny tvárníků, tvarové vložky, vytápěcí matice, vyhazovací kolíky atd.
- **Ostatní materiály** – izolační, tepelně nevodivé atd.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro tuto diplomovou práci byly stanoveny následující cíle

- vypracovat literární studii pro dané téma,
- provést 3D konstrukci modelu,
- provést analýzu procesu vstřikování a optimalizaci zadaného dílu,
- navrhnout koncepci vstřikovací formy pro zadaný díl,
- nakreslit 2D řez vstřikovací formou spolu s výkresy a kusovníkem.

V teoretické části byla popsána technologie vstřikování, vstřikovací stroj, konstrukce vstřikovaných dílů, vznik možných vad na výrobku při vstřikování a konstrukce vstřikovací formy včetně jejich jednotlivých komponentů.

Praktická část se bude zabývat 3D konstrukcí modelu výrobku v softwaru CATIA V5 R19. Poté budou provedeny tokové analýzy různých variant materiálů, vtoků a teperací v programu Moldflow Synergy 2016. Podle výsledků tokových analýz bude z hlediska procesu vstřikování vybrána nejvhodnější varianta a dle ní zhotoven 3D model vstřikovací formy včetně výkresové dokumentace.

6 POUŽITÝ SOFTWARE

6.1 Catia V5 R19

Jedná se o konstrukční software od francouzské firmy Dassault Systém, který je v dnešní době hojně využíván zejména v leteckém a automobilovém průmyslu. Program nabízí širokou škálu modulů pro tvorbu 3D modelů, sestav, výkresové dokumentace, analýz, simulací obrábění atd. Díky balíčkům Assembly design (práce se sestavami) a Mold Tooling design (tvorba vstřikovacích forem) a možností vkládat do prostředí normálie používané ve vstřikovací formě, je tímto zásadně zjednodušeno vytváření 3D modelu vstřikovací formy.

Tento program byl v diplomové práci použit pro tvorbu 3D modelu výrobku, vytvoření vstřikovací formy a výkresové dokumentace.

6.2 Digitální katalog Hasco Dako Modul

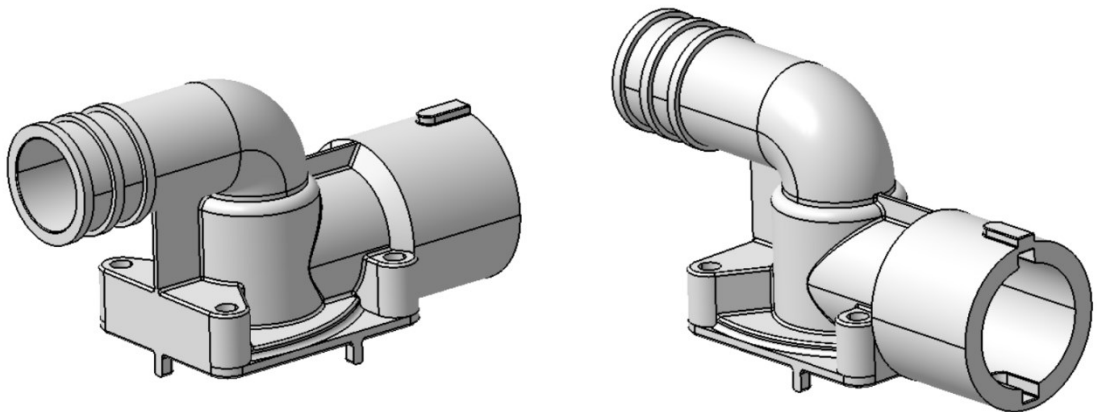
Je to digitální katalog normálií od firmy Hasco. Tento program nabízí výběr z mnoha normálií různých rozměrů potřebných ve vstřikovací formě. Program také nabízí export 3D modelů součástí do softwaru Catia, kde je s nimi možné dále pracovat (např. vložit do sestavy vstřikovací formy).

6.3 Moldflow synergy 2016

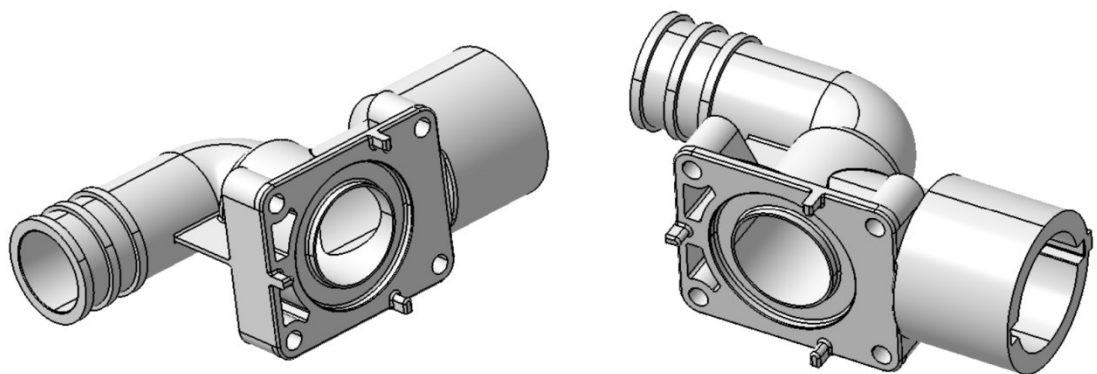
Software pro ověření funkčnosti formy a tvorby předběžných tokových analýz. Díky tomuto programu lze vytvářet simulace procesu vstřikování. Nabízí možnost simulace plnění dutiny formy, fázi dotlaku, kontrolu teploty nebo vznik deformací. Díky tomuto programu lze odhalit vznik možných vad a defektů na výrobku nebo optimalizovat konstrukci vstřikovací formy a proces vstřikování ještě před tím, než bude vyrobena samotná forma. Součástí softwaru je také knihovna, která nabízí výběr z velkého množství vstřikovaných materiálů a vstřikovacích strojů.

7 VSTŘIKOVANÝ DÍL

Vstříkovaným dílem je součást palivového systému automobilu. Výrobek obsahuje tři otvory pro průtok kapaliny, žebrování a prvky pro vystředění a napojení dalších prvků palivové soustavy. Rozměry výrobky jsou 94 x 53 x 38 mm (délka x výška x hloubka) a objem 25 cm³. Byly vytvořeny dva modely výrobku. První model je shodný s výrobkem, druhý model slouží k vytvoření tokových analýz a neobsahuje zaoblení menší než R2. Modely výrobku byly zhotoveny na základě skutečného dílu.



Obr. 35 Horní pohled na výrobek



Obr. 36 Spodní pohled na výrobek

7.1 Materiál výrobku

Jako materiál výrobku byly zvoleny dvě varianty – PA6 GF35 a POM GF25. Podle výsledku z tokových analýz bude jeden materiál vybrán a použit pro konstrukci vstříkovací formy.

7.1.1 PA6 GF35

Materiál PA6 plněný 35 % skelnými vlákny je semikrystalický konstrukční termoplast. Tento polymer je charakteristický svou pevností a tuhostí, rozměrovou stálostí a teplotní i chemickou odolností. Dodavatelem materiálu byla zvolena společnost Kingfa Science and Technology pod obchodním názvem PA6-35GF NC001. Materiál je dodáván v černé barvě. Polyamidy patří mezi navlhavé materiály a je potřeba ho před zpracováním dostatečně vysušit. Mechanické a zpracovatelské vlastnosti materiálu jsou popsány v Tab. 6.

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Modul pružnosti v tahu	9200	MPa
Modul pružnosti v ohybu	3252	MPa
Minimální teplota taveniny	265	°C
Maximální teplota taveniny	285	°C
Minimální teplota povrchu formy	50	°C
Maximální teplota povrchu formy	100	°C
Vyhazovací teplota	168	°C
Maximální rychlost smykové deformace	60000	1/s

Tab. 6 Vlastnosti PA6-35GF NC001

7.1.2 POM GF25

Polyoxymethylen (POM) patří také mezi semikrystalické konstrukční termoplasty. POM vykazuje vysokou pevnost, tuhost, rázovou houževnatost, dobrou obrobiteľnosť a veľmi nízku navlhavosť, čímž si zachováva konštantní fyzikální vlastnosti v různých prostředích. Jako dodavatel materiálu byla zvolena společnost BASF Engineering Plastics a materiál se prodává pod obchodním názvem Ultraform N2200 G43. Materiál je dodáván v černé barvě a jeho mechanické a zpracovatelské vlastnosti jsou popsány v Tab. 7.

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Modul pružnosti v tahu	8583	MPa
Modul pružnosti v ohybu	3644	MPa
Minimální teplota taveniny	190	°C
Maximální teplota taveniny	220	°C
Minimální teplota povrchu formy	80	°C
Maximální teplota povrchu formy	110	°C
Vyhazovací teplota	125	°C
Maximální rychlost smykové deformace	40000	1/s

Tab. 7 Vlastnosti Ultraform N2200 G43

8 TOKOVÉ ANALÝZY

Před konstrukcí vstřikovací formy budou provedeny tokové analýzy v programu Moldflow Synergy 2016. Budou porovnány různé typy temperací, vtoků a vstřikovaných materiálů. Celkem bude provedeno a porováno 6 tokových analýz. Budou provedeny analýzy pro dva typy temperace pro studený vtok a jeden typ pro horký vtok a budou porovnávány dva různé vstřikované materiály.

8.1 Volba vstřikovacího stroje

Na základě rozměrů vstřikovací formy (včetně hydraulických tahačů) a výsledků potřebné uzavírací síly z provedených analýz byl zvolen vstřikovací stroj od firmy Arburg s označením Allrounder 630S 300 16,4 oz (55mm). Značnou výhodou tohoto stroje je možnost demontáže vodícího sloupu, čímž lze do stroje vložit vstřikovací formu o větších rozměrech, než je vzdálenost mezi vodícími sloupy. Požadované parametry a parametry stroje jsou uvedeny v Tab. 8.



Obr. 37 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 630S

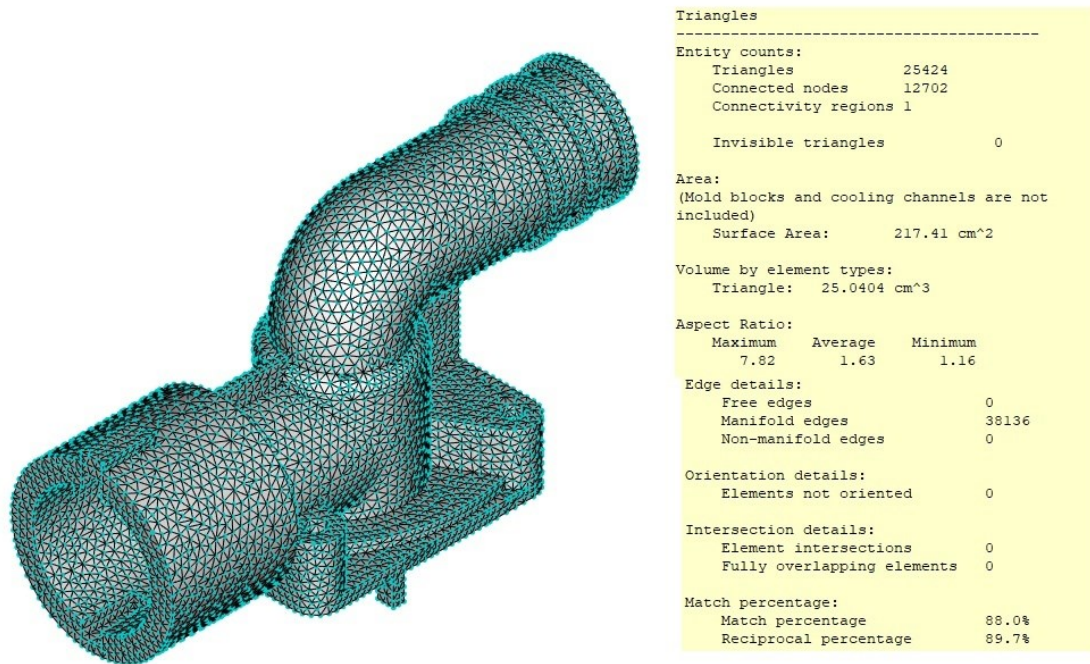
Parametr	Požadovaná hodnota	Hodnota vstřikovacího stroje	Jednotka
Velikost formy	496 x 446*	630 x 630	mm
Uzavírací síla	234	2720	kN
Objem dávky	70,8	474	cm ³
Vstřikovací tlak	24,9	172	MPa

Tab. 8 Parametry vstřikovacího stroje

* rozměr rámu formy bez hydraulických tahačů jader

8.2 Tvorba sítě na modelu výrobku

Pro analýzu byl do programu importován model výrobku, který neobsahuje rádiusy menší než R2. Na výrobku byla vytvořena 2,5D síť nazvaná Dual Domain. Tuto síť tvoří elementy ve tvaru trojúhelníku se třemi uzly. Délka hrany trojúhelníku byla nastavena na 1,6 mm.



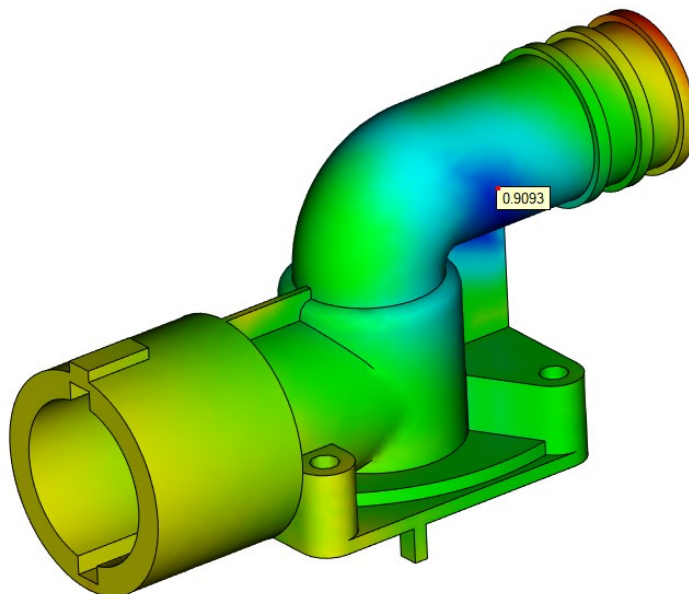
Obr. 38 Síť na modelu výrobku a její vlastnosti

Pro zajištění kvality sítě a správnosti výsledků, musí být vlastnost sítě Aspect Ratio menší než 15, dále nesmí obsahovat žádné volné nebo nepropojené hrany, neorientované, překrývající se nebo protínající se elementy, a procentuální shoda sítě musí být větší než 85 %. Všechny tyto parametry navrhnutá síť splňuje (viz Obr. 38).

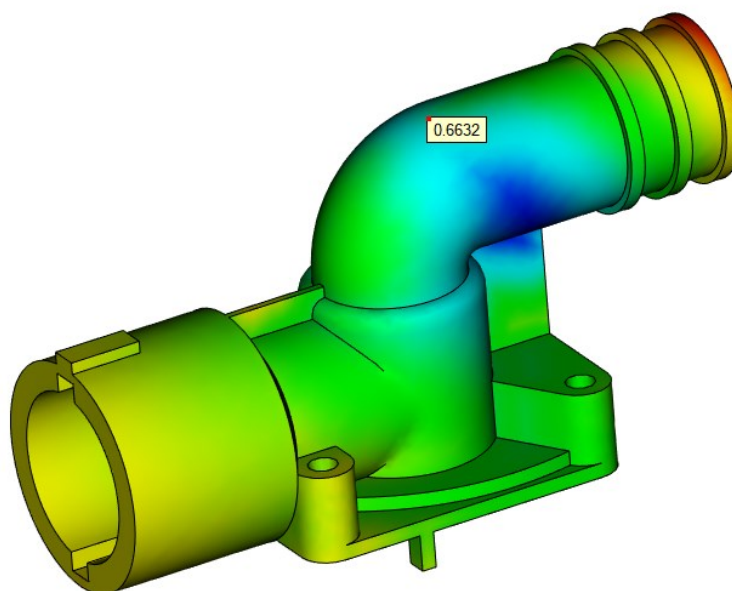
8.3 Umístění vtoku (gate location)

Jako první analýza byla provedena gate location – nejvhodnější umístění vtoku na výrobku. Dle výsledku analýzy a z hlediska zaformování výrobku byly vybrány nejvhodnější místa pro umístění studeného a horkého vtokového ústí. Modrá barva znamená nejvhodnější místa, červená naopak nejméně vhodná. Pro studený vtok se hodnota vhodného umístění vtoku pohybuje okolo 90 % a pro horký vtok 66 %.

Obě tyto hodnoty vhodnosti umístění vtoku jsou naprosto vyhovující. Na základě výsledků této analýzy byl navržen studený a horký vtokový systém.



Obr. 39 Umístění studeného vtokové ústí



Obr. 40 Umístění horkého vtokového ústí

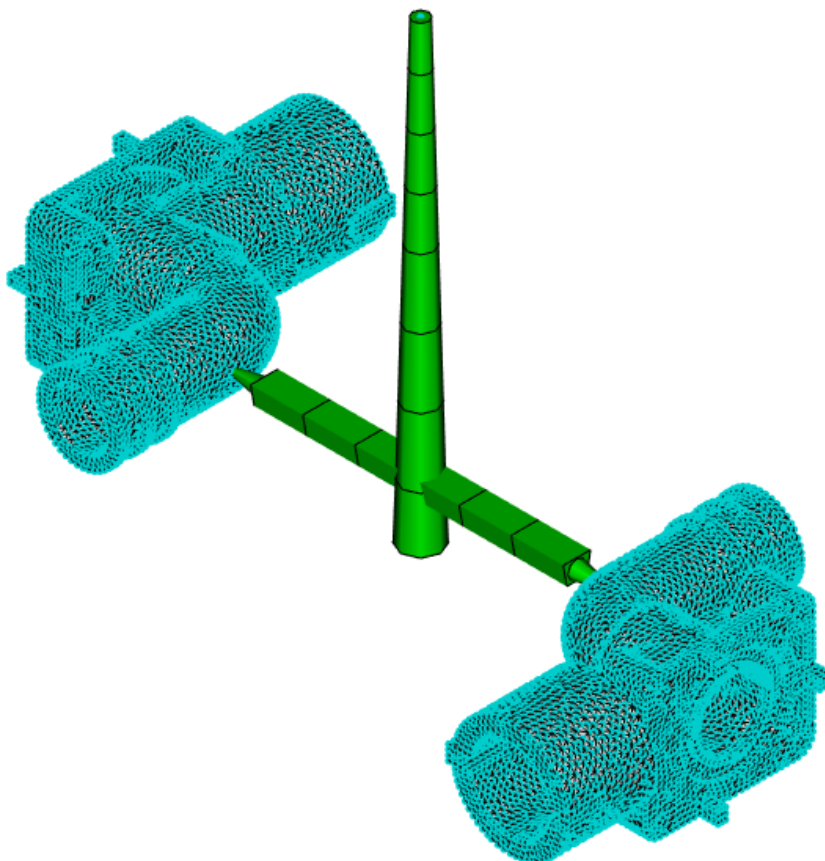
8.4 Vtokové systémy

Pro návrh vstřikovací formy byly porovnány dvě varianty vtoků – studený a horký.

8.4.1 Studený vtokový systém

První navrhovaná varianta je použití studeného vtokového systému. Tento systém se skládá z vtokové vložky, rozvodných kanálů, vtokového ústí a přídržovače vtoků. Byla použita vtoková vložka od firmy Hasco Z51/18x96/4,5/40, průřez vtokových kanálů je lichoběžníkového tvaru o rozměrech 5,5 x 7,5 x 5,5 mm (spodní hrana x horní hrana x výška) a kuželové ústí vtoků o rozměrech 5 x 2 x 8 mm (počáteční průměr x koncový průměr x délka).

Výhodou tohoto vtokového systému je jeho jednoduchá výroba a nižší pořizovací cena než u vyhřívaného systému. Nevýhodou je vznik vtokového zbytku (odpad) a nutnost jeho odstranění a dalšího zpracování.

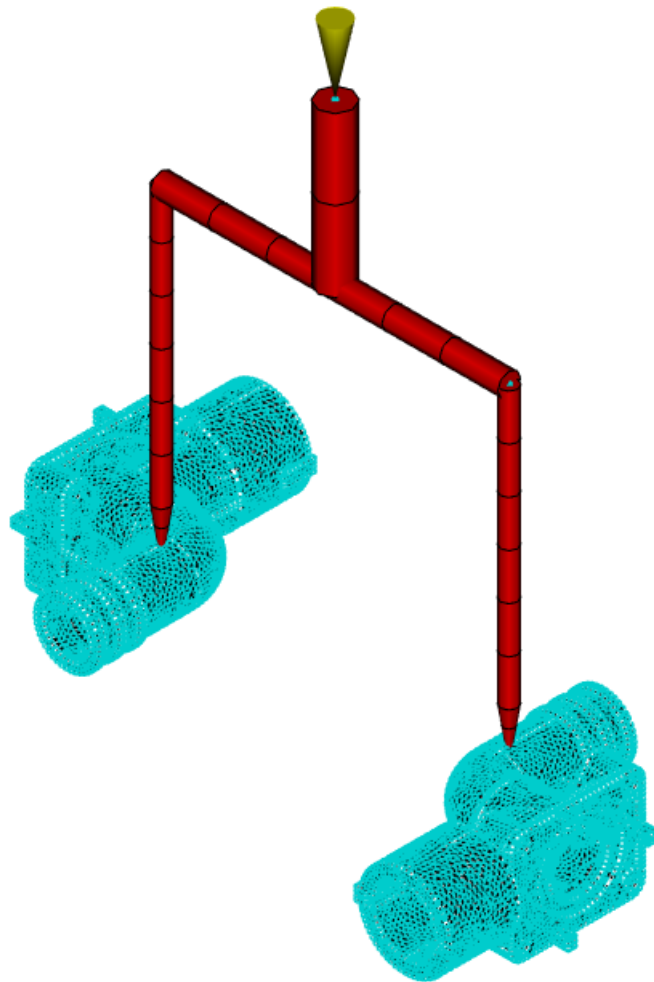


Obr. 41 Studený vtokový systém

8.4.2 Vyhříváný vtokový systém

Druhou variantou je vyhříváný vtokový systém. Tento systém se skládá z centrální vtokové vložky, vyhříváného rozvodného bloku a vyhříváných trysek ústících do dutiny formy. Byla použita centrální vtoková vložka Z1055/1/30x56/12, vyhříváný blok H106/1/71x200/46 a vyhříváná tryska Z20213/25x80 od firmy Hasco.

Výhodou tohoto systému je, že při vstřikování nehrozí zatuhnutí materiálu v rozvodných kanálech a nevzniká žádný odpad v podobě vtokových zbytků, čímž se sníží spotřeba materiálu. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena a nutnost zakoupení dalších komponentů, např. regulační a měřící techniky.



Obr. 42 Horký vtokový systém

8.5 Temperační systém

Pomocí analýz budou porovnány tři typy temperace – dvě pro studený vtok a jedna pro horký vtok. Dvě varianty temperace byly navrženy jako systém vyvrtaných kanálků a jedna varianta jako komfortní chlazení. Temperační médium byla zvolena kapalina se složením 20 % glykol a 80 % voda.

8.6 Navrhované varianty

Navrhované varianty jsou zaznamenány v Tab. 9. Jednotlivé varianty budou blíže popsány v pozdějších kapitolách.

Varianta	Materiál	Vtokový systém	Temperační systém
1a	PA6 GF35	Studený	Vrtaný
2a		Studený	Komfortní
3a		Horký	Vrtaný
1b	POM GF25	Studený	Vrtaný
2b		Studený	Komfortní
3b		Horký	Vrtaný

Tab. 9 Navrhované varianty

8.7 Procesní parametry

Pro všechny varianty byly nastaveny následující procesní parametry:

- doba otevření formy – 4 s,
- počet zatumlých vrstev při vyhození – 95 %,
- čas vstříku – 1,5 s,
- přepnutí na dotlak – 98 % zaplnění dutiny formy,
- kontrola chladiva – podle tlaku – 3,5 bar.

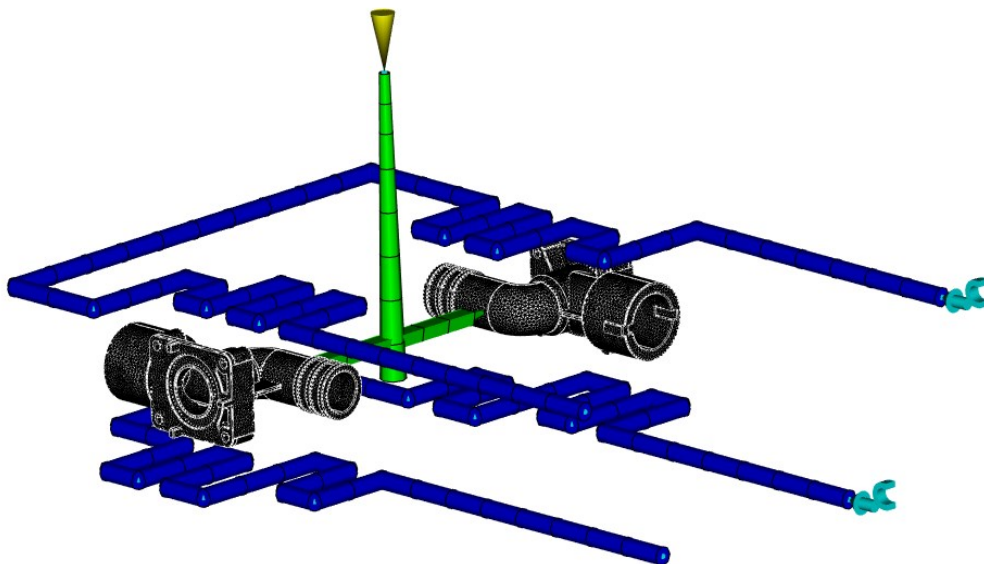
8.8 Vyhodnocované parametry

Pro vybrání nejvhodnější varianty budou porovnávány následující parametry – čas plnění, čas k dosažení vyhazovací teploty, rychlost smykové deformace, tlak, efektivita odvodu tepla temperačním okruhem a deformace vzniklá ze všech efektů.

8.9 Výsledky analýz

8.9.1 Varianta 1a

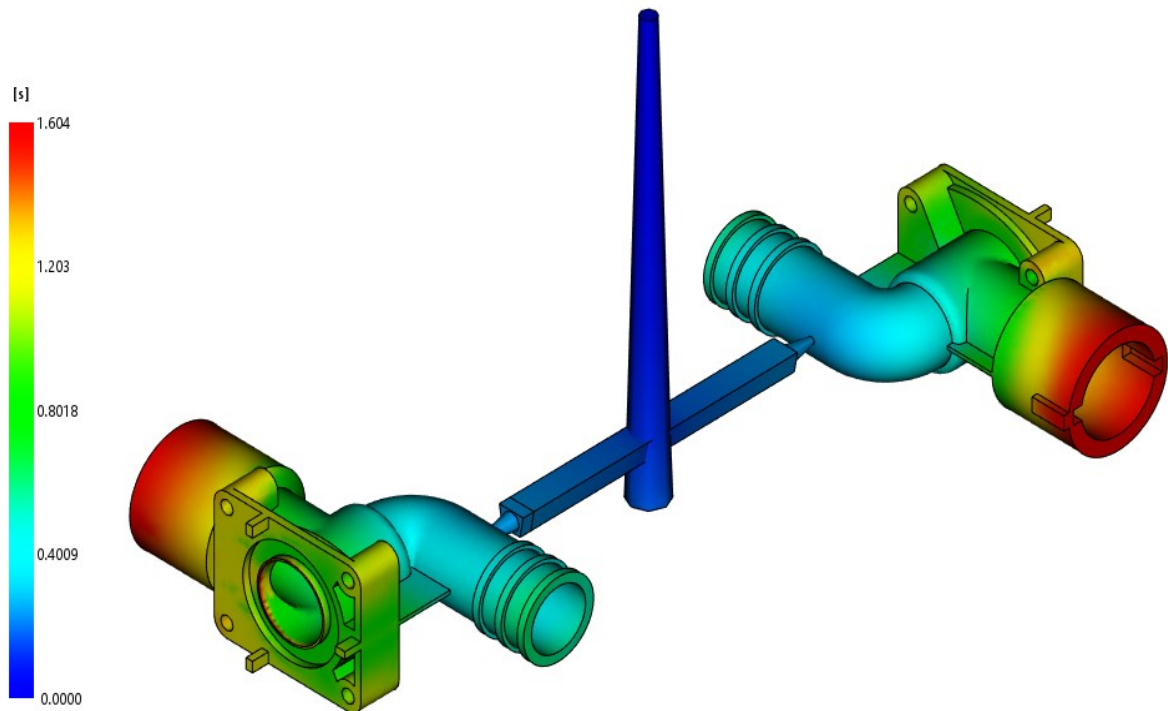
Pro variantu 1a byl jako vstřikovaný materiál použit PA6 GF35 a studený vtokový systém. Temperační systém tvoří systém vyvrtaných kanálků o průměru 8 mm. Nastavená teplota taveniny je 280 °C, teplota povrchu formy 85 °C, vyhazovací teplota 160 °C a teplota chladicího média 55 °C.



