

Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu dílu světelné signalizace

Bc. Vojtěch Holub

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vojtěch Holub**
Osobní číslo: **T14513**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu dílu světelné signalizace**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Připravte model plastového výrobku ve 3D.
3. Navrhněte konstrukci vstřikovací formy ve 3D.
4. Vhodnost návrhu formy ověřte pomocí tokové analýzy.
5. Nakreslete 2D sestavu vstřikovací formy.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:


dle zadání vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Staněk, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

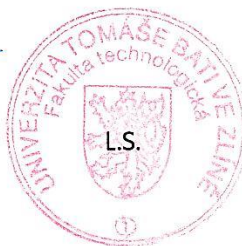
Datum zadání diplomové práce: **8. ledna 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2016**

Ve Zlíně dne 8. ledna 2016



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



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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

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

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

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

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem vstřikovací formy pro výrobu plastového výrobku, kterým je dílec světelné signalizace.

Teoretická část práce popisuje problematiku technologie vstřikování, zpracovávaných polymerů a především konstrukci vstřikovaných výrobků a vstřikovacích forem.

Praktická část se zabývá návrhem konstrukce vstřikovací formy určené k výrobě zadaného plastového výrobku. Konstrukce výrobku a formy byla provedena v programu Catia V5R19 s využitím normalizovaných součástí firmy Meusburger. Návrh formy je doložen nakreslenou 2D sestavou formy a kusovníkem. V poslední části práce je návrh vstřikovací formy ověřen pomocí simulace tokové analýzy v programu Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2016.

Klíčová slova: polymer, technologie vstřikování, vstřikovací forma, toková analýza.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with design of injection mold for plastic product which is light signaling part.

Problems of injection molding technology, processed polymers, design of injection molded products and injection mold design are described in the theoretical part.

The practical part deals with design of injection mold for specific plastic product. Part and mold design were made in application Catia V5R19 with the use of standard parts from company Meusburger. Mold design is documented drawn 2D mold assembly and bill of material. Design of injection mold is checked by simulation of flow analysis in application Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2016 in the last part of the thesis.

Keywords: polymer, injection molding technology, injection mold, flow analysis.

Velmi rád chci poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Michalovi Staňkovi, Ph.D. za trpělivost, cenné rady a čas, který mi věnoval. Velké poděkování také patří vedoucímu konstrukce firmy Obzor panu Pavlovi Rakovi za pravidelné konzultace, cenné rady a připomínky k praktické části práce. Také bych rád poděkoval své rodině za podporu, kterou mi poskytla v průběhu tohoto studia.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	13
1.1 TECHNOLOGICKÝ SLED VÝROBY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	14
1.2 PRŮBĚH VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	15
1.3 PRŮBĚH TLAKU A TEPLoty TAVENINY VE FORMĚ.....	17
1.3.1 pvT diagram	17
1.4 VLIV TECHNOLOGICKÝCH PARAMETRŮ NA PROCES VSTŘIKOVÁNÍ.....	18
1.4.1 Procesní okno	19
1.5 TOK TAVENINY VE FORMĚ	20
1.6 POLYMERy ZPRACOVÁVANÉ TECHNOLOGIÍ VSTŘIKOVÁNÍ.....	20
1.6.1 Rozdělení vstřikovaných polymerů.....	21
1.6.2 Volba vhodného polymeru při návrhu výrobku	21
1.6.3 Přípravné operace polymerů před vlastním zpracováním	22
1.7 VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	23
1.7.1 Vstřikovací jednotka	23
1.7.2 Uzavírací jednotka	24
1.7.3 Příslušenství vstřikovacího stroje.....	26
2 KONSTRUKCE PLASTOVÝCH VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	27
2.1 ZÁSADY KONSTRUKCE PLASTOVÝCH VÝROBKŮ	27
2.1.1 Zaformování vstřikovaného výrobku	27
2.1.2 Úkoso a podkoso	27
2.1.3 Tloušťky stěn.....	28
2.1.4 Zaoblení rohů, hran a koutů	28
2.1.5 Vyztužení výrobku žebry	29
2.1.6 Okraje a obruby výrobku	29
2.1.7 Otvory a drážky výrobku	29
2.1.8 Rovinnost velkých ploch.....	29
2.2 VADY VZNIKLE NA VSTŘIKOVANÝCH VÝROBCÍCH.....	29
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM	30
3.1 NÁSOBNOST VSTŘIKOVACÍ FORMY	30
3.2 RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY	31
3.3 VTOKOVÝ SYSTÉM FORMY	32
3.3.1 Studený vtokový systém	32
3.3.2 Vtokové a rozvodné kanály studeného vtokového systému	33
3.3.3 Ústí vtoku studeného vtokového systému.....	34
3.3.4 Horký vtokový systém	36
3.3.5 Vtokové trysky a rozvodné bloky horkého vtokového systému	37
3.4 TEMPERAČNÍ SYSTÉM FORMY	37
3.4.1 Zásady navrhování temperačního systému	38
3.4.2 Používané temperační média.....	39

3.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM FORMY	39
3.5.1	Mechanický způsob vyhazování	39
3.5.2	Vyhazování pomocí stlačeného vzduchu	41
3.5.3	Vyhazování hydraulickými jednotkami	41
3.6	SYSTÉM ODFORMOVÁNÍ POMOCÍ POSUVNÝCH ČELISTÍ.....	42
3.6.1	Šikmé válcové kolíky	42
3.6.2	Lomené kolíky	42
3.6.3	Hydraulické a pneumatické tahače posuvných čelistí.....	43
3.7	ODVZDUŠŇOVACÍ SYSTÉM FORMY	43
3.8	MATERIÁLY POUŽÍVANÉ K VÝROBĚ VSTŘIKOVACÍCH FOREM	43
II	PRAKTICKÁ ČÁST	45
4	STANOVENÉ CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	46
5	POUŽITÉ POČÍTAČOVÉ PROGRAMY	47
5.1	CATIA V5R19	47
5.2	AUTODESK SIMULATION MOLDFLOW SYNERGY 2016	47
6	ZADANÝ VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	48
6.1	VOLBA MATERIÁLU VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU.....	49
6.1.1	Polymer LEXAN 940.....	51
7	PŘÍPRAVA NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY	52
7.1	KVALITA SÍTĚ VÝROBKU U TOKOVÝCH ANALÝZ.....	52
7.2	ANALÝZA VHODNÉHO UMÍSTĚNÍ VTOKU	53
7.3	ANALÝZA PLNĚNÍ DUTINY FORMY Z HORNÍ ČÁSTI VÝROBKU.....	54
7.4	ANALÝZA PLNĚNÍ DUTINY FORMY DVĚMA VTOKY.....	55
7.4.1	Rychlost smykové deformace při vstřikování dvěma vtoky	56
7.5	ANALÝZA PLNĚNÍ DUTINY FORMY DVĚMA SEKVENČNÍMI VTOKY	57
7.5.1	Rychlost smykové deformace při použití sekvenčních vtoků.....	57
7.6	NÁVRH ÚPRAVY KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU.....	58
7.6.1	Úprava tloušťky stěny výrobku u bajonetového uzávěru.....	58
7.6.2	Úprava podkosů ve vnitřní části výrobku	59
7.6.3	Kontrolní analýza plnění dutiny formy u upraveného modelu výrobku	60
8	NÁVRH KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	61
8.1	ZAFORMOVÁNÍ VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU DO VSTŘIKOVACÍ FORMY	61
8.2	TVAROVÉ ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY	62
8.3	RÁM NAVRŽENÉ VSTŘIKOVACÍ FORMY	64
8.3.1	Pevná část vstřikovací formy	64
8.3.2	Pohyblivá část vstřikovací formy.....	65
8.4	VTOKOVÝ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY	66
8.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY	68
8.6	SYSTÉM ODFORMOVÁNÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY	70
8.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	72
8.8	ODVZDUŠŇOVACÍ SYSTÉM FORMY	74
8.9	OSTATNÍ POUŽITÉ SOUČÁSTI PŘI KONSTRUKCI FORMY	74
9	VSTŘIKOVACÍ STROJ NAVRŽENÉ VSTŘIKOVACÍ FORMY	77

10	KONTROLNÍ TOKOVÁ ANALÝZA NAVRŽENÉ FORMY	79
10.1	NASTAVENÉ PROCESNÍ PODMÍNKY PŘI VÝPOČTU ANALÝZY	79
10.2	VÝSLEDKY ANALÝZY PLNĚNÍ DUTINY FORMY	80
10.2.1	Čas plnění dutiny vstřikovací formy	80
10.2.2	Průběh vstřikovacího tlaku.....	81
10.2.3	Rychlost smykové deformace	81
10.2.4	Velikost potřebné uzavírací síly.....	82
10.2.5	Vznik studených spojů na vstřikovaném výrobku	83
10.2.6	Teplota vstřikované taveniny v okamžiku vzniku studených spojů.....	84
10.2.7	Množství taveniny přivedené jednotlivými tryskami.....	85
10.2.8	Místa v dutině vstřikovací formy s uzavřeným vzduchem	85
10.2.9	Vznik propadlin na vstřikovaném výrobku.....	86
10.3	VÝSLEDKY ANALÝZY TEMPERACE VSTŘIKOVACÍ FORMY	87
10.3.1	Teplota povrchu dutiny vstřikovací formy.....	87
10.3.2	Čas potřebný k ochlazení vystříknutého výrobku na vyhazovací teplotu.....	88
10.3.3	Reynoldsovo číslo protékajícího média v temperačním okruhu	89
10.3.4	Intenzita sdílení tepla v temperačním systému vstřikovací formy.....	90
10.4	VÝSLEDEK ANALÝZY DEFORMACE VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU	91
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	96
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	99
	SEZNAM OBRÁZKŮ	100
	SEZNAM TABULEK.....	103
	SEZNAM PŘÍLOH.....	104

ÚVOD

Lidská společnost si prošla dlouhým vývojem, během kterého docházelo ke vzniku nových a zdokonalování původních technologií. Tento vývoj byl doprovázen vznikem a následným používáním mnoha nových materiálů. Dříve byly různé předměty vyráběny z kamene, kostí, dřeva a později i z kovu. Dnes jsou původní materiály nahrazovány různými druhy polymerů. Současná etapa lidstva může být označena za dobu polymerní.

Polymery mají v současné době nenahraditelné místo v celé škále používaných materiálů. Vynikají svou zpracovatelností, nízkou hmotností a relativně dobrými mechanickými i chemickými vlastnostmi. Díky své cenové dostupnosti mají uplatnění ve všech možných průmyslech, mezi které například patří průmysl automobilový, potravinářský, obuvnický, stavební, strojírenský a chemický.

Zpracování polymerů je prováděno mnoha různými technologiemi. Volba technologie závisí na konstrukci, charakteru a použití výrobku. Mezi typické způsoby zpracování patří vstřikování, lisování, válcování, vytlačování, vyfukování, odlévání a máčení. Používají se i technologie, při nichž nedochází k tečení materiálu. Těmito způsoby zpracování může být tvarování, ohýbání a obrábění.

Na výrobu drobných a konstrukčně složitějších výrobků dominuje technologie vstřikování. Tvaru výrobků je dosaženo prostřednictvím vstřikovací formy, která je z hlediska konstrukce a výroby velmi náročná. Z tohoto důvodu je snahou při konstruování formy využívat normální dílců různých firem. Ke snížení nákladů a rychlejšímu návrhu formy také přispívá využívání konstrukčních a simulačních programů.

Tato diplomová práce se ve své teoretické části zabývá problematikou vstřikování plastů, zpracovávaných materiálů, zásadami navrhování vstřikovaných výrobků a konstruování vstřikovacích forem. Praktická část řeší konkrétní vstřikovaný výrobek a návrh vstřikovací formy s využitím konstrukčního programu Catia V5R19 (dále jen Catia) a normálií podniku Meusburger. Správnost návrhu vstřikovací formy je ověřena tokovou analýzou v simulačním programu Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2016 (dále jen Moldflow).

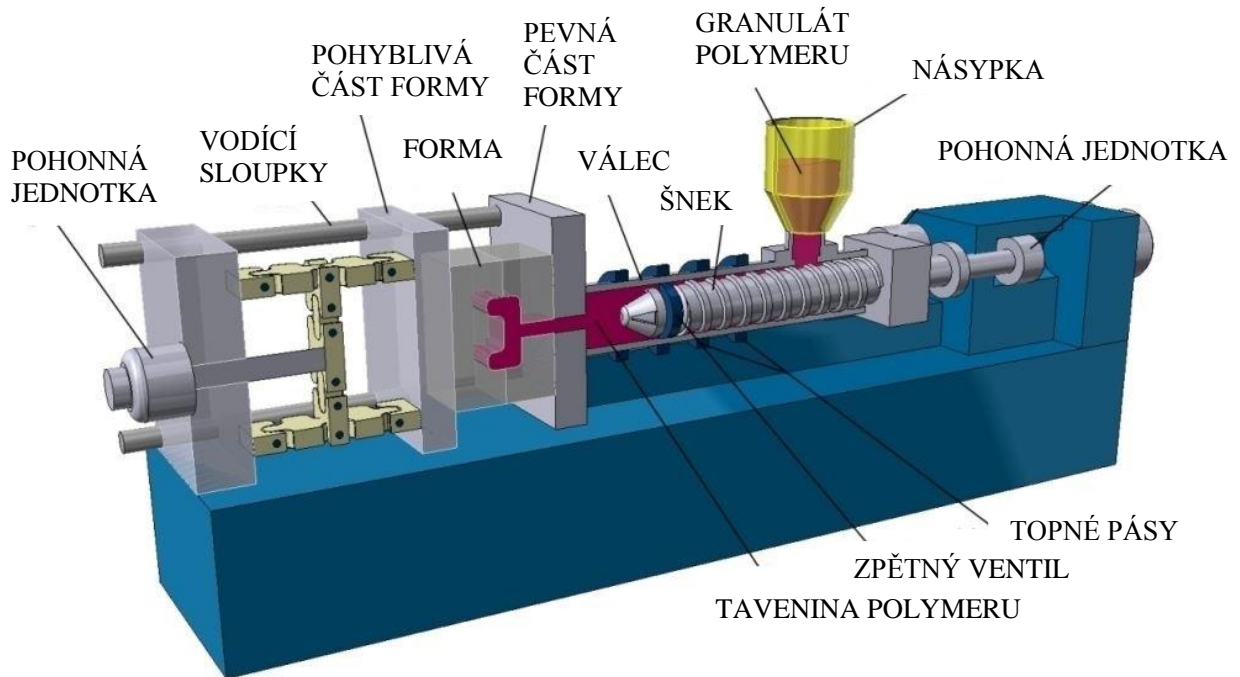
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Vstřikováním se označuje cyklický způsob tváření polymerů, při kterém je materiál v podobě taveniny vysokou rychlostí za působícího tlaku dopraven do uzavřené dutiny formy definující budoucí tvar vstřikovaného výrobku. Tavenina je připravována v plastikační jednotce, kde dochází k tavení zpracovávaného polymeru vlivem sdíleného a disipovaného tepla. Zpracovávanými materiály jsou prakticky všechny typy termoplastů, vstřikují se ale i kaučukové směsi a reaktoplasty. V případě termoplastů dochází ve vstřikovací formě k ochlazení, u reaktoplastů a kaučukových směsí je materiál vlivem vyšší teploty síťován či vulkanizován. Vstřikovat lze vyztužené, ale i lehčené materiály. Tato technologie je jedním z nejrozšířenějších způsobů tváření polymerních materiálů. [1], [2]

Dílce vyráběné technologií vstřikování mohou být finálním výrobkem, nebo polotovarem určeným ke kompletaci do celkové sestavy. Vstřikované výrobky jsou charakteristické velmi vysokou tvarovou a rozměrovou přesností a dobrou povrchovou úpravou. Hlavními výhodami vstřikování polymerů je možnost výroby konstrukčně složitých dílců, zautomatizování výrobního procesu a v porovnání s jinými technologiemi vyšší produktivita. Při vhodném návrhu vstřikovací formy lze také odstranit dodatečné operace, jako je odstříhávání a drcení vtokových zbytků. Značnou nevýhodou technologie vstřikování jsou především vyšší investiční náklady k pořízení vstřikovacích strojů a samotných vstřikovacích forem. Formy jsou konstrukčně a výrobně velmi složité. Nedostatek je i při použití studených vtoků vedoucích ke vzniku vtokových zbytků. Vtokové zbytky lze ovšem rozemlít a znovu zpracovat, čímž se ztráty vstřikovaného termoplastu snižují. U vstřikovaných výrobků je riziko vzniku stopy po dělicí rovině, která může být při nevhodném zaformování na pohledové ploše. Vstřikování polymerů se s výhodou používá na menší výrobky vyráběné velkosériovou a hromadnou výrobou. [2], [3], [4]

Výroba vstřikovaných výrobků je prováděna na vstřikovacím stroji, který je složen z plastikační jednotky, uzavírací jednotky, panelu na ovládání a ostatního příslušenství. Vstřikovací stroj musí zajistit dokonalé roztavení polymeru, homogenizaci taveniny, vstříknutí připravené dávky do dutiny formy, stabilizaci tvaru a následné vyhození výstřiku. Nástrojem vstřikovacího stroje je vstřikovací forma, která udává tvar budoucího výrobku. Velikost a konstrukční složitost formy vychází z její násobnosti, typu vtokového systému, zaformování dílce a z konstrukce samotného výrobku. [2], [4], [5]



Obr. 1. Schématické zobrazení vstřikovacího stroje [6]

1.1 Technologický sled výroby vstřikovaných výrobků

Technologický sled výroby vstřikovaných výrobků lze v průmyslovém měřítku rozdělit na tři základní fáze.

a) Přípravné práce výroby

Přípravná fáze výroby zahrnuje především práce se zpracovávaným materiálem, který je při převzetí ze skladu podroben vstupní kontrole. Dále může být materiál sušen, barven nebo míchán s jinými přísadami, jako jsou například nadouvadla. Součástí přípravných prací je i doprava materiálu ke zpracovatelskému stroji.

b) Vlastní tváření na vstřikovacím stroji

Vlastní tváření vstřikovaných výrobků probíhá v jednotlivých krocích definovaných vstřikovacím cyklem. Součástí výrobní fáze je také montáž vstřikovací formy na stroj a seřízení vstřikovacího procesu.

c) Dodatečné operace a expedice výrobku

Za dodatečné operace lze považovat odstraňování vtokových zbytků z výstřiků pomocí štípacích kleští, nůžek či kotoučových nebo pásových pil. V této fázi výroby se také ře-

ší leštění povrchů, spojování více dílců svařováním, lepením nebo montáží. U vstříknutých dílců se provádí povrchové barvení, potiskování a pokovování. Rozměrové stálosti a strukturální rovnováhy je u vstříků podléhajících vnitřnímu pnutí dosaženo temperováním. Dokončovací operace zahrnují i recyklaci vadných vstříků a vtokových zbytků. Vzniklá drť obvykle na nožových mlýnech je mísená s čistým a novým granulátem. Maximální zastoupení drti v granulátu závisí na charakteru vstříkovaného výrobku. [3], [5]

1.2 Průběh vstříkovacího cyklu

Vstříkování termoplastů je cyklický proces, který se neustále opakuje. Jednotlivé fáze pracovního cyklu na sebe navazují, případně se mohou i překrývat. Průběh cyklu je závislý na typu vstříkovaném materiálu a na konstrukci vstříkovacího stroje. V plastikářském průmyslu dominuje vstříkovací stroj se šnekem konající jak otáčivý tak axiální pohyb. Při použití tohoto stroje zahrnuje vstříkovací cyklus následující fáze:

a) Plastikace taveniny

Účelem plastikace je roztavit a homogenizovat granulovaný či práškový polymerní materiál. Plastikace se odehrává v tavicí komoře. Materiál dopravovaný z násypky stroje je taven sdíleným teplem z topných pásů a teplem vzniklým z mechanického namáhání otáčejícím se šnekem. Tavenina je dopravována směrem ke vstříkovací trysce a shromažďuje se před čelem šneku.

b) Vstříkování taveniny

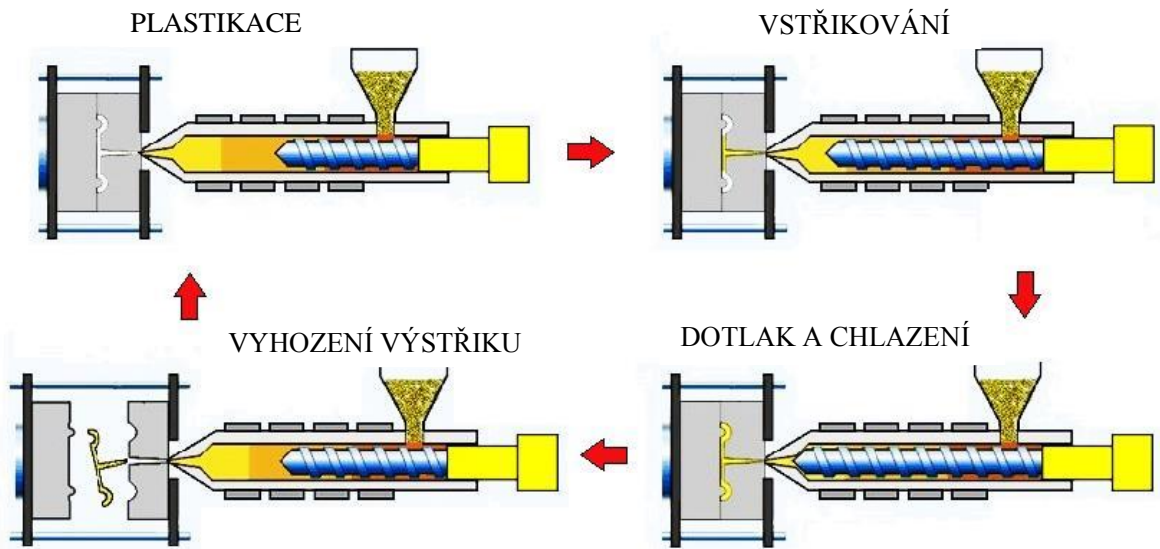
Tavenina je vstříknuta axiálním pohybem šneku do uzavřené a prázdné dutiny formy. Při naplnění dutiny dojde k poklesu vstříkovací rychlosti a k nárůstu tlaku uvnitř formy. Hodnota tlaku je obvykle 50 až 200 MPa. Tento tlak je nutné zachytit uzavírací silou stroje tak, aby nedošlo k pootevření formy a vzniku přetoků.

c) Ochlazení taveniny a působení dotlaku

Po naplnění dutiny formy je zahájena fáze doplňování taveniny překrývající se s fází chlazení vstříku ve formě. Působením dotlaku je dotlačována další tavenina, která kompenzuje ztrátu objemu materiálu vlivem smrštění. Hodnotu dotlaku, která je obvykle menší než u tlaku vstříkovacího, je nutné zvolit tak, aby byly rozměry a hmotnost vstříkovaného výrobku vyhovující. Fáze působení dotlaku je zakončena zamrznutím vtokového ústí.

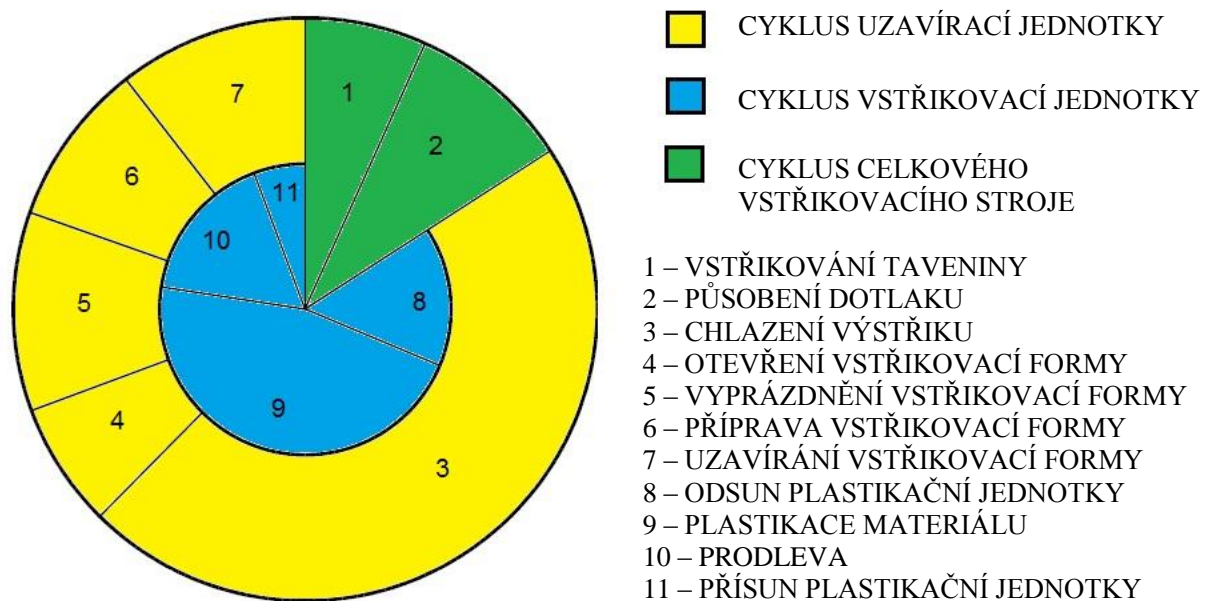
d) Otevření formy a vyhození výstřiku

Po dostatečném ochlazení polymeru na vyhazovací teplotu je vstřikovací forma otevřena a následuje vyhození výstřiku z dutiny formy vyhazovacím systémem. Forma je připravena na další vstřikovací cyklus, který může začít po jejím uzavření. [4], [5], [7], [8]



Obr. 2. Schématické zobrazení vstřikovacího cyklu [9]

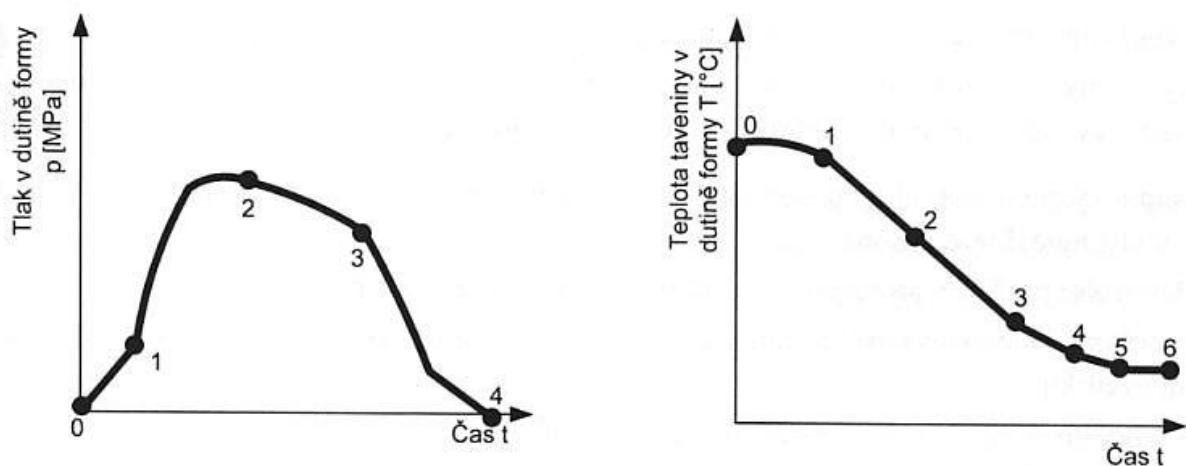
Vstřikovací cyklus zahrnuje cykly dvou oblastí, první se vztahuje ke vstřikovací jednotce a druhá k jednotce uzavírací. Cykly zmíněných jednotek jsou vzájemně překrýty. [1]



Obr. 3. Časový diagram vstřikovacího cyklu [10]

1.3 Průběh tlaku a teploty taveniny ve formě

Plnění formy, chlazení a působení dotlaku je doprovázeno změnami tlaku, teploty a viskozity taveniny. Tlak taveniny roste až po okamžik zaplnění formy, kdy je dosaženo maximální hodnoty. Vstřikovací forma musí být během plnění a působení dotlaku po celou dobu dokonale těsná. Těsnosti formy lze dosáhnout jen tehdy, když je uzavírací síla stroje větší, než síla vstřikovací vznikající ve formě. Při vstupu taveniny do formy dochází k jejímu ochlazení. Chlazení probíhá i po vyhození výstříku mimo formu. [1], [7]



Obr. 4. Graf tlaku a teploty taveniny v závislosti na čase při vstřikování [8]

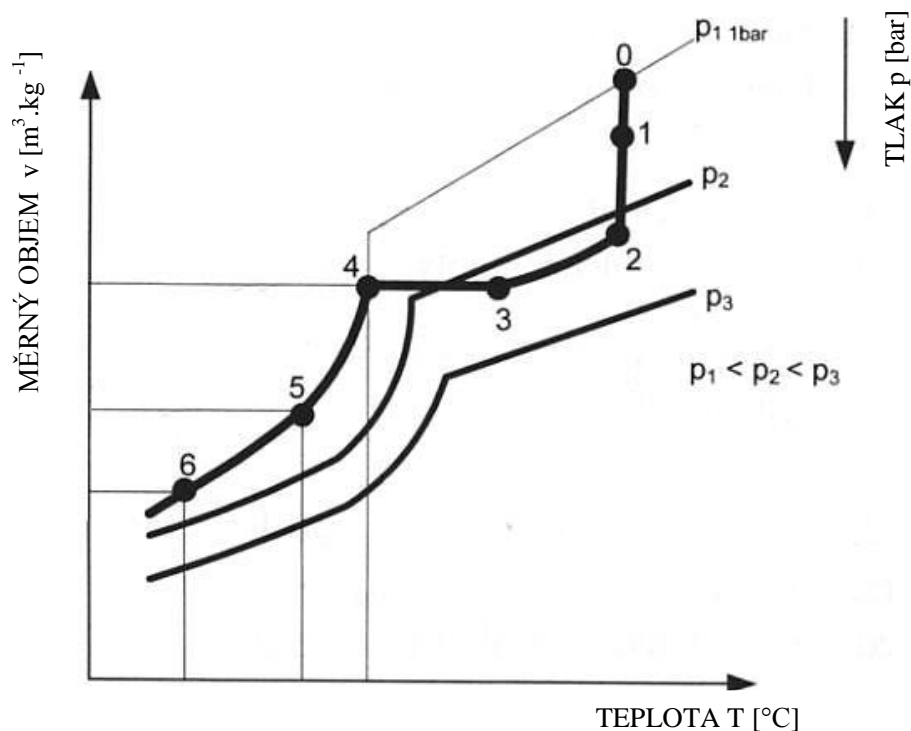
1.3.1 pvT diagram

Diagram pvT objasňuje při vstřikovacím cyklu vzájemnou závislost tří stavových veličin. Jde o vztah mezi teplotou (T), tlakem (p) taveniny a jejím měrným objemu (v). Prostřednictvím grafu popisující vzájemný vztah těchto veličin lze optimálně seřadit proces vstřikování, doplňování a chlazení taveniny. Příslušný diagram pvT ovšem nezohledňuje polohu sledovaného místa ve formě, gradient teploty, vnitřní pnutí výstříku, tepelnou roztažnost polymeru a průběh relaxace taveniny. [7], [8], [11]

Jednotlivé fáze pvT diagramu jsou:

- z bodu 0 do bodu 1 (ve formě probíhá objemové plnění taveninou, v bodě 1 je již dutina formy plná),
- z bodu 1 do bodu 2 (tavenina je v dutině formy stlačována, při optimálním vstřikovacím procesu je v bodě 2 maximální tlak),

- z bodu 2 do bodu 3 (dochází k dotlakové fázi, probíhá chlazení taveniny až po bod 3 charakterizující zmrznutí vtokového ústí),
 - z bodu 3 do bodu 4 (klesá hodnota tlaku za konstantního objemu, v bodě 4 dosáhne tlak materiálu hodnoty atmosférického tlaku),
 - z bodu 4 do bodu 5 (chlazení materiálu uvnitř formy za konstantního tlaku, v bodě 5 je výstřik z dutiny formy vyhozen),
 - z bodu 5 do bodu 6 (ochlazování výstřiku mimo formu na pokojovou teplotu).
- [8], [11], [12]



Obr. 5. Schématický průběh vstřikovacího procesu v $p-vT$ diagramu [8]

Body charakterizující fáze vstřikovacího cyklu jsou také zohledněny v závislosti tlaku a teploty taveniny na čase v obrázku č. 4.

1.4 Vliv technologických parametrů na proces vstřikování

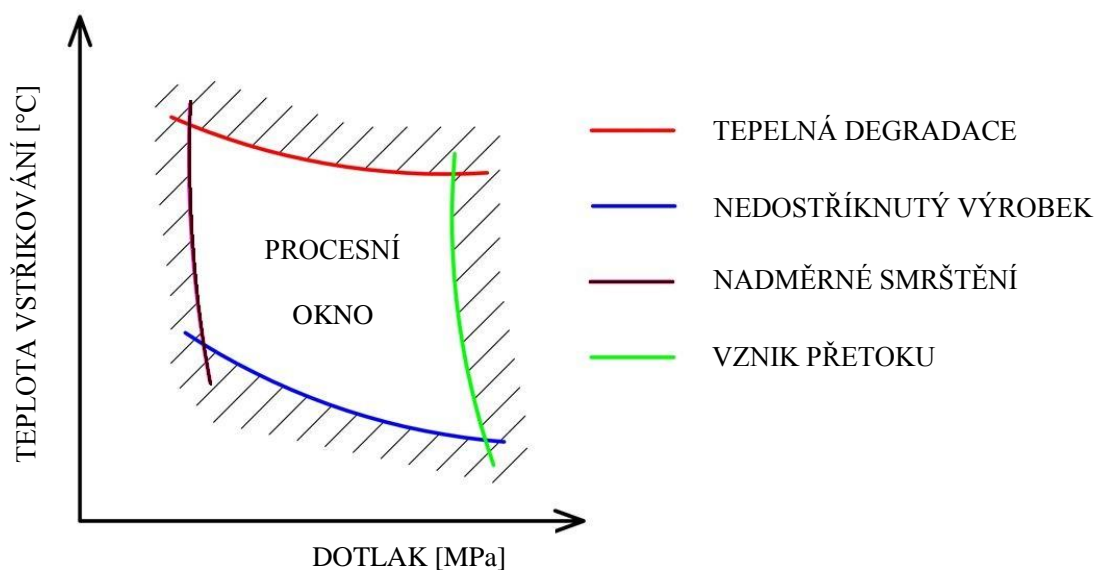
Vlastnosti výstřiku, mezi kterými je smrštění, orientace, rozměrová přesnost, deformování a mechanické vlastnosti výrazně závisí na podmínkách vstřikovacího procesu. Pro vstřikování kvalitních výrobků je nutné optimálně nastavit výrobní proces. Jednotlivé pa-

rametry se při vstřikování navzájem ovlivňují. Mezi základní technologické parametry vstřikovacího procesu patří:

- teplota taveniny při výstupu z trysky,
- vstřikovací rychlost taveniny,
- vstřikovací tlak,
- doba plnění vstřikovací formy a působení dotlaku,
- velikost dotlaku,
- teplota formy,
- doba chlazení,
- velikost vstřikované dávky,
- otáčky šneku,
- velikost taveninového polštáře. [5], [8], [13]

1.4.1 Procesní okno

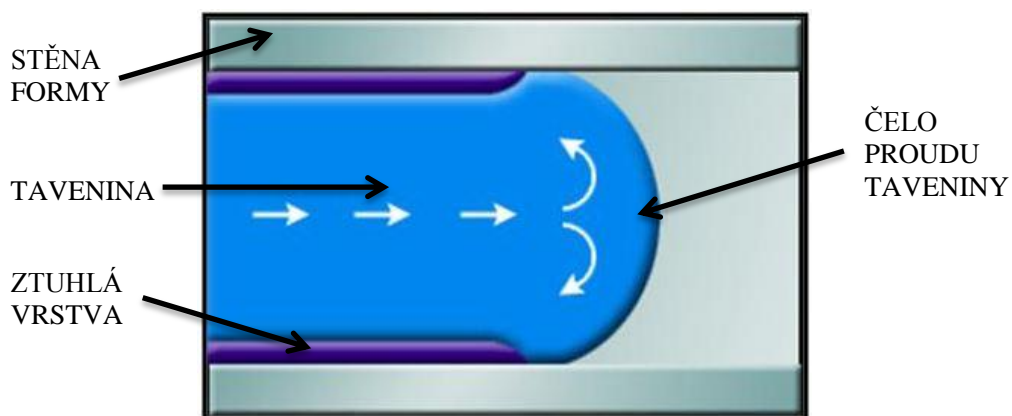
Teplota a tlak jsou nejdůležitějšími parametry vstřikovacího procesu, které je nutné vhodně regulovat. Pro konkrétní výrobní proces, výrobek a materiál je definované procesní okno. Jde o vyhrazenou oblast nastavení teploty a tlaku tak, aby se vyráběly kvalitní výrobky. Při překročení hraniční oblasti budou vznikat vadné výrobky. [8], [14]



Obr. 6. Zpracovatelské okno vstřikovacího procesu [13]

1.5 Tok taveniny ve formě

Při správném plnění dutiny formy teče tavenina laminárním tokem, často označovaným jako tok fontánový. Během procesu vstřikování je teplota formy mnohem nižší, než teplota taveniny. Tavenina při styku s formou okamžitě ztuhne a vytvoří vrstvu hmoty mající charakter tepelné izolace. Další tavenina přitéká do dutiny pouze plastickým jádrem, tudíž nedochází k žádnému skluzu na stěně. [2], [12]



Obr. 7. Schéma laminárního toku taveniny [15]

Pokud bude vstupní rychlost taveniny příliš vysoká, dojde k plnění dutiny formy volným paprskem od protilehlé stěny. Výstřik vzniklý tímto tokem má horší fyzikální a pohledové vlastnosti. Odstranění volného paprsku lze dosáhnout změnou polohy vtoku a úpravou geometrie vstřikovaného dílce, nebo změnou technologických podmínek. [1], [4]