Obr. 43 Varianta 1a

Čas plnění

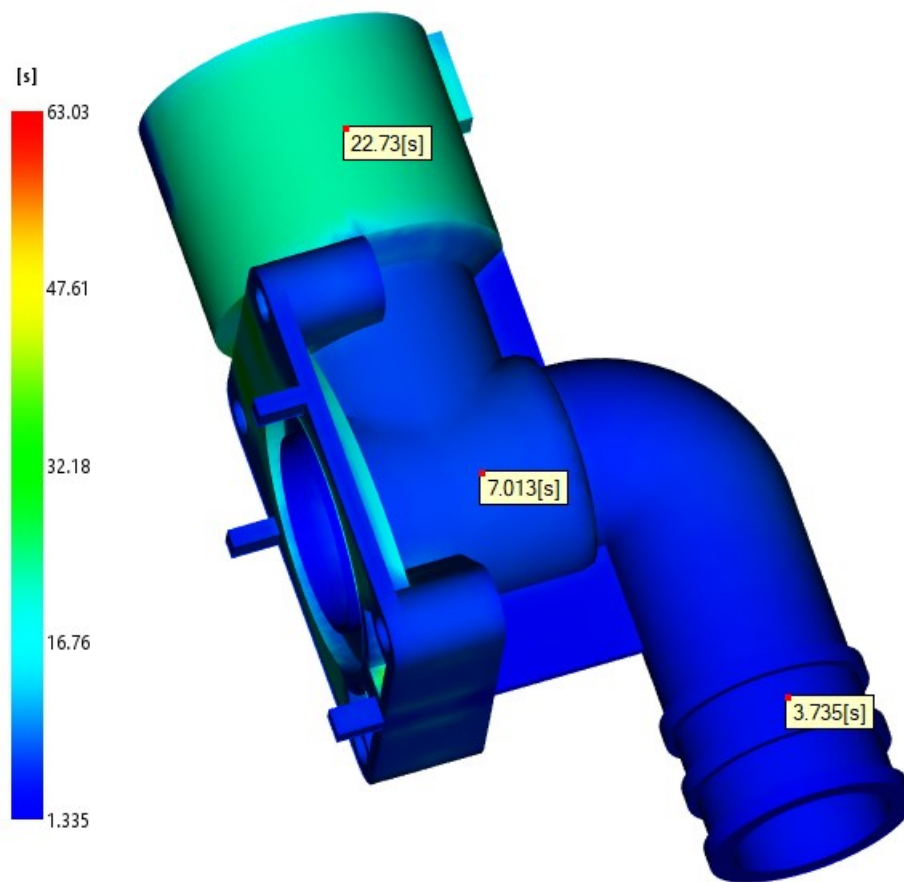
Čas plnění dutiny formy je jedním z nejdůležitějších parametrů procesu vstřikování. Vzhledem k ekonomičnosti je požadavek, aby tento čas byl co nejkratší. Z analýzy vyplývá, že čas plnění u této varianty je 1,60 s. Z výsledku analýzy také vyplývá, že tavenina zatekla do všech míst dutiny formy a nevznikly zde žádné problémy. Červená barva značí na výrobku místa, kam tavenina doteče nejpozději. Obě dutiny byly vyplněny ve stejný čas a není nutná úprava vtokového systému.



Obr. 44 Čas plnění

Čas k dosažení vyhazovací teploty

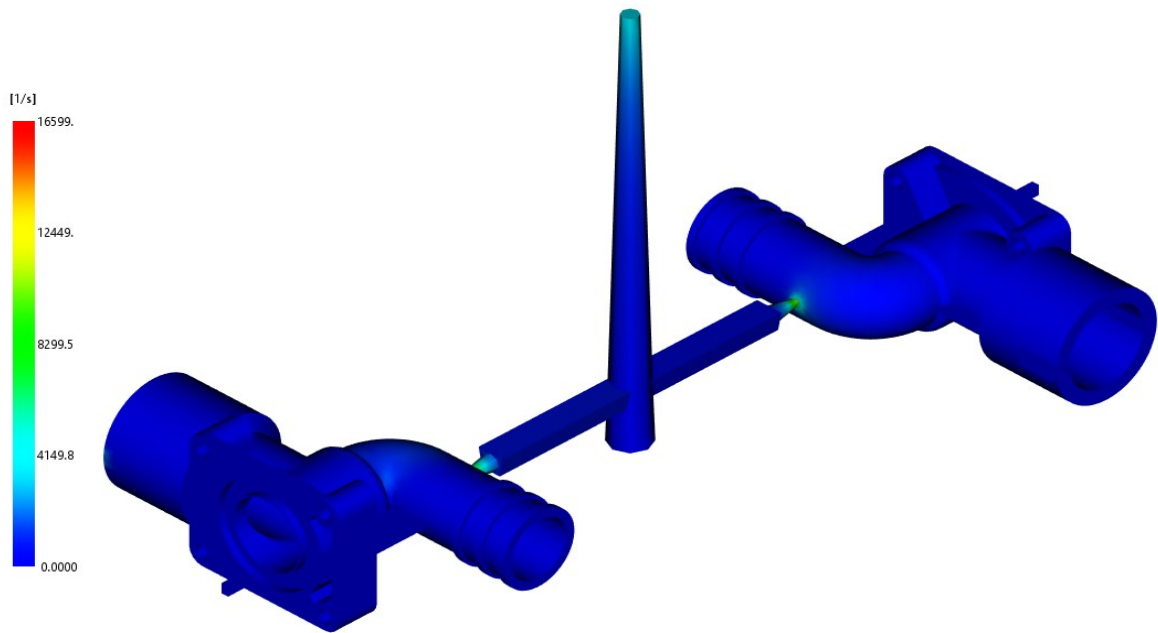
Pro správné vyhození výrobku je nutné, aby byl výrobek ochlazen na vyhazovací teplotu. Chlazení výrobku většinou představuje nejdelší část vstřikovacího cyklu a je požadováno, aby byl tento čas co nejkratší. Z analýzy vyplývá, že čas potřebný k dosažení minimálně vyhazovací teploty ve všech místech výrobku je 63 s. Nicméně aby výrobek mohl být bezpečně odformován, není nutné, aby bylo dosaženo vyhazovací teploty ve všech místech výrobku, ale pouze v místech, kde budou umístěny vyhazovače. Díky tomu se výrazně sníží doba chlazení na hodnotu 22,7 s.



Obr. 45 Čas k dosažení vyhazovací teploty

Rychlost smykové deformace

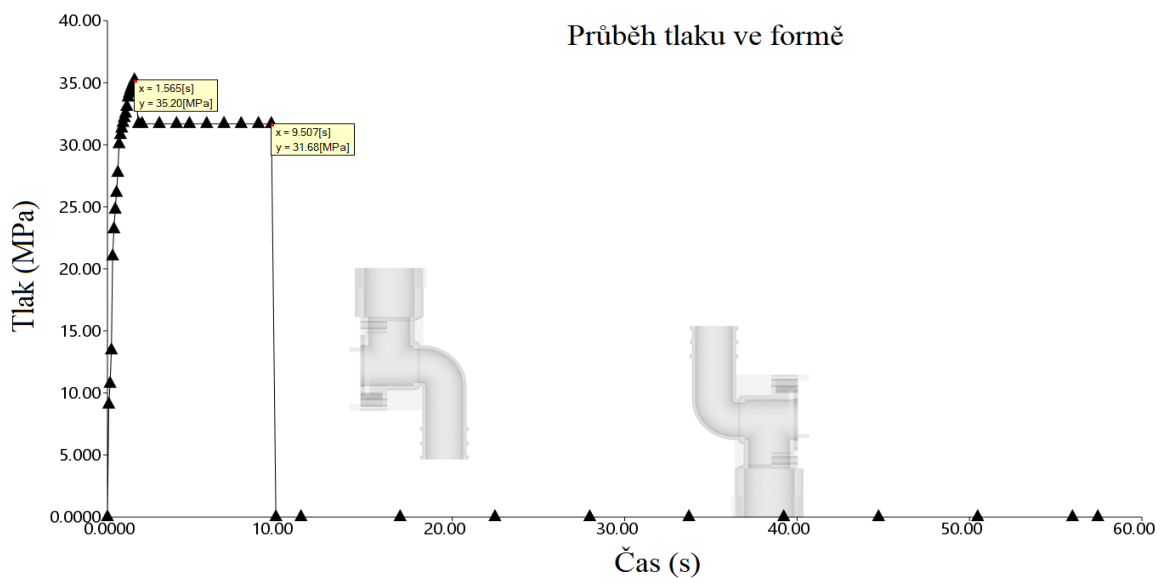
Hodnota maximální dovolené rychlosti z materiálového listu je 60000 1/s. Při překročení této hodnoty může dojít k degradaci materiálu a tím znehodnocení výrobku. Maximální hodnota smykové deformace vyšla dle analýzy 16599 1/s a nedošlo k překročení maximální hodnoty. Nejvyšších hodnot je dosaženo v okolí vtokového ústí.



Obr. 46 Rychlost smykové deformace

Průběh tlaku ve formě

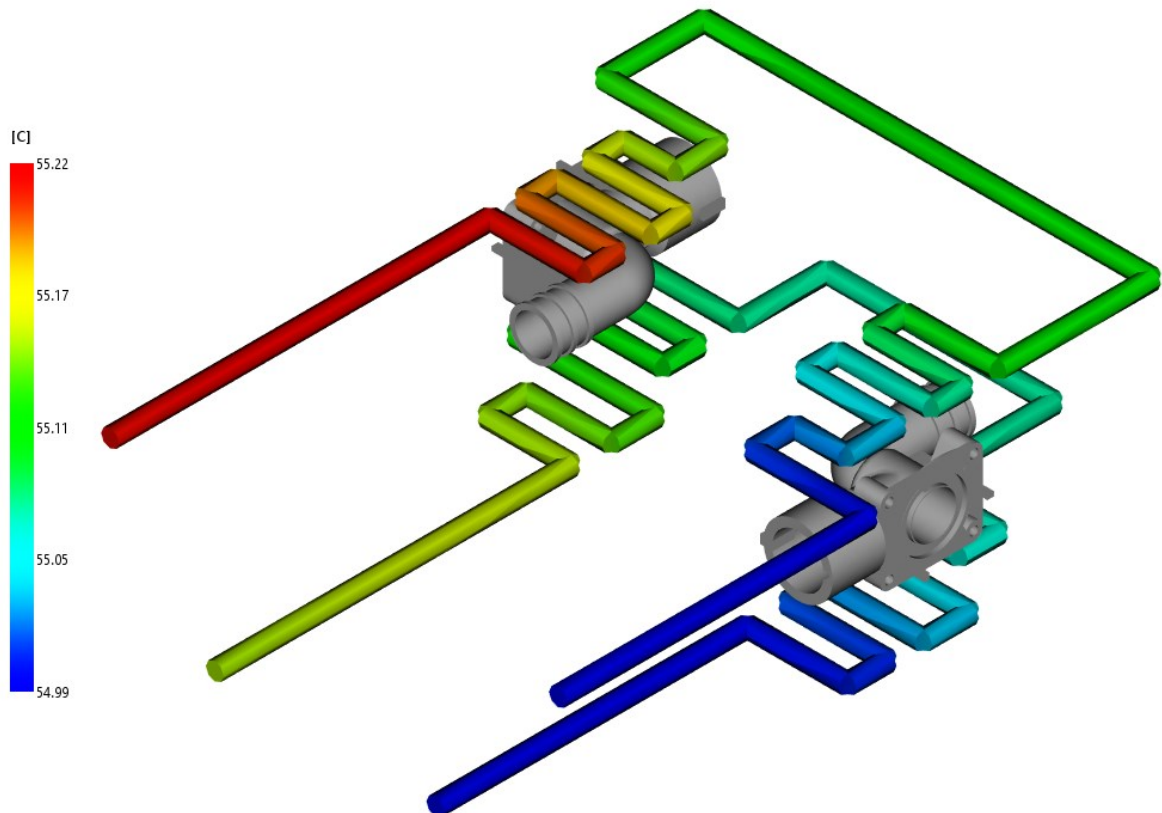
Na Obr. 47 je graficky znázorněn průběh tlaku ve vtokovém ústí. Maximální hodnota tlaku byla dosažena v čase 1,57 s a jeho hodnota činí 35,2 MPa. V procesních podmínkách byl nastaven moment přepnutí na dotlak při zaplnění dutiny formy taveninou z 98 %. Hodnota dotlaku je 31,7 MPa. Maximální hodnota tlaku, který dokáže použítý vstřikovací stroj je 172 MPa a tato hodnota nebyla překročena.



Obr. 47 Průběh tlaku ve formě

Teplota temperačního média

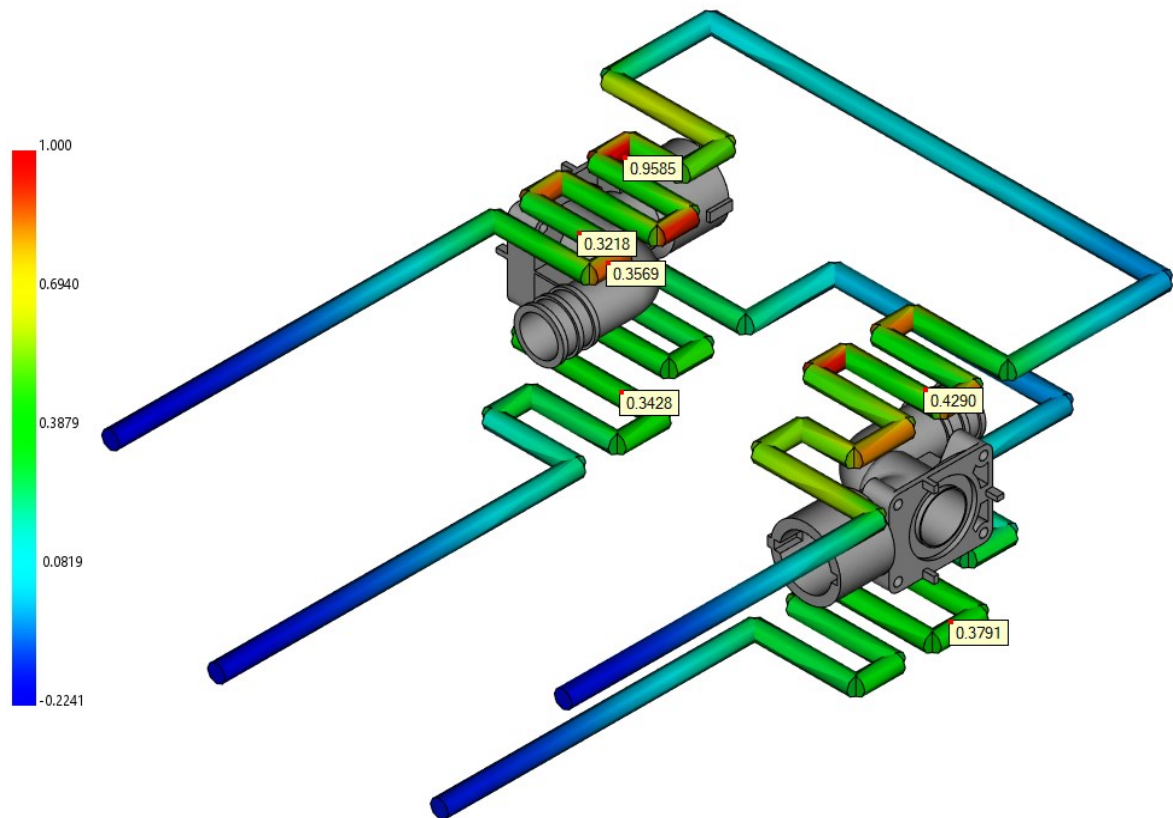
Teplota temperačního média na vstupu a výstupu by neměla překročit 3 °C. Z analýzy vyplývá, že rozdíl teplot u této varianty temperačního okruhu činí 0,23 °C. Rozdíl teplot nepřekročil 3 °C a temperační systém splňuje předpoklad pro vytvoření homogenního teplotního pole.



Obr. 48 Teplota temperačního média

Efektivita odvodu tepla temperačním médiem

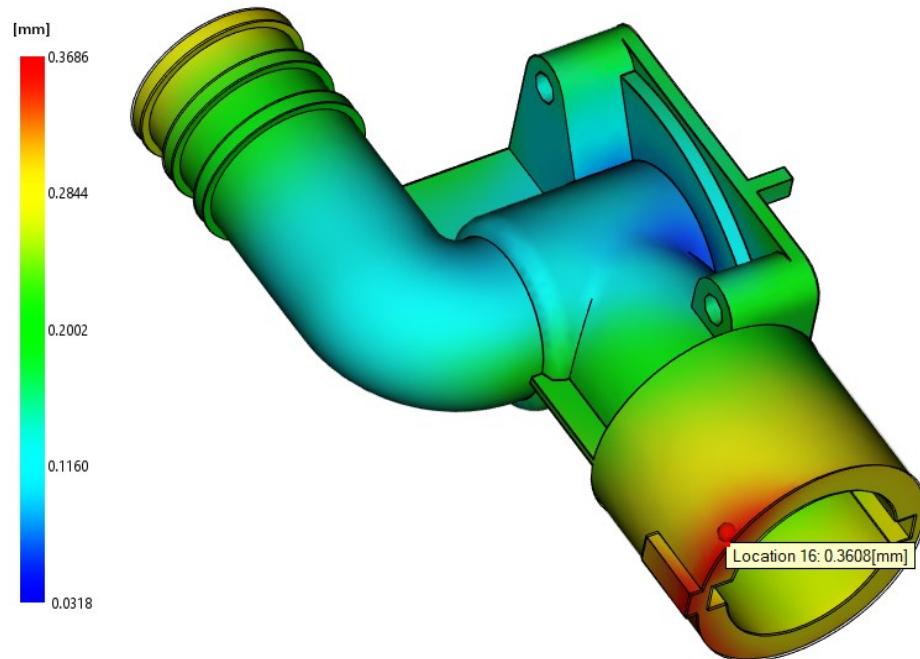
Tento výsledek analýzy ukazuje efektivitu odvodu tepla temperačním okruhem. Hodnota 1 značí místa s ideálním odvodem tepla, naopak záporné hodnoty značí místa, kde dochází k ohřevu formy temperačním médiem. Červená barva značí místa s nejlepším odvodem tepla, modrá naopak. Zvýšit efektivitu odvodu tepla lze např. přiblížením temperačních kanálů k dutině formy, snížením teploty temperačního média nebo zvýšením průtoku temperačního média.



Obr. 49 Efektivita odvodu tepla temperačním médiem

Deformace vlivem všech efektů

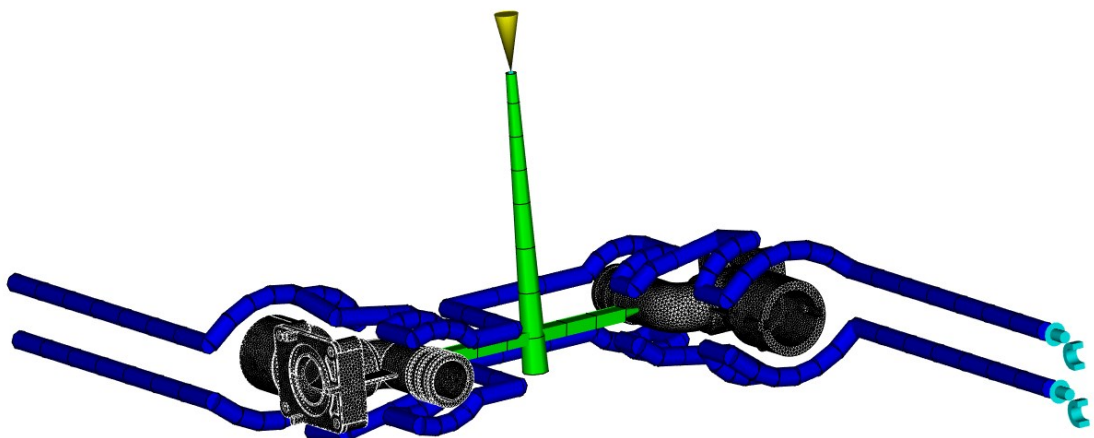
Výsledek ukazuje, jakým způsobem se výsledný výrobek zdeformoval vůči dutině formy. Deformace vzniká vlivem tepelné roztažnosti materiálu, orientací plniva nebo intenzitou ochlazování. Výsledná deformace ze všech efektů je důležitá pro návrh rozměrů dutiny formy. Červená barva označuje místa, kde došlo k největší deformaci výrobku, modrá naopak nejmenší. U této varianty vyšla maximální deformace 0,37 mm.



Obr. 50 Deformace vlivem všech efektů

8.9.2 Varianta 2a

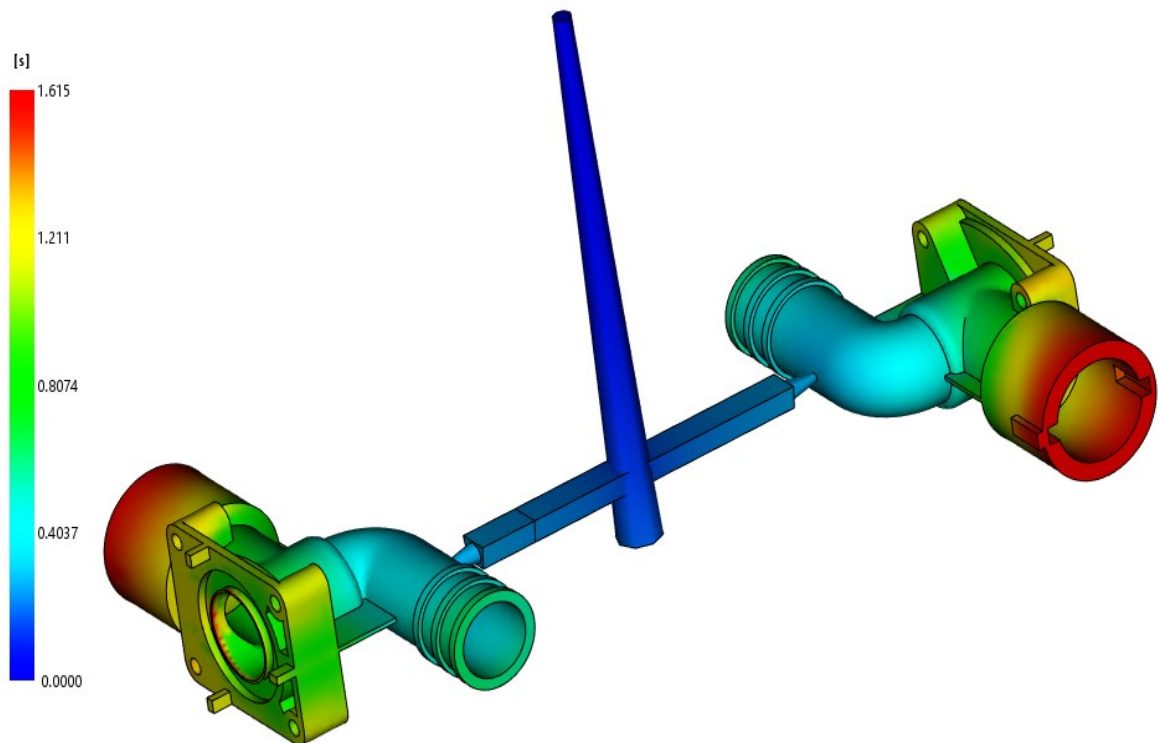
Pro variantu 2a byl jako vstřikovaný materiál použit PA6 GF35 a studený vtokový systém. Temperační systém je řešen jako komfortní chlazení. Kanály temperačního systému kopírují tvar výrobku. Nastavená teplota taveniny je 280 °C, teplota povrchu formy 85 °C, vyhazovací teplota 160 °C a teplota chladicího média 55 °C.



Obr. 51 Varianta 2a

Čas plnění

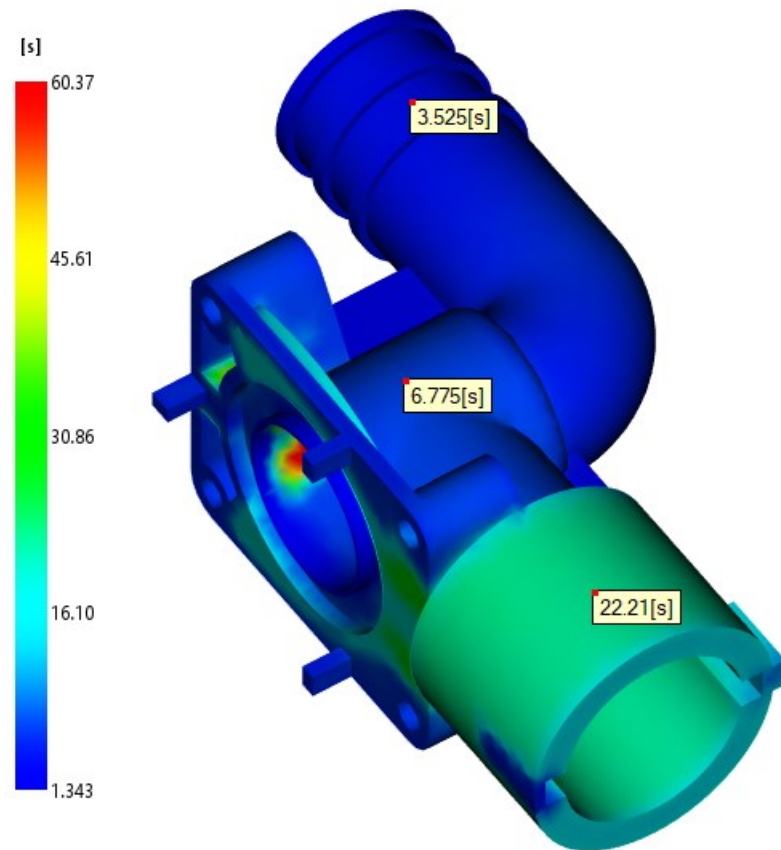
Čas pro vyplnění celé dutiny formy dle výsledku analýzy vyšel 1,62 s. Jelikož oproti první variantě proběhla pouze změna temperačního systému, se čas plnění zvýšil o zanedbatelné 0,02 s. Tavenina vyplnila celou dutinu formu a není potřeba úprava vtokového systému.



Obr. 52 Čas plnění

Čas k dosažení vyhazovací teploty

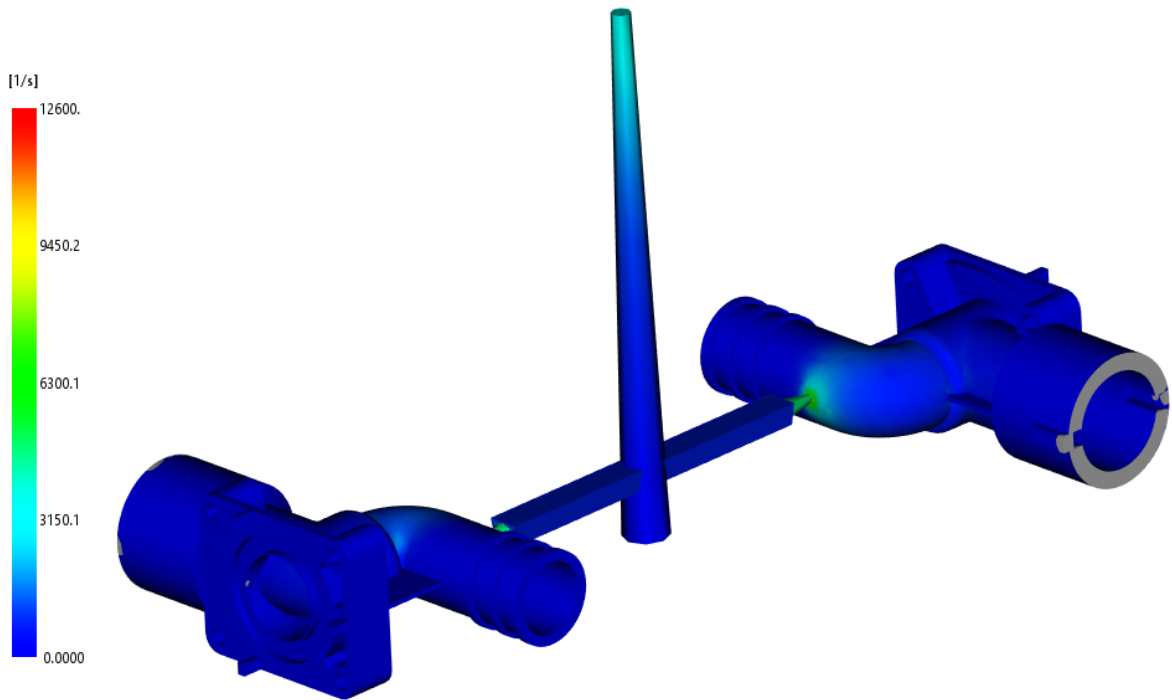
V místech, kde jsou umístěny vyhazovací kolíky, činí čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty při použití komfortního systému chlazení 22,2 s. Oproti variantě 1a byl potřebný čas snížen o 0,5 s.



Obr. 53 Čas k dosažení vyhazovací teploty

Rychlost smykové deformace

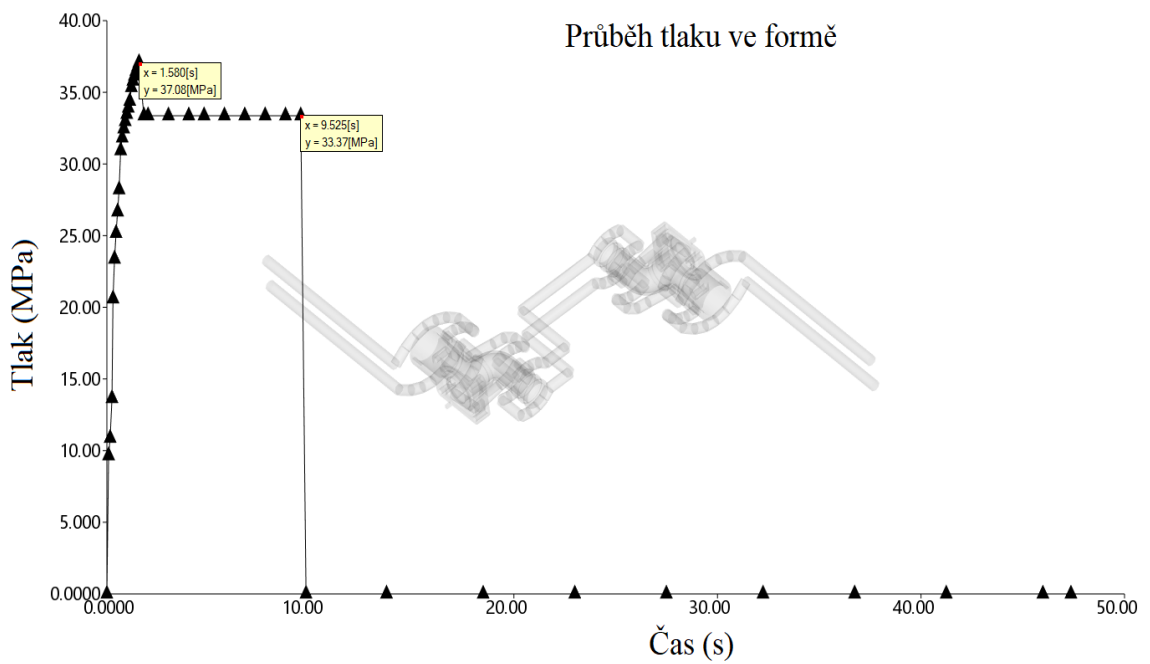
Maximální rychlost smykové deformace u této varianty byla naměřena v ústí vtoku a to 12600 1/s. Nejvyšších hodnot je dosaženo v okolí vtokového ústí. Dle materiálového listu je maximální dovolená hodnota rychlosti smykové deformace 60000 1/s a tato hodnota nebyla překročena. Z tohoto hlediska není potřeba upravovat ústí vtoku.