1.6 Polymery zpracovávané technologií vstřikování

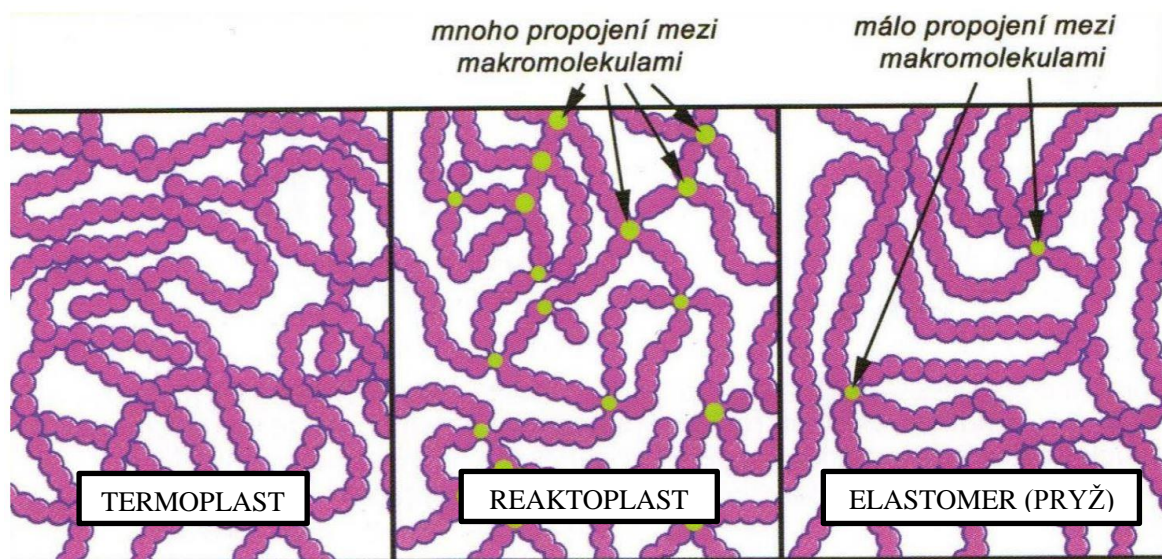
Polymery jsou chemické látky složené z dlouhých makromolekul, které ve své struktuře obsahují atomy uhlíku a vodíku. U mnoha typů polymerů jsou také atomy kyslíku, chlóru, fluoru a dusíku. Základní stavební jednotkou polymeru je monomer. Vzájemným spojováním molekul monomerů, polyreakcí, vzniká jedna dlouhá makromolekula. Pokud je spojován jeden typ monomerů, vzniká homopolymer. Pokud se spojuje více typů monomerů, vzniká kopolymer. Polymerní materiály se při zpracování vyskytují v kapalném stavu, tím se umožní udělení tvaru budoucího výrobku. Hlavní výhodou polymerních materiálů je nízká hmotnost, cenová dostupnost a dobrá zpracovatelnost. Nevýhodou může být kríkové chování a ekologická zatížitelnost. [2], [16], [17]

1.6.1 Rozdělení vstřikovaných polymerů

Klasifikaci polymerů lze provést mnoha způsoby. Polymery mohou být rozděleny dle původu na syntetické a přírodní, dále dle struktury, způsobu vzniku, druhu přísad a aplikace. Nejdůležitější rozdělení je dle teplotního chování na:

- termoplasty – působením tepla měknou a stávají se plastickými. Tuhého stavu se dosáhne ochlazením. Tyto přeměny jsou fyzikálního charakteru,
- reaktoplasty – působením tepla a síťovadel se nevratně chemicky mění – síťují v prostorovou síť. Po vytvrzení je již nelze do plastického stavu převést,
- elastomery – působením tepla měknou a lze je tvářet. Při dalším zahřívání dojde k nevratné chemické reakci označované jako vulkanizace. Tyto polymery lze malou silou značně deformovat, přičemž deformace je převážně vratná. [2], [16], [17]

U polymerů se může vyskytovat pravidelné uspořádání řetězců, ale jen v omezeném objemu. Překážkou pro úplnou krystalizaci jsou velké délky řetězců. Proto se polymery s tímto částečným uspořádáním označují jako semikrystalické. Pokud je polymer složen pouze z nahodilé struktury, jde o polymer amorfní. [17]



Obr. 8. Makromolekulární struktura polymerů [18]

1.6.2 Volba vhodného polymeru při návrhu výrobku

Z jednotlivých skupin plastů jsou u vstřikování nejrozšířenější termoplasty. Při volbě vhodného termoplastu pro navrhovaný výrobek je třeba zvážit podmínky zatížení a celkové použití výrobku. Také se přihlíží na geometrii a požadované rozměry výrobku. [3]

Optimální volbu polymeru lze posoudit dle následujících hledisek:

- výrobek musí být funkční a musí plnit definované požadavky,
- navržený výrobek musí být danou technologií snadno vyrobitelný,
- volba polymeru musí společně se zvolenou technologií a vstřikovací formou splnit ekonomické požadavky. [3]

Při volbě polymeru může konstruktér volit typ z více podobných materiálů, po – té rozhodují méně významné vlivy, jako je dostupnost a estetické vlastnosti polymeru. Obecně ovšem platí, že geometrie a vlastnosti výrobku musí odpovídat zvolenému polymeru použité technologii. [3]

1.6.3 Přípravné operace polymerů před vlastním zpracováním

Před vlastním zpracováním bývají polymery obvykle technologicky upravovány. Nejčastěji bývají sušeny, míseny s barvivem, s nadouvadlem, nebo s recyklátem. Recyklát bývá před vlastním mísením s novým materiálem pro lepší mísitelnost granulován. U reaktoplastů se důvodů lepší manipulace s materiálem provádí tabletování. [2], [3]

Materiály náchylné na absorpci vlhkosti mohou při vstřikování podléhat degradaci, která vede ke zhoršení kvality výstřiku. Tyto polymery je nutné před vlastním vstřikováním sušit. Sušení obvykle probíhá v komorových sušárnách s cirkulujícím vzduchem. Teplota a čas potřebný k sušení se volí dle konkrétního typu plastu. [3]

Z důvodů lepšího vzhledu a lepší prodejnosti vstřikovaných výrobků bývají vstřikované materiály barveny. Barvivo se v podobě granulí mísí až do pěti hmotných dílů se vstřikovaným granulátem. Větší dávkování barviv není vhodné, protože dochází i k částečnému ovlivnění vlastností polymeru. [3]

Značnou výhodou vstřikování termoplastů je již zmíněná možnost zpracování recyklátu. Vadné výstřiky a vtokové zbytky bývají nejčastěji drceny na nožových mlýnech. Získaný recyklát je znovu zpracován s čistým polymerem. Vystříknuté výrobky mají ovšem horší mechanické vlastnosti i povrchový vzhled. Je zřejmé, že u transparentních a silně namáhaných výrobků není vhodné vstřikovat s příměsí recyklátu. V případě nenáročných výrobků je možné vstřikovat jen ze samotného recyklátu. [3]

1.7 Vstřikovací stroje

Vstřikovací stroj je zařízení realizující celý vstřikovací cyklus. Je složen ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a ostatního příslušenství, mezi které spadá temperační zařízení a řídicí panel stroje. [19], [20]

Technologie vstřikování probíhá na mnoha typech vstřikovacích strojů vzájemně se od sebe lišících. Rozdělení těchto zařízení je možné dle mnoha hledisek. Nejčastější rozdělení je možné podle:

- typu vstřikovaného polymeru (termoplasty, reaktoplasty či elastomery),
- typu vstřikovací jednotky (šnekové, pístové a kombinované stroje),
- množství vstřikovacích jednotek,
- vzájemného umístění vstřikovací a uzavírací jednotky (vstřikování s vtokem kolmým nebo rovnoběžným s dělící rovinou),
- typu pohonu stroje (hydraulický, mechanický, kombinovaný a elektrický),
- maximální uzavírací síly u uzavírací jednotky,
- velikosti objemu vstřikované taveniny. [5], [21]

Při optimální volbě vstřikovacího stroje pro výrobu konkrétních vstřikovaných výrobků se vychází z parametrů, které musí stroj splnit. Mezi základní sledované parametry vstřikovacích strojů patří maximální objem vstřikované dávky vstříknuté do dutiny formy v jednom pracovním cyklu, plastikační výkon stroje pro konkrétní polymery v kilogramech za hodinu, vstřikovací tlak, uzavírací síla a síla přidržovací, která zajišťuje dokonalé uzavření formy během celého pracovního cyklu. Vstřikovací stroj musí mít také dostatečně velké rozměry upínacích desek na upnutí formy a při vstřikovacím cyklu musí umožnit její dokonalé otevření a uzavření. [4]

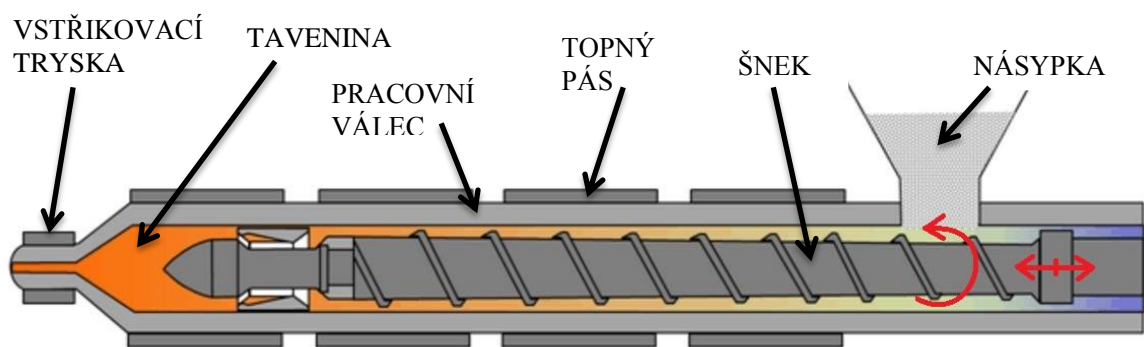
1.7.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka je část stroje sloužící k přípravě a vstříknutí taveniny do dutiny formy. Správné vstříknutí výrobku je u vstřikovací jednotky podmíněno dokonalým roz-tavením a homogenizací zpracovávané taveniny. Během procesu vstřikování musí být z důvodu dokonalého vyplnění dutiny formy na vstřikovanou taveninu vyvozen dostatečně velký tlak. [11], [22]

Vstříkovací jednotky lze rozdělit dle způsobu plastikace na:

- vstříkovací jednotky bez předplastikace (zpracováváný polymer je plastikován v samotném pracovním válci, odkud je poté vstříknut do dutiny formy pomocí pístu či šneku),
- vstříkovací jednotky s předplastikací (zpracováváný polymer je plastikován v předplastičnické komoře, ze které je dopraven do pracovního válce a pomocí pístu vstříknut do dutiny formy). [19]

V plastikářském průmyslu je při vstříkování termoplastů nejrozšířenější vstříkovací stroj se šnekem. Šnek je uložen v pracovním válci a vykonává rotační i axiální pohyb. Zpracováváný polymer přivedený násypkou je rotujícím šnekem dopravován dopředu. Polymer je roztaven teplem z mechanického namáhání - disipací a sdíleným teplem od topných pásů uložených na pracovním válci. Rotující šnek se současně posouvá dozadu, čímž před svým čelem vytváří prostor pro taveninu. K zamezení zpětného toku je na čele šneku uložen zpětný uzávěr. Vlastní proces vstříkování je proveden axiálním pohybem šneku dopředu. Tavenina je z pracovního válce do dutiny formy dopravena přes vstříkovací trysku. [2], [22]

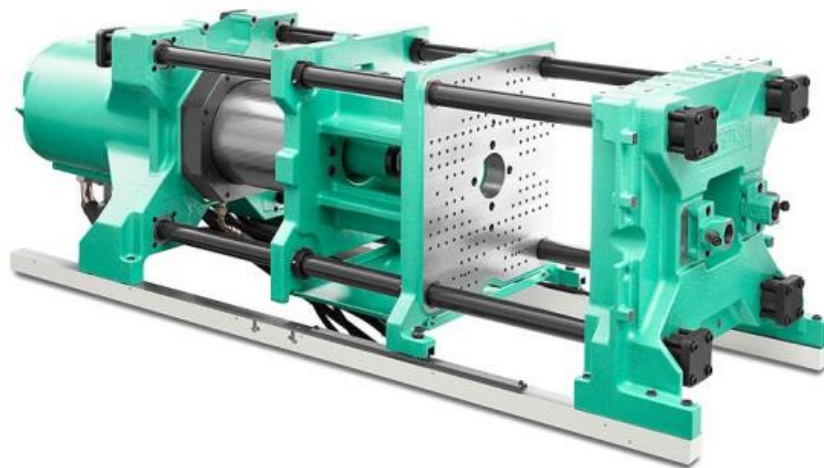


Obr. 9. Schématické zobrazení vstříkovací jednotky [23]

1.7.2 Uzavírací jednotka

Bezpečné uzavření a otevření vstříkovací formy je provedeno uzavírací jednotkou. Úkolem uzavírací jednotky je udržet uzavřenou vstříkovací formu během procesu vstříkování pomocí zavírací síly, která je větší než síla vzniklá vstříkovacím tlakem v dutině formy. Uložení vstříkovací formy na vstříkovacím stroji je pomocí upínacích desek. Pohyblivá část formy je z pravidla uložena na straně stroje s uzavíracím systémem. [4]

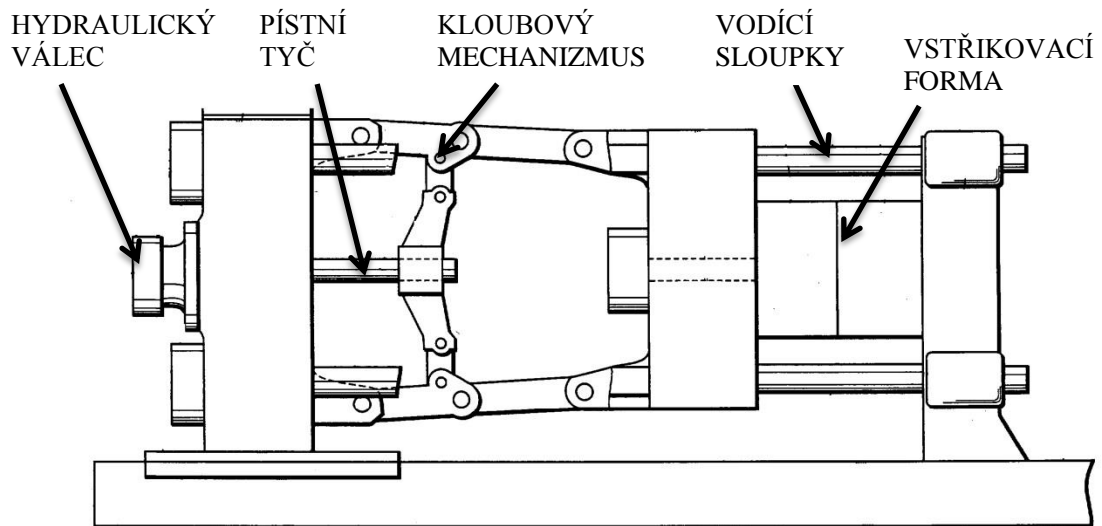
Rozdělení uzavíracích systémů je dle způsobu vyvození uzavírací síly na systémy hydraulické, hydraulicko-mechanické a elektromechanické. Hydraulické systémy jsou zapojeny do hydraulického obvodu a jsou charakteristické svou jednoduchostí a snadnou regulací rychlosti a velikosti potřebné síly. V porovnání s hydraulicko-mechanickým způsobem uzavírání je hydraulické uzavírání více pružné. Nevýhodou hydraulického systému je použití velkých průměrů pístů k dosažení velkých uzavíracích sil. Tento nedostatek lze odstranit použitím mechanického závorování, které během procesu vstřikování vytvoří mezi základovým rámem a pohyblivou částí uzavíracího systému tuhé spojení. [19], [22]



Obr. 10. Příklad hydraulického uzavíracího systému firmy Arburg [24]

Pro získání lepších silových účinků a rychlostních poměrů se používají uzavírací systémy hydraulicko-mechanické. Uzavírací síla je zde vyvozena pomocí menšího hydraulického válce ovládající kinematický mechanismus. Uspořádání hydraulicko-mechanického systému může být s hydraulickým válcem v ose stroje, nebo mimo tuto osu. Při použití hydraulicko-mechanických uzavíracích systémů je možné dosáhnout vysoké uzavírací rychlosti formy a současně minimální rychlosti dosedání pohyblivé části formy na část pevnou. [19], [22]

Moderní vstřikovací stroje mohou mít uzavírací jednotku řešenou jako elektromechanickou pracující s elektromotorem a klikovým mechanismem. Při použití elektromechanické jednotky dochází k poklesu spotřeby energie, jednoduššímu ovládní a snadnější automatizaci výroby. Pořízení vstřikovacího stroje s elektromechanickou jednotkou je v porovnání s jinými uzavíracími systémy finančně náročnější. [19], [22]



Obr. 11. Schéma hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky [25]

1.7.3 Příslušenství vstříkovacího stroje

Součástí vstříkovacího stroje je příslušenství, které může zahrnovat zdroj energie, temperační zařízení vstříkovací formy, měřicí a regulační prvky a panel na ovládání stroje. Pomocí panelu na ovládání je možné sledování, nastavení a zhodnocení technologických parametrů vstříkovacího stroje, mezi které patří teplota jednotlivých zón pracovního válce, teplota formy, velikost vstříkovacího tlaku a dotlaku, časový průběh vstříkovacího cyklu, otáčky šneku při plastikaci, vstříkovací rychlost a rychlost otevírání a uzavírání formy. [4], [5]

Prostřednictvím ovládacího panelu lze výrobu na vstříkovacím stroji ovládat ručně, nebo plně automatizovat. Regulace a měření procesních parametrů přispívá k optimalizaci výrobního procesu. Použitím moderních řídicích systémů je přispíváno k efektivnější výrobě a vyšší kvalitě vstříkovaných výrobků. [22]

2 KONSTRUKCE PLASTOVÝCH VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

Správná konstrukce vstřikovaného výrobku je hlavním předpokladem pro splnění funkčních, technologických a ekonomických požadavků. Z hlediska funkčního je po výrobku požadovaná dostatečná pevnost, tuhost, rozměrová přesnost, houževnatost a odolnost chemikáliím a stárnutí. Technologickým požadavkem je, aby se dílec se zvolenou konstrukcí a materiálem dal snadno vyrobit. Ekonomické hledisko zkoumá snížení nákladů výroby vhodným zvolením levnějších materiálů a technologií. [13], [26]

U navrhovaného vstřikovaného výrobku je nutné zvolit vhodný typ povrchu. Povrch výrobku může být matný, lesklý a dezénový. Výrobně nejjednodušším povrchem je typ matný. Lesklý povrch vede ke zvýšení nákladů na zhotovení dutiny vstřikovací formy a u samotného výrobku může zvýraznit nedostatky vzniklé při toku taveniny dutinou formy. Dezénový povrch se používá tam, kde je potřeba zakrýt vzhledové nedostatky povrchu. [3]

2.1 Zásady konstrukce plastových výrobků

Požadavky kladené na výrobu a funkci vstřikovaného výrobku je možné splnit vhodným návrhem konstrukce výrobku, která vychází z následujících zásad.