Obr. 54 Rychlost smykové deformace

Průběh tlaku ve formě

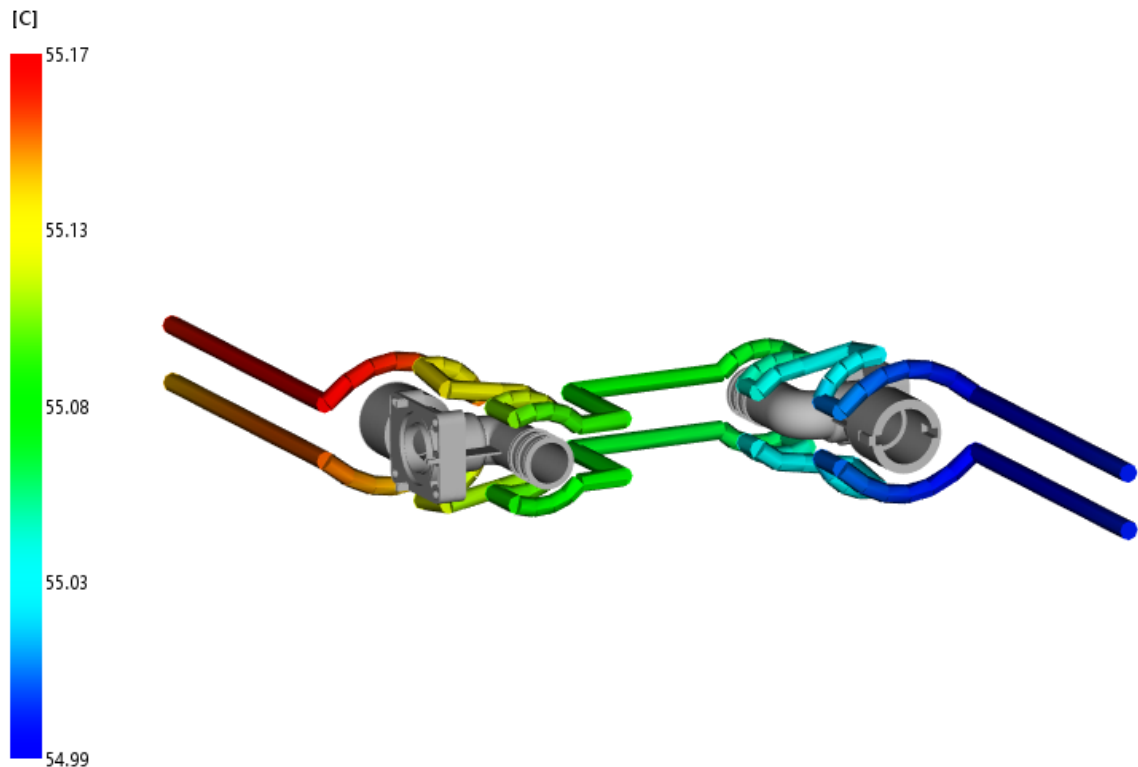
Maximální hodnota tlaku činí 37,08 MPa. Přepnutí na dotlak bylo nastaveno při zaplnění dutiny formy z 98 % a jeho hodnota vyšla 33,37 MPa.



Obr. 55 Průběh tlaku ve formě

Teplota temperačního média

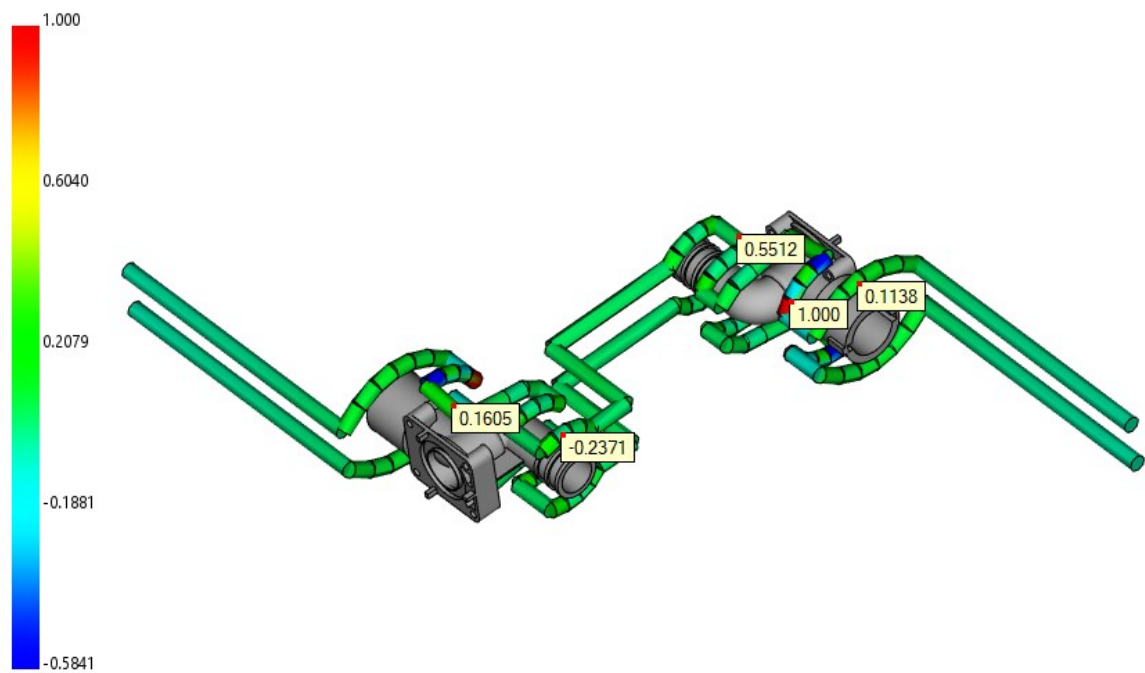
Rozdíl teplot temperačního média během proudění uvnitř formy je 0,18 °C. Tato hodnota je nižší než 3 °C a temperační okruh splňuje předpoklad pro vytvoření homogenního teplotního pole.



Obr. 56 Teplota temperačního média

Efektivita odvodu tepla temperačním médiem

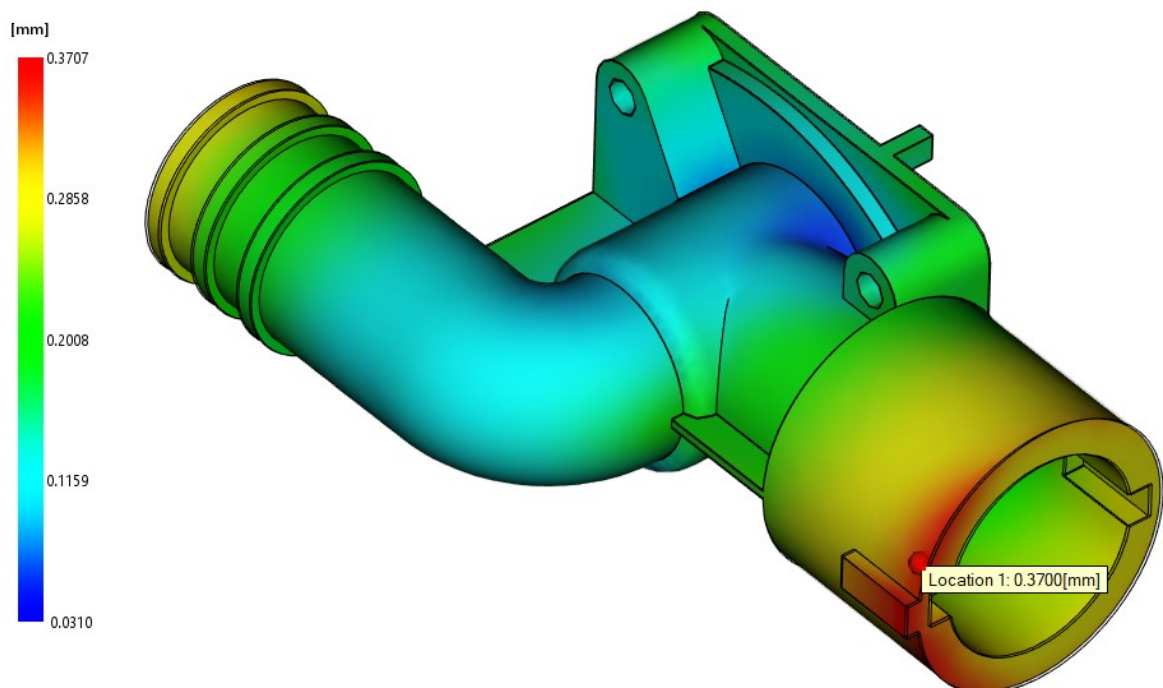
Efektivita odvodu tepla temperačním médiem u této varianty temperačního okruhu nevykazuje uspokojivých hodnot. Ve většině oblastí kolem tvarové dutiny je hodnota odvodu tepla okolo 0,2 a tato hodnota je velmi nízká. V určitých oblastech tento parametr dosahuje dokonce i záporných hodnot. Podle výsledků této analýzy by bylo vhodné tento temperační okruh upravit, např. změnit trajektorii proudění temperačního média nebo změnit jeho teplotu.



Obr. 57 Efektivita odvodu tepla temperačním médiem

Deformace vlivem všech efektů

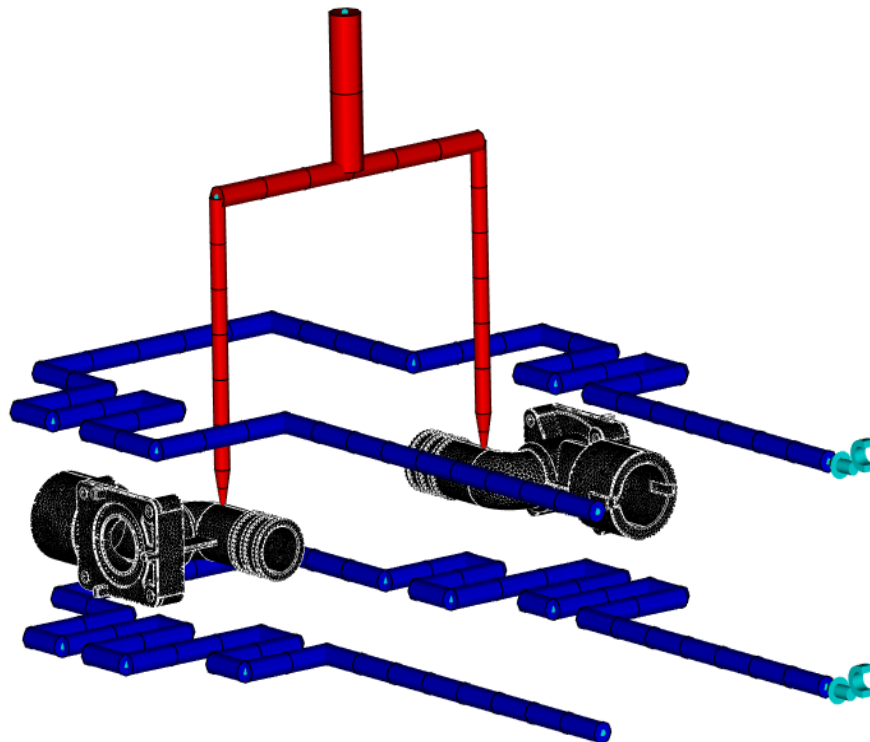
Dle výsledků analýzy vyšla maximální hodnota deformace vlivem všech efektů 0,37 mm a oproti první variantě nedošlo k výrazné změně. Největší deformace se nachází na okraji výrobku na jeho největším průměru (červená barva).



Obr. 58 Deformace vlivem všech efektů

8.9.3 Varianta 3a

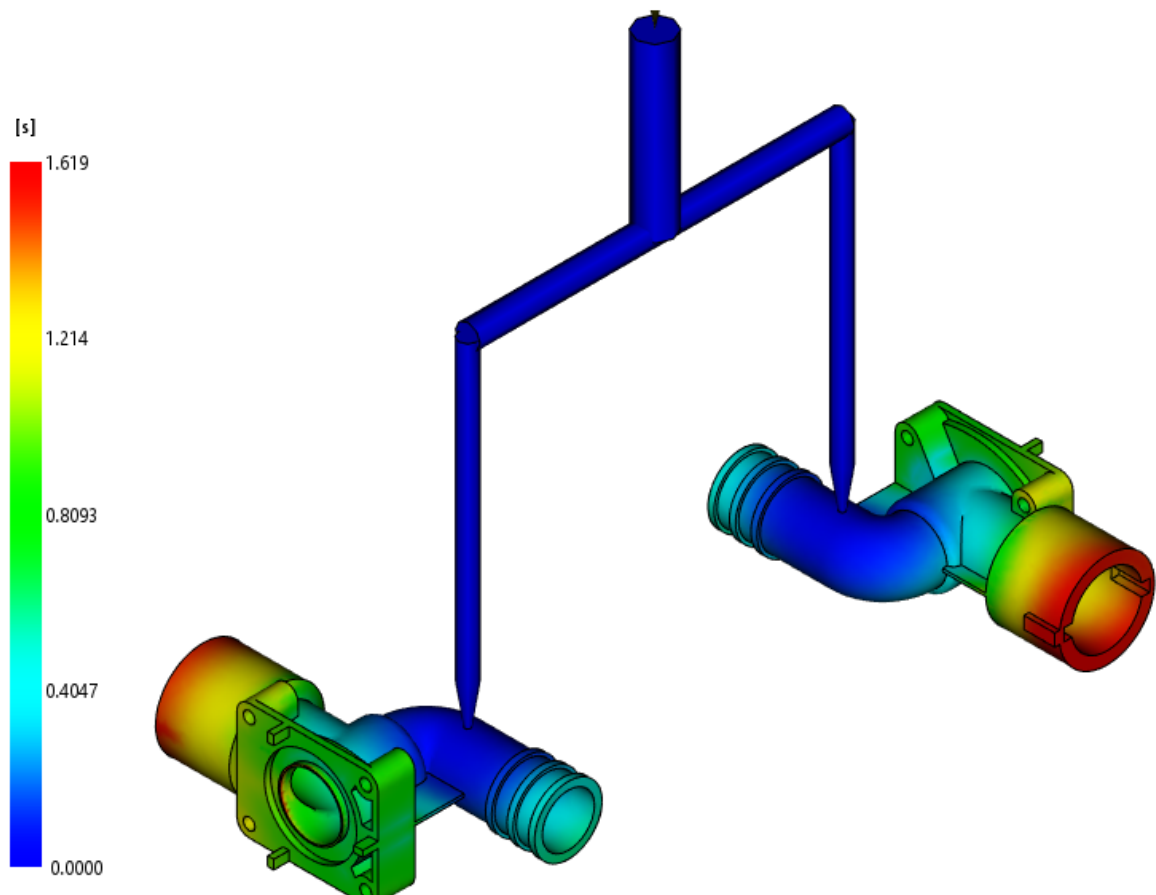
Pro variantu 3a byl jako vstřikovaný materiál použit PA6 GF35 a horký vtokový systém. Temperační systém tvoří systém vyvrtaných kanálek o průměru 8 mm. Nastavená teplota taveniny je 280 °C, teplota povrchu formy 85 °C, vyhazovací teplota 160 °C a teplota chladicího média 55 °C.



Obr. 59 Varianta 3a

Čas plnění

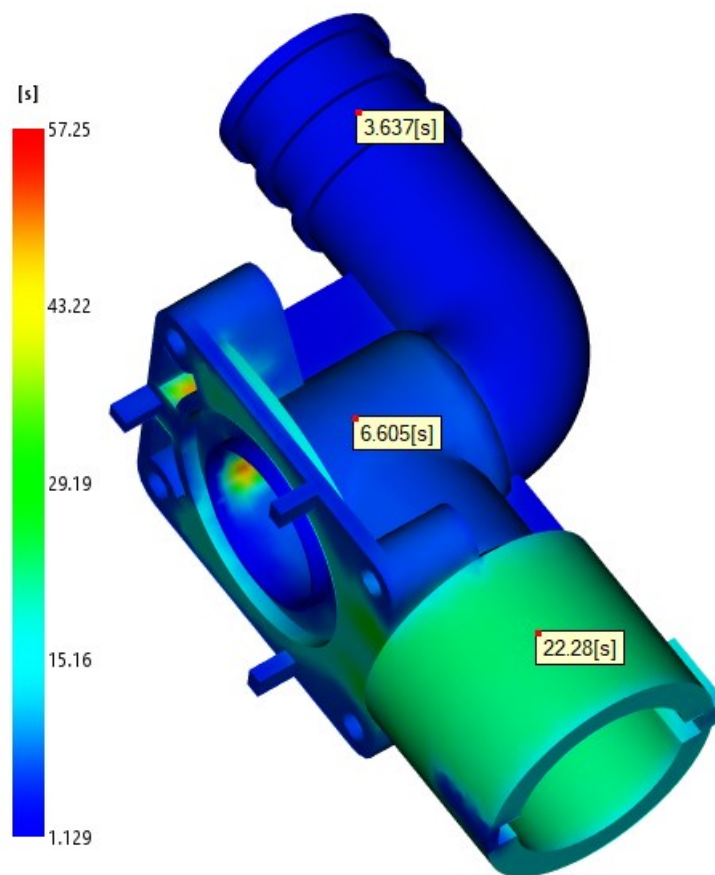
Podle výsledku analýzy vyšel čas, kdy se zaplní celá dutina formy 1,62 s. Tento čas vyšel stejně jako u variant se studeným vtokovým systémem. Dutina byla zcela zaplněna a není potřeba úprava vtokového systému.



Obr. 60 Čas plnění

Čas k dosažení vyhazovací teploty

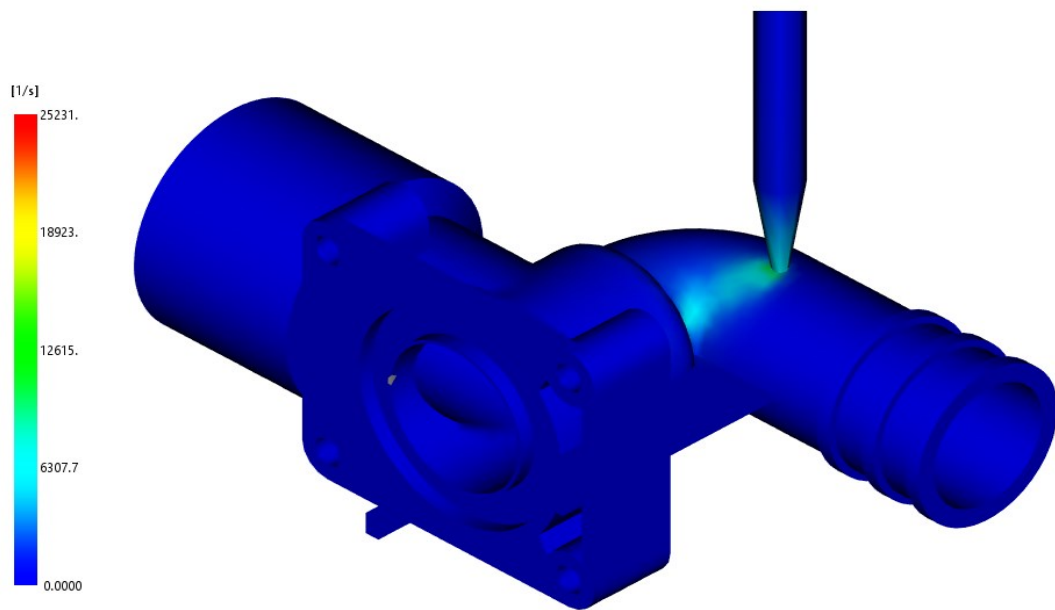
Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty v celém objemu výrobku je 57,3 s. Maximální potřebný čas v místech, kde jsou umístěny vyhazovací kolíky, činí 22,3 s a je přibližně stejný jako u varianty 2a.



Obr. 61 Čas k dosažení vyhazovací teploty

Rychlost smykové deformace

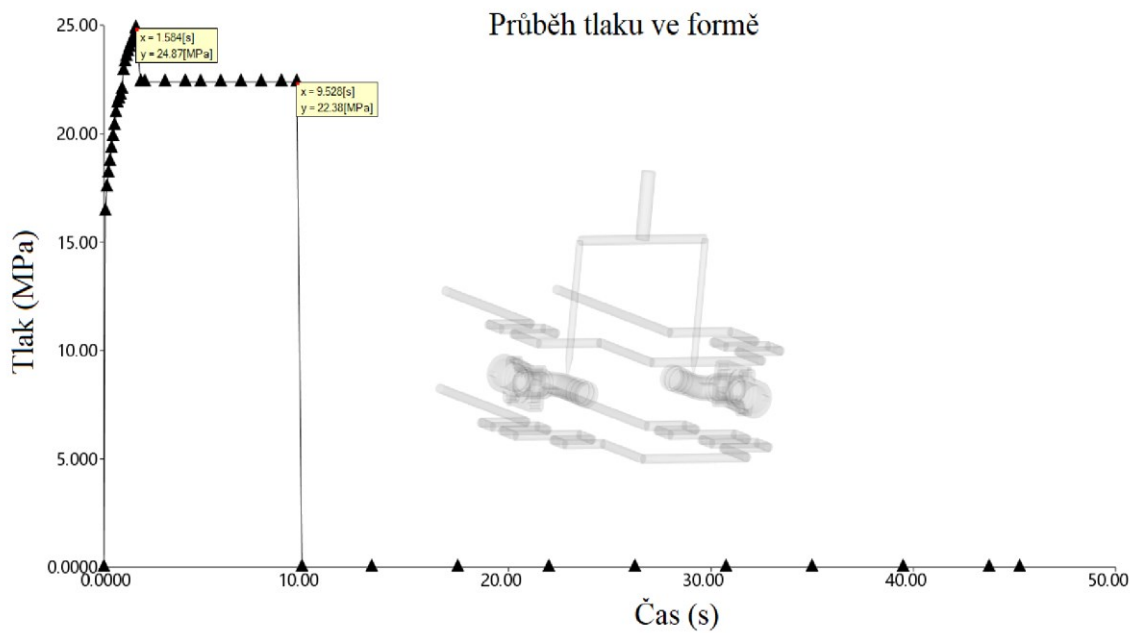
Z výsledků analýzy vyšla maximální rychlost smykové deformace 25231 1/s a tato hodnota se nachází opět v okolí ústí vtoku. Tato hodnota je výrazně vyšší než u variant se studeným vtokovým systémem, avšak dovolená hodnota maximální rychlosti smykové deformace nebyla ani zdaleka překročena. Z tohoto hlediska není potřeba do vtokového systému nikterak zasahovat.



Obr. 62 Rychlost smykové deformace

Tlak

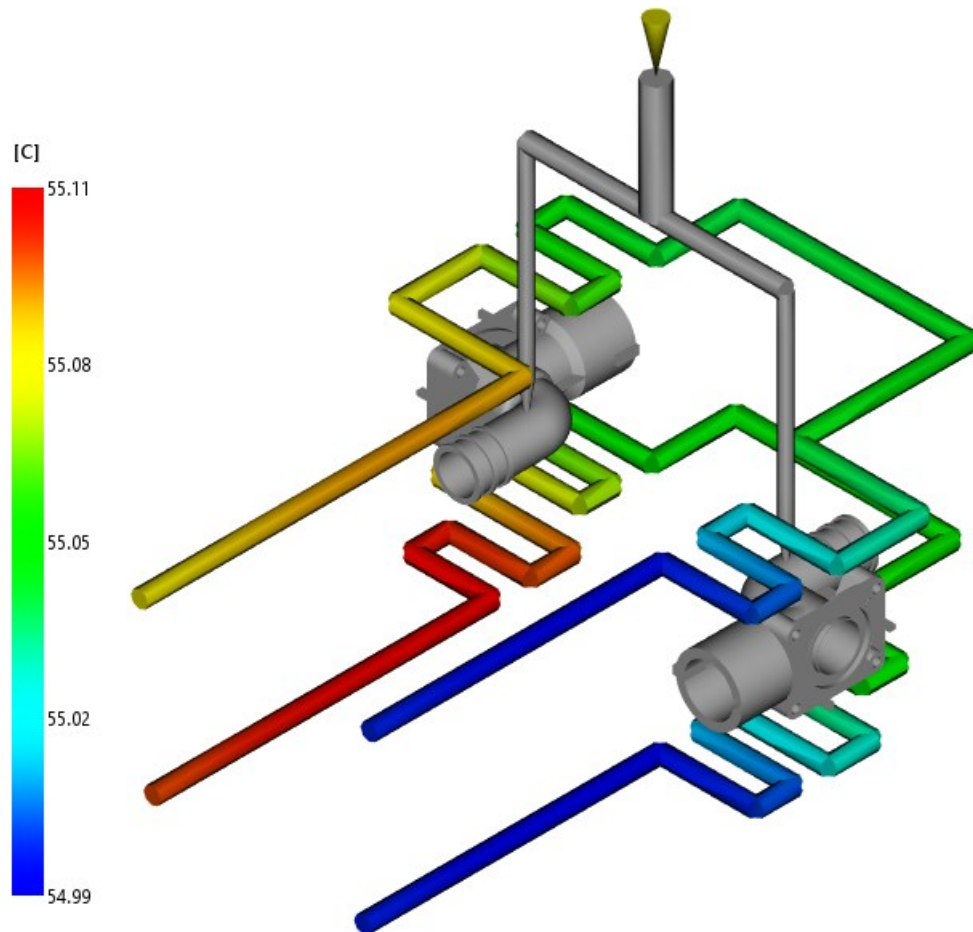
Maximální hodnota tlaku při použití vyhřívaného systému je 24,87 MPa. Hodnota dotlaku vyšla 22,38 MPa. Oproti variantám se studeným vtokovým systémem došlo k výraznému snížení maximálního tlaku a to o 10,3 MPa.



Obr. 63 Tlak

Teplota temperačního média

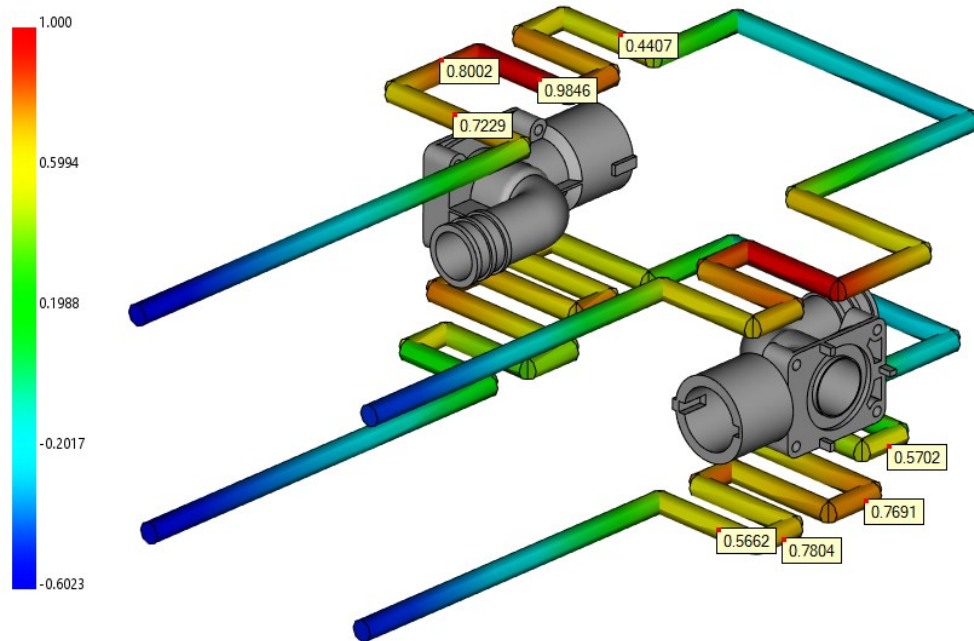
Rozdíl teplot temperačního média během proudění temperačními kanály je $0,12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tato hodnota je nižší než $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a navržený temperační systém splňuje předpoklad pro vytvoření homogenního teplotního pole uvnitř formy.



Obr. 64 Teplota temperačního média

Efektivita odvodu tepla temperačním médiem

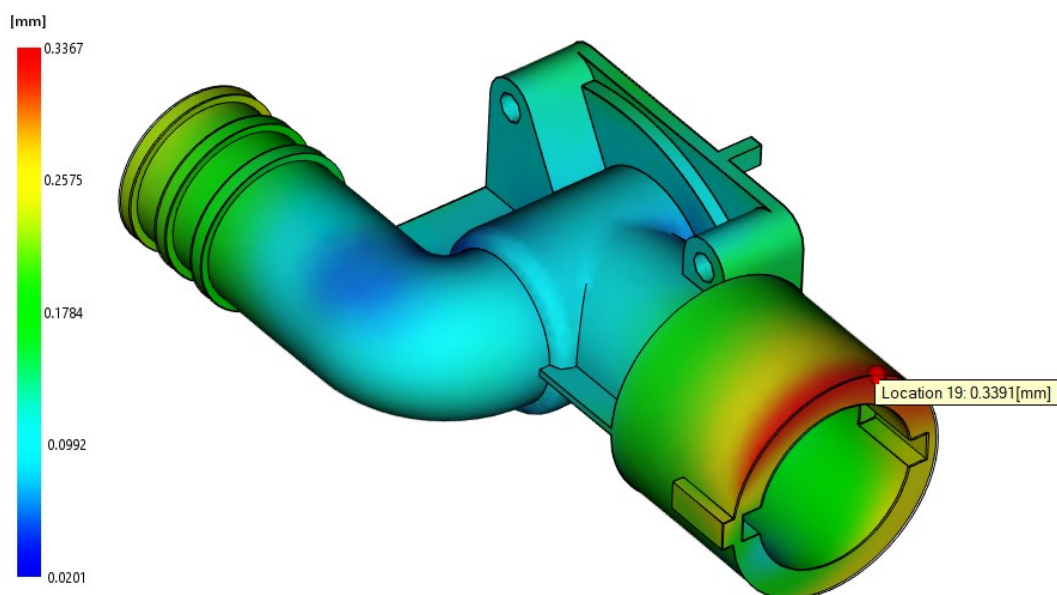
Efektivita odvodu tepla temperačním médiem se u této varianty pohybuje v rozmezí $0,5 - 1$ v oblastech v okolí tvarové dutiny. Tento temperační okruh dosáhl nejlepších výsledků, co se týče efektivity odvodu tepla z doposud popsaných variant.