2.1.1 Zaformování vstřikovaného výrobku

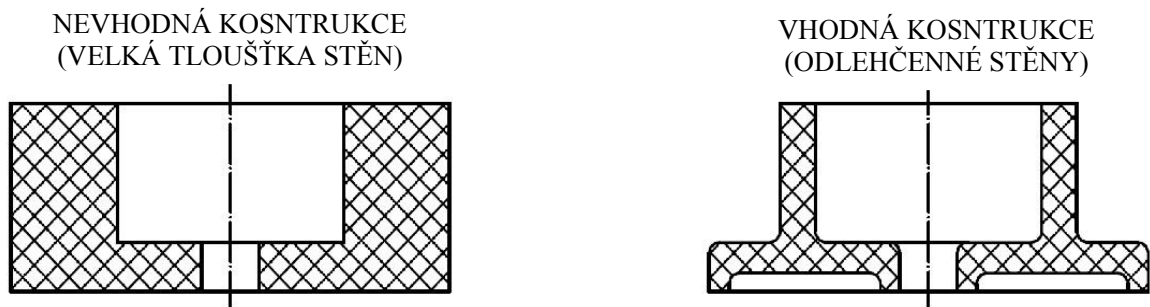
Zaformování vstřikovaného výrobku řeší problém stanovení polohy dělicí roviny. Dělicí rovina je plocha, v níž dosedá jedna část formy na druhou a uzavírá tak tvarovou dutinu. Umístění dělicí roviny na vstřikovaném výrobku je takové, aby bylo možné výrobek z dutiny formy vyjmout. U tvarově složitých výrobců se vyskytuje dělicích rovin více. Rovina kolmá na směr uzavírání formy je hlavní, ostatní jsou vedlejší. [7], [27]

2.1.2 Úkosy a podkosy

Stěny výstřiku rovnoběžné na směr otevírání formy jsou pro snadnější vyjímání z dutiny opatřeny úkosy. Velikost úkosů je závislá na typu vyhazovacího systému. Obvykle se hodnota úkosů vnějších stěn pohybuje od 0,5 do 2°. Hodnota úkosů vnitřních stěn je volena od 0,5 do 3°. Opakem úkosu je podkos, který zabraňuje vyjímání výstřiku z dutiny formy. Snahou je se podkosům na vstřikovaném výrobku vyhnout. Někdy se na výrobek umísťují záměrně tak, aby výrobek zůstal na jedné z částí formy. [7], [27]

2.1.3 Tloušťky stěn

Tloušťka stěn je volena co nejmenší z důvodů omezení vzniku povrchových propadlin a vnitřních staženin. Malé tloušťce stěny také přispívá ekonomický faktor požadující malou spotřebu materiálu a krátké časy chlazení. Minimální tloušťka je ovšem omezena požadovanou pevností, tuhostí a rozměrovou stabilitou vstřikovaného výrobku. [7], [27]



Obr. 12. Příklad návrhu zmenšení tloušťek u vstřikovaného výrobku [28]

Vyvážená rychlost taveniny v dutině formy, rovnoměrné chlazení ve všech místech výstřiku a minimální vnitřní pnutí je podmíněno rovnoměrností tloušťek stěn. Je-li nezbytné použít různou tloušťku, pak přechod tloušťek musí být pozvolný nebo zaoblený, tak aby nevznikaly ostré kouty působící jako vruby. [7], [29]



Obr. 13. Přechod mezi různými tloušťkami stěn u výstřiku [29]

2.1.4 Zaoblení rohů, hran a koutů

Oblé tvary na výrobku jsou vhodné z hlediska snadnějšího proudění taveniny dutinou formy. Čím větší je rádius zaoblení, tím menší jsou odpory průtoku taveniny. Zaoblením rohů, hran a koutů se zabrání koncentraci napětí v těchto místech a usnadní se vyjímání výstřiku z dutiny formy. Použitím ostrých hran na výrobku je vstřikovací forma výrobně složitější a snadno se tyto hrany poškodí. Zaoblení na výrobcích nesmí vést k narůstání tloušťek stěn výrobku a hromadění materiálu. [7], [27]

2.1.5 Vyztužení výrobku žebry

Žebra a výztuhy dávají z pravidla vstřikovanému výrobku příslušnou tuhost. Dle účinku je lze rozdělit na žebra technická, technologická a estetická. Technická žebra mohou kromě zvýšení tuhosti také u konečného výrobku plnit technickou funkci. Technologická žebra slouží k usnadnění výroby lepším zatékáním polymeru a následnému zabránění zborcení výrobku. Ozdobná žebra se používají k zlepšení vzhledu, nebo k zakrytí vzhledových vad na výrobku. [27]

2.1.6 Okraje a obruby výrobku

Okraje a obruby vstřikovaného výrobku umístěné v dělicí rovině jsou pro zvýšení tuhosti oble ohnuty. Vyztužení je provedeno tak, aby nedocházelo k hromadění materiálu a vzniku větších tloušťek stěn. Na okraji výrobku by se neměly vyskytovat ostré hrany. [7]

2.1.7 Otvory a drážky výrobku

Poloha otvorů a drážek se na vstřikovaném výrobku doporučuje umístit tak, aby při výrobě nečinila velké potíže. Otvory a drážky kolmé se směrem otevírání formy jsou odformovány pomocí posuvných čelistí. Otvory na výrobcích mohou být průchozí a neprůchozí. Hloubky otvorů jsou voleny s ohledem na zachování pevnosti a tuhost výrobku. [7]

2.1.8 Rovinnost velkých ploch

Velké rovinné plochy nejsou vhodné z důvodů vzniku velkých deformací. Je třeba je rozčlenit, nebo opatřit žebry. U rotačních dílců je možnost využít klenutí. [3]

2.2 Vady vzniklé na vstřikovaných výrobcích

Vstřikování výrobků je složitý proces, na kterém se podílí mnoho činitelů. Vliv působících činitelů nemusí být vždy zcela optimální, což se projeví vznikem závad na vstřikovaném výrobku. Nejčastěji se vyskytujícími závadami jsou deformace a propadliny vstřikovaného dílce, nedotečení taveniny a vznik přetoků, křehkost dílce, výskyt černých skvrn, studené spoje, bubliny, stříbrné pruhy, spálená místa, žloutnutí materiálu a nerovnoměrné deformace výstřiku. Zdroj vady může být spojen se vstřikovaným materiálem, konstrukcí formy a výrobku, vstřikovacím strojem a technologickými podmínkami. Příčinu vzniku vady je nutné rozpoznat a vhodným způsobem odstranit. [3], [5]

3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM

Vstřikovací forma je výměnný nástroj vstřikovacího stroje. Funkce formy je dát tavenině konečný tvar výstřiku, který je ve formě stabilizován ochlazením. Vstřikovací formy jsou často konstrukčně velmi komplikované a výrobně náročné, proto jejich výroba představuje vysoké finanční náklady. [4]

Návrh konstrukce vstřikovací formy ovlivňují tyto činitelé:

- tvar vstřikovaného dílce,
- typ vstřikovacího stroje a jeho parametry,
- vlastnosti vstřikované taveniny,
- celkové množství vstřikovaných dílců. [5]

Správně navržená vstřikovací forma plní funkční požadavky má vhodně navržený vtokový systém, vyhazování, temperaci i odvodušnění. Pro zachycení potřebných tlaků mají jednotlivé části formy dostatečně velkou tuhost a pevnost. Optimálně navržená forma také splňuje požadavek zaručené životnosti. [3]

Jednou z nejdůležitějších zásad při konstrukci formy je správné zaformování výstřiku. Umístění dělicí roviny na vstřikovaném dílci je voleno s ohledem na vyjmutí dílce z dutiny formy. Prostor dutiny formy vymezují tvarové součásti, mezi které patří tvárník, tvárnice a tvarové jádra. Rozměry tvarových částí jsou při konstrukci formy dimenzovány. Špatně navržená dutina formy se projeví v nedodržení rozměrů vstřikovaného výrobku. Při konstrukci dutiny formy je přihlíženo na velikost smrštění vstřikovaného materiálu a výrobní tolerance vstřikovaného dílce. [3], [13]

3.1 Násobnost vstřikovací formy

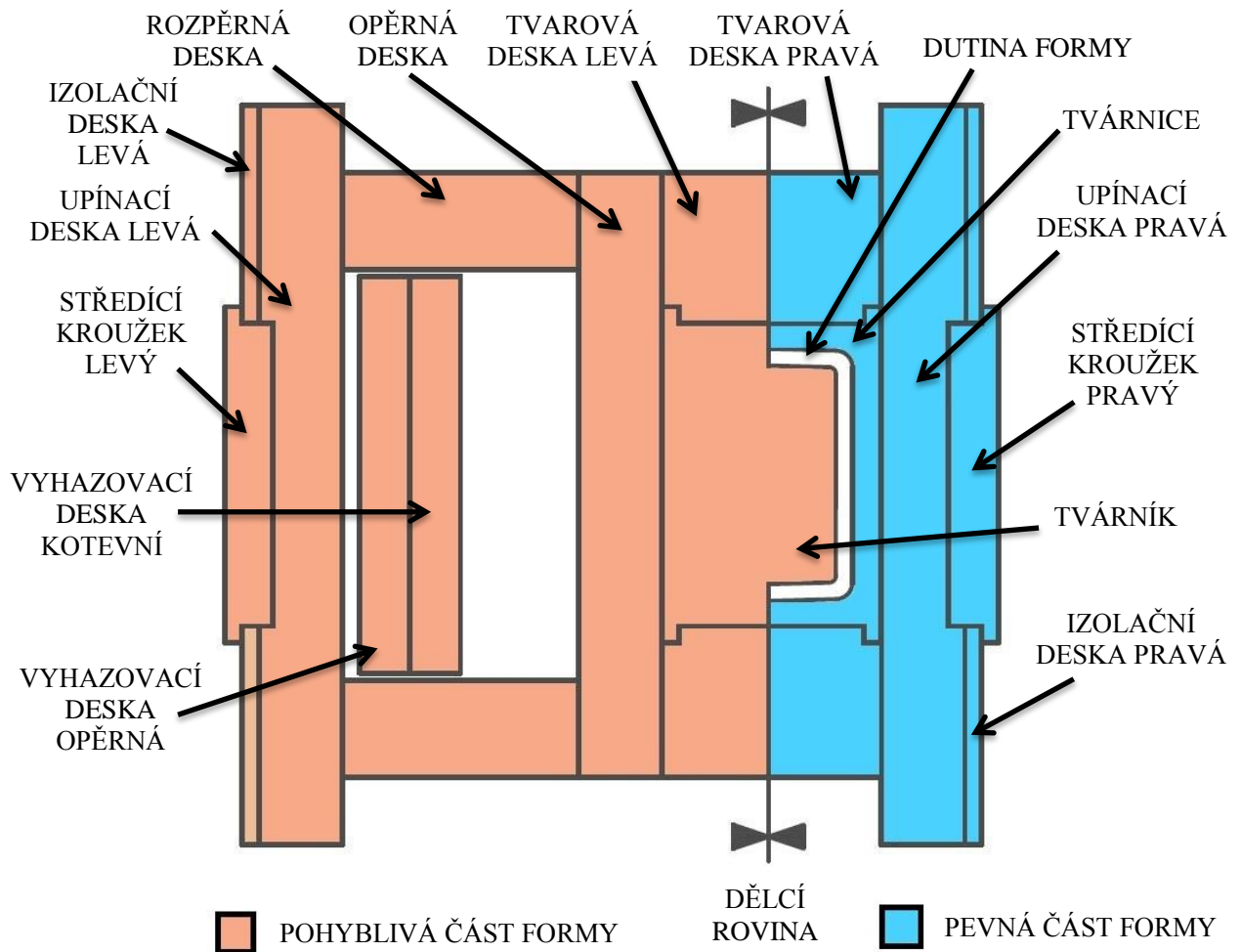
Počet vystříknutých dílců v jednom pracovním cyklu je definován násobností vstřikovací formy. Volba optimální násobnosti je otázkou především ekonomickou. Vícnásobné formy jsou mnohem dražší a citlivější na vznik poruchy, než formy jednonásobné. Volba násobnosti vstřikovací formy je ovlivněna mnoha faktory, mezi které především patří:

- plánovaný počet vstřikovaných dílců a jejich dodací lhůty,
- parametry vstřikovacího stroje,
- hmotnost, tvar a přesnost vstřikovaného dílce,

- srovnání nákladů na výrobu jednonásobné a vícenásobné vstřikovací formy,
- srovnání délky vstřikovacího cyklu jednonásobné a vícenásobné formy. [5], [13]

3.2 Rám vstřikovací formy

Rám vstřikovací formy představuje vzájemně spojené desky pomocí šroubů. Jednotlivé desky jsou mezi sebou vystředěny středícími prvky. Rám formy je rozdělen na dvě části. První nepohyblivá část je uložena na pevné straně vstřikovacího stroje. Součástí nepohyblivé části rámu je tvárnice a vtokový systém. Druhá část rámu je uložena na pohyblivé straně vstřikovacího stroje. Součástí této strany je tvárník a vyhazovací systém. Přesné dosednutí jednotlivých částí rámu na sebe zajišťují vodící čepy a pouzdra. Do rámu formy je také zaveden systém temperační, odvzdušňovací a v případě složité dutiny formy i systém k odformování vystříknutého dílce. Velikost a uspořádání rámu se od sebe vzájemně liší v závislosti na velikostech a tvarech vstřikovaných výrobků. [30]



Obr. 14. Základní desky vstřikovací formy

3.3 Vtokový systém formy

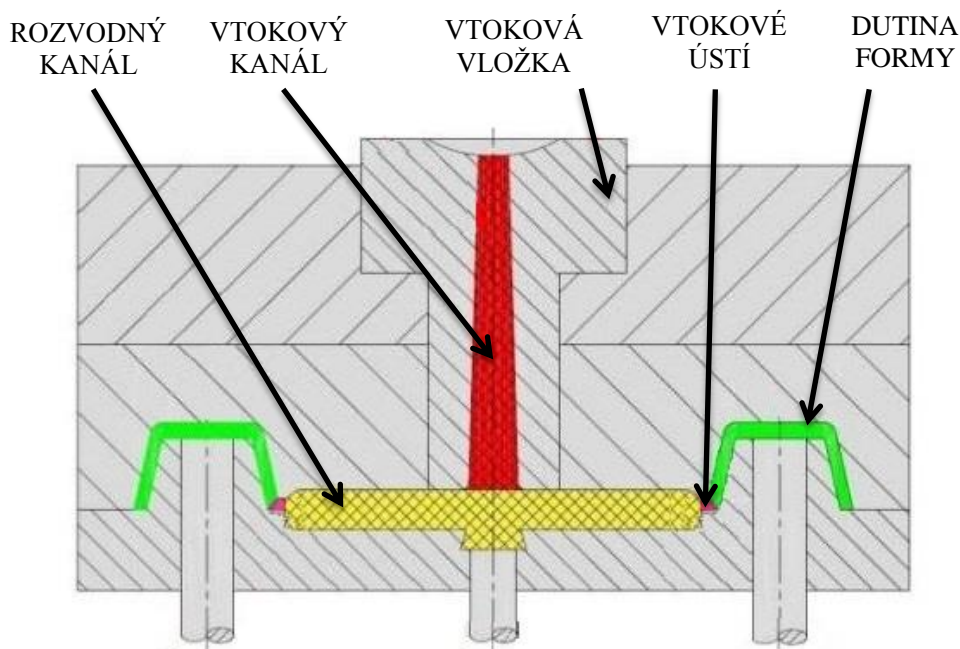
Vtokový systém vstřikovací formy zajišťuje přivedení vstřikované taveniny z trysky stroje do dutiny formy. Plnění dutiny formy by mělo proběhnout v co nejkratším čase s minimálními odpory. Dle způsobu přivedení taveniny do dutiny formy lze použít vtokový systém studený, horký a kombinovaný. [3]

3.3.1 Studený vtokový systém

Principem studeného vtokového systému je dopravování taveniny do dutiny formy jedním nebo soustavou více tokových kanálů. Během tečení studeným vtokovým systémem dochází k růstu viskozity taveniny. Největší viskozita je v místě styku taveniny se stěnou kanálu. Z důvodu vysoké viskozity taveniny jsou při vstřikování vyvinuty velmi vysoké tlaky. Značnou nevýhodou studeného vtokového systému je vznik vtokového zbytku ze ztuhlého materiálu ve vtokovém systému. Snahou je vtokový zbytek minimalizovat, případně až zcela odstranit. [3], [27]

Vtoková soustava studeného vtokového systému je složena z následujících částí:

- vtokový kanál,
- rozvodné kanály,
- vtokové ústí. [5]

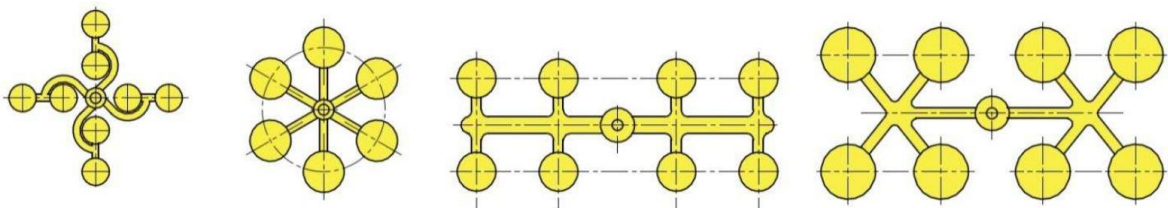


Obr. 15. Schématické zobrazení studeného vtokového systému [30]

3.3.2 Vtokové a rozvodné kanály studeného vtokového systému

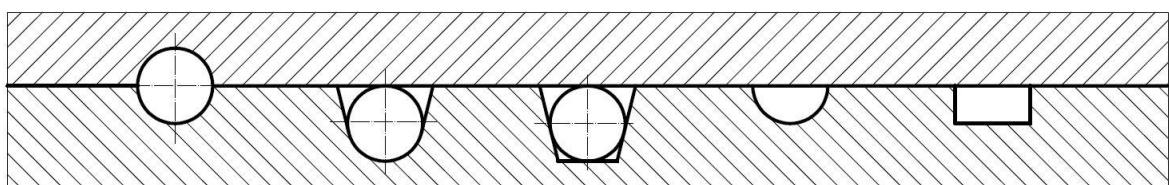
Vtokový kanál studeného vtokového systému má kuželový tvar a je umístěn uvnitř vtokové vložky. Prostřednictvím tohoto kanálu je přiváděna tavenina ze vstřikovací trysky stroje do rozvodných kanálů, nebo přímo do dutiny formy. Vtoková vložka je z důvodů vysokého tepelného i mechanického namáhání vyráběna z pevných, houževnatých a oteřuvzdorných ocelí. [3]