Obr. 65 Efektivita odvodu tepla temperačním médiem

Deformace vlivem všech efektů

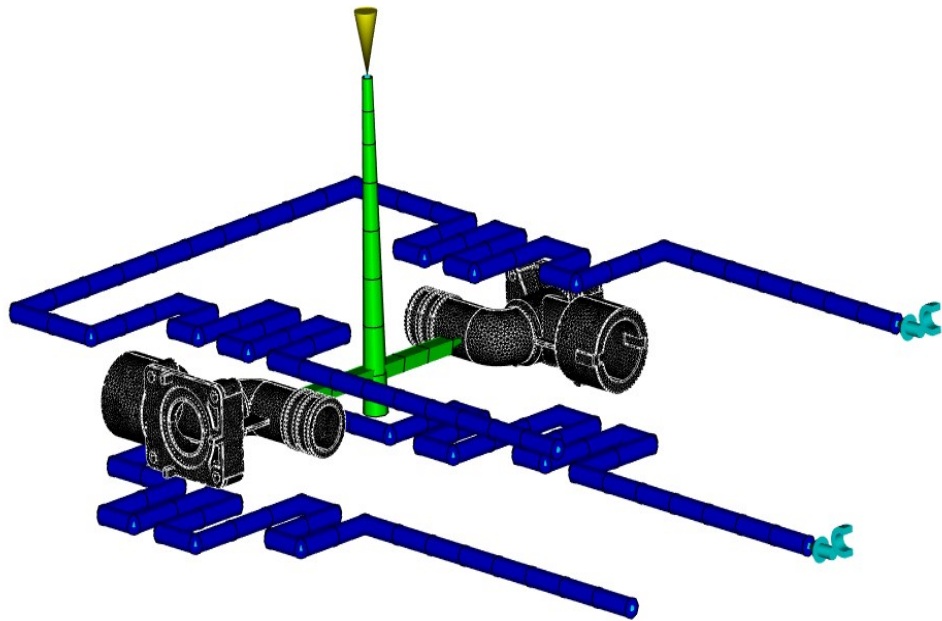
Maximální deformace vlivem všech efektů u této varianty vyšla 0,34 mm. Oproti studenému vtokovému systém došlo k poklesu této hodnoty v řádech setin milimetru. Největší hodnota deformace se opět nachází v krajní části výrobku na jeho největším průměru.



Obr. 66 Deformace vlivem všech efektů

8.9.4 Varianta 1b

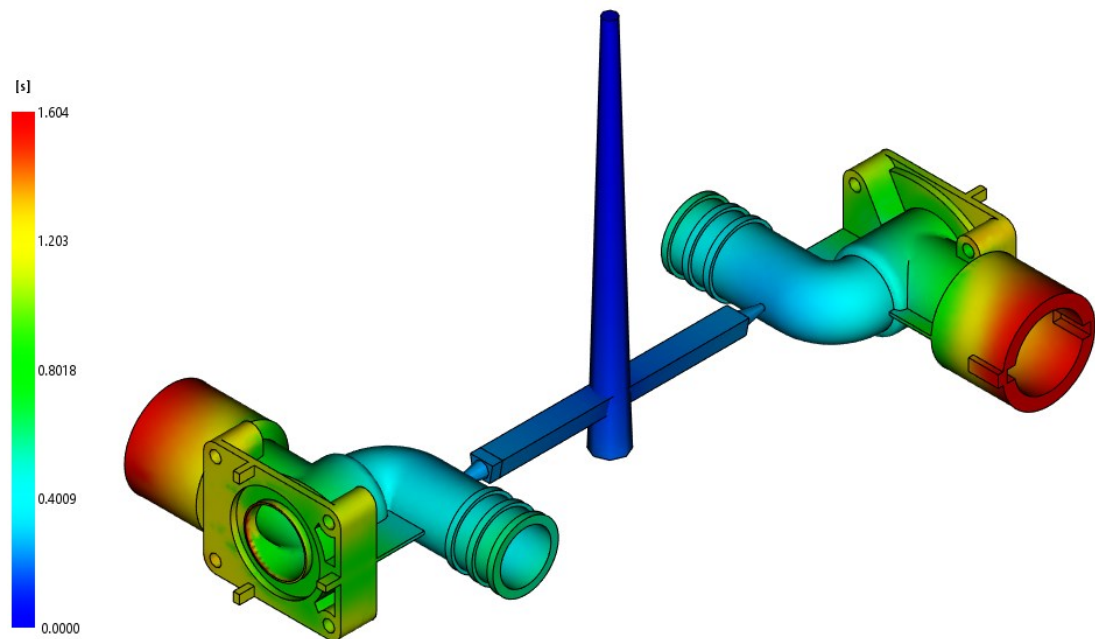
Pro variantu 1b byl jako vstřikovaný materiál použit POM GF25 a studený vtokový systém. Temperační systém tvoří systém vyvrtaných kanálků o průměru 8 mm. Nastavená teplota taveniny je 205 °C, teplota povrchu formy 100 °C, vyhazovací teplota 125 °C a teplota chladicího média 60 °C.



Obr. 67 Varianta 1b

Čas plnění

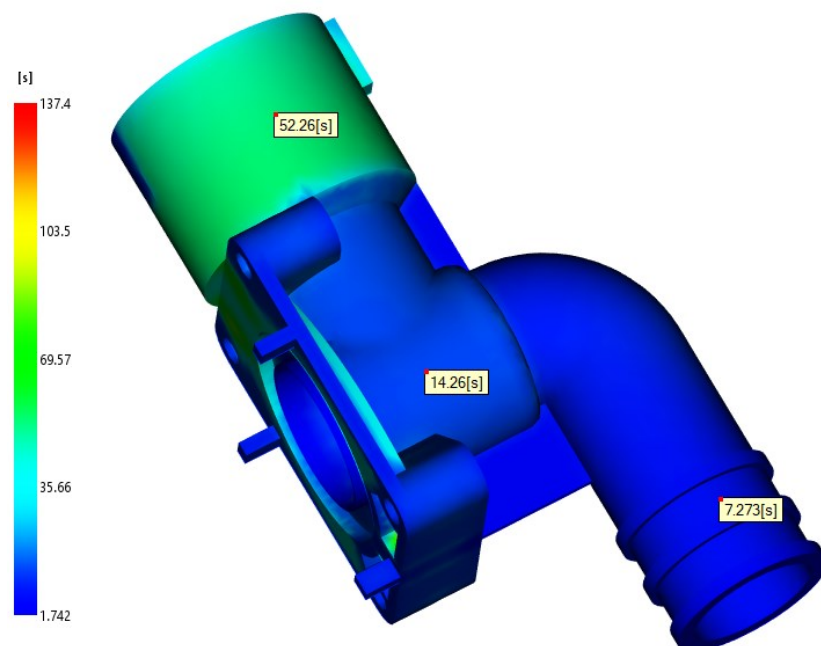
Maximální čas plnění dutiny formy z analýzy vyšel 1,60 s. Změnou materiálu nedošlo k žádnému výraznému zkrácení nebo prodloužení doby plnění. Dutina formy se zcela zaplnila a není potřeba provést úpravy.



Obr. 68 Čas plnění

Čas k dosažení vyhazovací teploty

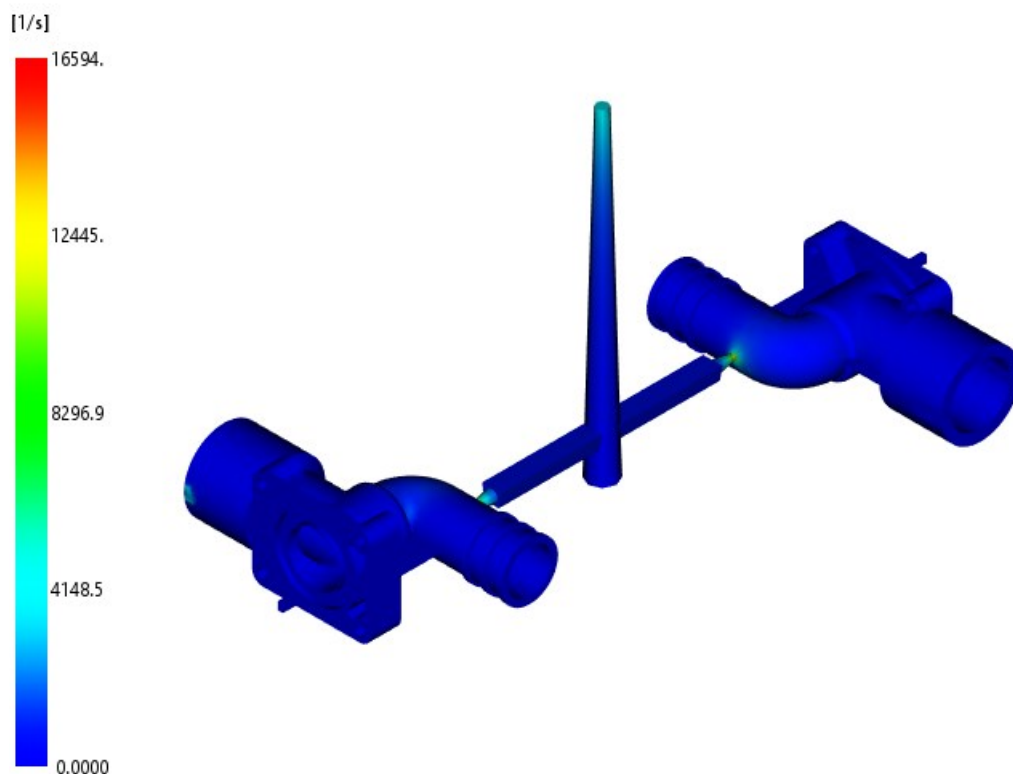
Čas pro ochlazení celé součásti na vyhazovací teplotu činí 137,4 s. Maximální čas potřebný pro ochlazení součásti v místech pro vyhazovače je 52,3 s. Změnou materiálu došlo k výraznému navýšení tohoto času a to o 29,5 s oproti PA6.



Obr. 69 Čas k dosažení vyhazovací teploty

Rychlost smykové deformace

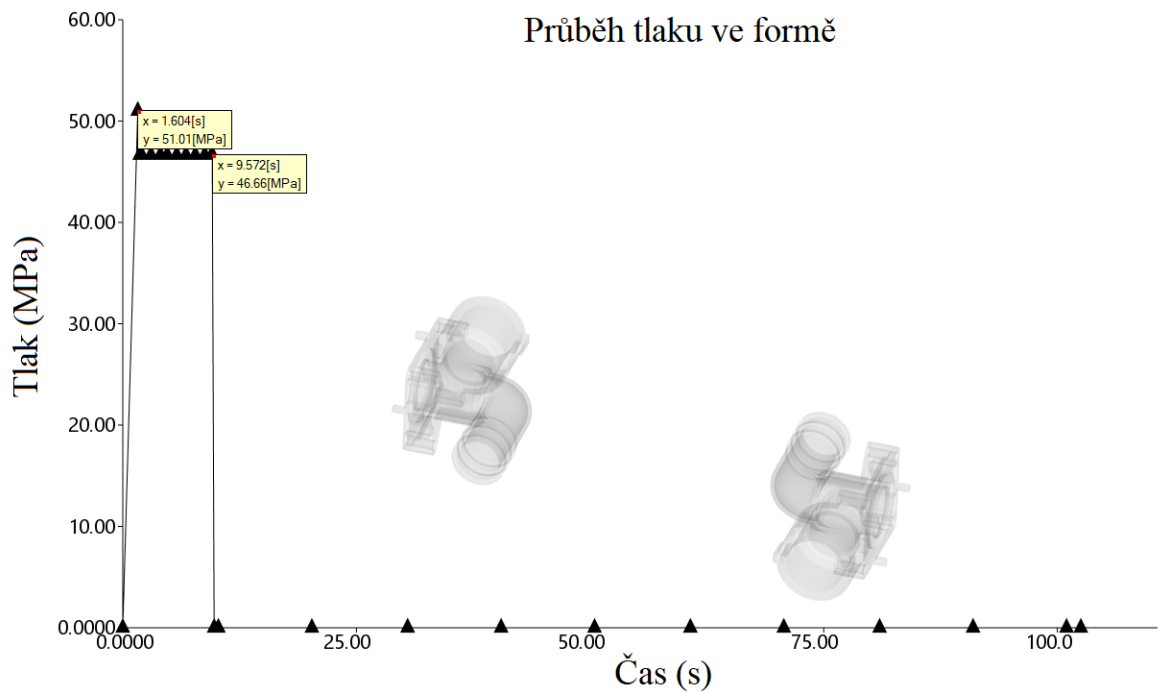
Maximální rychlost smykové deformace podle analýzy vyšla 16594 1/s a nejvyšších hodnot nabývá v oblasti v okolí vtokového ústí. Maximální dovolená hodnota rychlosti smykové deformace pro použitý materiál je 40000 1/s. Tato hodnota nebyla překročena a není potřeba provést úpravy vtokového systému nebo součásti.



Obr. 70 Rychlost smykové deformace

Průběh tlaku ve formě

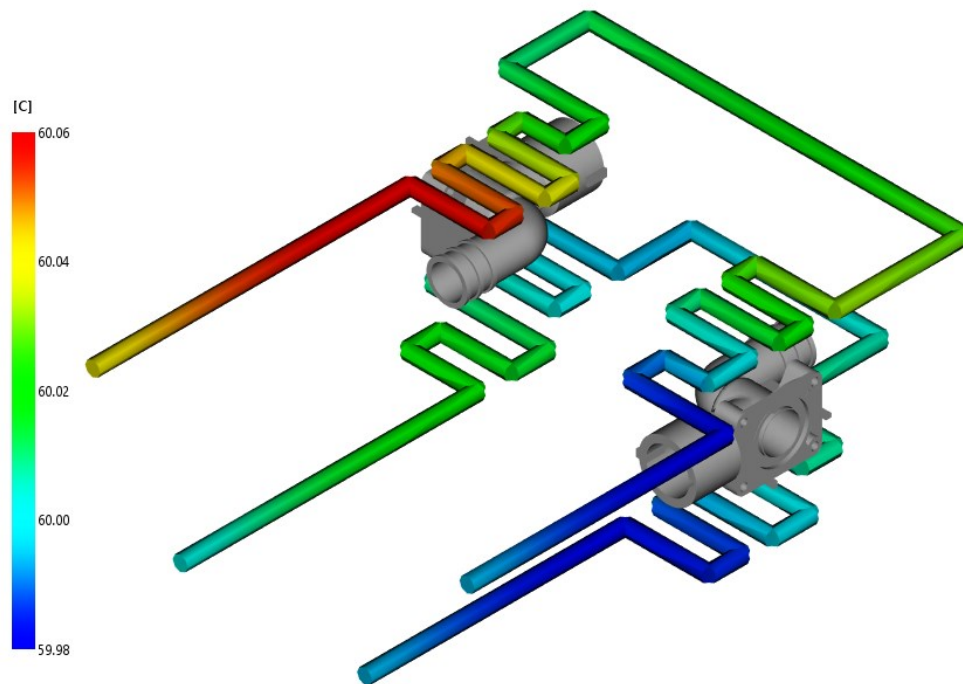
Z Obr. 71 vyplývá, že maximální hodnota tlaku v dutině formy je 51,01 MPa. Hodnota dotlaku dle analýzy vyšla 46,66 MPa. Oproti vstřikování PA6 GF35 je maximální hodnota tlaku vyšší o 15,81 MPa a je pravděpodobné, že bude docházet k většímu opotřebení stroje i formy.



Obr. 71 Průběh tlaku ve formě

Teplota temperačního média

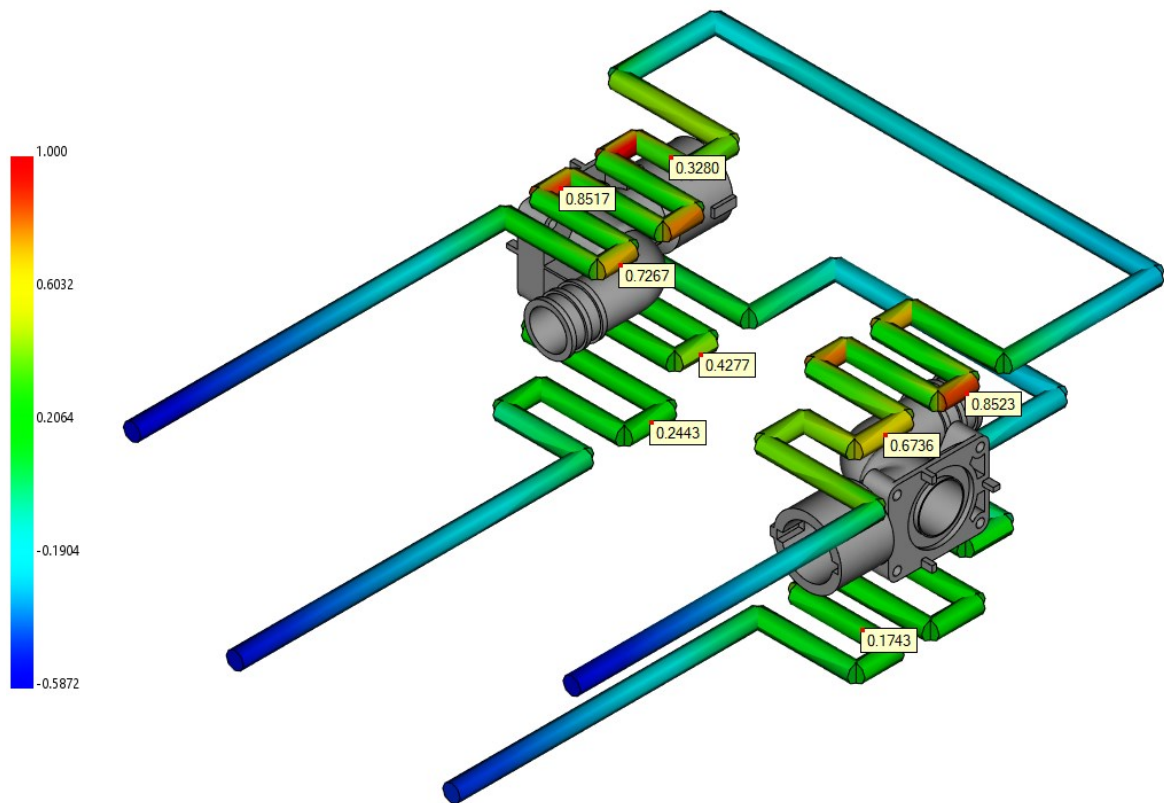
Rozdíl teplot temperačního média během proudění temperačním okruhem je 0,08 °C. Tato hodnota je nižší než 3 °C a takto navržený temperační systém splňuje podmínku pro vytvoření homogenního teplotního pole uvnitř formy.



Obr. 72 Teplota temperačního média

Efektivita odvodu tepla temperačním médiem

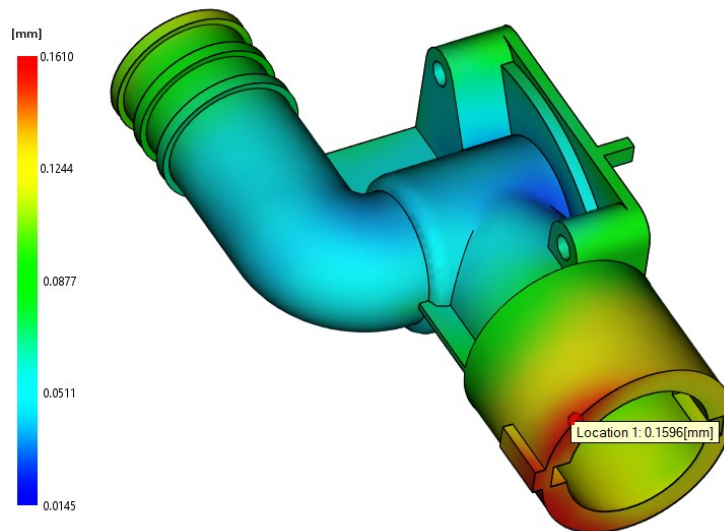
Dle analýzy je efektivita odvodu tepla temperačním médiem u horního okruhu vyšší než u spodního okruhu. Pro zvýšení efektivity odvodu tepla by bylo vhodné spodní temperační okruh více přiblížit k dutině formy nebo upravit rychlost proudění temperačního média.



Obr. 73 Efektivita odvodu tepla temperačním médiem

Deformace vlivem všech efektů

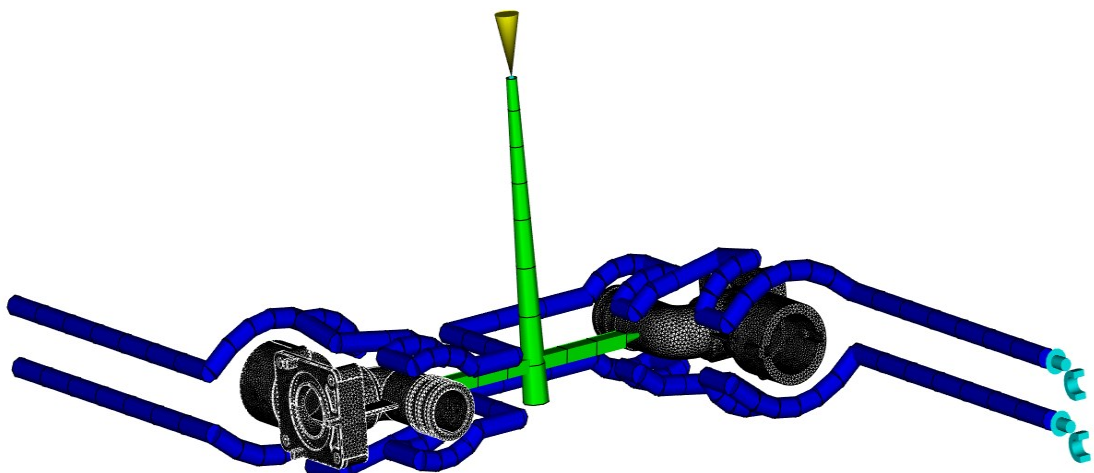
Maximální hodnota deformace ze všech efektů dle analýzy vyšla 0,16 mm. K největší deformaci dochází na největším průměru výrobku v červené oblasti. Hodnota deformace je oproti použití PA zhruba poloviční.



Obr. 74 Deformace vlivem všech efektů

8.9.5 Varianta 2b

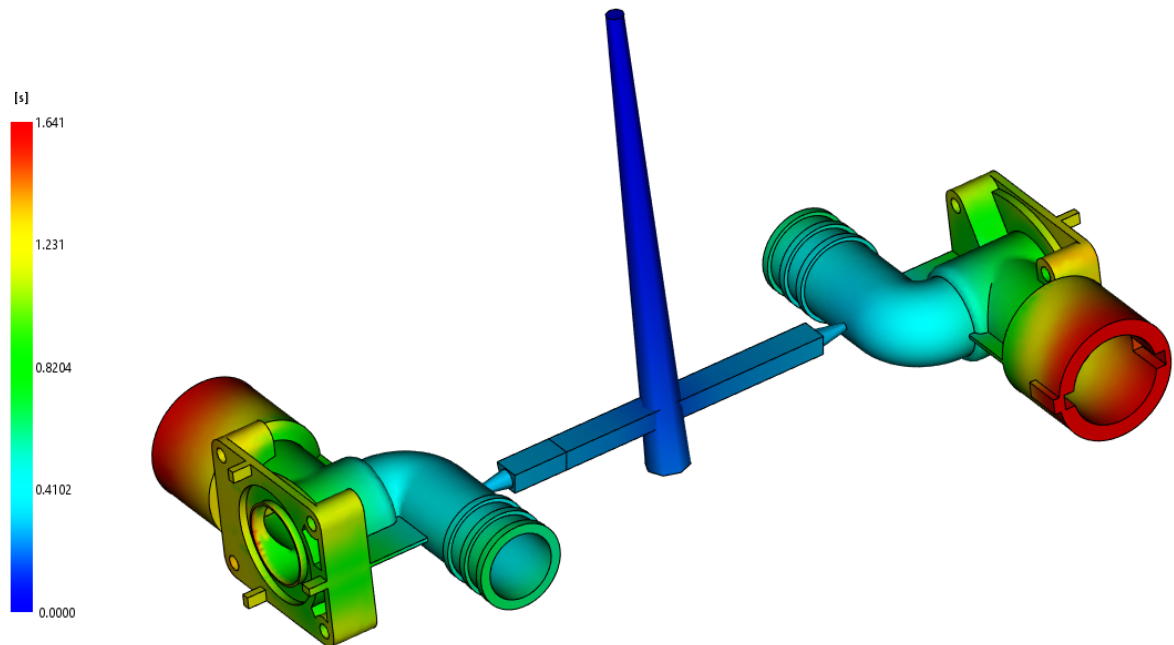
Pro variantu 2b byl jako vstříkovaný materiál použit POM GF25 a studený vtokový systém. Temperační systém je zkonstruován jako komfortní a tvoří jej systém kanálek o průměru 8 mm, které kopírují tvar dutiny formy. Nastavená teplota taveniny je 205 °C, teplota povrchu formy 100 °C, vyhazovací teplota 125 °C a teplota chladicího média 60 °C.



Obr. 75 Varianta 2b

Čas plnění

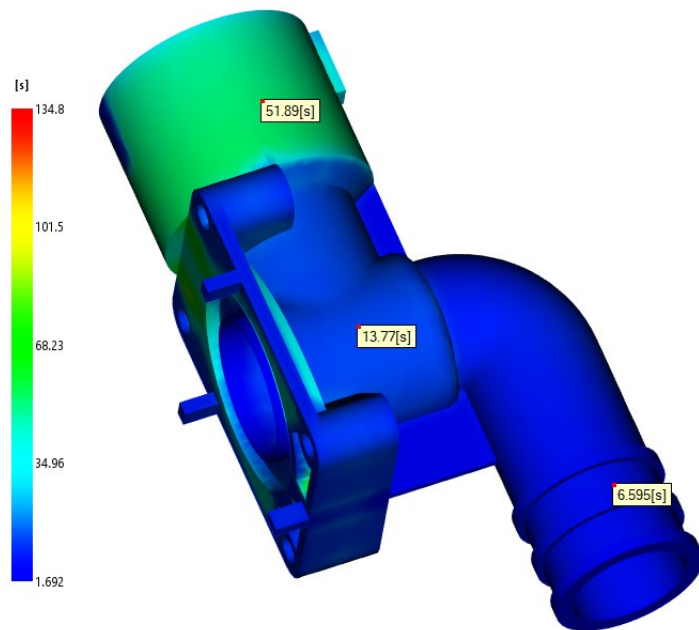
Doba úplného zaplnění dutiny taveninou u této varianty podle výsledku analýzy vyšla 1,64 s. Oproti variantě s použitím PA6 se tato hodnota zásadně neliší. Dutina formy byla zcela zaplněna a není potřeba úpravy vtokového systému či tvarových dutin.



Obr. 76 Čas plnění

Čas k dosažení vyhazovací teploty

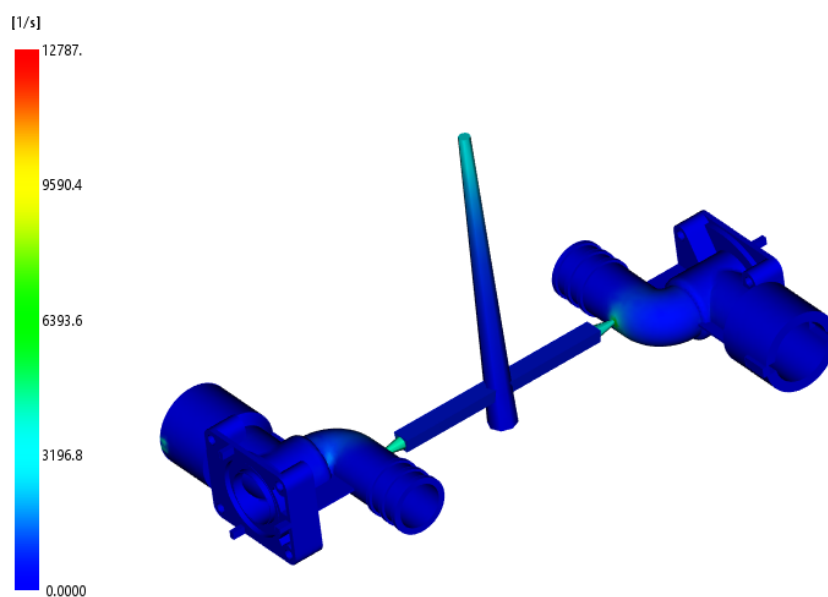
Maximální čas k dosažení vyhazovací teploty u celé součásti vyšel 134,8 s. Není nutné ochladit celou součást, ale stačí ji ochladit na vyhazovací teplotu v místech, kde jsou umístěny vyhazovače. V těchto místech je nejvyšší hodnota 51,9 s. Oproti variantě s použitím PA je tato hodnota výrazně vyšší a to o 29,7 s.



Obr. 77 Čas k dosažení vyhazovací teploty

Rychlost smykové deformace

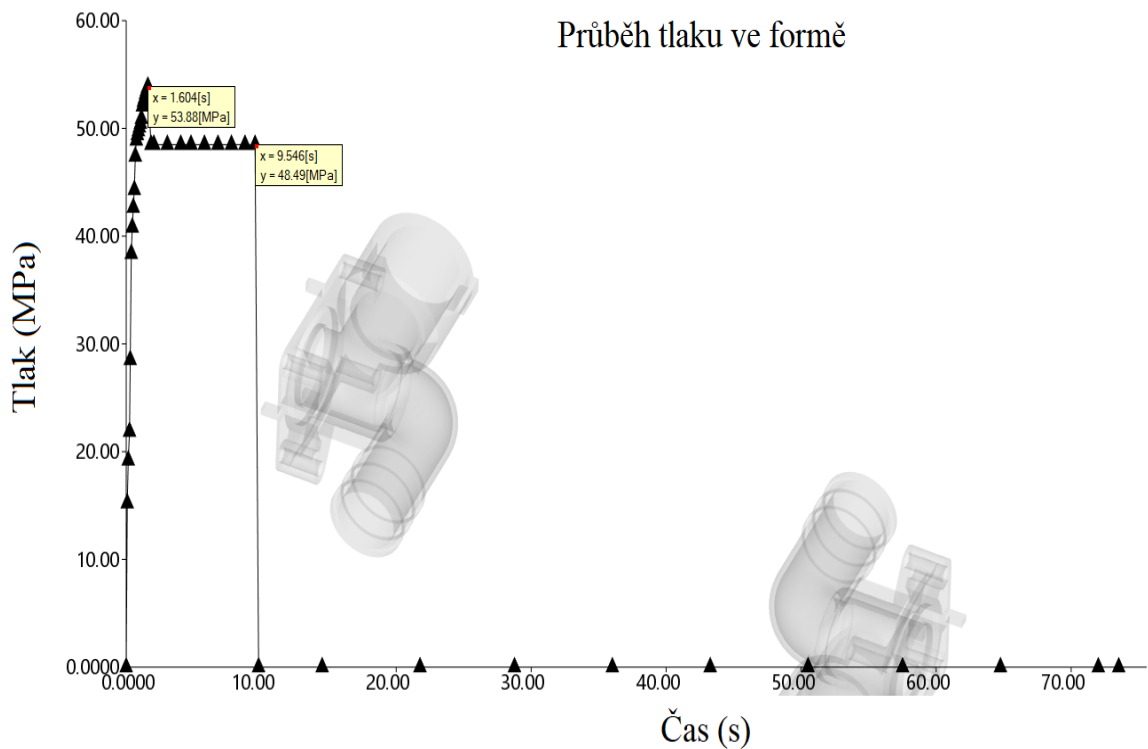
Hodnota maximální rychlosti smykové deformace podle výsledku analýzy vyšla 12787 1/s. Nejvyšších hodnot je dosaženo v oblasti vtokového ústí. Nejvyšší dovolená hodnota rychlosti smykové deformace je u použitého materiálu 40000 1/s. Tato hodnota nebyla překročena z tohoto hlediska a není potřeba upravovat dutinu formy ani procesní podmínky.



Obr. 78 Rychlost smykové deformace

Tlak

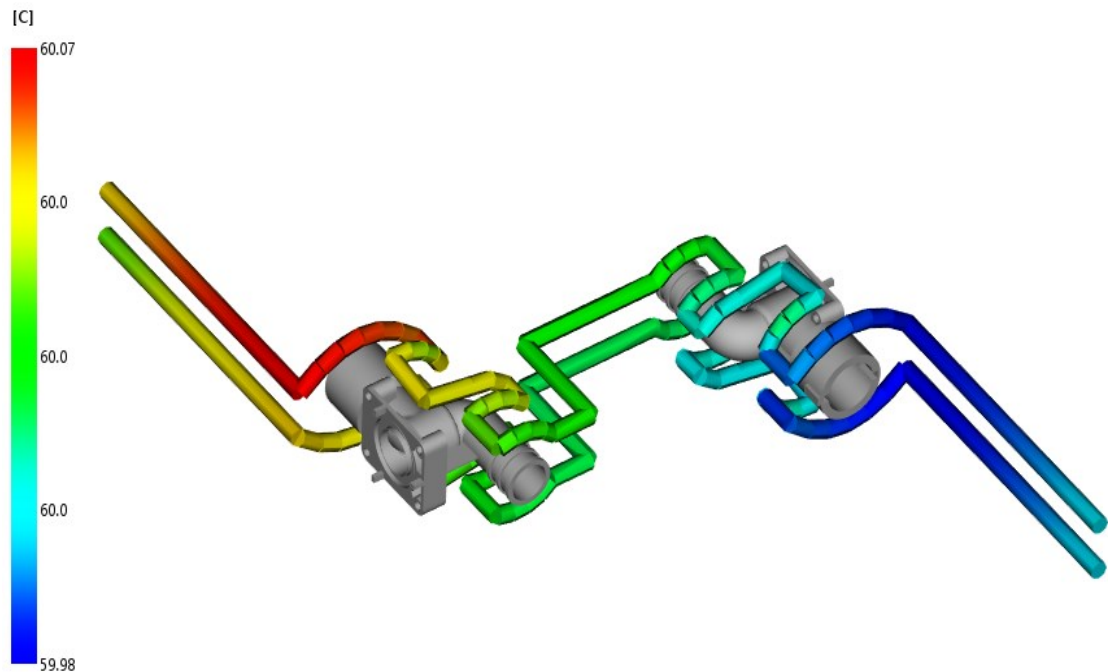
Z Obr. 79 vyplývá, že hodnota maximálního vstřikovacího tlaku je 53,88 MPa. K přepnutí na dotlak dojde při zaplnění dutiny formy z 98 % a jeho hodnota je 48,49 MPa. Maximální vstřikovací tlak, který je stroj schopen vyvinout je 172 MPa. Oproti variantě s použitím PA6 je maximální vstřikovací tlak vyšší o 16,8 MPa. Z tohoto hlediska může docházet k většímu opotřebení dutiny formy i vstřikovacího stroje.



Obr. 79 Průběh tlaku ve formě

Teplota temperačního média

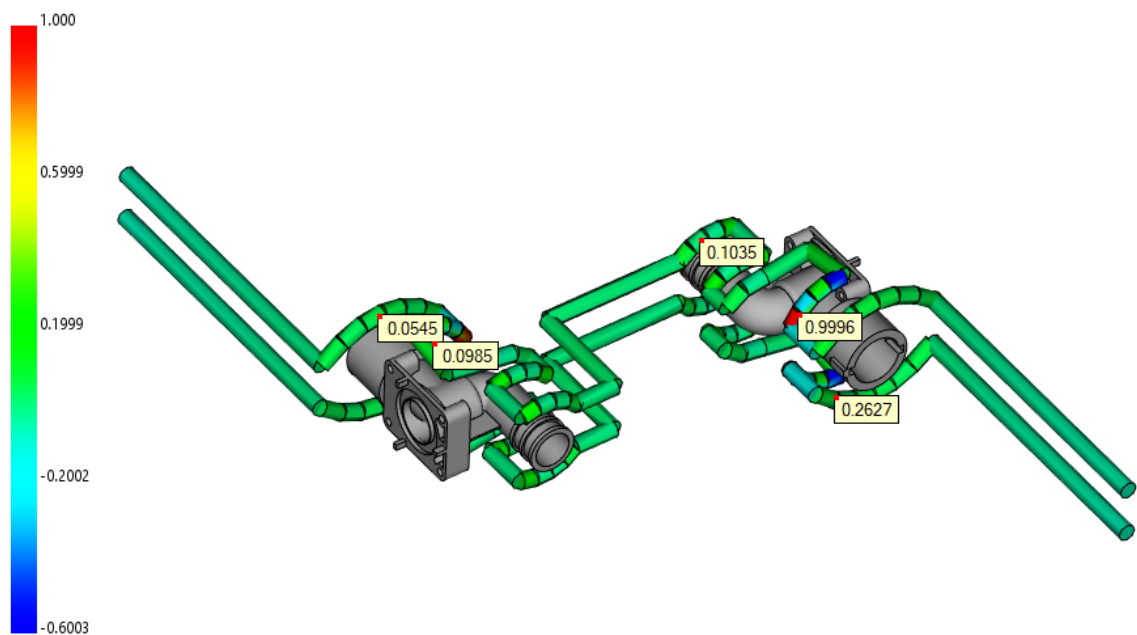
Rozdíl teplot temperačního média během proudění v temperačním okruhu činí 0,09 °C. Tato hodnota nepřekračuje hodnotu 3 °C a z tohoto hlediska temperační systém splňuje předpoklad k vytvoření homogenního teplotního pole uvnitř formy.



Obr. 80 Teplota temperačního média

Efektivita odvodu tepla temperačním okruhem

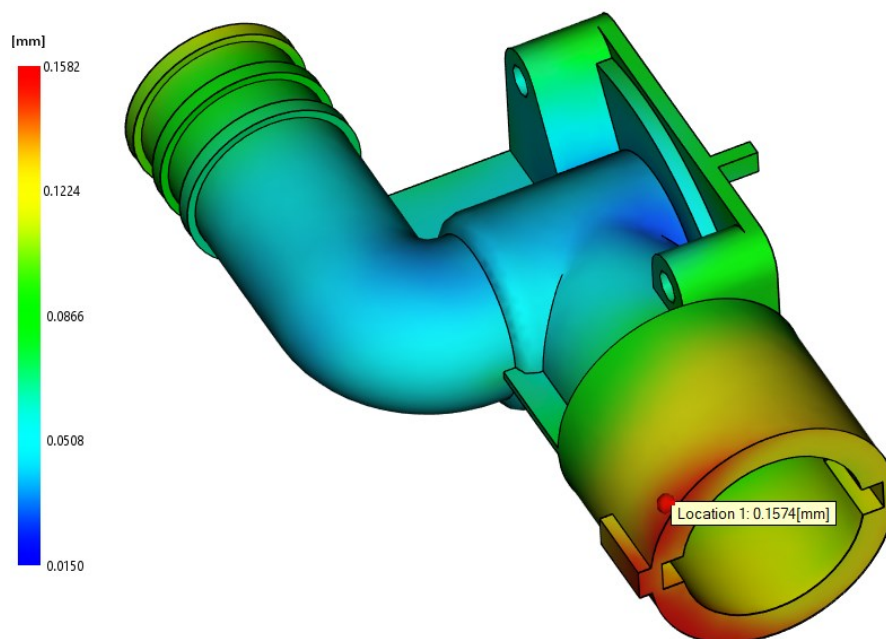
V ideálním případě by hodnota efektivity odvodu tepla temperačním okruhem měla být v okolí tvarových dutin kolem hodnoty 1. U této navržené varianty se ve většině místech hodnota v okolí tvarových dutin pohybovala 0,1 – 0,3. V některých místech byla hodnota dokonce záporná, což znamená, že médium formu ohřívá místo toho, aby ji ochlazovalo. Takto navržený systém z hlediska efektivity odvodu tepla není příliš vhodný. Zvýšit efektivitu by bylo možné úpravou teploty temperačního média nebo úpravou trajektorie proudění média.



Obr. 81 Efektivita odvodu tepla temperačním médiem

Deformace vlivem všech efektů

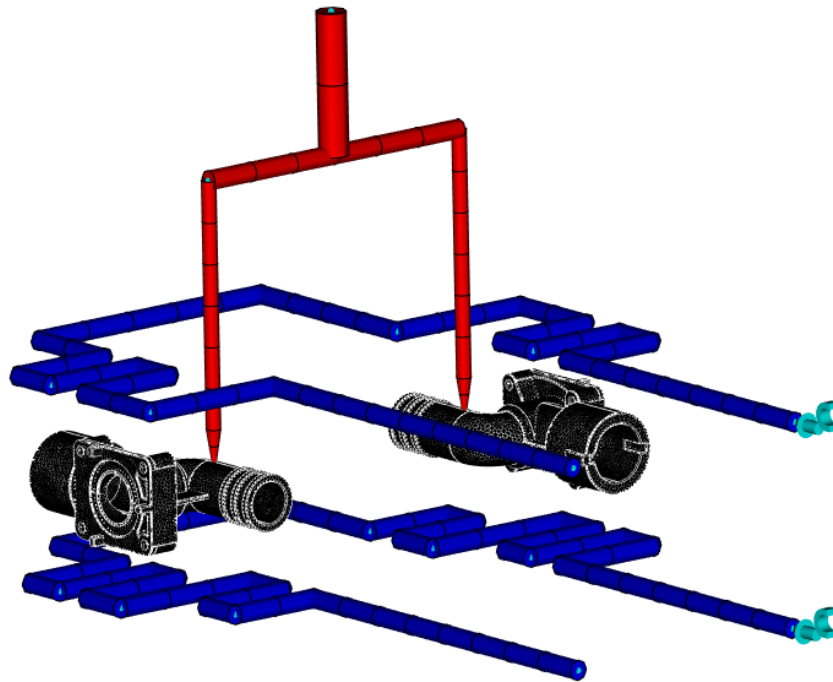
Maximální deformace vlivem všech efektů u této varianty vyšla 0,16 mm. Tato hodnota oproti použití PA6 je zhruba poloviční. Největší hodnoty deformace se nachází na největším průměru výrobku v oblasti vyznačené červenou barvou.



Obr. 82 Deformace vlivem všech efektů

8.9.6 Varianta 3b

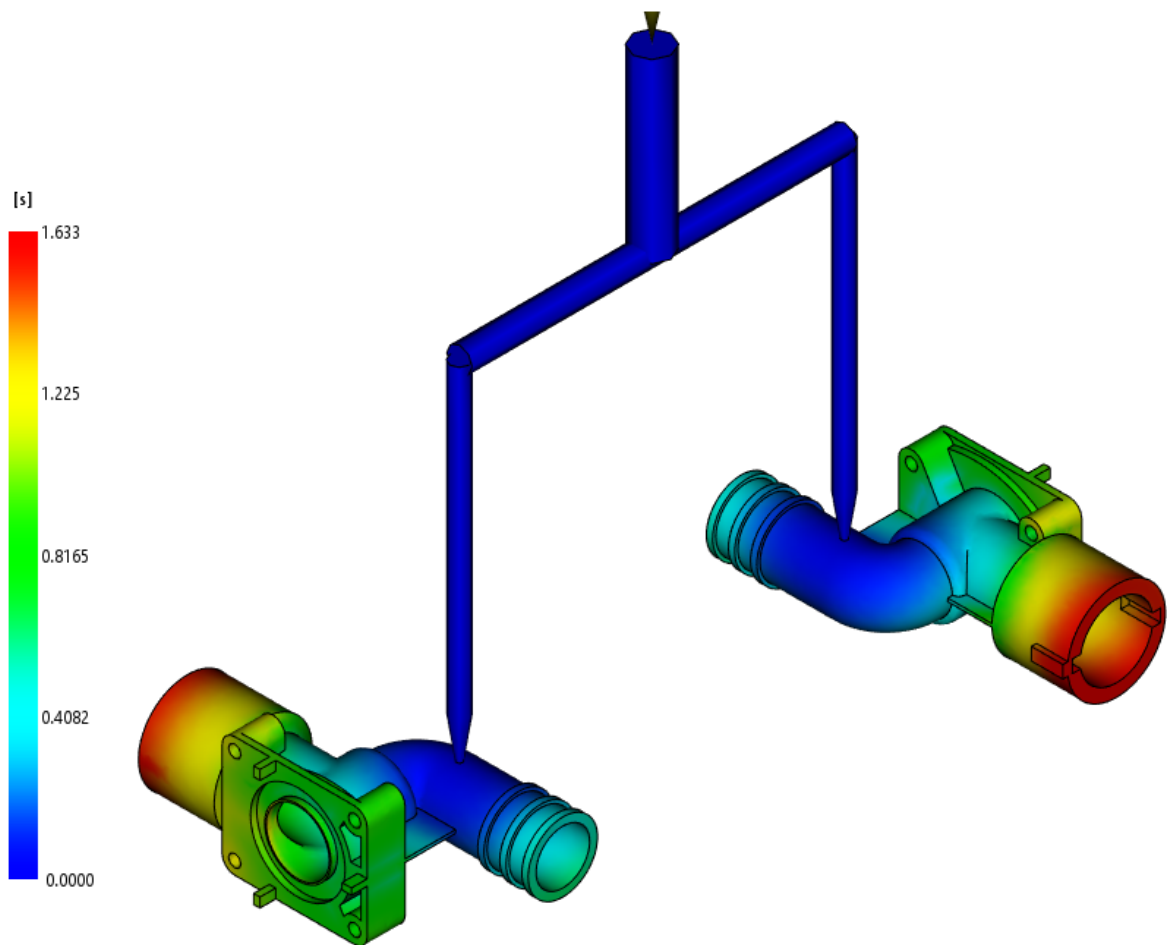
Pro variantu 3b byl jako vstříkovaný materiál použit POM GF25 a vyhřívaný vtokový systém. Temperační systém tvoří systém vyvrtaných kanálků o průměru 8 mm. Nastavená teplota taveniny je 205 °C, teplota povrchu formy 100 °C, vyhazovací teplota 125 °C a teplota chladicího média 60 °C.



Obr. 83 Varianta 3b

Čas plnění

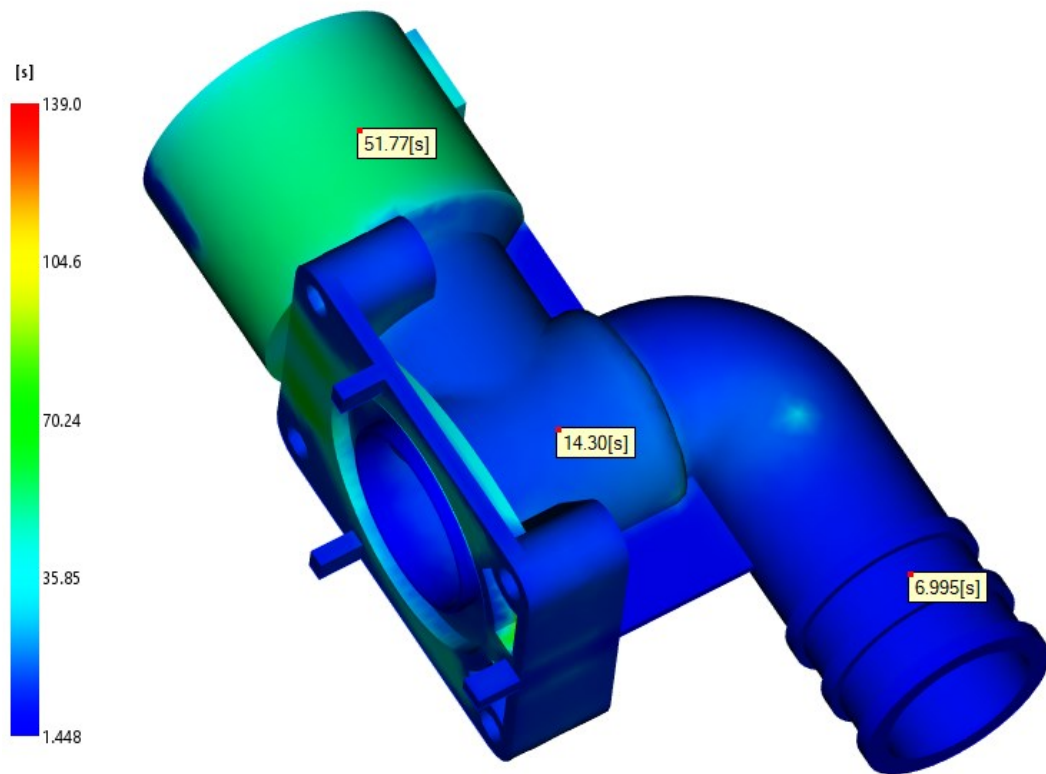
Doba plnění celé dutiny formy u poslední navrhované varianty vyšla 1,63 s. Oproti ostatním variantám opět nedošlo k výraznému ovlivnění tohoto času. Dutina formy byla zcela vyplněna taveninou a není potřeba zasahovat do konstrukce formy.



Obr. 84 Čas plnění

Čas k dosažení vyhazovací teploty

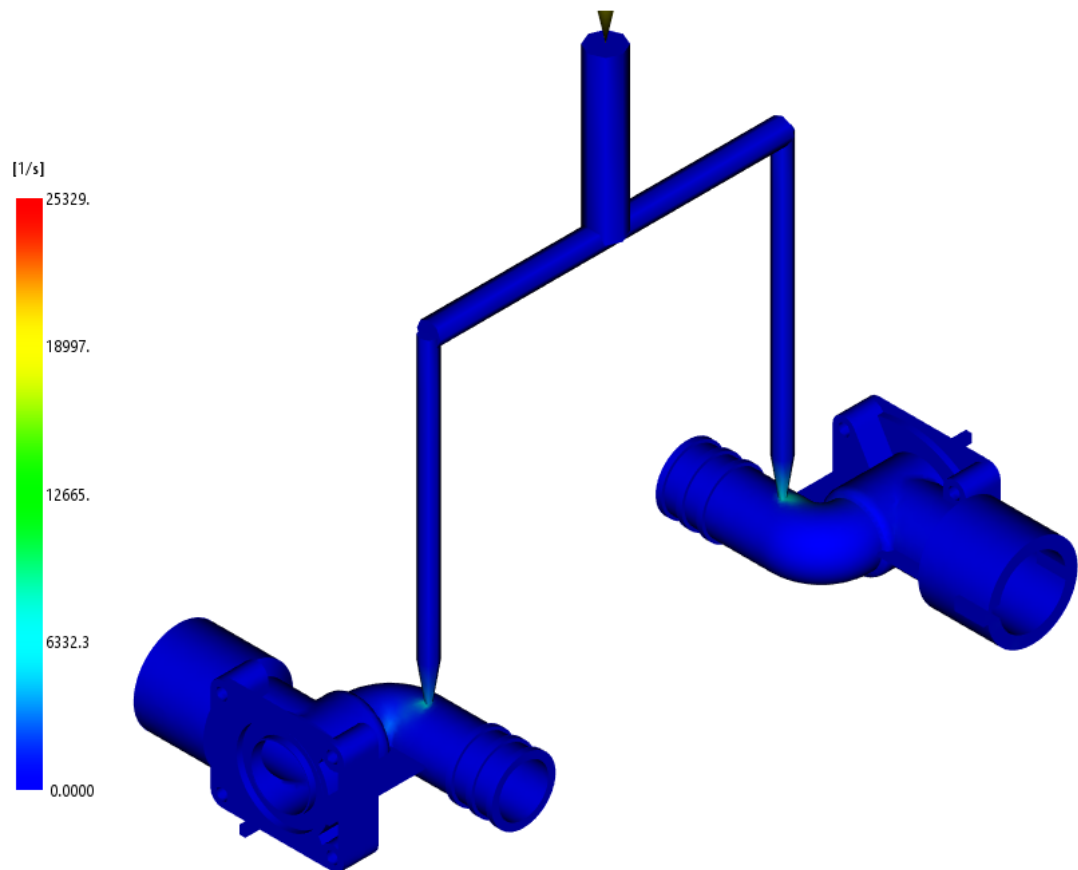
Pro ochlazení celé součásti na vyhazovací teplotu je potřeba 139 s. K dosažení vyhazovací teploty v místech pro vyhazovače je nutné chladit 51.8 s. Tato doba se nijak výrazně neliší od variant s použitím POM. Oproti PA6 je tento čas výrazně vyšší a to konkrétně o 29,5 s.



Obr. 85 Čas k dosažení vyhazovací teploty

Rychlost smykové deformace

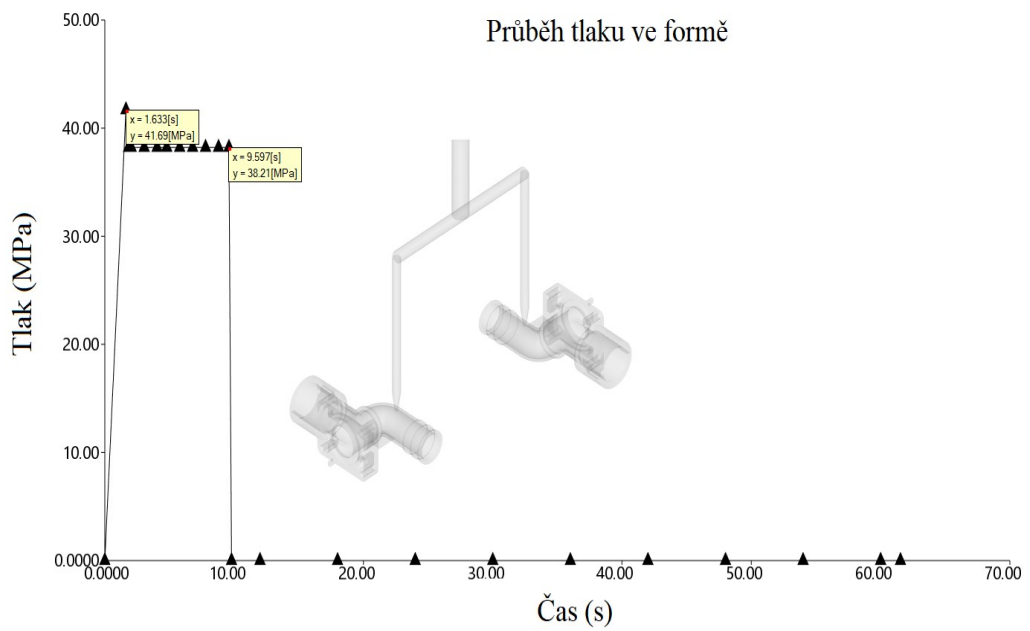
Maximální hodnota rychlosti smykové deformace je 25329 1/s. Oproti použití studeného vtokového systému je tato hodnota vyšší, ale stále nepřekračuje maximální dovolenou hodnotu pro použitý materiál. Nejvyšších hodnot rychlosti smykové deformace je dosahováno v oblasti ústí vtoku. Z výsledků této analýzy není nutné potřeba zasahovat do konstrukce vtokového systému.



Obr. 86 Rychlost smykové deformace

Tlak

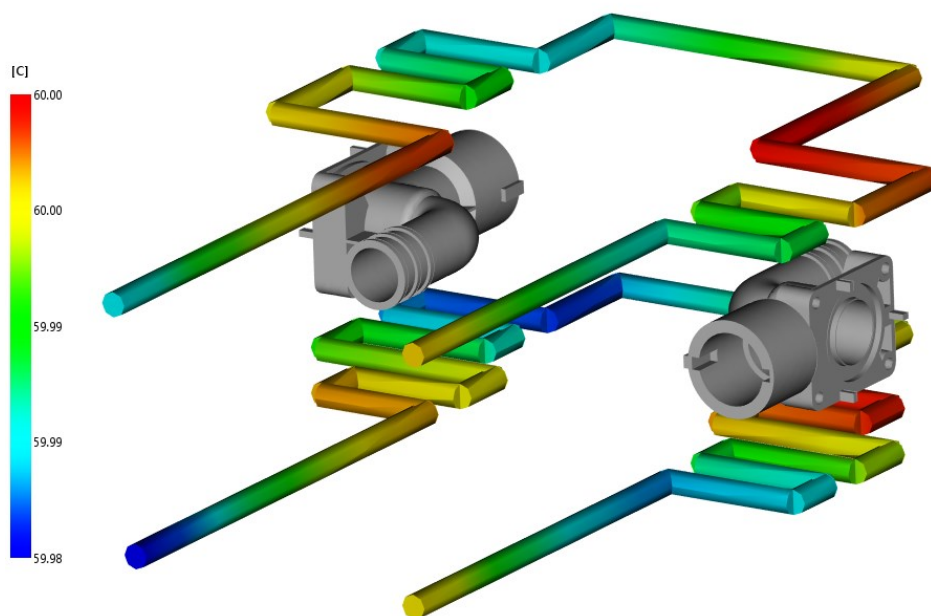
Maximální hodnota vstřikovacího tlaku dle Obr. 87 je 41,67 MPa a hodnota dotlaku 38,21 MPa. Oproti použití studeného vtokového systému došlo k poklesu hodnoty maximálního vstřikovacího tlaku a to zhruba o 10 MPa. Na rozdíl od vstřikování PA6 je tato hodnota výrazně vyšší a to konkrétně o 16,8 MPa. Z tohoto hlediska může docházet k většímu opotřebení jak vstřikovacího stroje, tak i dutiny formy.



Obr. 87 Průběh tlaku ve formě

Teplota temperačního média

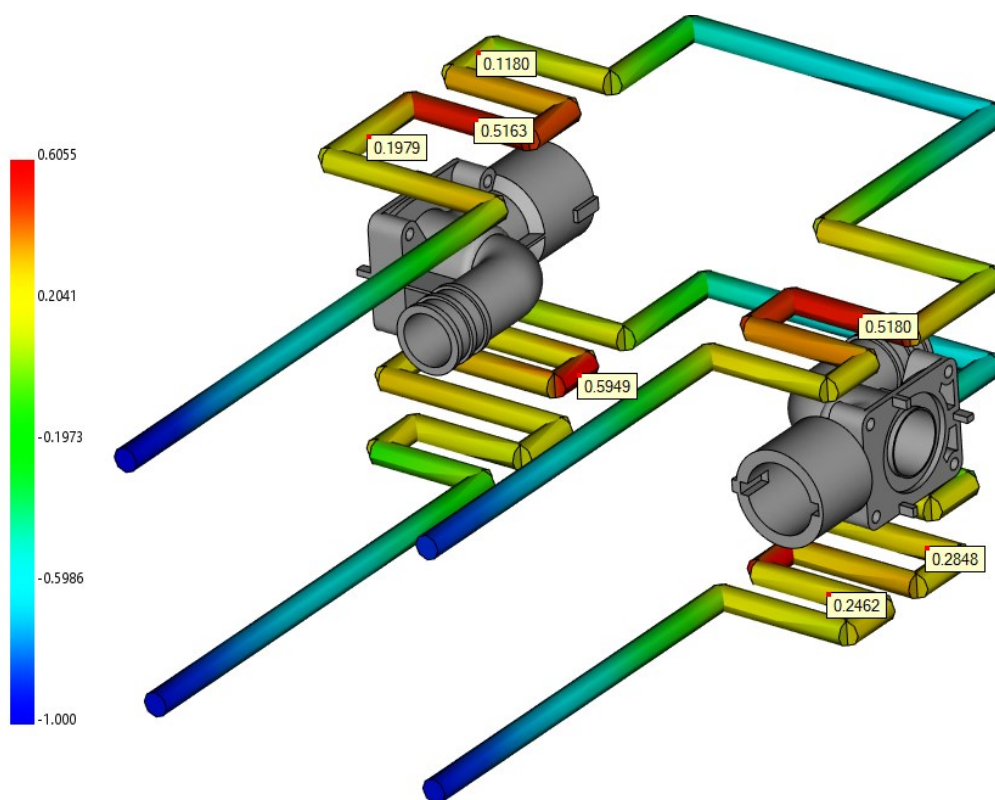
Rozdíl teplot během proudění temperačního média uvnitř formy je 0,02 °C. Hodnota je menší než 3 °C. Takto navržený temperační systém splňuje z tohoto ohledu podmínku pro vytvoření homogenního teplotního pole uvnitř formy.