Při použití studeného vtokového systému je tavenina z vtokového kanálu do jednotlivých dutin formy rozvedena rozvodnými kanály. Geometrie rozvodných kanálů musí zabezpečit, že dráha tečení taveniny k dutinám formy je pokud možno co nejkratší s minimálními tlakovými ztrátami. Průřez a délka kanálů současně ovlivňuje i rovnovážnost vtokového systému. Snahou je, aby se všechny dutiny plnily rovnoměrně a za stejného tlaku. Tím se u výrobků z různých dutin dosáhne stejných vlastností. [5], [31]



Obr. 16. Příklady rozmístění rozvodných kanálů vícenásobné formy [30]

Rozváděcí kanály mohou mít různé průřezy. Nejvhodnější průřez je kruhový, protože má největší hydraulický poloměr, neboli poměr průřezu a obvodu. U tohoto kruhového průřezu dochází k nejmenším tlakovým ztrátám a nejpomalejšímu ochlazení taveniny. Kruhový průřez se ovšem obtížně vyrábí, musel by zasahovat do obou polorovin formy. Z výrobních důvodů se nejčastěji používá průřez lichoběžníkový se zaoblenými hranami. Velikost průřezu kanálů je volena s ohledem na délku toku taveniny, velikosti vstřikovaného výrobku, teploty formy a vstřikované taveniny a velikosti vstřikovacího tlaku. [5], [22]



Obr. 17. Příklady průřezů rozvodných kanálů [29]

3.3.3 Ústí vtoku studeného vtokového systému

Tavenina polymeru je z rozvodných kanálů do dutin formy přivedena přes vtoková ústí. Jedná se o zúžení rozvodného kanálu, jehož velikost průřezu a délka je volena s ohledem na vstříkovaný dílec a materiál co nejmenší. Velikost zúženého průřezu však musí spolehlivě zajistit naplnění dutiny formy a případné působení dotlaku. Zúžením ústí vtoku je zabráněno vstupu ochlazeného polymeru do dutiny formy. Tavenina polymeru do dutiny formy vtéká rovnoměrněji a s vyšší rychlostí, čímž dochází vlivem disipace k nárůstu její teploty. U dokončovacích operací rovněž přispívá vtokové ústí ke snadnějšímu oddělení vtokového zbytku od výstříku. [3], [27]

Umístění vtokového ústí se volí pokud možno:

- do nejtlustšího místa na vstříkovaném výrobku tak, aby tavenina nejdříve tuhla v nejbližších místech od vtokového ústí,
- do geometrického středu dutiny z důvodů rovnoměrného plnění dutiny,
- do směru orientace žeber vstříkovaného výrobku,
- mimo pohledové plochy vstříkovaného výrobku,
- tak, aby bylo umožněno uniknutí uzavřeného vzduchu v dutině formy,
- tak, aby při vstupu do dutiny narazil proud taveniny na stěnu formy, čímž se zamezí vzniku volnému toku taveniny,
- tak, aby vznik studených spojů byl mimo mechanicky namáhané místa. [3]

S ohledem na geometrii vtokových ústí se lze setkat s těmito základními typy ústí:

a) Plný kuželový vtok

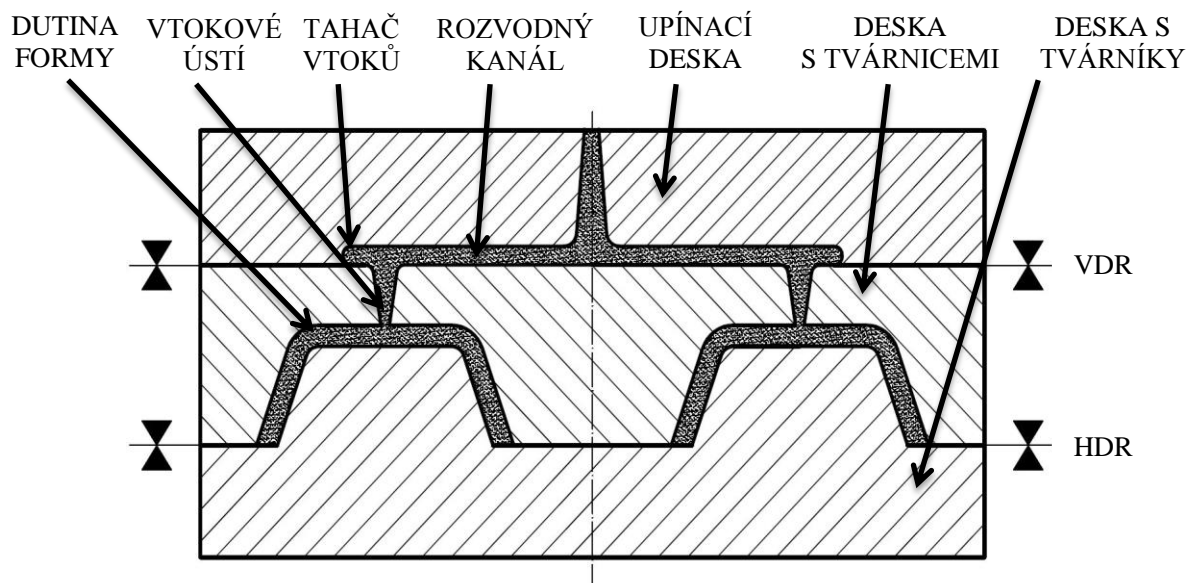
Konstrukce kuželového vtoku je bez zúženého vtokové ústí. S výhodou se tento typ vtoku používá u jednonásobných forem pro velkorozměrové výrobky s větší tloušťkou stěny. Je velmi účinný při působení dotlaku, protože při ochlazování taveniny tuhne vtok ve vstříkovací formě jako poslední. Odstranění kuželového vtoku z výstříku je bohužel velmi pracné. [3]

b) Boční vtokové ústí

Boční vtokové ústí je nejrozšířenějším a výrobně nejjednodušším typem vtoků. Boční vtoky jsou napojeny na rozváděcí kanály, které společně s vtokem leží v dělicí rovině. Při vyhození výstříku z dutiny formy zůstává výstřík od vtokového systému neoddělený. Tento typ vtokového ústí není tedy z důvodů dokončovacích operací ekonomicky výhodný. [3]

c) Bodové vtokové ústí

Bodový vtok je obvykle kruhového průřezu, který je umístěn mimo nebo i v dělicí rovině. Velmi často se využívá u třídeskového systému vstřikovací formy umožňující odtržení vtoku od vstřikovaného dílce během odformování. V tomto případě je uložení vstřikovaného dílce v hlavní dělicí rovině a rozvodné kanály jsou v rovině vedlejší. Během pracovního cyklu dojde k otevření vedlejší dělicí roviny a až po té roviny hlavní. Bodové vtokové ústí není doporučováno pro více viskózní a plněné polymery. [3], [5]

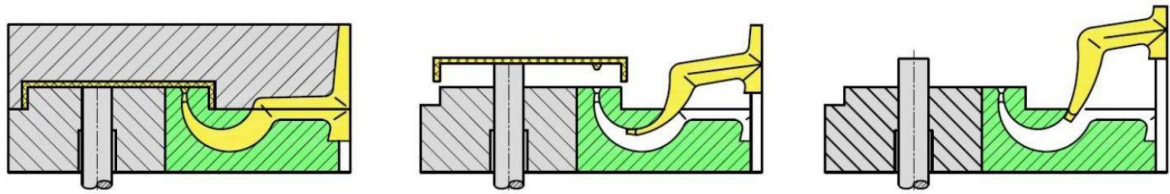


Obr. 18. Schématický princip třídeskového uspořádání formy [4], [20]

d) Tunelové vtokové ústí

Zvláštním typem bodového ústí vtoku je tunelové. Toto ústí umožní oddělení vtokového zbytku od vystříknutého výrobku během otevírání vstřikovací formy, nebo během vyhazování výstřiku. Umístění rozvodných kanálů je ve stejné dělicí rovině, jako je vstřikovaný výrobek. Správné oddělení vtokového zbytku od výrobku je provedeno stříhem ostrou hranou vyskytující se na tvarové části formy. Tunelové vtokové ústí je vhodné na vstřikované výrobky z materiálů s dostatečnou elasticitou. Výroba tunelových vtoků je velmi obtížná. [3]

Pokud je požadováno, aby bylo vtokové ústí umístěno do nepohledové spodní strany vstřikovaného výrobku, lze použít zvláštní typ tunelového vtoku, kterým je vtok srpkovitý. Konstrukce srpkovitého vtokového ústí je vhodná pouze pro vysoce elastické materiály. Srpkovitý vtok je používán pro tenkostěnné výstřiky. [3], [4]



Obr. 19. Princip odtržení a vyhození výstřiku u srpkovitého vtoku [30]

e) Filmové vtokové ústí

Filmové vtokové ústí patří mezi typy vtoků s bočním plněním. Použití tohoto typu vtoku je z důvodů dodržení rovinnosti ploch a přesnosti tvaru vstříkovaného výrobku, odstranění studených spojů, vzniku malého vnitřního pnutí a zmenšení odporu toku taveniny u vtokového systému. Tok taveniny filmovým vtokem není rovnoměrný, tlak klesá s rostoucí vzdáleností od rozvodného kanálu. Tento problém lze řešit proměnnou tloušťkou filmové štěrbině. Velké uplatnění filmového vtoku je při vstříkování kruhových dutin. [3]

3.3.4 Horký vtokový systém

Vtokový zbytek vzniklý při vstříkování představuje materiálovou ztrátu. Proto byly vyvinuty formy s horkými vtokovými systémy. Současným typům horkých vtokových systémů předcházelo mnoho jednodušších typů, které byly postupně zdokonalovány. Šlo především o komůrkové vtoky a izolované rozváděcí kanály. Princip komůrkových vtoků a izolovaných rozvodných kanálů je založen na udržení zásoby horké taveniny ve vtokovém systému. Tavenina je izolovaná od chladnější stěny formy ztuhlou vrstvou. Tyto systémy vyžadovaly pro správnou funkci krátké vstříkovací cykly. [3], [27]

V současné době pracují horké vtokové systémy s vyhříváními vtokovými tryskami. Vstříkovací forma s horkými vtokovými tryskami má po naplnění dutiny formy v celé oblasti vtokového systému horkou taveninu. Tavenina je pomocí topných systémů udržována na teplotě, při které je v plastickém stavu. Použití vyhřívání vtokových trysek odstraní vznik vtokových zbytků, umožní vyšší stupeň automatizace výroby, zkrátí výrobní cyklus a odstraní dokončovací práce na odstřižení vtokových zbytků od vstříkovaného výrobku. Volbou horkého vtokového systému do vstříkovací formy dochází ovšem k růstu konstrukční složitosti a výrobních nákladů. Také se zvyšuje energetická spotřeba. Vstříkovací forma s horkým vtokovým systémem musí být také vybavena zařízením na regulaci a snímání teploty. [3]

3.3.5 Vtokové trysky a rozvodné bloky horkého vtokového systému

Horké vtokové trysky umožňují přivedení taveniny ze vstřikovacího stroje do dutiny formy. Konstrukce těchto trysek může být s vnějším topením a s topením vnitřním. Při vytápění vnějším topením dochází k proudění taveniny tryskou, kolem které je umístěné topné těleso. U trysek s vnitřním topením obtéká tavenina vnitřní vyhřívanou vložku. Vlastní vyústění vtoku do dutiny formy může být provedeno jedním nebo více otvory. Trysky mají ústí vtoku otevřené, nebo uzavíratelné. Uzavíratelné ústí vtoku je voleno u vstřikovaných materiálů, které zanechávají na výrobku velké stopy od vtoku. [3], [27]

U vícenásobných vstřikovacích forem s horkým vtokovým systémem je k rozvedení taveniny použit vytápěný rozvodný ocelový blok. Uložení bloku je mezi upínací a tvarovou deskou formy. Vytápění je provedeno elektrickým odporovým topením pomocí topných patron a hadů. Zamezení šíření tepla z těchto bloků do zbylých částí vstřikovací formy je provedeno izolační vzduchovou mezerou. Konstrukce rozvodných bloků je obvykle do písmene I, X, Y, H a do tvaru hvězdy. [3]



Obr. 20. Příklady horkých vtokových trysek [33]
a) tryska s vnitřním topením; b) tryska s topením vnějším

3.4 Temperační systém formy

Cílem temperování vstřikovací formy je udržet rovnoměrné teplotní pole v dutině formy na teplotě, která se u termoplastů obvykle pohybuje od 30 až do 120 °C. Teplota formy výrazně ovlivňuje u vstřikovaného dílce velikost smrštění, deformaci a mechanické vlastnosti. Kromě vlastností výstřiku je také ovlivněna délka vstřikovacího cyklu. [27]

Teplota dutiny formy není během vstřikovacího cyklu konstantní. Při vstřikování taveniny teplota formy stoupá, poté klesá v důsledku odvádění tepla temperačním systémem. Teplu přivedené taveninou je také odvedeno prouděním a sáláním do okolí vstřikovací formy a vedením do rámu vstřikovacího stroje. [5], [32]

Na řešení temperačního systému se podílí mnoho faktorů, mezi které především patří:

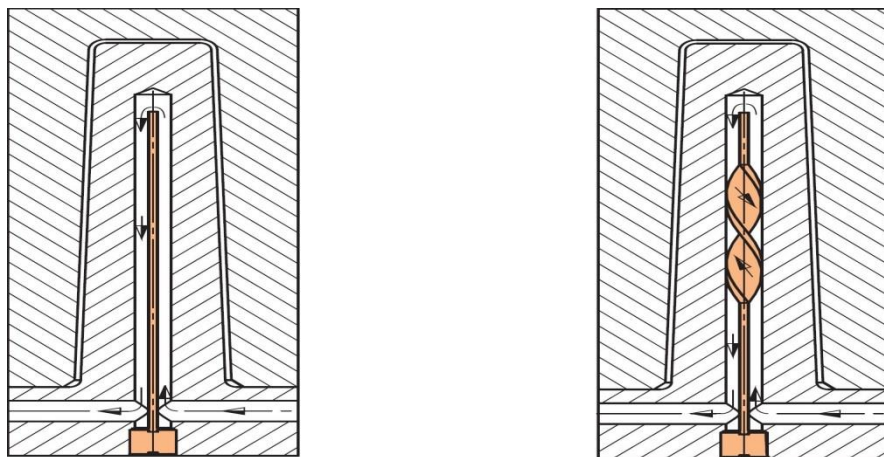
- vlastnosti vstřikovaného polymeru,
- tvar a velikost vstřikovaného dílce,
- použité materiály na výrobu vstřikovací formy,
- požadované přesnosti vstřikovaného dílce. [27]

3.4.1 Zásady navrhování temperačního systému

Temperování vstřikovacích forem je prováděno pomocí soustav kanálů, kterými protéká temperační médium. Kanály mohou být vrtané, jejichž průřez je kruhový. Méně často jsou kanály vyráběny v podobě frézovaných drážek. Velikost průřezu a rozmístění kanálů se volí s ohledem na dostatečnou pevnost a tuhost tvarových částí formy. Doporučením je zvolit větší množství kanálů menších průřezů z důvodu rovnoměrnější teploty na povrchu dutiny formy. Zvětšením průřezu kanálu dojde jen k nepatrnému zvýšení intenzity odvádění tepla. Minimální doporučený průměr kruhového kanálu je 6 mm. [32]

Temperační okruhy se z pravidla zapojují do série, u paralelního zapojení není zaručena rovnoměrnost průtoku média. Přivedení média je voleno do nejteplejšího místa ve vstřikovací formě, tím se zajistí intenzivní odvádění tepla. Zvýšit intenzitu odvedení tepla z formy lze také vířivým prouděním temperačního média. K utěsnění temperačních kanálů slouží uzavírací zátky a pryžové těsnící kroužky. [27]

Temperování tvárníků lze provést pomocí temperačních vložek. Temperační médium je do čela tvárníku přivedeno pomocí rovinné nebo šroubovicové přepážky. Odvádění tepla lze také provést pomocí tepelných trubíc a vysoce teplotně vodivých kovů. [27], [32]



Obr. 21. Příklad temperačních přepážek firmy Hasco [34]

3.4.2 Používané temperační média

Temperačním médiem se rozumí kapalina, která cirkuluje temperačními kanály a odvádí teplo ze vstřikovací formy. Množství odvedeného tepla je závislé na objemovém průtoku a typu zvoleného média, rozdílu teplot mezi povrchem dutinou formy a temperačním médiem, vzdáleností kanálů od povrchu dutiny formy a typu proudění média. Použitým temperačním médiem může být voda. Výhodami temperování vodou jsou nízké pořizovací náklady, vysoká intenzita přestupu tepla, nižší viskozita a ekologická nezávadnost. Voda ovšem vede ke vzniku vodního kamene a korodování materiálu formy. Použití vody je jen do 90 °C. Temperování formy olejem umožní temperovat formu i nad 100 °C. Olej má ve srovnání s vodou nižší účinnost odvádění tepla a je dražší. Také lze použít jako temperační média glykoly, které nekorodují materiál vstřikovací formy, ale rychle stárnou. [32]

3.5 Vyhazovací systém formy

Vyhazovací systém u vstřikovací formy zajistí po ochlazení polymeru na vyhazovací teplotu vyjmutí výstřiku z dutiny formy. Pro zajištění automatického výrobního cyklu pracuje vyhazovací mechanismus ve dvou fázích. V prvním kroku dojde k samotnému vyhození výstřiku z dutiny formy a poté následuje vrácení vyhazovacího mechanismu do původní polohy. [32]

Z důvodů snadného vyhazování výstřiků z dutiny formy je nutné opatřit stěny výstřiku ve směru vyhazování úkosy. Pozitivní vliv na vyhazování výstřiku má také hladký povrch dutiny formy a rovnoměrně působící vyhazovací síla. Vyhazování lze provést mechanickým, pneumatickým a hydraulickým způsobem. Potřebná velikost vyhazovací síly závisí na velikosti smrštění výstřiku v dutině formy, geometrickém tvaru výstřiku, jakosti povrchu tvarových dutin a na technologických podmínkách vstřikování (vstřikovací tlak, celková doba chlazení, teplota vstřikované taveniny a teplota povrchu formy). [22], [32]

3.5.1 Mechanický způsob vyhazování

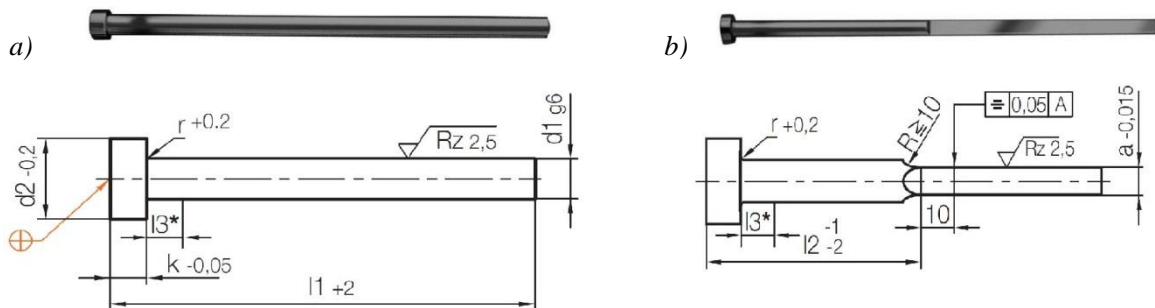
Mechanický způsob vyhazování výstřiku z dutiny formy je nejrozšířenějším způsobem vyhazování. Vyhazovací síly působící na vyhazovaný výstřik je dosaženo mechanickým způsobem. [32]

Mechanické vyhození výstřiku z dutiny formy lze provést těmito způsoby:

a) Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků

Jedná se o nejčastější, nejjednodušší a nejlevnější metodu vyhazování. S výhodou lze vyhazovací kolíky použít tam, kde je lze umístit proti ploše na výstřiku. Dokonalé vyhození výstřiku závisí na správné volbě tvaru a umístění vyhazovacích kolíků. Vyhazovací kolíky by měly být opřeny o stěnu nebo žebro vstřikovaného výrobku, který by se při vyhození neměl bortit. V místech styku vyhazovacích kolíků se vstřikovaným výrobkem zůstávají na výrobku vzhledové stopy, tudíž je vhodné kolíky na výrobku umístit do nepohledových ploch. Rovnoměrnější vyhazovací síly lze dosáhnout větším množstvím vyhazovacích kolíků. Použití více kolíků nesmí omezit temperační systém formy a nesmí vést k poklesu pevnosti a tuhosti tvarových částí. [32]

Vyhazovací kolíky jsou nejčastěji válcové s průměrem 3 až 20 mm, k vyhození výstřiku lze použít i kolíky prizmatické. Kolíky jsou ukotvené ve vyhazovacím rámu složeného z opěrné a upínací vyhazovací desky. U válcových kolíků s tvarovým čelem je nutné zajištění proti pootočení. [27]



Obr. 22. Příklad vyhazovacích kolíků firmy Hasco [34]
a) válcový vyhazovací kolík; b) prizmatický vyhazovací kolík

b) Vyhazování pomocí stírací desky

Tenkostěnné vstřikované výrobky, které při vyhazování z formy snadno podlehnou zborcení, mohou být vyhozeny stíracími deskami. Vyhazovací síla působí po celém obvodu tvárníku. Vzhledem k velké styčné ploše je také omezen vznik stop desky na výstřiku. Vyvození pohybu stírací desky je tlakem vyhazovacího systému, nebo tahem pomocného mechanismu. Pro zvýšení životnosti stírací desky je deska opatřena stíracími tvarovými vložkami z ušlechtilých materiálů. [32]

Zvláštním případem stírací desky je trubkový vyhazovač. Trubkový vyhazovač je složen z pevného jádra a pohyblivé trubky pracující jako vyhazovací kolík. Pohyblivá trubka stírá vstřikovaný výrobek z tvarového jádra. [32]

c) Speciální způsoby mechanického vyhazování

K vyhození výstřiků s mělkým vnitřním či vnějším zápichem je využíváno šikmých vyhazovacích kolíků. Šikmé kolíky nejsou kolmé k dělicí rovině, ale jsou uloženy pod úhlem. Při vyhazování výstřiku dochází současně k odformování zápichu. Zápich může být tvořen přímo na šikmém kolíku, nebo na čelisti, která je na šikmém kolíku pevně připojena. Použití šikmých vyhazovačů k odformování bočních zápichů odstraní použití konstrukčně náročných posuvných čelistí. [32]

Vyhazování výstřiků s rozdílným časovým i velikostním rozložením vyhazovacího zdvihu je umožněno dvoustupňovým vyhazováním. Dvoustupňové vyhazování vyžaduje mít dva vzájemně se ovlivňující vyhazovací systémy. Využití dvoustupňového vyhazování je při vyhazování tenkostěnných výrobků stíracími deskami v kombinaci s vyhazovacími kolíky a při vyhazování s šikmými vyhazovači. Principu dvoustupňového vyhazovacího systému lze také využít k oddělení vtokových zbytků od výstřiků, kdy jsou první skupinou vyhazovačů odstřiženy vtoky a druhou skupinou proběhne vlastní vyhození výstřiku z dutiny formy. [32]

3.5.2 Vyhazování pomocí stlačeného vzduchu

Vyhození výstřiku z dutiny formy pomocí stlačeného vzduchu je vhodné u tenkostěnných, rozměrných a hlubokých výrobků, které by se mechanickým vyhozením snadno zdeformovaly. Stlačený vzduch je přes talířový nebo jehlový ventil zaveden mezi výstřik a líc formy. Tím je zajištěno rovnoměrného oddělení výstřiku od tvárníku formy a odstranění stop po vyhazovacích kolících na vstřikovaném výrobku. Nevýhodou pneumatického vyhazování je omezené použití jen na některé tvary výstřiků. Často je tento pneumatický způsob vyhození výstřiku v kombinaci s mechanickým. [27], [32]

3.5.3 Vyhazování hydraulickými jednotkami

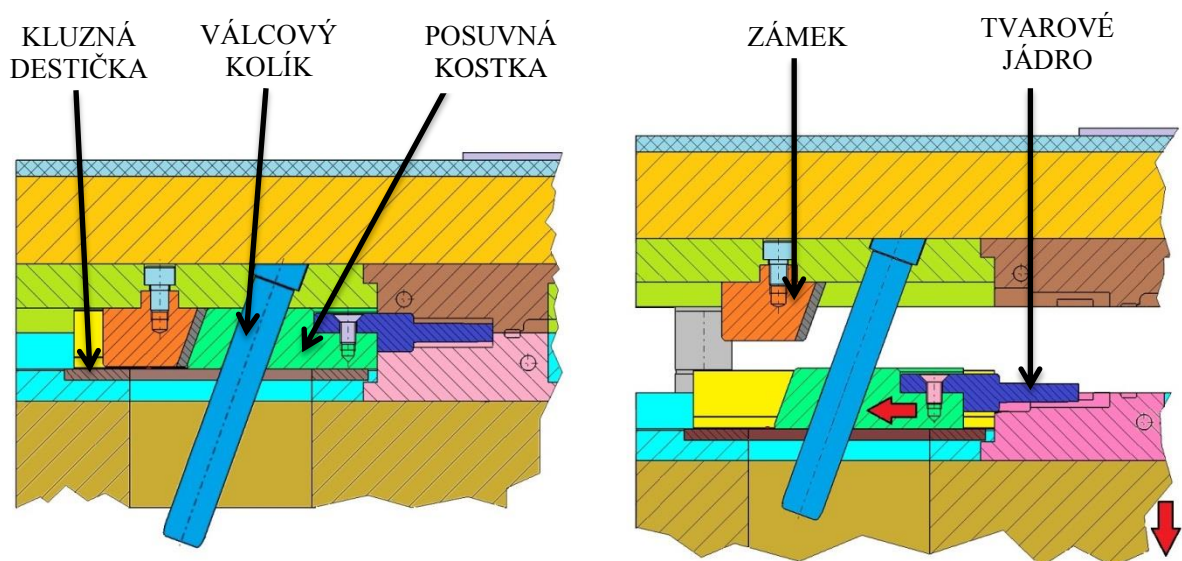
Hydraulické vyhazovací jednotky slouží k ovládání mechanických vyhazovacích kolíků a stíracích desek. Tyto jednotky mohou být zabudované přímo v připraveném místě ve vstřikovací formě. Vyhazování hydraulickými jednotkami je charakteristické velkou vyhazovací silou s kratším a pomalejším zdvihem. [32]

3.6 Systém odformování pomocí posuvných čelistí

Při vstřikování výrobků s bočními otvory a výstupky je nutné použít více dělicích rovin. Odformovat boční dělicí roviny lze posuvnými čelistmi, jejichž pohyb je ovládán šikmými a lomenými kolíky, nebo hydraulickými a pneumatickými tahači. Během vstřikování je posuvná čelist zajištěna zámkem, který je součástí pevné strany vstřikovací formy. [32]

3.6.1 Šikmé válcové kolíky

Šikmými válcovými kolíky je čelist vysouvána a zasouvána současně při otevírání, či zavírání vstřikovací formy. Uzavírací pohyb čelisti je ukončen současně s uzavřením formy. Použití šikmých kolíků je tam, kde se nevyžaduje žádné, nebo velmi malé zpoždění vysouvání čelistí při otevírání formy. Vůle mezi kolíkem a tvorem v posuvné čelisti je obvykle 0,2 mm, může ale být až 3 mm. Sklon šikmých kolíků je obvykle od 15° do 25°. Zajištění čelisti v otevřené poloze vstřikovací formy je pomocí pružné kuličky. [27], [32]



Obr. 23. Princip odformování posuvné čelisti pomocí šikmých válcových kolíků [10]

3.6.2 Lomené kolíky

Lomené kolíky zajišťují nucený posun tvarových čelistí obdobně jako válcové kolíky. Výhodou lomených kolíků je možnost delšího zpoždění odsunu čelisti při otevírání formy a použití menšího sklonu, který vede ke vzniku větších uzavíracích sil. Lomené kolíky jsou v porovnání s válcovými výrobně nákladnější. Profil lomených kolíků bývá obvykle obdélníkový. Vůle mezi lomenými kolíky a otvorem posuvné čelisti je volena v rozmezí 0,2 až 0,5 mm. Úhel sklonu je volen od 12° až do 25°. [32]

3.6.3 Hydraulické a pneumatické tahače posuvných čelistí

K vytažení dlouhých a těžkých jader se u posuvných čelistí využívá hydraulických tahačů. Pohyb čelistí je charakteristický rovnoměrným chodem. Značnou výhodou je, že lze čelist ovládat již u uzavřené formy, v jakékoliv fázi otevírání formy, nebo také až po celkovém otevření formy. Při použití pneumatických tahačů je nutné brát v úvahu stlačitelnost vzduchu, která vede k nerovnoměrnému až trhavému pohybu čelisti. [32]

3.7 Odvzdušňovací systém formy

Odvzdušňovací systém slouží k odvedení vzduchu z uzavřené dutiny formy během procesu vstřikování. Při nedostatečném odvzdušnění vzniká riziko výroby vadných dílců. Typickými vadami na vstřikovaném dílci je nedotečení taveniny do všech zákoutí dutiny formy, vznik vzduchových bublin a vznik spálených míst. Ke spálení dochází vlivem prudkého stlačení a ohřátí vzduchu na teplotu rozkladu vstřikovaného termoplastu. [5]

Vzduch je obvykle z dutiny formy odveden hlavní dělicí rovinou a vřelymi mezi tvarovými vložkami a posuvnými jádry. Také je vzduch odváděn místy, kde jsou uloženy vyhazovací kolíky. Pokud je odvzdušnění těmito vřelymi nedostatečné, je nutné vstřikovací formu opatřit odvzdušňovacími kanálky. Odvzdušňovací kanálky jsou nejčastěji ploché. Tloušťka kanálků je volena tak, aby bylo umožněno odvedení stlačeného vzduchu a aby současně do kanálku nezatekla tavenina. Volba velikosti odvzdušňovacího systému závisí především na zpracovávaném materiálu. Obvykle se tloušťka odvzdušňovacích kanálků pohybuje od 0,05 do 0,1 mm. Umístění odvzdušňovacích kanálků v dutině formy je do míst, do kterých zatéká tavenina naposled. [5], [27]

3.8 Materiály používané k výrobě vstřikovacích forem

Výroba vstřikovacích forem je provedena z kovových materiálů, mezi kterými převládá ocel. Po použitých materiálech je požadována dobrá zpracovatelnost a splnění provozních požadavků s dostatečnou životností. Výrazným činitelem při volbě materiálů forem je vstřikovaný polymer, požadovaná přesnost a jakost vstřikovaného výrobku, podmínky procesu vstřikování a vlastnosti vstřikovacího stroje. [27], [32]

Nestejně nároky na jednotlivé části vstřikovacích forem vedou k použití více druhů ocelí. Méně namáhané dílce, mezi které patří jednotlivé desky formy, vodící, středící a spojovací prvky, lze vyrábět z levnějších ocelí nižších tříd. Namáhané části forem, mezi které patří tvarové a vtokové vložky, vyhazovací kolíky a tvarové jádra jsou vyráběny z ušlechtilých ocelí obvykle třídy 19. U mechanicky namáhaných dílců je prováděno chemické a tepelné zpracování. [27]

Při výrobě vstřikovacích forem jsou také používány neželezné slitiny kovů, mezi které patří především hliník a měď. Použití barevných kovů je z důvodu jejich vysoké teplotní vodivosti. Mezi používané materiály u vstřikovacích forem patří i sklolamináty a pryže, které slouží k výrobě izolačních desek a těsnících prvků. [32]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÉ CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Stanovené cíle diplomové práce jsou:

- vypracovat literární rešerši daného tématu,
- připravit 3D model zadaného plastového výrobku,
- pro zadaný výrobek navrhnout ve 3D řešení konstrukce vstřikovací formy,
- vhodnost návrhu formy ověřit pomocí tokové analýzy,
- návrh vstřikovací formy doložit 2D sestavou.

Cílem teoretické části diplomové práce je vypracování literární studie popisující technologii vstřikování polymerů, zpracovávané materiály a používané vstřikovací stroje. Hlavní částí literární studie je popsání zásad k navrhování vstřikovaných plastových výrobků a řešení konstrukce vstřikovacích forem.

V praktické části je cílem připravit model zadaného plastového dílce a navrhnout konstrukci vstřikovací formy, která vychází z poznatků zmíněných v teoretické části práce. Vstřikovací forma je navržena pro firmu Obzor jako varianta možného konstrukčního řešení pro konkrétní vstřikovaný výrobek. Při řešení konstrukce formy je nutné dodržet firemní zvyky, postupy a používané normy. Vstřikovací forma je sestavena z normálí firmy Meusburger. Vhodnost návrhu formy je nutné ověřit tokovými analýzami a její vlastní konstrukci doložit 2D sestavou. Model výrobku i vstřikovací formy je navržen v počítačovém programu Catia a tokové analýzy jsou provedeny v simulačním programu Moldflow.

5 POUŽITÉ POČÍTAČOVÉ PROGRAMY

5.1 CATIA V5R19

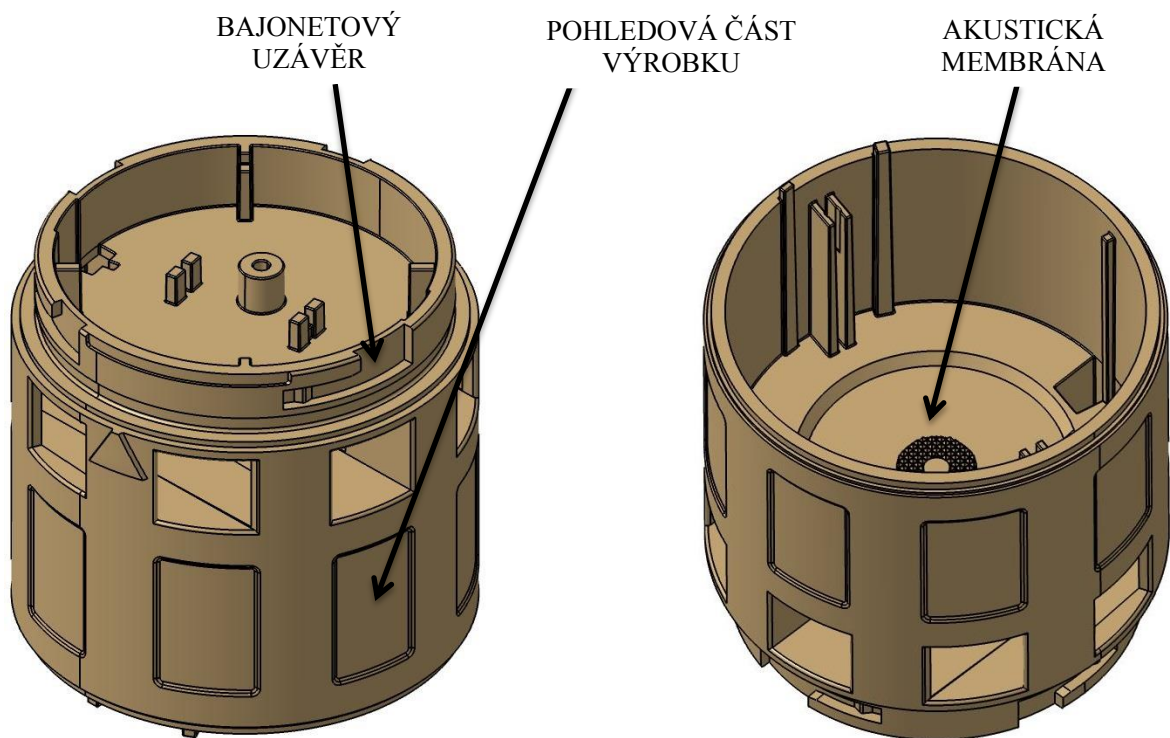
Při řešení konstrukce vstřikovaného výrobku a vstřikovací formy byl použit počítačový program Catia V5R19. Jedná se o konstrukční software vyvinutý francouzskou firmou Dassault Systèmes a původně určený pro letecký průmysl. V současné době je Catia charakteristická širokou průmyslovou univerzálností pro zcela rozdílné oblasti strojírenství. Využití softwaru Catia je především pro zmíněný letecký průmysl, ale také pro průmysl automobilový, strojírenský, lodní a pro průmysl spotřebního zboží a elektroniky. Vývoj programu Catia V5 je proveden ve třech platformách, které představují odlišné varianty různých úrovní využití. Využití systému může být na tvorbu modelů strojírenských konstrukcí, sestav a výkresových dokumentací. Catia se také využívá na inženýrské analýzy, simulování NC obrábění, návržení průmyslových prostorů a na mnoho dalších inženýrských aplikací. [35]

5.2 AUTODESK SIMULATION MOLDFLOW SYNERGY 2016

Návrh konstrukce vstřikovací formy je ověřen tokovou analýzou v programu Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2016. Jedná se o aplikaci, která byla vyvinuta nadnárodní softwarovou společností Autodesk. Použití programu Moldflow je pro oblast simulování vstřikování plastů s cílem dosažení optimalizace konstrukce plastových dílců a vstřikovacích forem. Simulační program Moldflow umožňuje simulovat tok taveniny dutinou formy, čímž pomůže odhalit možné vady na výstřiku při definované konstrukci výrobku a procesních parametrech vstřikování. Pomocí Moldflow lze simulovat také tok taveniny vtokovým systémem, teplotou formy a smrštění či deformace vystříknutého výrobku. Kromě standartního simulování vstřikování termoplastů lze simulovat vstřikování reaktoplastů, dvoukomponentní vstřikování a jiné speciální způsoby vstřikování. [36], [37]

6 ZADANÝ VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

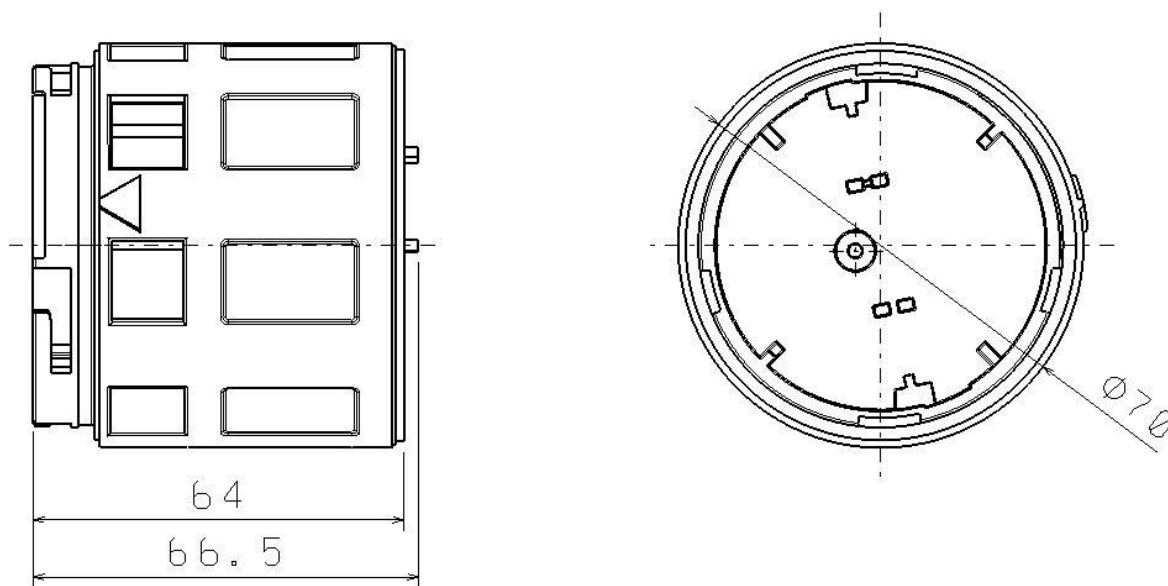
Navržená vstřikovací forma je určena pro vstřikovaný výrobek, kterým je dílec světelné signalizace. Tento dílec je součástí sestavy, která slouží jako světelný a akustický signalizační alarm používaný u výrobních strojů a zařízení. Úkolem tohoto alarmu je upozornit obsluhu příslušného zařízení na případnou poruchu či zastavení stroje.