Obr. 88 Teplota temperačního média

Efektivita odvodu tepla temperačním médiem

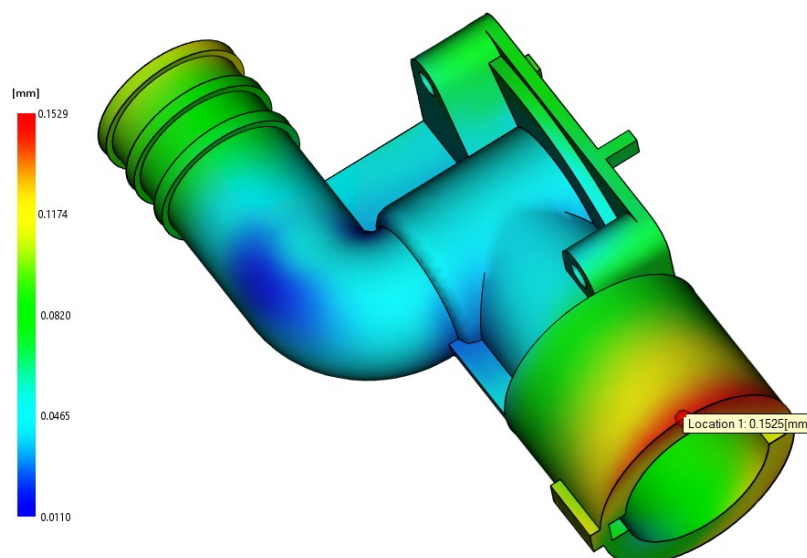
V ideálním případě by hodnota efektivity odvodu temperačním médiem měla být co nejblíže hodnotě 1 ve většině místech temperačního okruhu. U takto navrženého temperačního okruhu se hodnota pohybuje v rozmezí 0,1 – 0,6 v okolí tvarových dutin. Pro zvýšení efektivity by bylo vhodné provést úpravu intenzity chlazení, např. přiblížením temperačních kanálů blíže k dutině formy nebo upravit rychlost proudění temperačního média.



Obr. 89 Efektivita odvodu tepla temperačním médiem

Deformace vlivem všech efektů

Maximální hodnota deformace vlivem všech efektů vyšla dle analýzy 0,15 mm. Tato hodnota se od hodnot z výsledků předchozích variant neliší. Oproti použití PA6 je tato hodnota menší zhruba o polovinu. Nejvyšších hodnot deformace ze všech efektů je dosaženo v oblasti znázorněné červenou barvou a to na největším průměru výrobku.



Obr. 90 Deformace ze všech efektů

8.10 Vyhodnocení výsledků

Pro větší přehlednost byly vyhodnocované výsledky analýz zaznamenány do Tab. 10. Na základě výsledků analýz byla jako nejvhodnější varianta vybrána ta s označením 3a a podle ní bude zkonstruována vstřikovací forma. U této varianty byl použit jako vstřikovaný materiál PA6 35GF, horký vtokový systém a temperační systém ve formě vyvrtaných kanálků.

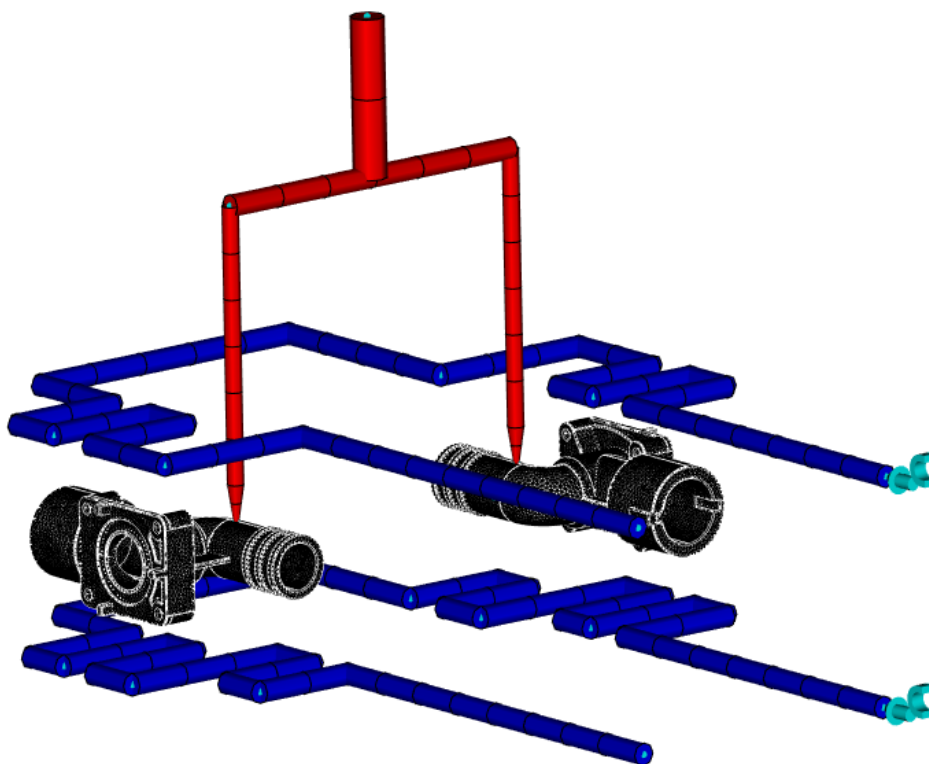
Varianta	Čas plnění (s)	Čas na vyhazovací teplotu (s)	Rychlost smykové deformace (1/s)	Maximální tlak (MPa)	Celková deformace (mm)
1a	1,60	22,7	16599	35,20	0,37
2a	1,62	22,2	12600	37,08	0,37
3a	1,62	22,3	25231	24,87	0,34
1b	1,64	52,3	16594	51,01	0,16
2b	1,64	51,9	12787	53,88	0,16
3b	1,63	51,8	25329	41,67	0,15

Tab. 10 Porovnávané parametry

Pro použití PA6 35GF, jakožto vstřikovaného materiálu, rozhodl zejména parametr čas k dosažení vyhazovací teploty. Oproti použití POM je tato hodnota kratší cca o 30 s. Díky této úspoře času lze velmi výrazně zkrátit vstřikovací cyklus, tím vyrobít více kusů a snížit náklady na výrobu dílu. Pro vstřikování PA6 je také potřeba menší vstřikovací tlak. Tím bude sníženo opotřebení jak formy, tak vstřikovacího stroje. POM vykazuje menší hodnotu celkové deformace, nicméně navržené tvarové vložky budou zvětšeny o hodnotu

smrštění a výsledný výrobek bude mít tak požadovaný rozměr. Kvůli předpokladu výroby velkého množství kusů, bylo přihlédnuto k variantě 3a, kde je použit vyhřívaný vtokový systém. Tímto dojde k velké úspoře materiálu, nebude vznikat vtokový zbytek a nebude muset být řešeno jeho další zpracování. U této varianty sice vyšla nejvyšší hodnota rychlosti smykové deformace, ale nedošlo k překročení k maximální dovolené hodnoty. U této varianty je potřeba nejnižší vstřikovací tlak, čímž nebude docházet k tak výraznému opotřebení dutiny formy, ani vstřikovacího stroje.

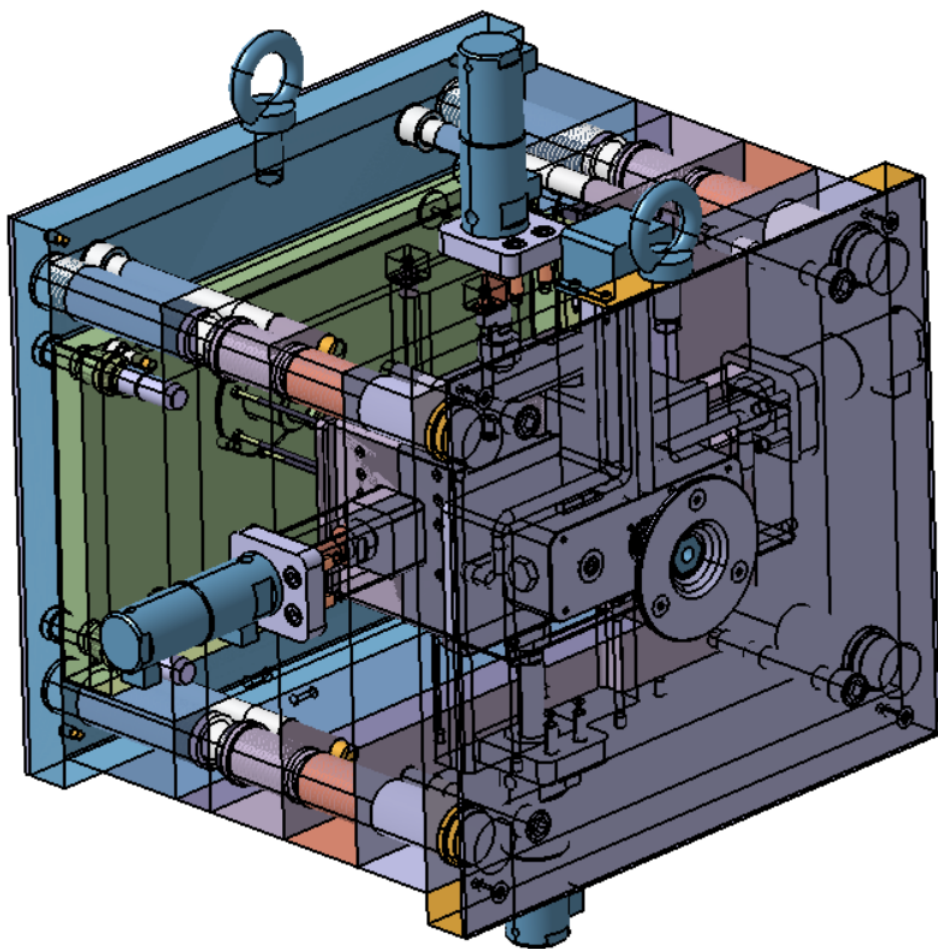
Co se týče sledovaných parametrů, při použití komfortního temperačního systému nebylo dosaženo výrazného zlepšení, proto bylo použito systému běžných vyvrtaných kanálků. Tento systém je výrazně levnější i jednodušší na výrobu.



Obr. 91 Vybraná varianta

9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

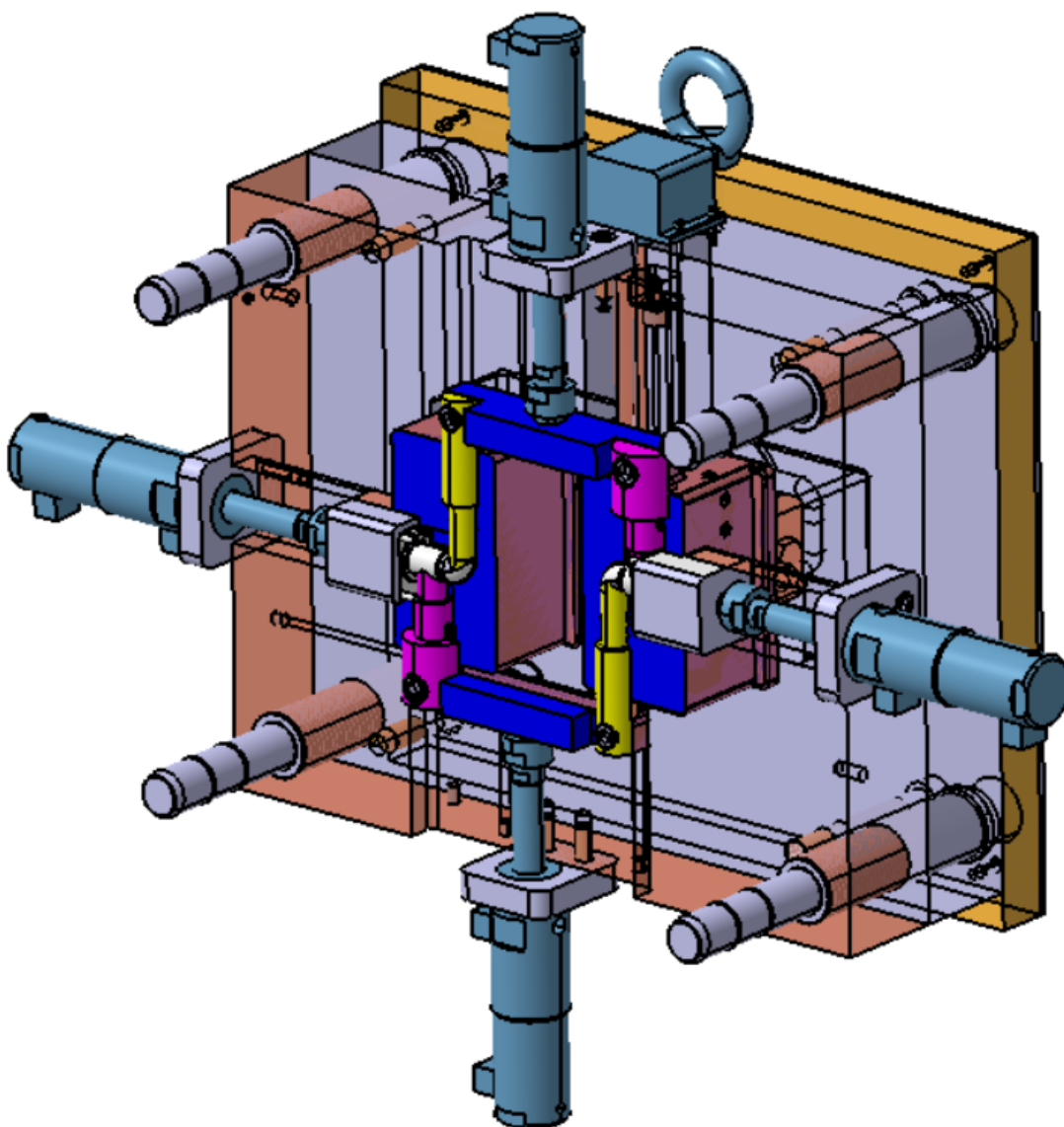
Konstrukce vstřikovací formy proběhla v programu Catia V5 R19 pomocí modulů Mold Tooling design, Assembly design a Part Design. Pro zlevnění nákladů na výrobu formy a s ohledem na možné opotřebení a jednoduchou výměnu jejích součástí, byly použity normálie od firmy Hasco. Vstřikovací forma se skládá ze tří hlavních částí – pravá nepohyblivá část, levá pohyblivá část a vyhazovací systém. Hlavní rozměry rámu vstřikovací formy jsou 496 x 446 x 457 mm. Vstřikovací forma je řešena jako dvojnásobná. Rám vstřikovací formy je sestaven z normalizovaných desek od firmy Hasco.



Obr. 92 Vstřikovací forma

Pravá část formy je složena ze čtyř desek – izolační, upínací, desky vyhřívaného bloku a kotevní. Tyto desky jsou navzájem spojeny za pomoci šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem a vystředěny pomocí vodících čepů. Izolační deska slouží k minimalizaci teplotních ztrát vznikajících únikem tepla z formy do rámu stroje.

V kotevní desce jsou umístěny tvárnice, systém bočního odformování a temperační systém tvárnice (kanály, zátky, ventily a těsnění). K upínací desce je připevněn středící kroužek, který slouží k vystředění formy vzhledem k vstřikovacím stroji a také zabraňuje sklouznutí formy z montážní desky stroje při její manipulaci. V této části formy se nachází i vyhřívaný vtokový systém.

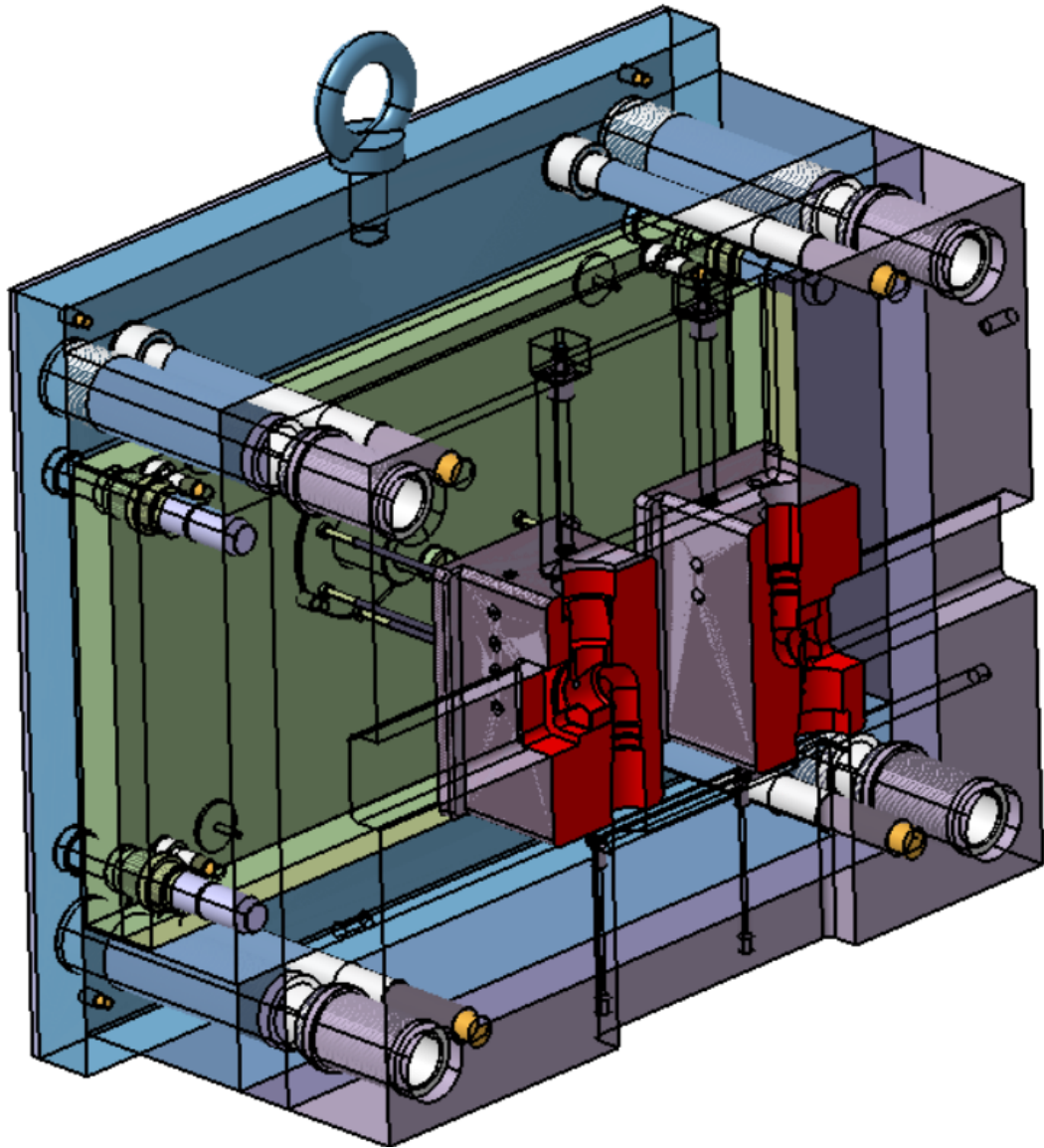


Obr. 93 Pravá část vstřikovací formy

Levá část formy je také složena ze systému desek spojených pomocí šroubů. Systém desek se skládá z desky izolační, upínací, dvou rozpěrných, opěrné a kotevní. Tyto desky jsou navzájem spojeny šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. Izolační deska plní stejnou funkci jako u pravé strany části formy. Desky jsou navzájem vystředěny pomocí středících trubek a vodících pouzder. V kotevní desce jsou upevněny

tvarové vložky a nachází se zde temperační systém tvárníků (kanály, zátky, ventily a těsnění). Na této části formy je také upevněn středící kroužek sloužící k vystředění formy vůči stroji.

Sředící a vodící prvky byly vybrány na základě velikosti formy a byly použity jako normálie od firmy Hasco.

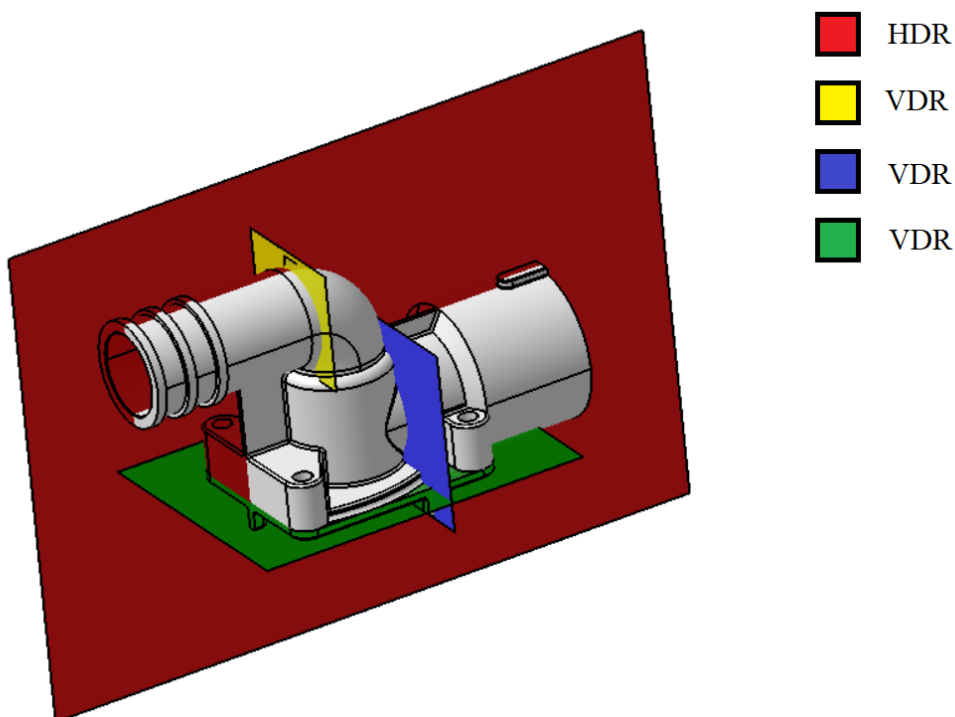


Obr. 94 Levá část vstřikovací formy

Vyhazovací systém je popsán v kapitole 9.5.

9.1 Návrh dělicích rovin

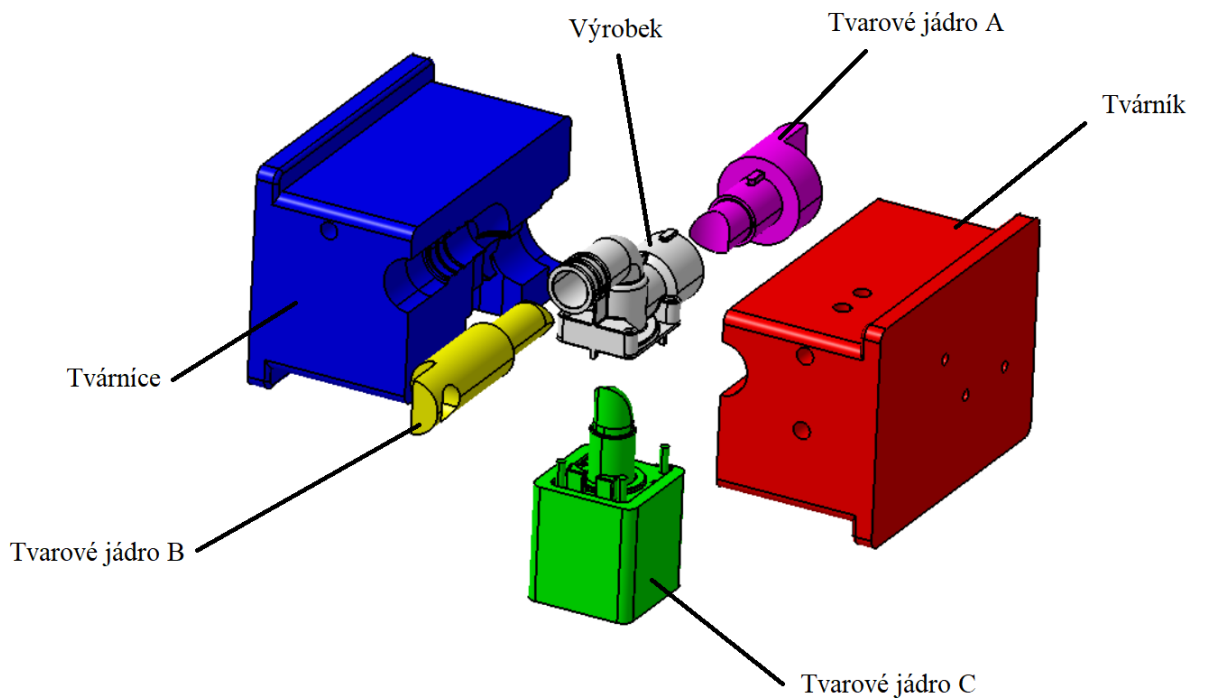
Velmi důležitou součástí konstrukce vstřikovací formy je návrh dělicích rovin pro co nejjednodušší odformování výrobku. Zvolený výrobek nelze vyrobit za použití pouze jedné dělicí roviny. Vzhledem ke složitosti vstřikovaného dílu byla zvolena jedna hlavní dělicí rovina (HDR) mezi tvárníkem a tvárnici a tři vedlejší dělicí roviny (VDR) pro odformování vnitřních otvorů. Hlavní dělicí rovina byla navržena tak, aby výrobek zůstal při otevření formy na levé pohyblivé části formy a šel tak snadno odformovat za pomoci vyhazovacích kolíků.



Obr. 95 Návrh dělicích rovin

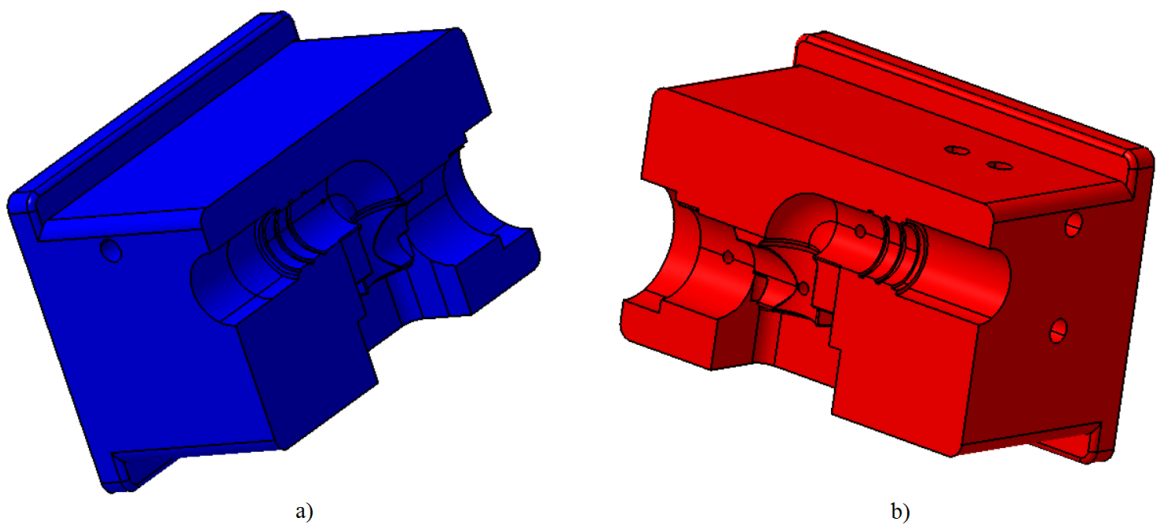
9.2 Tvarové vložky

Na základě návrhu dělicích rovin byly zhotoveny tvarové vložky a jádra. Výhodou tvarových vložek je, že při jejich poškození je lze vyměnit a není nutné znova vyrábět celou tvarovou desku. Ve formě byly použity dvě tvarové vložky (tvárník a tvárnice) a tři tvarová jádra pro odformování otvorů. Tvarové dutiny byly zvětšeny o hodnotu smrštění materiálu. Vložky jsou mechanicky i chemicky namáhány, proto jsou zhotoveny z oceli 1.2343 a chemicko-tepelně zpracovány. Tímto se zvýší jejich tvrdost a odolnost vůči opotřebení.



Obr. 96 Tvarové vložky a jádra

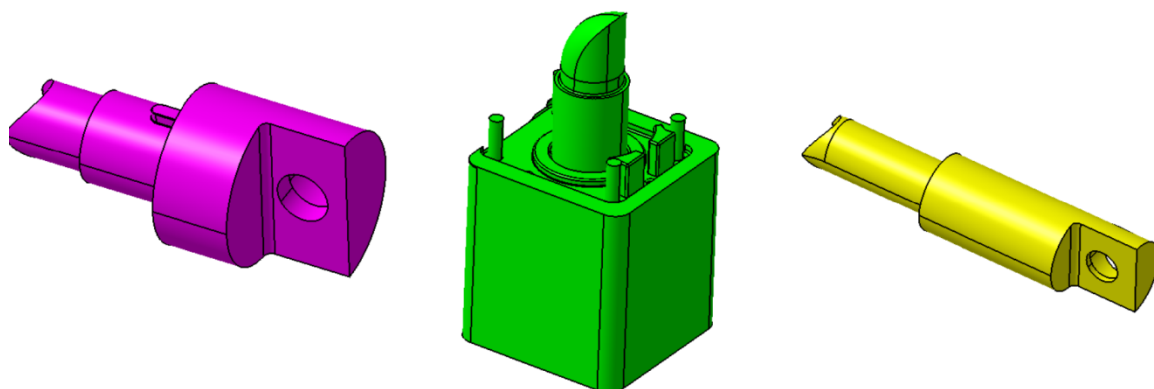
Tvárník a tvárnice dávají výrobku vnější tvar a jsou ukotveny v kotevních deskách formy. Po otevření formy zůstává výrobek na levé pohyblivé straně formy a je odformován vyhazovacími kolíky. Podle typu vložky jsou v nich vyvrtány otvory pro temperaci a vyhazovače, nebo vytvořeny otvory pro vtokový systém. Pro usměrnění toku temperačního média a utěsnění otvorů jsou do nich vloženy ucpávky a těsnění.



Obr. 97 Tvarové vložky

a) tvárnice, b) tvárník

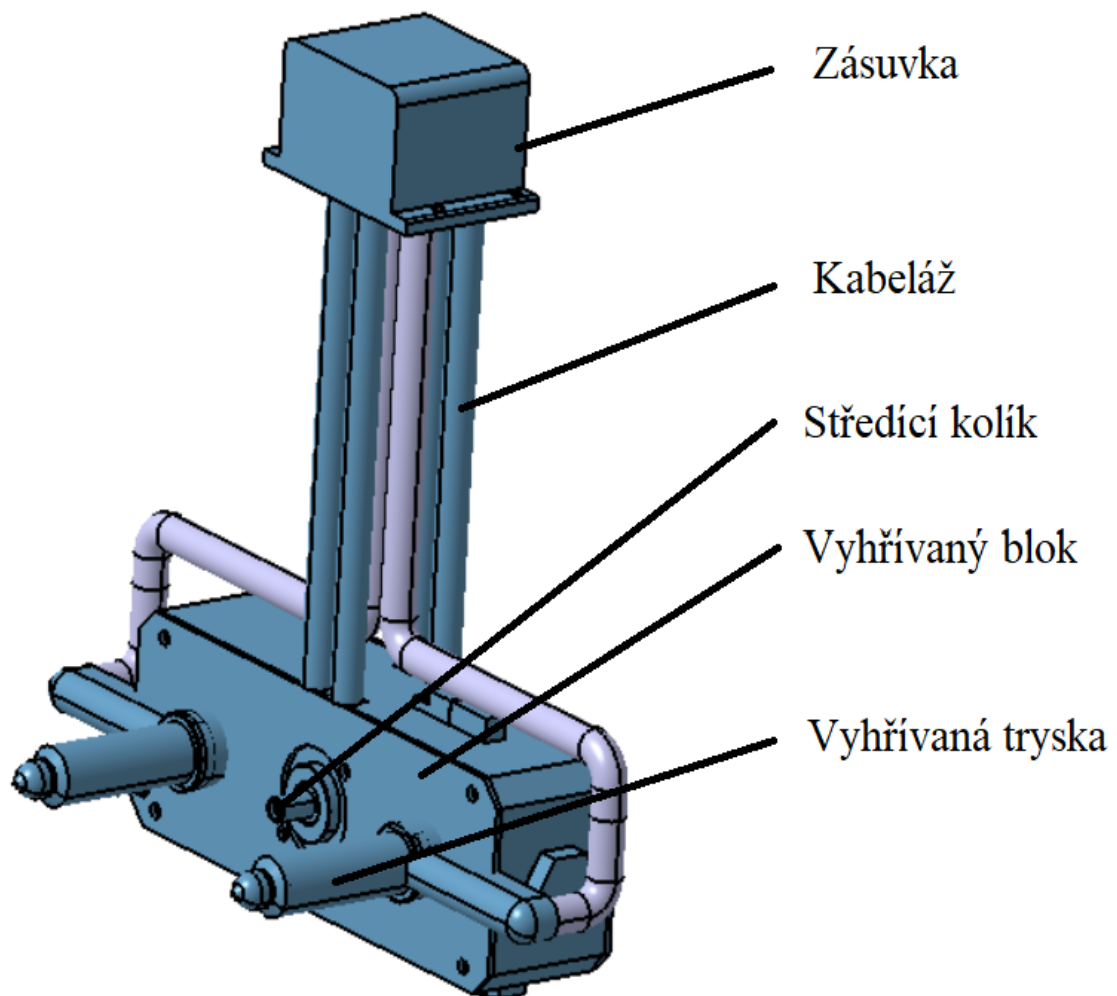
Pro odformování vnitřních otvorů a některých tvarových prvků byly navrženy tři jádra. Tato jádra jsou upevněna k hydraulickým tahačům, které zajistí jejich pohyb při odformování.



Obr. 98 Tvarová jádra

9.3 Vtokový systém

Na základě výsledků tokových analýz a na vybrané variantě byl zvolen vyhřívaný vtokový systém od firmy Hasco. Tento systém je složen ze zásuvky, kabeláže, vyhřívaného rozvodného bloku, vyhřívané trysky a středících kolíků. Největší výhodou tohoto systému je, že při vstřikování nevzniká odpad v podobě vtokových zbytků a při dopravě taveniny polymeru do dutiny formy nehrozí jeho zatuhnutí v rozvodných kanálech. Vyhřívaný rozvodný blok udržuje konstantní teplotu taveniny při dopravě do dutiny formy. Blok je ve formě umístěn do vyfrézované drážky v desce bloku a vystředěn pomocí středících kolíků. Teplota taveniny byla nastavena na 280 °C. Vyhřívaná tryska Z20213 ústí přímo do tvarové dutiny formy a je vyhřívána za pomoci elektrické energie, která je k trysce dopravena ze zásuvky skrz kabeláž. Centrální vtoková vložka slouží k dopravě taveniny z plastikační jednotky vstřikovacího stroje do vyhřívaného rozvodného bloku a dále do dutiny formy. Použitý vtokový systém splňuje dvě hlavní zásady při návrhu vtokového systému – u vícenásobné formy musí být tvarové dutiny vyplněny za stejný čas a co nejrychleji.

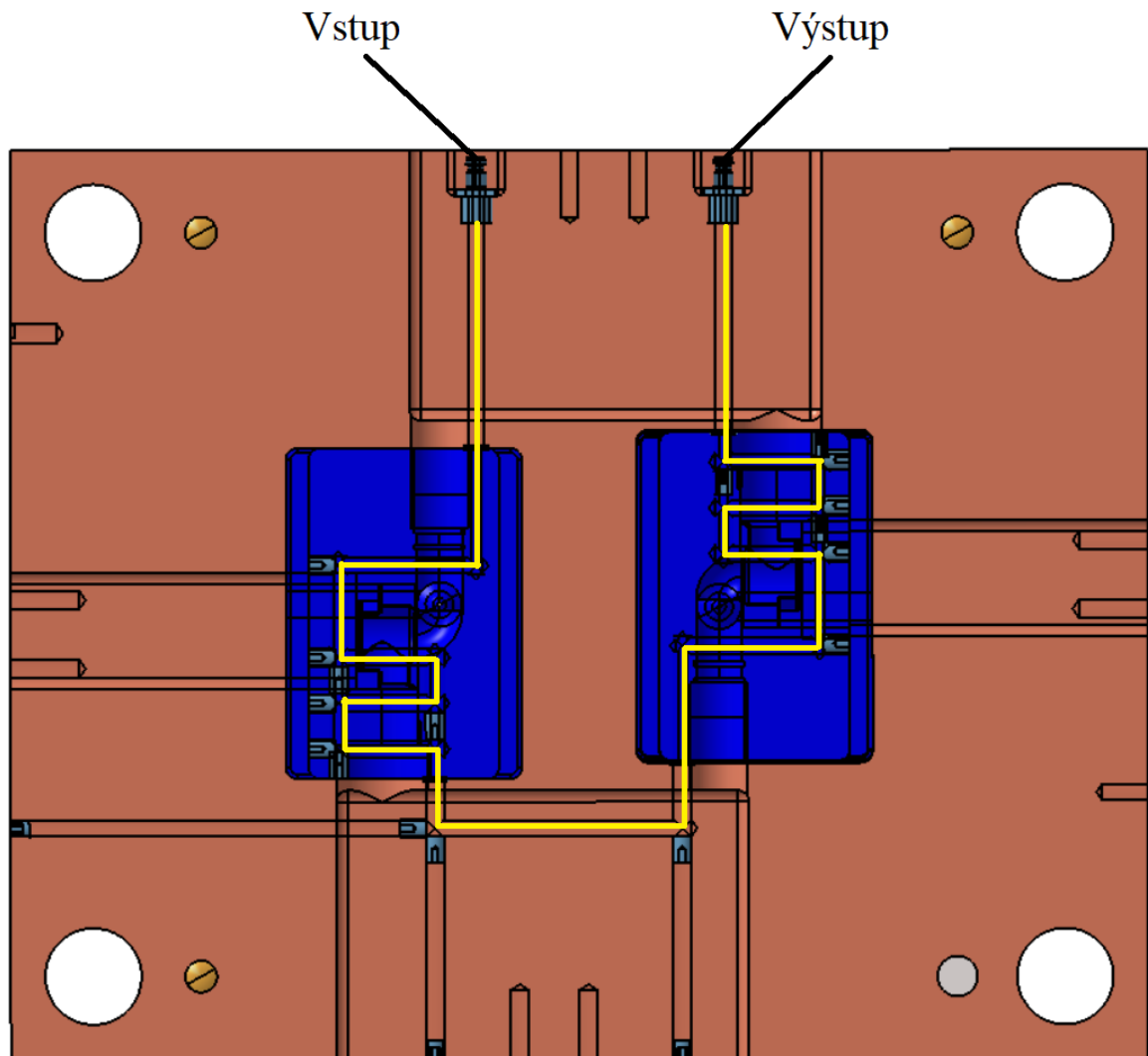


Obr. 99 Vyhřívavý vtokový systém

9.4 Temperační systém

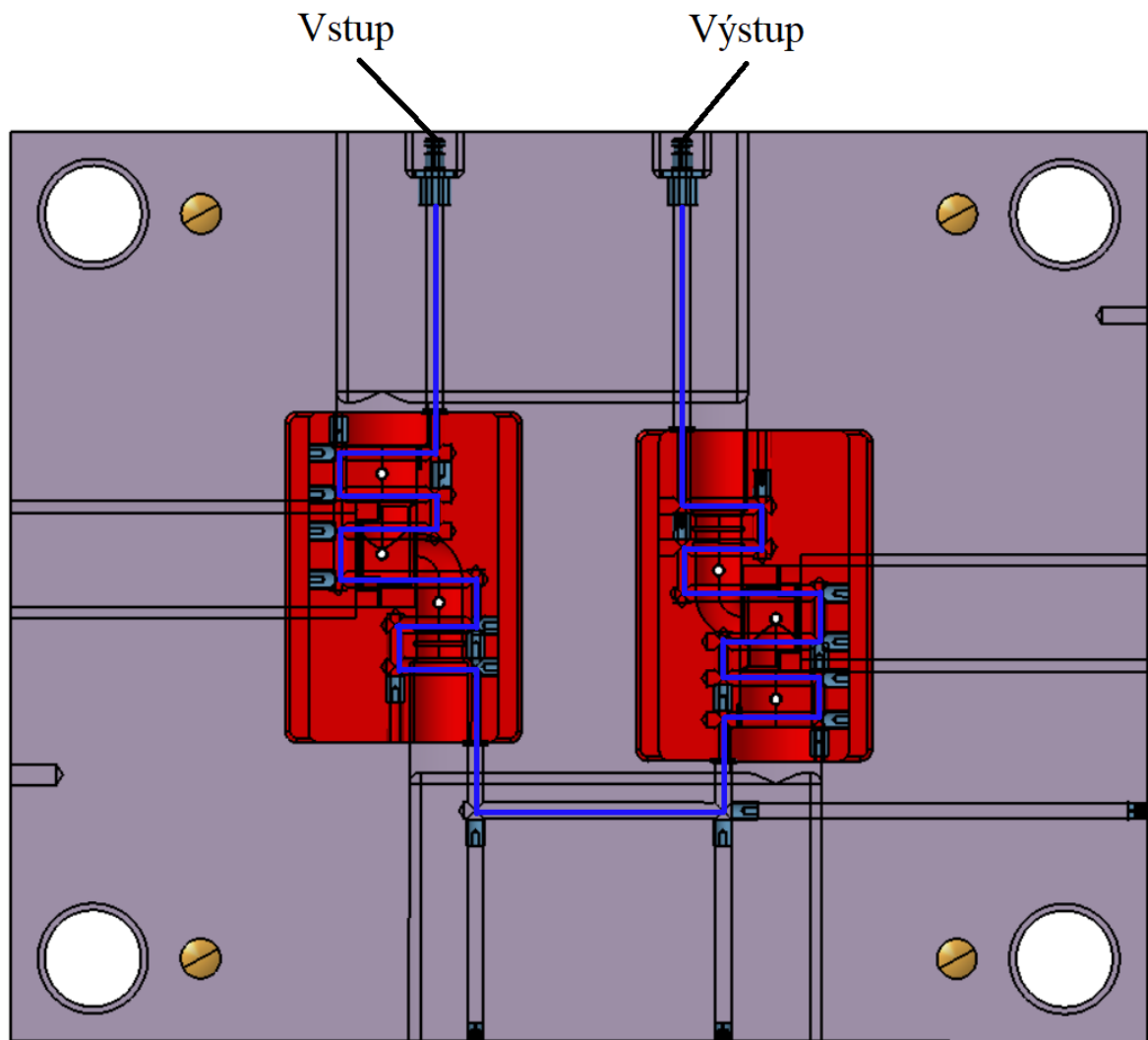
Na základě výsledků tokových analýz a na vybrané variantě byl zvolen temperační systém tvořený vyvrtanými kanálky o průměru 8 mm. Jako temperační médium byla použita směs vody a glykolu v poměru 80 % a 20 %. Teplota temperačního média byla nastavena na 55 °C. Kvůli nedostatku místa a použití hydraulických tahačů byla zvolena temperace pouze tvárníku a tvárnice. Připojovací ventily jsou zapuštěny do rámu formy, aby nedošlo k jejich poškození.

V pravé části vstříkovací formy byl temperační systém navržen tak, aby se jeho kanály vyhnuly vyhřívané trysce. Pomocí ucpávek je médium usměrněno do potřebných míst.



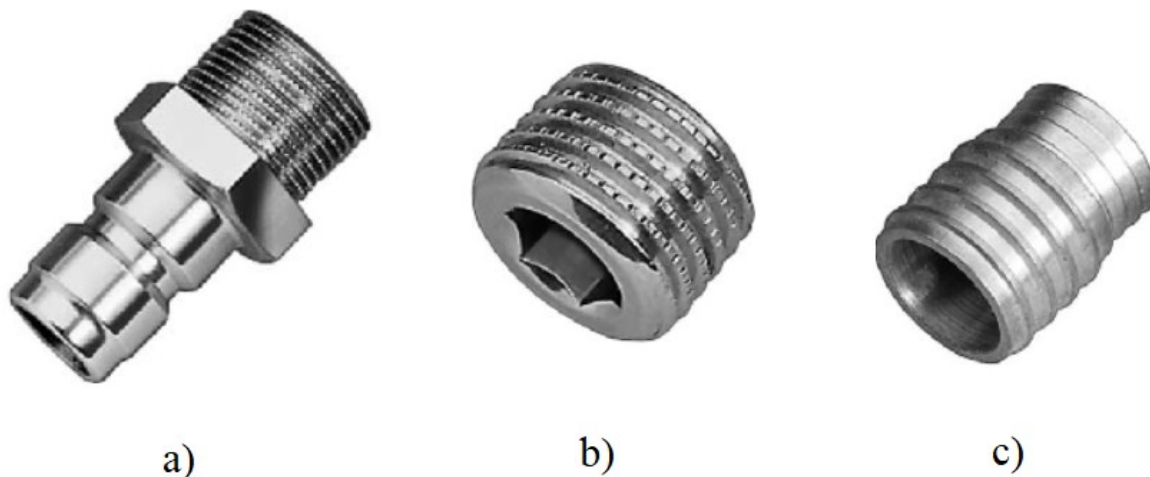
Obr. 100 Temperační okruh v pravé části formy

V levé části vstříkovací formy bylo nutné navrhnout temperační okruh tak, aby se temperační kanály vyhnuly válcovým vyhazovačům. Pomocí ucpávek je médium usměrněno do potřebných míst.



Obr. 101 Temperační okruh v levé části formy

Součástí temperačního systému jsou i další prvky jako např. ucpávky, ventily a těsnění. Ucpávky slouží k usměrnění toku temperačního média do potřebných míst a ventily k propojení hadic s temperačními kanály formy. Těsnění slouží k zabránění úniku média mezi tvarovými vložkami a deskami formy. Tyto prvky byly vybrány jako normálie od firmy Hasco.



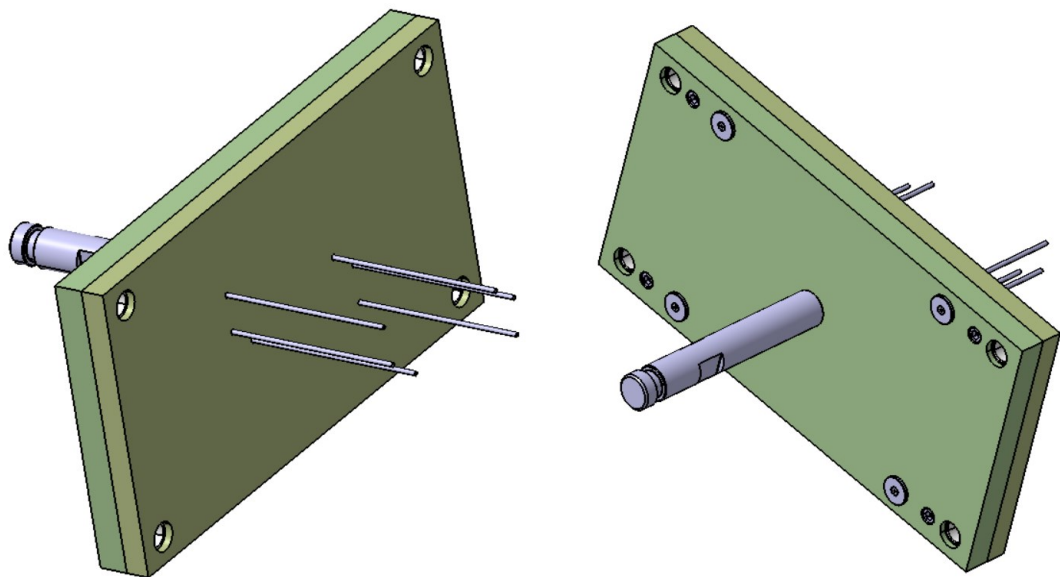
Obr. 102 Součástky temperačního systému od firmy Hasco

a) rychlospojný ventil, b) vnější ucpávka, c) vnitřní ucpávka

9.5 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je nutné navrhnout tak, aby nijak nedeformoval výrobek. Pro správnou funkci vyhazovacího systému je nutné zajistit, aby výstřík zůstal na levé pohyblivé straně formy.

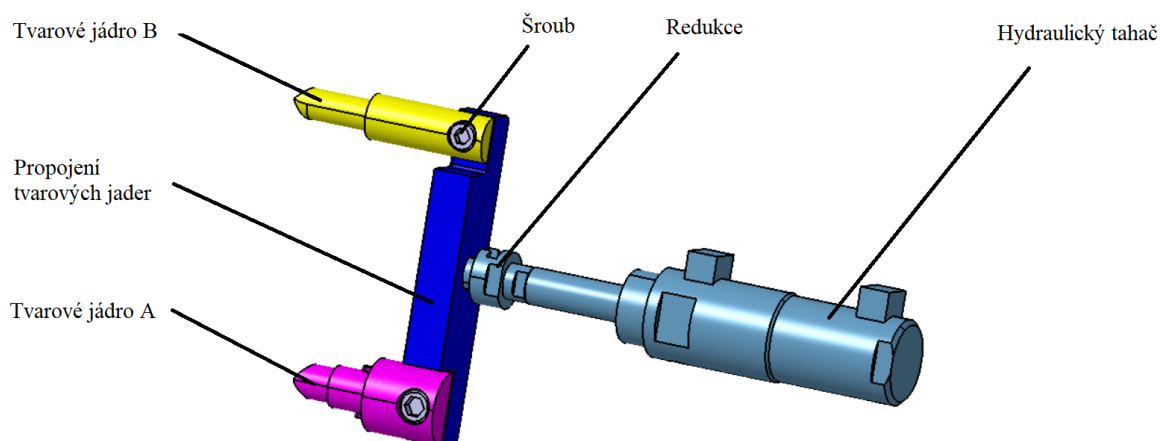
Ve vstřikovací formě byl použit systém šesti válcových vyhazovacích kolíků (pro každý výstřík tři) o průměru 4 mm. Vyhazovače jsou zkráceny na potřebnou délku a jejich konce tvarově upraveny dle umístění na výrobku. Vyhazovače obsahují tvarový prvek, aby nedocházelo k jejich pootočení. Vyhazovače jsou ukotveny v kotevní desce vyhazovacího systému. Vyhazovací systém obsahuje dvě desky spojené šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem a vystředěné pomocí vodících čepů a pouzder. Vyhazovací systém je ovládán pomocí táhla, které je připojeno k vstřikovacímu stroji. Pro správnou funkci systému je důležité zajistit dostatečný zdvih vyhazovačů. Hodnota zdvihu činí 64 mm a je dostatečná pro odformování výstříku. Aby nedocházelo ke kolizím vyhazovacího systému s kotevní deskou formy, jsou ke kotevní desce vyhazovacího systému přišroubovány dosedací podložky.



Obr. 103 Vyhazovací systém

9.5.1 Hydraulické tahače

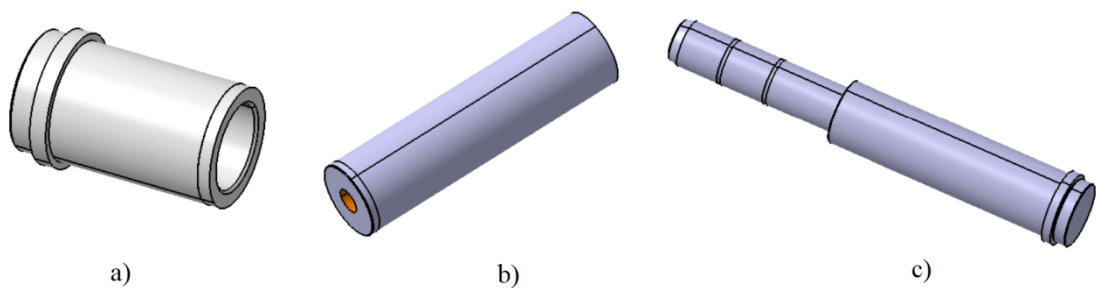
K odformování vnitřních otvorů byl navržen systém s použitím hydraulických tahačů. Systém se skládá z hydraulického tahače, redukce, propojení tvarových jader a samotných tvarových jader. Tvarová jádra jsou vyrobena z nástrojové oceli a chemicko-tepelně zpracována pro zvýšení jejich tvrdosti a odolnosti vůči opotřebení. Tvarová jádra jsou řešena jako samostatné součásti, které při jejich poškození lze snadno vyměnit za nový kus.



Obr. 104 Hydraulický tahač a tvarová jádra

9.6 Vodící a středící prvky

Pro zajištění správné funkce vstřikovací formy je nutné zajistit, aby byly desky rámu vstřikovací formy správně vystředěny a bylo zajištěno jejich správné vedení při pohybu formy. K tomu slouží vodící a středící prvky (pouzdra, čepy, trubky...). Tyto součásti jsou vyrobeny z oceli 1.0401, která má dobré kluzné vlastnosti a odolnost vůči opotřebení. Pro zvýšení jejich tvrdosti a odolnosti jsou tyto součásti chemicko-tepelně zpracovány. Kvůli snížení celkové ceny vstřikovací formy byly použity normálie od firmy Hasco.



Obr. 105 Vodící a středící prvky

a) středící pouzdro, b) středící trubka, c) vodící čep

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byla optimalizace plastového dílu a nástroje pro jeho výrobu. Optimalizace byla provedena v programu Moldflow na základě výsledků tokových analýz různých konstrukčních variant vtokových a temperačních systémů a vstříkovaných materiálů. Z těchto analýz byla vybrána nejvhodnější varianta a podle ní byl zkonstruován 3D model vstříkovací formy včetně výkresové dokumentace.

Teoretická část diplomové práce byla zaměřena na technologii vstříkovaní, vstříkovací stroj, konstrukci výrobků z plastu, vady vstříkovaných výrobků a konstrukci vstříkovací formy včetně popisu jejich komponentů.

V praktické části byly nejprve zhotoveny 3D modely vstříkovaného dílu v programu CATIA V5 R19. Tyto modely byly dále použity pro tokové analýzy a konstrukci tvarových vložek pro vstříkovací formu. Tokové analýzy byly provedeny v programu Moldflow Synergy 2016. Jako první byla provedena analýza ke zjištění nejvhodnějšího místa umístění vtokového ústí. Na základě výsledku této analýzy byly navrženy dvě varianty vtokového systému (studený a vyhřívaný), tři varianty temperačního systému (dvě pro studený a jedna pro vyhřívaný vtokový systém) a použity dvě varianty vstříkovaných materiálů. Celkem bylo tedy provedeno šest tokových analýz. Jako vstříkované materiály byly použity PA6 GF35 a POM GF25. Pro nalezení nejvhodnější varianty konstrukce vtokového a temperačního systému a vstříkovaného materiálu, byly z výsledků analýz porovnány parametry čas plnění, čas k dosažení vyhazovací teploty, rychlost smykové deformace, tlak, efektivita odvodu tepla temperačním systémem a deformace ze všech efektů. Z hlediska těchto parametrů vyšla nejlépe varianta označena jako 3a. U této varianty byl použit jako vstříkovaný materiál PA6 GF35, vyhřívaný vtokový systém a temperační systém z vyvrtaných kanálků.

Podle takto navržené varianty byla provedena konstrukce 3D modelu vstříkovací formy. Konstrukce proběhla v programu CATIA V5 R19 za pomoci modulu Mold Tooling design a ve vstříkovací formě bylo použito co nejvíce normálií od firmy Hasco. Tyto normálie byly vybrány pomocí digitálního katalogu Hasco DAKO Modul a vloženy do modelu formy za pomoci modulu Assembly design. Podle 3D modelu formy byla vytvořena výkresová dokumentace, která zobrazuje umístění jednotlivých komponentů formy, včetně kusovníku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN - technická literatura, 2009, ISBN 9788073002503.
- [2] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, ISBN 9788027106141
- [3] OSSWALD, T. A. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich, Germany: Carl Hanser Publishers, 2008. ISBN 978-3-446-40781-7.
- [4] GOODSHIP, Vanessa. ARBURG Practical Guide to Injection Moulding. Smithers Rapra, 2017. ISBN 9781910242957.
- [5] WEIS, Matěj. Návrh vstřikovací formy pro díl automobilu. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2018. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/42390>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Šenkeřík, Vojtěch
- [6] HYNEK, Martin a kol. PLASTOVÉ DÍLY: TEMPERACE VSTŘIKOVACÍCH FOREM [online]. Fakulta strojní - Západočeská univerzita v Plzni. [cit. 2020-01-22]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Temperace_vstrikovacich_forem.pdf
- [7] LANXESS Inc. Engineering Plastics: Part and Mold Design. [online]. Dostupné z: http://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part_and_Mold_Design_Guide.pdf?docId=77015
- [8] ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, ISBN 9788072048335.
- [9] NEUHÄUSL, Emil. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. Vady výstřiků 1. - 6. díl. MM Průmyslové spektrum [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2010 [cit. 2019-10-28]. ISSN:1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanky.html>
- [10] STANĚK, Michal, 2017. Vliv technologických parametrů na zatékavost polymerů. Zlín. Habilitační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

- [11] REES, Herbert. Mold engineering. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2002. ISBN 3-446-21659-6
- [12] BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů. I. díl, Vstřikování termoplastů. 2. vydání. Brno: Uniplast Brno, 1999.
- [13] KOLOUCH, Jan. Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
- [14] HYNEK, Martin a kol. STUDENÉ A ŽIVÉ VTOKOVÉ SYSTÉMY [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
- [15] BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, 2007. ISBN 9781569904213.
- [16] HYNEK, Martin a kol. HORKÉ VTOKY [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Horke_vtoky.pdf
- [17] Rozvodné desky Orycon. ORYCON [online]. [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: <http://www.oryconeu.cz/produkty/rozvadece>
- [18] BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů. II. díl, Vstřikování termoplastů. Brno: Uniplast Brno, 1999,
- [19] MEUSBURGER [online]. [cit. 2019-11-18]. Dostupný z: <https://ecom.meusbur-ger.com/files/pdf/e/e2100.pdf>
- [20] COMPREX CZ [online]. [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: <https://www.comprexcz.cz/normovane-dily/vyhazovace/>
- [21] JANOŠTÍK, Václav, STANĚK, Michal, MAŇAS, David, MAŇAS, Miroslav, ŠENKERÍK, Vojtěch., 2016. The Influence of runner system on production of injection molds. *MATEC Web of Conferences* [online]. 76 [cit. 2020-01-15]. DOI: 10.1051/mateconf/20167602022. ISSN 2261-236X. Dostupné z: <http://www.matec-conferences.org/10.1051/mateconf/20167602022>
- [22] BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů II.díl – Vstřikování termoplastů. Brno: UNIPLAST, 1999.