Obr. 24. Pohled na vymodelovaný vstřikovaný výrobek

U vymodelovaného dílce byly provedeny konstrukční úpravy (viz kapitola 7.6), u kterých bylo nutné dodržet požadavky na funkční tvary a rozměry původního návrhu. Zachování původní geometrie se týká především funkční membrány s proměnnou tloušťkou stěny pohybující se od 0,8 mm do 1 mm. Příslušná membrána u vstřikovaného výrobku slouží k vytvoření akustického signálu, který vzniká mechanickým chvěním membrány. Tudíž je nutné u vstřikovaného výrobku dodržet původní rozměry navržené membrány dodané zadavatelem.

Základní rozměry vstřikovaného výrobku jsou u původního i upraveného modelu totožné. Tyto rozměry jsou zřejmé z obrázku č. 25.



Obr. 25. Základní rozměry vstříkovaného výrobku

Objem, hmotnost a povrch se u upraveného modelu od modelu původního příliš neliší. Konkrétní hodnoty u obou modelů lze vidět v tabulce č. 1.

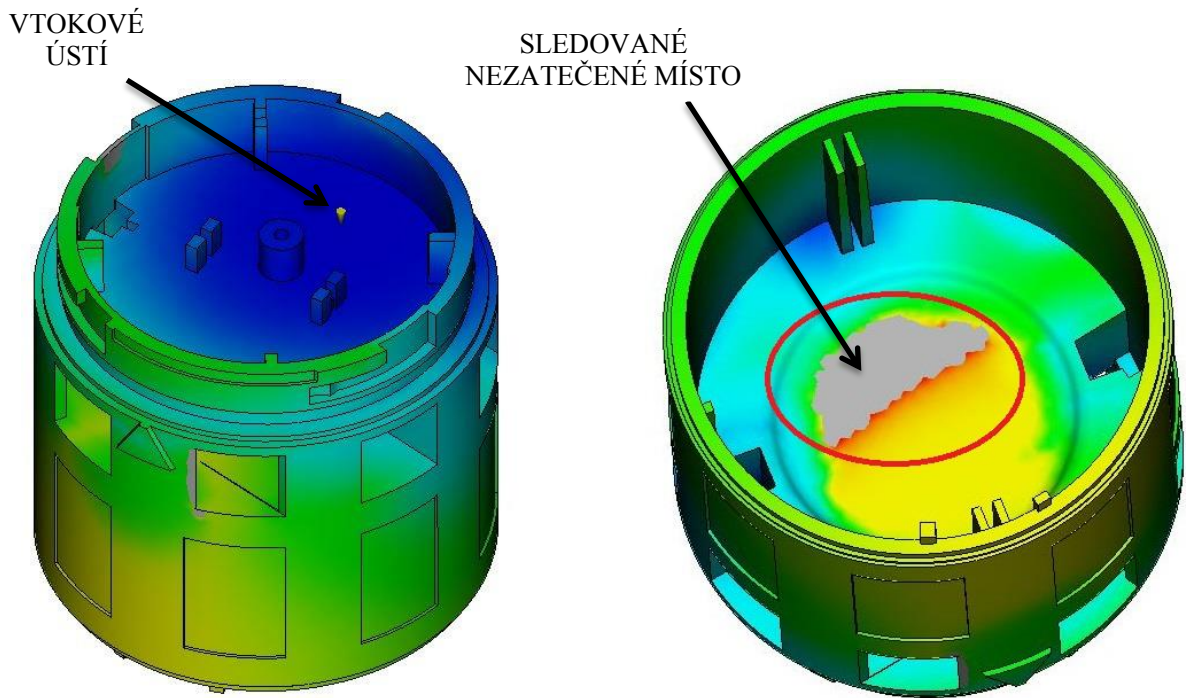
Tab. 1. Plocha, objem a hmotnost vstříkovaného výrobku

Sledovaná vlastnost	Jednotka	Původní model	Upravený model
Plocha	[cm ²]	414,8	414,8
Objem	[cm ³]	51,8	51,6
Hmotnost	[g]	62,2	61,9

6.1 Volba materiálu vstříkovaného výrobku

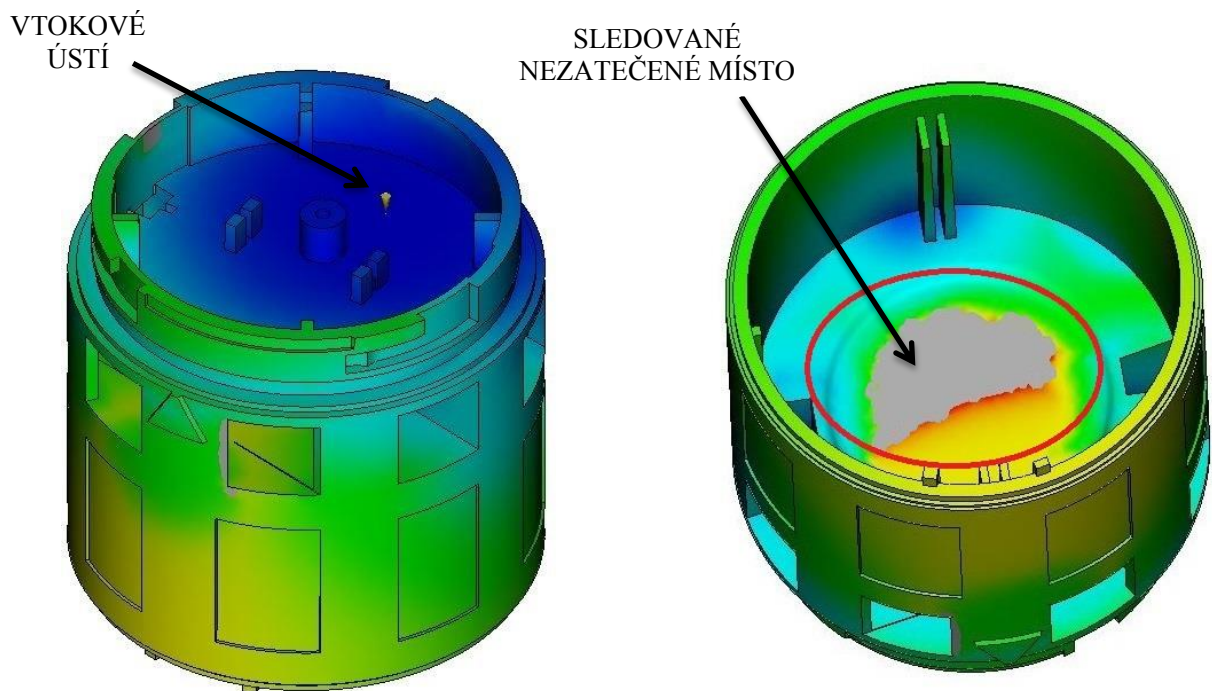
Při volbě materiálu vstříkovaného výrobku byly od zadavatele k dispozici na výběr dva různé typy polymerů. V obou případech se jednalo o polykarbonát (PC). K dispozici byl na výběr polymer s obchodním názvem Lexan 940 od společnosti Sabic, nebo polymer Makrolon 2805 od společnosti Bayer. Z důvodů tvarové složitosti výrobku a výskytu velmi tenkých stěn se při volbě polymeru vycházelo z tokových vlastností. Pro oba polymery byly provedeny analýzy plnění dutiny formy se shodným umístěním vtoku při doporučených zpracovatelských teplotách. V případě polymeru Lexan 940 byla při analýze dle ma-

teriálového listu nastavená teplota taveniny 301°C a teplota formy 82°C. Výsledek analýzy plnění dutiny formy je zřejmý z obrázku č. 26. [38], [39]



Obr. 26. Analýza plnění dutiny formy u polymeru Lexan 940

Při analýze plnění dutiny formy s polymerem Makrolon 2805 byla dle materiálového listu nastavená teplota taveniny 300°C a teplota formy 100°C.



Obr. 27. Analýza plnění dutiny formy u polymeru Makrolon 2805

Z výsledků analýz je zřejmé, že tokové vlastnosti při zpracovatelských podmínkách jsou u obou polymerů velmi podobné. U polymeru Lexan 940 došlo ovšem v porovnání s polymerem Makrolon 2805 k lepšímu zaplnění dutiny formy. Materiál ke zpracování vstřikovaného výrobku byl tedy zvolen Lexan 940.

6.1.1 Polymer LEXAN 940

Zvoleným materiálem ke zpracování zadaného výrobku je polykarbonát Lexan 940. Jedná se o termoplastický amorfni polymer patřící do skupiny polyesterů. Polykarbonáty vynikají dobrými mechanickými vlastnostmi a odolností vůči povětrnostním vlivům. Také jsou charakteristické svou transparentností a malou nasákavostí. Lexan 940 má dobré elektroizolační vlastnosti a vysokou odolností hoření. Aplikace příslušného plastu je především na výrobky pro elektrotechnický průmysl. Konkrétní vlastnosti tohoto plastu jsou uvedené v příloženém materiálovém listě v příloze P1. Doporučené zpracovatelské teploty jsou zřejmé z tabulky č. 2. Při konstrukci dutiny formy je nutné zohlednit velikost hodnoty smrštění, která se pohybuje v intervalu 0,5 až 0,7%. Hustota tohoto plastu je $1,2 \text{ g.cm}^{-3}$ a objemový index toku taveniny je $9 \text{ cm}^3 \cdot 10^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. [16], [38]

Tab. 2. Doporučené zpracovatelské teploty materiálu Lexan 940 z výpočetního programu Moldflow

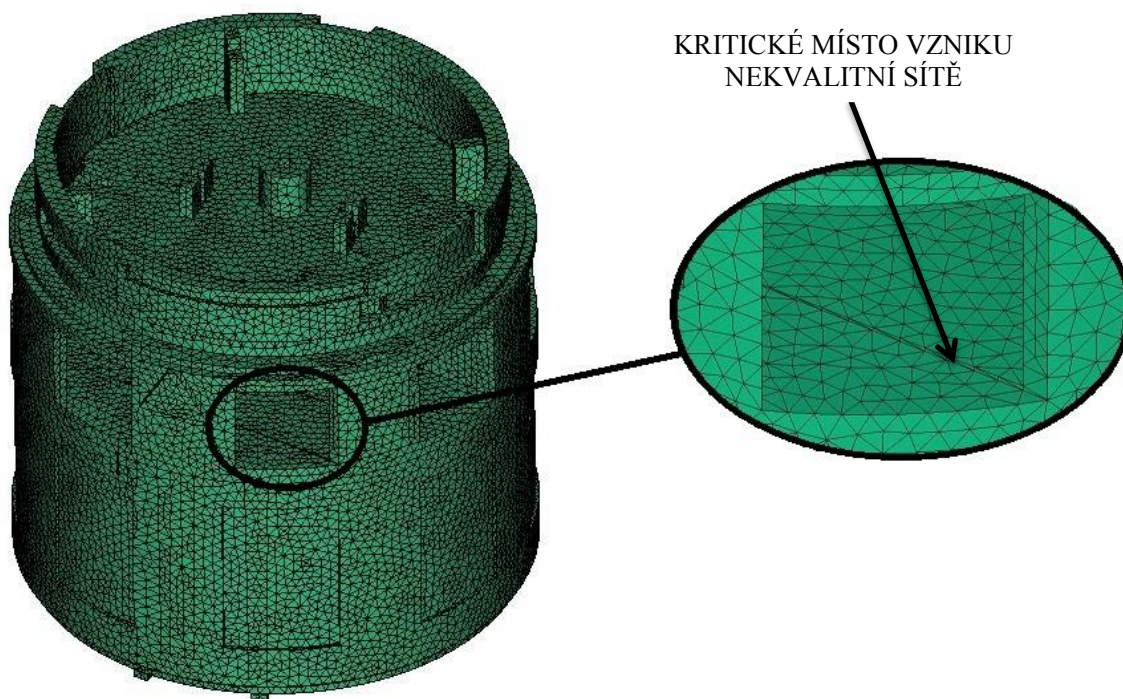
Doporučené hodnoty teplot	Jednotka	Hodnota
Teplota vstřikovací formy	°C	82
Teplota zpracovávané taveniny		301
Minimální doporučená teplota formy		71
Maximální doporučená teplota formy		93
Minimální doporučená teplota taveniny		287
Maximální doporučená teplota taveniny		315
Maximální možná teplota zpracovávané taveniny		355
Vyhazovací teplota		128

7 PŘÍPRAVA NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY

Před vlastním návrhem konstrukce vstřikovací formy proběhlo umístění výrobku do formy a byl proveden návrh geometrie vtokového systému. Také proběhla úprava vlastní konstrukce výrobku. Při řešení této části práce se vycházelo z analýzy optimálního umístění vtoku a tokových analýz plnění dutiny formy taveninou.

7.1 Kvalita sítě výrobku u tokových analýz

Vložení vymodelovaného dílce do programu Moldflow proběhlo ve formátu *.stp. Pro výpočetní analýzy byla zvolena síť plošných trojúhelníků *Dual-Domain*. Původní doporučená hodnota velikosti stran trojúhelníků 1,46 mm byla zaokrouhlena na 1,5 mm. Pokud by došlo k výraznějšímu zvětšení sítě, čas výpočtu tokové analýzy by se zkrátil, ale výsledky analýzy by dosahovaly menších přesností.



Obr. 28. Pohled na vysítovaný model výrobku

Na vysítovaném modelu jsou kritická místa vedoucí ke vzniku horší kvality sítě. Jednalo se o drobné plošky, na kterých vznikaly velké poměry stran trojúhelníků. Tyto plošky se vyskytují na velmi tenkých stěnách. Z důvodů zachování velmi tenkých stěn

s proměnnými tloušťkami nebylo vhodné pro výpočet analýzy příslušné kritické plošky z modelu odstranit. Výsledné hodnoty upravené sítě jsou uvedené na obrázku č. 29.

Triangles			

Entity counts:			
Triangles	58944		
Connected nodes	29456		
Connectivity regions	1		
Invisible triangles	0		
Area:			
Surface Area:	426.098	cm ²	
Volume by element types:			
Triangle:	52.434	cm ³	
Aspect Ratio:			
Maximum	Average	Minimum	
19.80	1.74	1.16	
Edge details:			
Free edges	0		
Manifold edges	88416		
Non-manifold edges	0		
Orientation details:			
Elements not oriented	0		
Intersection details:			
Element intersections	0		
Fully overlapping elements	0		
Match percentage:			
Match percentage	92.8%		
Reciprocal percentage	94.9%		

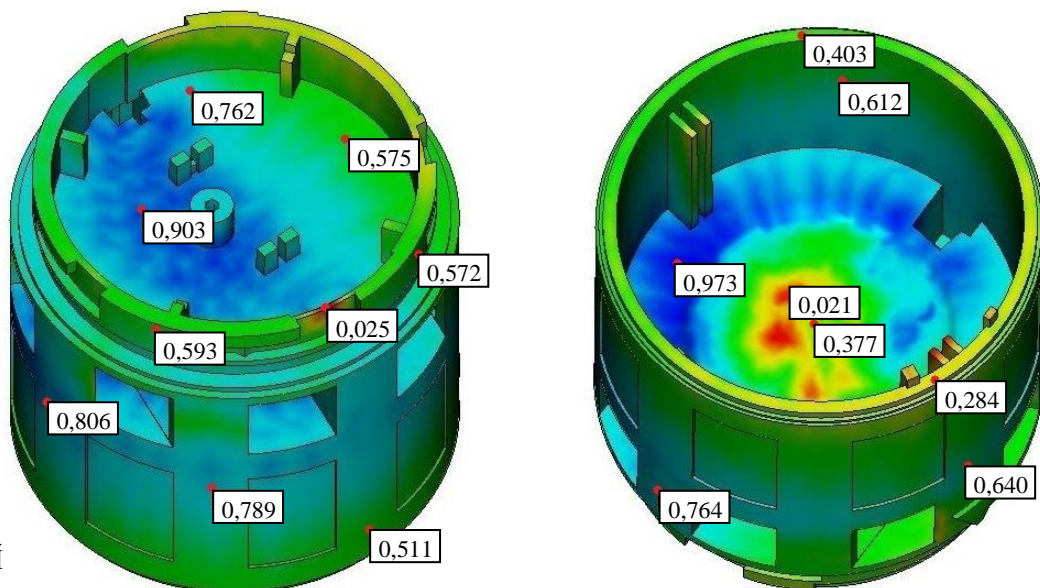
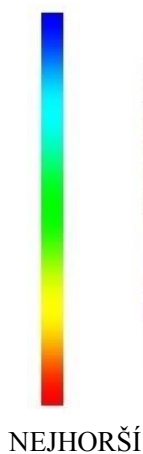
Obr. 29. Statistika vytvořené sítě modelu výrobku v programu Moldflow

7.2 Analýza vhodného umístění vtoku

Model vstříkovaného výrobku byl podroben analýze vhodného umístění vtoku. Výsledky jsou zřejmé z obrázku č. 30. Nejvhodnější místo pro vtok je charakterizováno modrou barvou. Jde o místo, kde je malý odpor vůči toku tavenině. Červená barva charakterizuje nejméně vhodná místa, která obvykle představují velmi tenké stěny.