- [23] GASTROW, Hans, E. LINDNER a P. UNGER, c2002. Injection molds: 130 proven designs. 3rd ed. / edited by Edmund Lindner and Peter Unger. Cincinnati: Hanser/Gardner [distributor]. ISBN 15-699-0316-6.
- [24] ŠENKEŘÍK, Vojtěch, Michal STANĚK, Miroslav MAŇAS, David MAŇAS, Adam ŠKROBÁK a Jan NAVRÁTIL. Gate location and cooling system optimization. International Journal of Mathematics and Computers in Simulation [online]. 2012, vol. 6, iss. 6, s. 558-565. [cit. 2020-01-22]. ISSN 1998-0159. Dostupné z: <http://www.naun.org/multimedia/NAUN/mcs/16-593.pdf>.
- [25] KYAS, Kamil, Jakub ČERNÝ, Michal STANĚK, Miroslav MAŇAS, David MAŇAS, Vojtěch ŠENKEŘÍK a Adam ŠKROBÁK. Measuring of temperature and pressure in injection mold. International Journal of Mathematics and Computers in Simulation [online]. 2012, vol. 6, iss. 6, s. 600-607. [cit. 2020-01-22]. ISSN 1998-0159. Dostupné z: <http://www.naun.org/multimedia/NAUN/mcs/16-600.pdf>.
- [26] STANĚK, Michal, David MAŇAS, Miroslav MAŇAS, Martin OVSÍK, Vojtěch ŠENKEŘÍK a Adam ŠKROBÁK. Injection molding of rubber compound influenced by injection mold surface roughness. In: Advanced Materials Research [online]. Jeju Island: Trans Tech Publications Ltd., 2014, s. 283-287. [cit. 2020-01-22]. ISSN 1022-6680. Dostupné z: <http://www.scientific.net/AMR.1025-1026.283>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PE	Polyethylen
PA	Polyamid
PS	Polystyren
PP	Polypropylen
POM	Polyoxymethylen
PMMA	Polymethylmethakrylát
Cu	Měď
Al	Hliník
T_g	Teplota skelného přechodu
T_f	Teplota viskozního toku
T_m	Teplota tání
3D	Trojrozměrný prostor
2D	Dvourozměrný prostor
VVS	Vyhřívaný vtokový systém
SVS	Studený vtokový systém
HDR	Hlavní dělicí rovina
VDR	Vedlejší dělicí rovina
Obr.	Obrázek
Tab.	Tabulka
mm	Milimetr
MPa	Megapascal
°C	Stupeň Celsia
1/s	Reciproká sekunda
s	Sekunda

cm ³	Centimetr krychlový
g	Gram
kN	Kilonewton
t	Tuna
%	Procento
p	Tlak
v	Měrný objem
T	Teplota
GF	Skelná vlákna

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 a) Průběh tlaku během vstřikovacího cyklu, b) Průběh teploty taveniny v dutině formy [1].....	13
Obr. 2 pvT diagram amorfního polymeru [1]	14
Obr. 3 Uzavírací jednotka [5]	16
Obr. 4 Vstřikovací stroj [5].....	17
Obr. 5 Vstřikovací jednotka [5]	18
Obr. 6 Úkosy [6]	20
Obr. 7 Nahrazení vysoké žebra dvěma menšími [6].....	22
Obr. 8 Vliv tloušťky žebra na deformaci dílu [6]	22
Obr. 9 Řešení tloušťky stěn [6].....	23
Obr. 10 Doporučená konstrukce podkosů [6]	25
Obr. 11 Deformace výstřiku po vyhození z formy [9]	26
Obr. 12 Delaminace [9]	27
Obr. 13 Bubliny uvnitř transparentního výrobku [9].....	27
Obr. 14 Propadliny [9]	28
Obr. 15 Bílé pruhy [9].....	28
Obr. 16 Spálenina [9].....	29
Obr. 17 Zdegradovaný materiál ve výstřiku [9]	29
Obr. 18 Studený spoj [9].....	30
Obr. 19 Přetok [9]	30
Obr. 20 Jetting [9].....	31
Obr. 21 Řez vstřikovací formou [5].....	33
Obr. 22 SVS [14]	35
Obr. 23 Vtokové soustavy [14].....	36
Obr. 24 Průřezy vtokových kanálů [3].....	37
Obr. 25 Kuželový vtok [14].....	37
Obr. 26 Bodový vtok [14].....	38
Obr. 27 Tunelový vtok [14].....	38
Obr. 28 Filmový vtok [14].....	39
Obr. 29 Vyhřívání trysky [6].....	40
Obr. 30 Řez vyhříváním rozvodným blokem [15].....	41
Obr. 31 Tvarové řešení vyhřívání rozvodných bloků [17].....	41

Obr. 32 Normalizované přepážky a spirály od firmy Meusburger [19]	43
Obr. 33 Příklad temperačního okruhu [6]	43
Obr. 34 Vyhazovací kolíky [20]	45
Obr. 35 Horní pohled na výrobek	50
Obr. 36 Spodní pohled na výrobek	50
Obr. 37 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 630S	52
Obr. 38 Síť na modelu výrobku a její vlastnosti	53
Obr. 39 Umístění studeného vtokové ústí	54
Obr. 40 Umístění horkého vtokového ústí	54
Obr. 41 Studený vtokový systém	55
Obr. 42 Horký vtokový systém	56
Obr. 43 Varianta 1a	58
Obr. 44 Čas plnění	59
Obr. 45 Čas k dosažení vyhazovací teploty	60
Obr. 46 Rychlost smykové deformace	61
Obr. 47 Průběh tlaku ve formě	61
Obr. 48 Teplota temperačního média	62
Obr. 49 Efektivita odvodu tepla temperačním médiem	63
Obr. 50 Deformace vlivem všech efektů	64
Obr. 51 Varianta 2a	64
Obr. 52 Čas plnění	65
Obr. 53 Čas k dosažení vyhazovací teploty	66
Obr. 54 Rychlost smykové deformace	67
Obr. 55 Průběh tlaku ve formě	67
Obr. 56 Teplota temperačního média	68
Obr. 57 Efektivita odvodu tepla temperačním médiem	69
Obr. 58 Deformace vlivem všech efektů	69
Obr. 59 Varianta 3a	70
Obr. 60 Čas plnění	71
Obr. 61 Čas k dosažení vyhazovací teploty	72
Obr. 62 Rychlost smykové deformace	73
Obr. 63 Tlak	73
Obr. 64 Teplota temperačního média	74

Obr. 65 Efektivita odvodu tepla temperačním médiem.....	75
Obr. 66 Deformace vlivem všech efektů	75
Obr. 67 Varianta 1b	76
Obr. 68 Čas plnění	77
Obr. 69 Čas k dosažení vyhazovací teploty	77
Obr. 70 Rychlost smykové deformace.....	78
Obr. 71 Průběh tlaku ve formě.....	79
Obr. 72 Teplota temperačního média	79
Obr. 73 Efektivita odvodu tepla temperačním médiem.....	80
Obr. 74 Deformace vlivem všech efektů	81
Obr. 75 Varianta 2b	81
Obr. 76 Čas plnění	82
Obr. 77 Čas k dosažení vyhazovací teploty	83
Obr. 78 Rychlost smykové deformace.....	83
Obr. 79 Průběh tlaku ve formě.....	84
Obr. 80 Teplota temperačního média	85
Obr. 81 Efektivita odvodu tepla temperačním médiem.....	86
Obr. 82 Deformace vlivem všech efektů	86
Obr. 83 Varianta 3b	87
Obr. 84 Čas plnění	88
Obr. 85 Čas k dosažení vyhazovací teploty	89
Obr. 86 Rychlost smykové deformace.....	90
Obr. 87 Průběh tlaku ve formě.....	91
Obr. 88 Teplota temperačního média	91
Obr. 89 Efektivita odvodu tepla temperačním médiem.....	92
Obr. 90 Deformace ze všech efektů.....	93
Obr. 91 Vybraná varianta.....	94
Obr. 92 Vstřikovací forma.....	95
Obr. 93 Pravá část vstřikovací formy	96
Obr. 94 Levá část vstřikovací formy	97
Obr. 95 Návrh dělicích rovin	98
Obr. 96 Tvarové vložky a jádra	99
Obr. 97 Tvarové vložky	99

Obr. 98 Tvarová jádra	100
Obr. 99 Vyhřívaný vtokový systém	101
Obr. 100 Temperační okruh v pravé části formy	102
Obr. 101 Temperační okruh v levé části formy	103
Obr. 102 Součástky temperačního systému od firmy Hasco	104
Obr. 103 Vyhazovací systém	105
Obr. 104 Hydraulický tahač a tvarová jádra	105
Obr. 105 Vodící a středící prvky	106

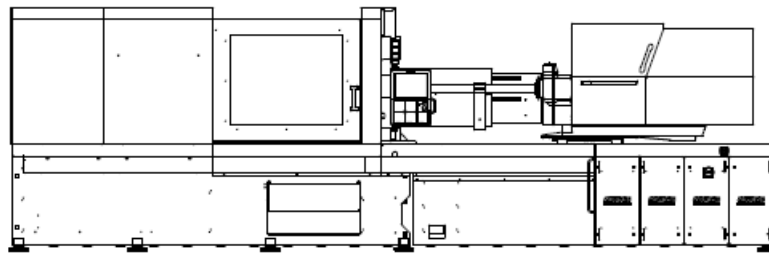
SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Vliv druhu plniva na smrštění [1].....	15
Tab. 2 Vliv obsahu skelných vláken na smrštění [1].....	15
Tab. 3 Doporučené hodnoty úkosů [6]	21
Tab. 4 Minimální a doporučené hodnoty zaoblení [8].....	24
Tab. 5 Doporučené teploty různých materiálů [25]	42
Tab. 6 Vlastnosti PA6-35GF NC001	51
Tab. 7 Vlastnosti Ultraform N2200 G43	51
Tab. 8 Parametry vstřikovacího stroje	52
Tab. 9 Navrhované varianty.....	57
Tab. 10 Porovnávané parametry	93

SEZNAM PŘÍLOH

- P1 Výkresová dokumentace
- P2 Vstřikovací stroj
- P3 Ultraform N2200 G43

PŘÍLOHA P 2: VSTŘIKOVACÍ STROJ

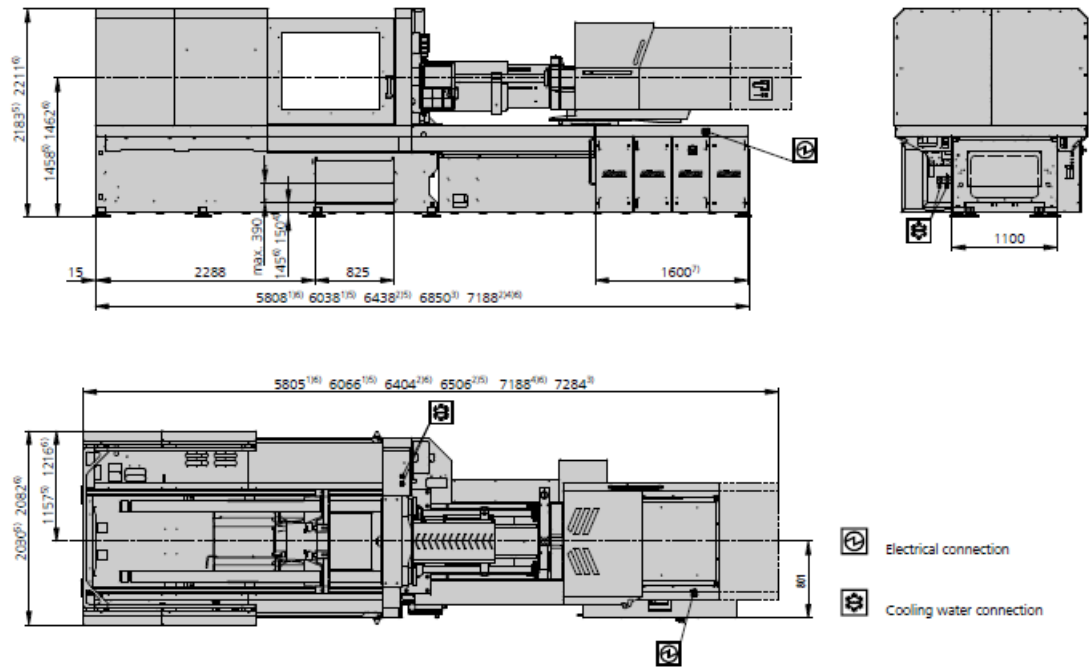


ALLROUNDER 630 S

Distance between tie bars: 630 x 630 mm
Clamping force: 2500 kN
Injection unit (acc. to EUROMAP): 800, 1300, 2100

ARBURG

MACHINE DIMENSIONS | 630 S



- 1) Injection unit 800
- 2) Injection unit 1300
- 3) Injection unit 2100 + 2 pumps
- 4) Injection unit 2100
- 5) Machine model with 1 pump or 2 pumps
- 6) Machine model with hydraulic accumulator
- 7) Subject to performance variant and injection unit size

TECHNICAL DATA | 630 S

Clamping unit		630 S	
with clamping force	max. kN		2500
Opening force stroke	max. kN mm		725 600
Mould height, fixed variable	min. mm		550 300
Platen daylight fixed variable	max. mm		1150 900-1300
Distance between tie bars (w x h)	mm		630 x 630
Mould mounting platens (w x h)	max. mm		900 x 900
Weight of movable mould half	max. kg		2500
Ejector force stroke	max. kN mm		90 225
Dry cycle time EUROMAP ²	1 pump	min. s - mm	3,8 - 441
	2 pumps	min. s - mm	2,3 - 441
	Accum.	min. s - mm	1,7 - 441

Injection unit		800			1300			2100			
with screw diameter	mm	45	50	55	55	60	70	60	70	80	
Effective screw length	L/D	22	20	18	22	20	17	23	20	17,5	
Screw stroke	max. mm	200			235			280			
Calculated stroke volume	max. cm ³	318	392	474	558	664	904	792	1078	1407	
Shot weight	max. g PS	291	359	434	510	607	826	723	984	1286	
Material throughput	max. kg/h PS	46	53	59	86	96	115	125	145	175	
	max. kg/h PA6.6	23	27	30	43	48	58	62	74	88	
Injection pressure	max. bar	2470	2000	1650	2380	2000	1470	2500	2000	1530	
Holding pressure	max. bar	2470	2000	1650	2380	2000	1470	2500	2000	1530	
Injection flow ²	1 pump	max. cm ³ /s	242	300	364	238	284	388	—		
	2 pumps	max. cm ³ /s	242	300	364	238	284	388	224	306	400
	Accum.	max. cm ³ /s	530	656	792	714	848	1156	1132	1540	2012
Screw circumferential speed ²	1 pump	max. m/min	54	60	66	40	43	51	—		
	2 pumps	max. m/min	54	60	66	40	43	51	43	51	58
	Accum.	max. m/min	15	17	19	19	21	25	21	25	28
Screw torque	max. Nm	880			1510	1640	1920	2140	2500	2550	
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	70 400			90 550			110 600			
Heating capacity zones	kW	19,9 8			22,9 8			31,4 8			

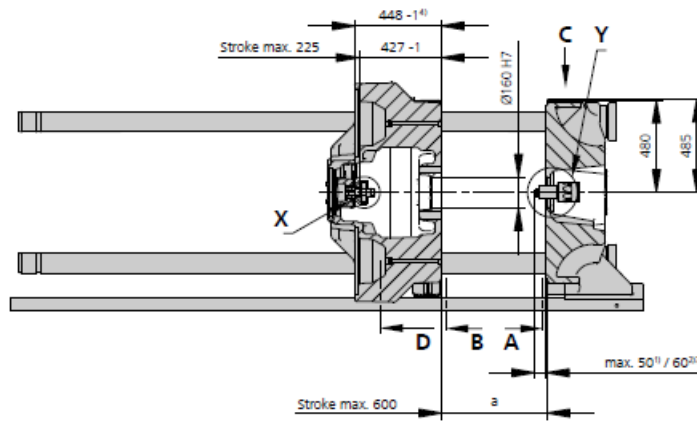
Drive and connection		1 pump (servo)		2 pumps			Accum.				
with injection unit		800	1300	800	1300	2100	800	1300	2100		
Net weight of machine	kg	12200	12500	12200	12500	13200	—				
Sound press. level insecurity [*]	dB(A)	< 65			73 3			< 70			
Oil filling	l	360			250	300	380	460			
Drive power ²	max. kW	45	45	45	45	55	30	37	45		
Electrical connection ³	kW	68	74	68	71	89	53	63	70		
	Total	A	—			—			—		
	Machine	A	125	125	100	100	125	80	100	125	
	Heating	A	50	50	35	35	50	25	35	50	
Cooling water connection	max. °C	30			30			30			
	min. Δp bar	1,5 DN 25			1,5 G 2"			1,5 G 2"			

Machine type		Drive
with EUROMAP size designation ¹		
630 S 2500-800		1 2 Accum.
630 S 2500-1300		1 2 Accum.
630 S 2500-2100		- 2 Accum.

Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

- 1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)
 - 2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
 - 3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
 - 4) Detailed info in the operating instr.
- [] Specifications apply to alternative equipment.

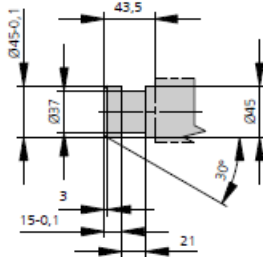
MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 630 S



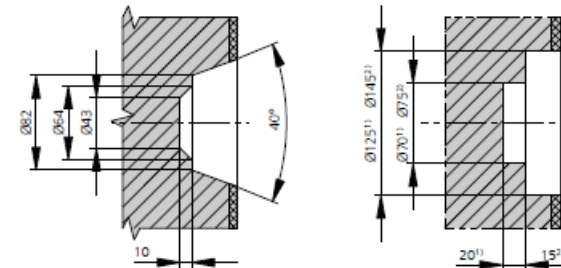
a min.	Mould installation height	
	1 pump	2 pumps
Fixed	550 (350)	(400, 500, 600, 700)
Variable	(300-700)	300-700

Value in brackets: option

Ejector bolt | X

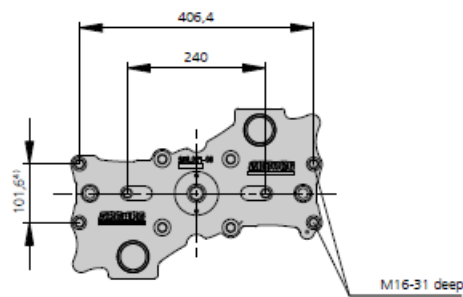


Bore in mould (if required) | Y

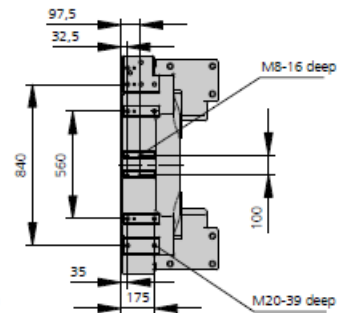


Thermoset execution -
2100 injection unit on request

Ejector plate | D



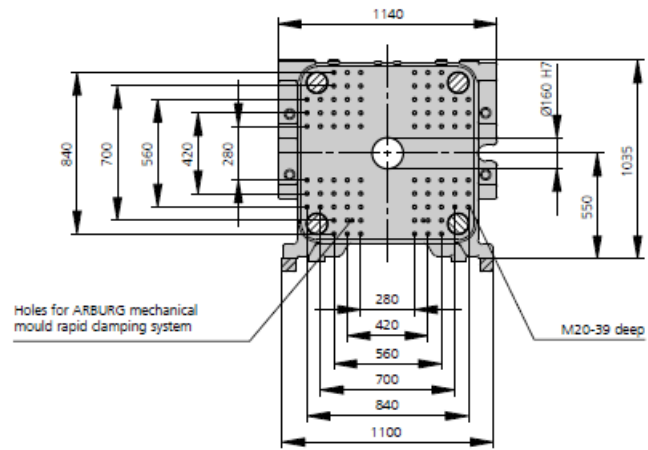
Robotic system mounting | C



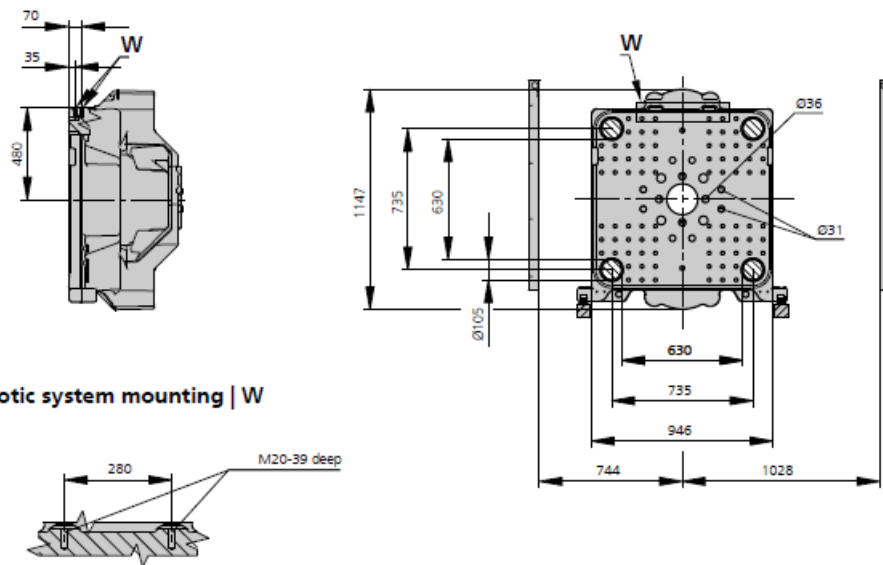
- 1) injection unit 800
- 2) injection unit 1300
- 3) injection unit 2100
- 4) Positions of ejector plate

MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 630 S

Fixed mould mounting platen | A



Moving mould mounting platen | B



1) Guide 027

SHOT WEIGHTS | 630 S

Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

Injection units according to EUROMAP		800			1300			2100		
Screw diameter	mm	45	50	55	55	60	70	60	70	80
Polystyrene	max. g PS	291	359	434	510	607	826	723	984	1286
Styrene heteropolymerizates	max. g SB	284	350	424	498	593	807	707	962	1256
	max. g SAN, ABS ¹⁾	278	344	416	488	581	791	693	943	1231
Cellulose acetate	max. g CA ¹⁾	327	404	488	574	683	930	814	1108	1447
Celluloseacetobutyrate	max. g CAB ¹⁾	304	375	454	534	635	865	757	1030	1346
Polymethyl methacrylate	max. g PMMA	300	371	449	527	627	854	747	1017	1329
Polyphenylene ether, mod.	max. g PPE	270	333	403	473	563	767	671	914	1194
Polycarbonate	max. g PC	305	377	456	536	638	868	760	1034	1351
Polysulphone	max. g PSU	316	390	471	554	659	897	785	1069	1396
Polyamides	max. g PA 6.6 PA 6 ¹⁾	289	357	431	507	603	821	719	978	1278
	max. g PA 6.10 PA 11 ¹⁾	270	333	403	473	563	767	671	914	1194
Polyoximethylene (Polyacetal)	max. g POM	359	443	536	630	749	1020	893	1215	1588
Polyethylene terephthalate	max. g PET	346	427	517	607	723	984	861	1172	1531
Polyethylene	max. g PE-LD	219	271	328	385	458	624	546	744	971
	max. g PE-HD	227	280	339	398	473	644	564	768	1003
Polypropylene	max. g PP	232	286	346	406	484	658	576	784	1025
Fluoropolymerides	max. g FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	465	574	695	816	971	1322	1157	1575	2058
	max. g ETFE	408	504	609	716	852	1160	1015	1382	1805
Polyvinyl chloride	max. g PVC-U	351	434	525	616	734	998	874	1190	1554
	max. g PVC-P ¹⁾	324	401	485	569	678	922	808	1099	1436

1) average value

ARBURG GmbH + Co KG
 Arthur-Hehl-Strasse
 72290 Lossburg
 Tel.: +49 7446 33-0
 www.arburg.com
 contact@arburg.com

PŘÍLOHA P3: ULTRAFORM N2200 G43

CAMPUS® Datasheet

Ultraform® N2200 G43 AT - POM-GF20

BASF



Product Texts

Injection molding grade for parts requiring high stiffness and strength together with good mold release.

Abbreviated designation according to ISO 1043: POM-GF20

Designation according to ISO 9988-1:

POM-K, M-GNR, 02-003, GF20

Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
Melt volume-flow rate, MVR	4	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperature	190	°C	ISO 1133
Load	2.16	kg	ISO 1133
Molding shrinkage, parallel	1.0	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	1.3	%	ISO 294-4, 2577
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile modulus	7500	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	115	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	3	%	ISO 527-1/-2
Charpy impact strength, +23°C	50	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength, -30°C	50	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength, +23°C	7.5	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength, -30°C	7.5	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature, 10°C/min	165	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	161	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature, 50°C/h 50N	160	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion, parallel	50	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Burning Behav. at 1.5 mm nom. thickn.	HB	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested (1.5)	1.6	mm	IEC 60695-11-10
Yellow Card available	Yes	-	-
Burning Behav. at thickness h	HB	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested (h)	0.8	mm	IEC 60695-11-10
Electrical properties	Value	Unit	Test Standard
Relative permittivity, 100Hz	4	-	IEC 62631-2-1
Relative permittivity, 1MHz	4.1	-	IEC 62631-2-1
Dissipation factor, 100Hz	40	E-4	IEC 62631-2-1
Dissipation factor, 1MHz	70	E-4	IEC 62631-2-1
Volume resistivity	1E10	Ohm*m	IEC 62631-3-1
Surface resistivity	1E14	Ohm	IEC 62631-3-2
Electric strength	43	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking Index	600	-	IEC 60112
Other properties	Value	Unit	Test Standard
Water absorption	1	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	0.2	%	Sim. to ISO 62
Density	1550	kg/m ³	ISO 1183

Ultraform® N2200 G43 AT - POM-GF20
BASF

Rheological calculation properties	Value	Unit	Test Standard
Density of melt	1330	kg/m ³	-
Thermal conductivity of melt	0.2	W/(m K)	-
Ejection temperature	125	°C	-

Test specimen production	Value	Unit	Test Standard
Injection Molding, melt temperature	200	°C	ISO 294
Injection Molding, mold temperature	90	°C	ISO 294
Injection Molding, injection velocity	200	mm/s	ISO 294

Characteristics

Processing

Injection Molding

Additives

Release agent

Delivery form

Pellets

Regional Availability

North America, Europe, Asia Pacific, South and Central America, Near East/Africa

Other text information

Injection molding

PREPROCESSING

Pre/Post-processing, max. allowed water content: .2 %
Pre/Post-processing, Pre-drying, Temperature: 100 °C
Pre/Post-processing, Pre-drying, Time: 3 h

PROCESSING

injection molding, Melt temperature, range: 190 - 220 °C
injection molding, Melt temperature, recommended: 210 °C
injection molding, Mold temperature, range: 60 - 120 °C
injection molding, Mold temperature, recommended: 100 °C
injection molding, Dwell time, thermoplastics: 10 min

Processing

Usual single-flighted three-section screws with an effective screw length of at least 15 D, better 20 - 23 D are suitable for the injection molding of Ultraform.

Pretreatment

Granules or pellets in original packaging can be processed without any special pretreatment. Granules or pellets which have become moist due to prolonged or incorrect storage (e.g. by formation of condensed water) must be dried in dehumidifying or recirculating air dryers for approx. 3 hours at about 100 - 110 °C. The moisture content should not exceed 0.2 %.

Postprocessing

If parts were produced at a comparatively low mold temperature (e.g. in order to obtain short cycle times) and must not change their geometry in use thermal postprocessing inducing dimensional changes by postcrystallization may be necessary. In such cases parts should be stored in an oven with recirculated air at temperatures of 100 - 130 °C until dimensions don't change significantly any further. The time needed for this has to be determined experimentally.

Chemical Media Resistance

Acids



Acetic Acid (5% by mass) (23°C)



Lactic Acid (10% by mass) (23°C)



Hydrochloric Acid (36% by mass) (23°C)

Ultraform® N2200 G43 AT - POM-GF20 BASF

- 🚫 Nitric Acid (40% by mass) (23°C)
- 🚫 Sulfuric Acid (38% by mass) (23°C)
- 🚫 Sulfuric Acid (5% by mass) (23°C)
- 🚫 Chromic Acid solution (40% by mass) (23°C)

Bases

- 🚫 Sodium Hydroxide solution (35% by mass) (23°C)
- 😬 Sodium Hydroxide solution (1% by mass) (23°C)
- 😬 Ammonium Hydroxide solution (10% by mass) (23°C)

Alcohols

- 😬 Isopropyl alcohol (23°C)
- 😬 Methanol (23°C)
- 😬 Ethanol (23°C)

Hydrocarbons

- 😬 n-Hexane (23°C)
- 😬 Toluene (23°C)
- 😬 Iso-Octane (23°C)

Ketones

- 😬 Acetone (23°C)

Ethers

- 😬 Diethyl ether (23°C)

Mineral oils

- 🚫 SAE 10W40 multigrade motor oil (130°C)
- 🚫 SAE 80/90 hypoid-gear oil (130°C)

Standard Fuels

- 😬 ISO 1817 Liquid 1 (60°C)
- 😬 ISO 1817 Liquid 2 (60°C)
- 😬 ISO 1817 Liquid 3 (60°C)
- 😬 ISO 1817 Liquid 4 (60°C)
- 😬 Standard fuel without alcohol (pref. ISO 1817 Liquid C) (23°C)
- 😬 Standard fuel with alcohol (pref. ISO 1817 Liquid 4) (23°C)
- 😬 Diesel fuel (pref. ISO 1817 Liquid F) (23°C)
- 🚫 Diesel fuel (pref. ISO 1817 Liquid F) (>90°C)

Salt solutions

- 😬 Sodium Chloride solution (10% by mass) (23°C)
- 🚫 Sodium Hypochlorite solution (10% by mass) (23°C)
- 😬 Sodium Carbonate solution (20% by mass) (23°C)
- 😬 Sodium Carbonate solution (2% by mass) (23°C)

Other

- 😬 Ethyl Acetate (23°C)
- 🚫 Hydrogen peroxide (23°C)
- 😬 DOT No. 4 Brake fluid (130°C)
- 😬 Ethylene Glycol (50% by mass) in water (108°C)

Ultraform® N2200 G43 AT - POM-GF20
BASF

- ☺ 50% Oleic acid + 50% Olive Oil (23°C)
- ☺ Water (23°C)
- ☺ Deionized water (90°C)

The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights etc. given herein may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the product. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed. NO WARRANTIES OF ANY KIND, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE MADE REGARDING PRODUCTS DESCRIBED OR DESIGNS, DATA OR INFORMATION SET FORTH, OR THAT THE PRODUCTS, DESIGNS, DATA OR INFORMATION MAY BE USED WITHOUT INFRINGING THE INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS OF OTHERS.

In order to check the availability of products please contact us or our sales agency.

For more information about our products contact your local BASF representative or

BASF SE
Dept. PM/K
Fax: 0621-60-49497
e-mail: [e-mail](#)

CAMPUS® is a registered trademark of CWFG (Chemie Wirtschaftsfoerderungsgesellschaft GmbH, Frankfurt)