UMÍSTĚNÍ
VTOKOVÉHO ÚSTÍ
[-]

NEJLEPŠÍ

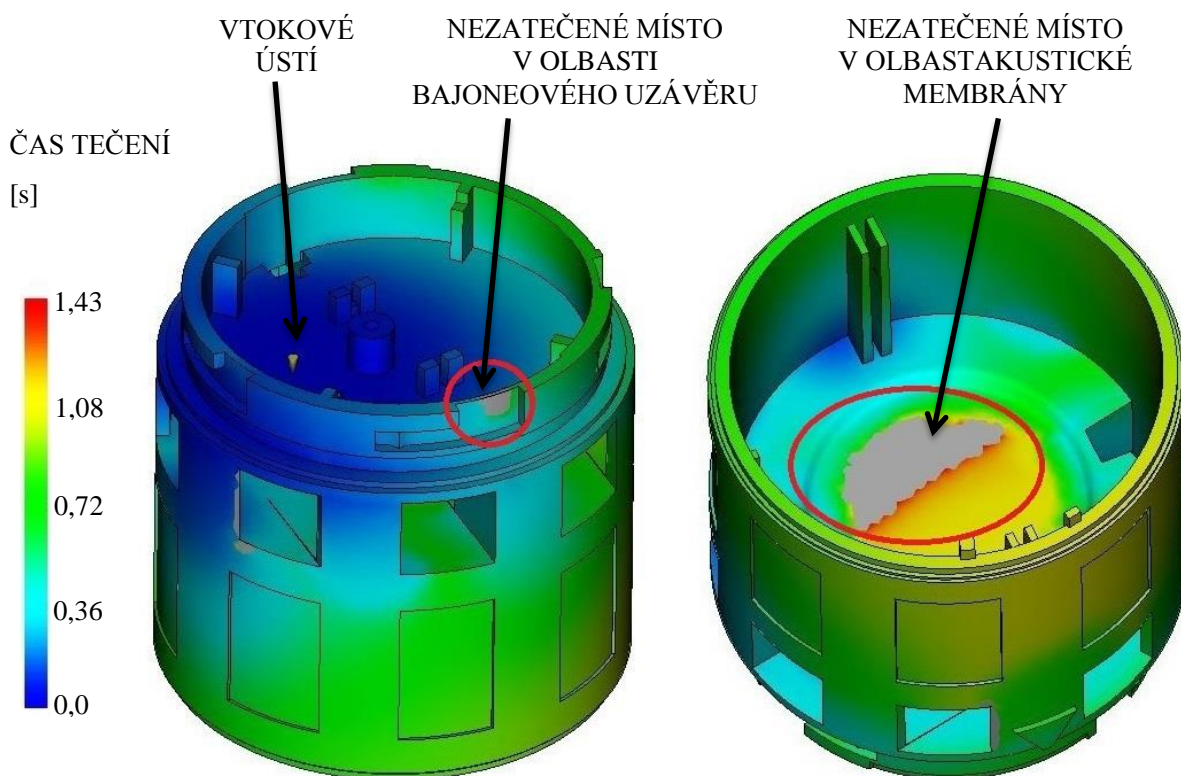


Obr. 30. Analýza optimálního umístění vtokového ústí

Z výsledků analýzy umístění vtokového ústí je zřejmé, že nejlepší pozice vtoku je ze spodní strany na stěnách, které drží akustickou membránu. V těchto místech je optimálnost vtoku až 97 % z nejlepšího možného místa. Bohužel v těchto místech je umístění vtokového ústí při konstrukci formy velmi obtížné. Vhodná pozice pro umístění vtoku je také v horní části výrobku. Optimálnost je zde až 90 % z nejlepšího možného umístění. Nejhorší možné umístění vtoku je v prostoru akustické membrány, protože se zde tloušťka stěny pohybuje ve velmi malých hodnotách. V některých místech na membráně, kde je velmi malá tloušťka stěny, je optimálnost vtoku dokonce menší než 3 %.

7.3 Analýza plnění dutiny formy z horní části výrobku

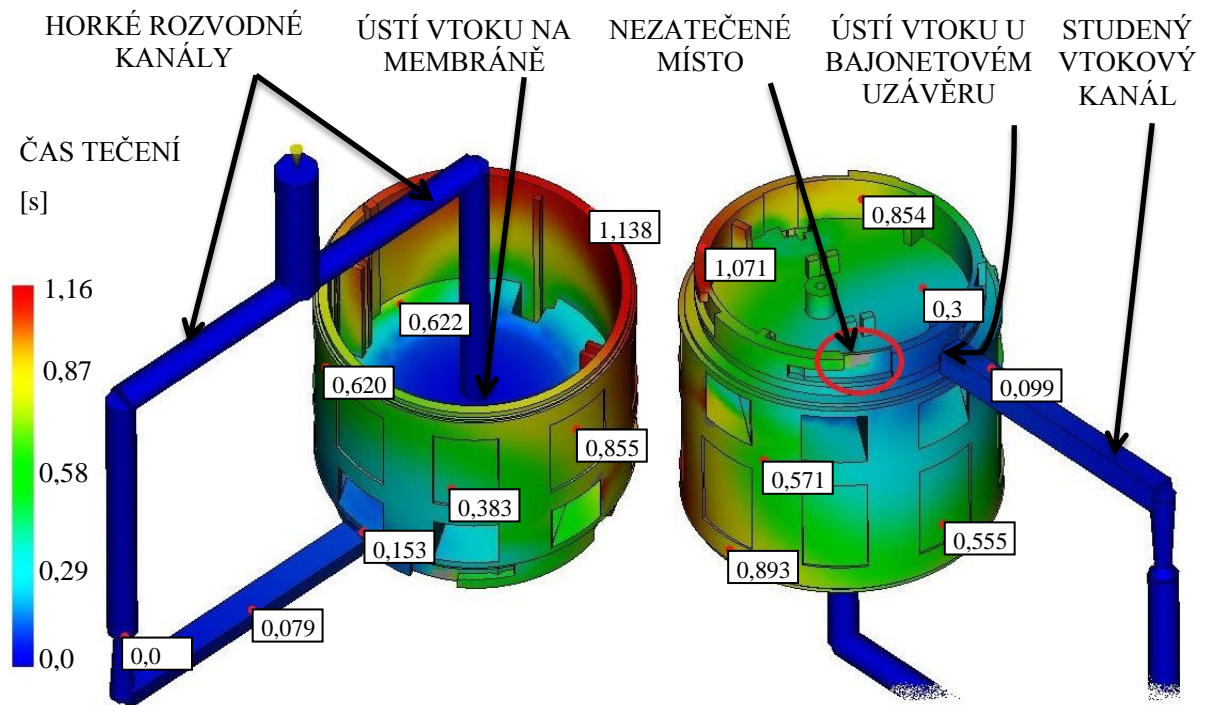
Pro vlastní konstrukci formy bylo nutné navrhnout geometrii vtokového systému a vhodně určit polohu ústí vtoku na vstřikovaném výrobku. Při uložení vtokového ústí do horní části výrobku, ve které se vhodnost uložení pohybovala okolo 90 % z nejlepšího možného místa, bohužel tavenina nevyplnila celou dutinu formu. Nedošlo zde k zatečení stěny v místě akustické membrány a v místě bajonetového uzávěru. Změnami procesních podmínek nebylo možné dosáhnout zatečení taveniny ani do jednoho ze zmíněných míst.



Obr. 31. Plnění dutiny formy při uložení vtoku do horní části výrobku

7.4 Analýza plnění dutiny formy dvěma vtoky

Dle požadavků zadavatele konstrukce vstřikovací formy bylo vtokové ústí uloženo do střední části akustické membrány. Tento požadavek byl z důvodů zachování její funkčnosti, zamezení vzniku studených spojů ve střední části membrány a z důvodů orientace toku taveniny. Vhodnost umístění vtoku do tohoto místa se pohybuje okolo pouhých 38 % z nejlepšího možného místa. Z tohoto důvodu bylo nutné dutinu formy opatřit ještě jedním vtokem. Jde tedy o kombinaci horkého a studeného vtokového systému. Poloha druhého vtoku byla zvolena do nepohledové části výrobku v oblasti bajonetového uzávěru. Snahou zde bylo umístit vtok do blízkosti kritického místa, ve kterém je riziko nezatečení taveniny. Vhodnost umístění vtokového ústí se zde pohybuje okolo 57 %.

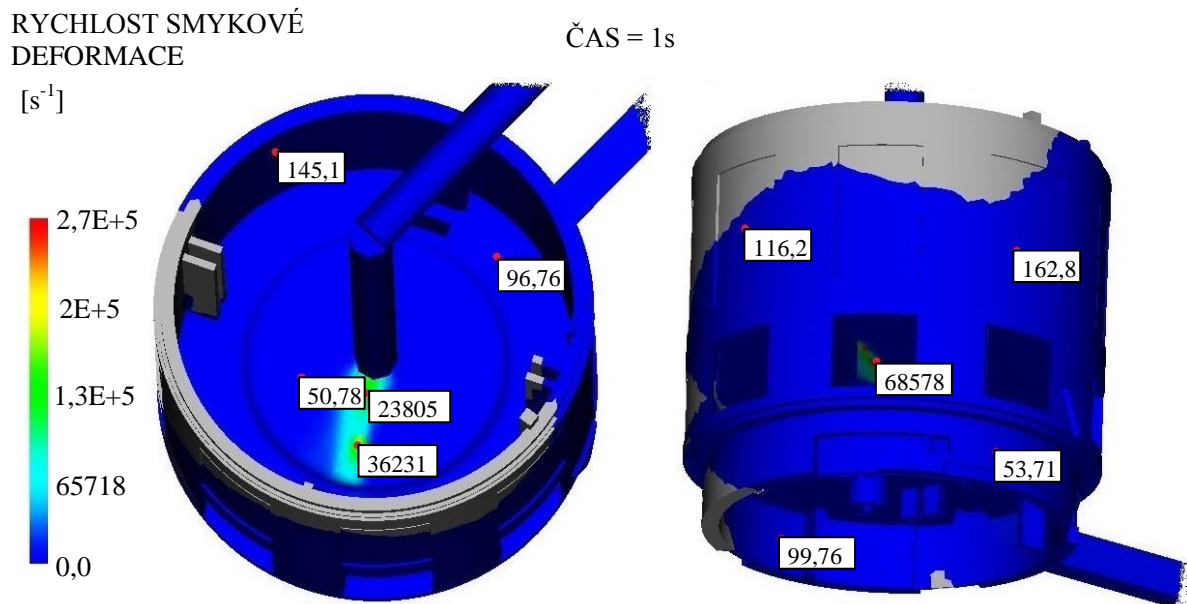


Obr. 32. Plnění dutiny formy při použití dvou vtoků

Plnění dutiny formy dvěma vtokovými ústí vyřeší problém se zatečením taveniny v oblasti akustické membrány. Bohužel stále tavenina nezateče do úzké stěny na bajonetovém uzávěru. Tento nedostatek nebylo možné odstranit změnami procesních podmínek a ani polohou druhého vtokového ústí. Řešení tohoto nedostatku je rozebráno v kapitole 7.6.1. Orientační doba plnění dutiny dvěma vtoky je 1,2 sekundy.

7.4.1 Rychlost smykové deformace při vstřikování dvěma vtoky

Při plnění dutiny vstřikovací formy dvěma vtokovými ústí vzniká problém s velmi vysokou hodnotou rychlosti smykové deformace. Rychlost smykové deformace charakterizuje intenzitu smykového toku a matematicky je vyjádřena jako derivace rychlosti tečení ve směru kolmém na směr toku.

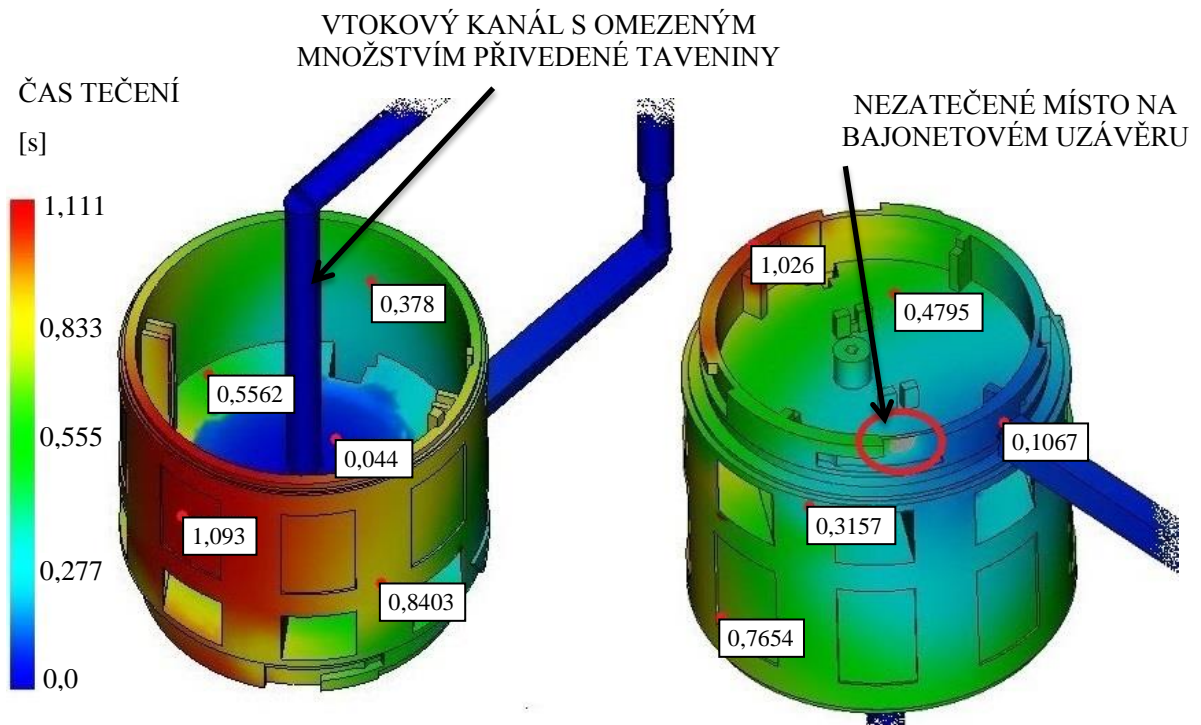


Obr. 33. Rychlost smykové deformace při vstřikování dvěma vtoky

Velikost hodnoty rychlosti smykové deformace dosahuje při plnění dutiny formy dvěma vtokovými ústími až 270000 s^{-1} . Nejvyšší hodnoty se vyskytují ve velmi tenké stěně, kterou je již zmíněná akustická membrána. Maximální doporučená hodnota rychlosti smykové deformace je dle programu Moldflow u materiálu Lexan 940 pouhých 40000 s^{-1} . Příliš vysoké hodnoty rychlosti smykové deformace vedou u vstřikovaného výrobku ke zhoršení kvality a k degradaci materiálu. Snížit tuto hodnotu lze zvýšením teploty taveniny, která zapříčiní snížení viskozity. Nižší viskozitu taveniny lze získat i volbou jiného polymeru s vyšším indexem toku taveniny. Změnou polymeru by bylo možné dosáhnout i vyšších doporučených hodnot rychlosti smykové deformace. Volba materiálu není ovšem od zadavatele povolena. Další možností snížení rychlosti smykové deformace je rozšíření úzké stěny. To bohužel není možné, protože se zde jedná o prostor akustické membrány.

7.5 Analýza plnění dutiny formy dvěma sekvenčními vtoky

Z důvodů zaručení funkčnosti výrobku není varianta změny materiálu a rozšíření stěny výrobku povolena. Změna technologických parametrů nevedla k výraznému zlepšení. Snaha snížit hodnotu rychlosti smykové deformace vede k použití sekvenčních vtoků, které omezí množství taveniny přitečené do střední části akustické membrány na minimum. Zbytek dutiny formy je vyplněn druhým vtokovým ústím. Bohužel je zde stále problém se zatečením taveniny do úzkého prostoru na bajonetovém uzávěru. Nastavená doba plnění ústím vtoku uprostřed akustické membrány je 0,15 sekundy. Tímto vtokem přiteče přibližně 1,5 g taveniny. Doba plnění celé dutiny formy je zhruba 1,1 sekundy.

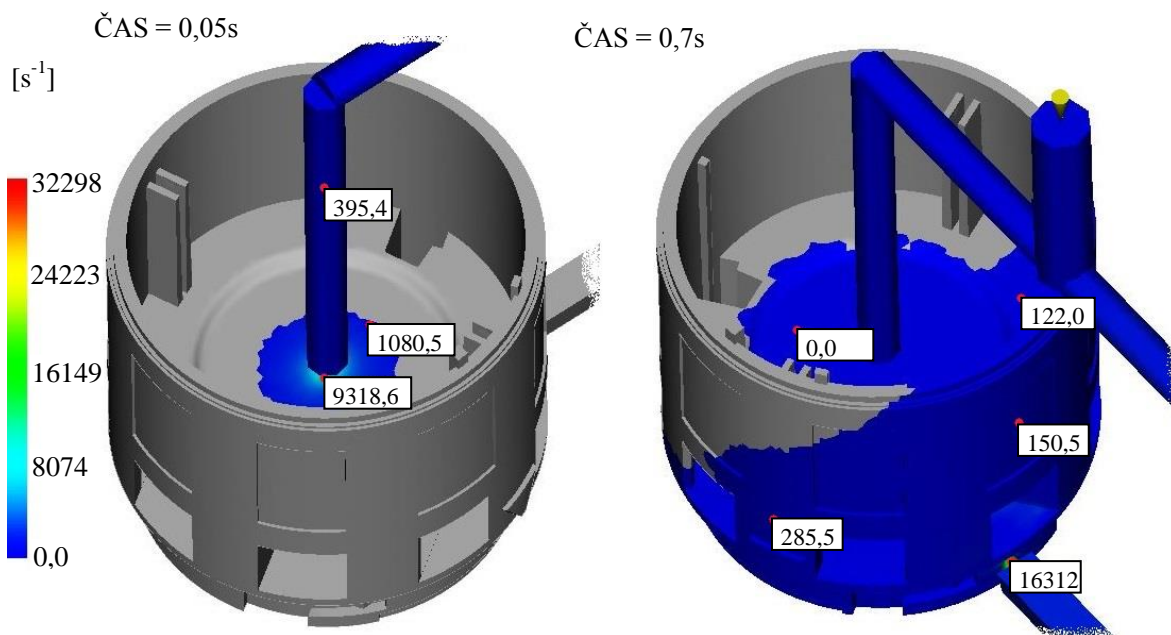


Obr. 34. Plnění dutiny formy při použití dvou sekvenčních vtoků

7.5.1 Rychlost smykové deformace při použití sekvenčních vtoků

Rychlost smykové deformace při použití dvou sekvenčních vtoků poklesla z původní maximální hodnoty 270000 s^{-1} na hodnotu 32300 s^{-1} . Tím bylo dosaženo poklesu pod povolenou hodnotu 40000 s^{-1} a odstraněno riziko degradace materiálu při vstřikování. Maximální hodnota zde vzniká ve vtokovém ústí. Pokud by byl s rychlostí smykové deformace problém, bylo by vhodné vtokové ústí rozšířit, nebo by bylo možné zvýšit teplotu vstřikované taveniny.

RYCHLOST SMYKOVÉ DEFORMACE



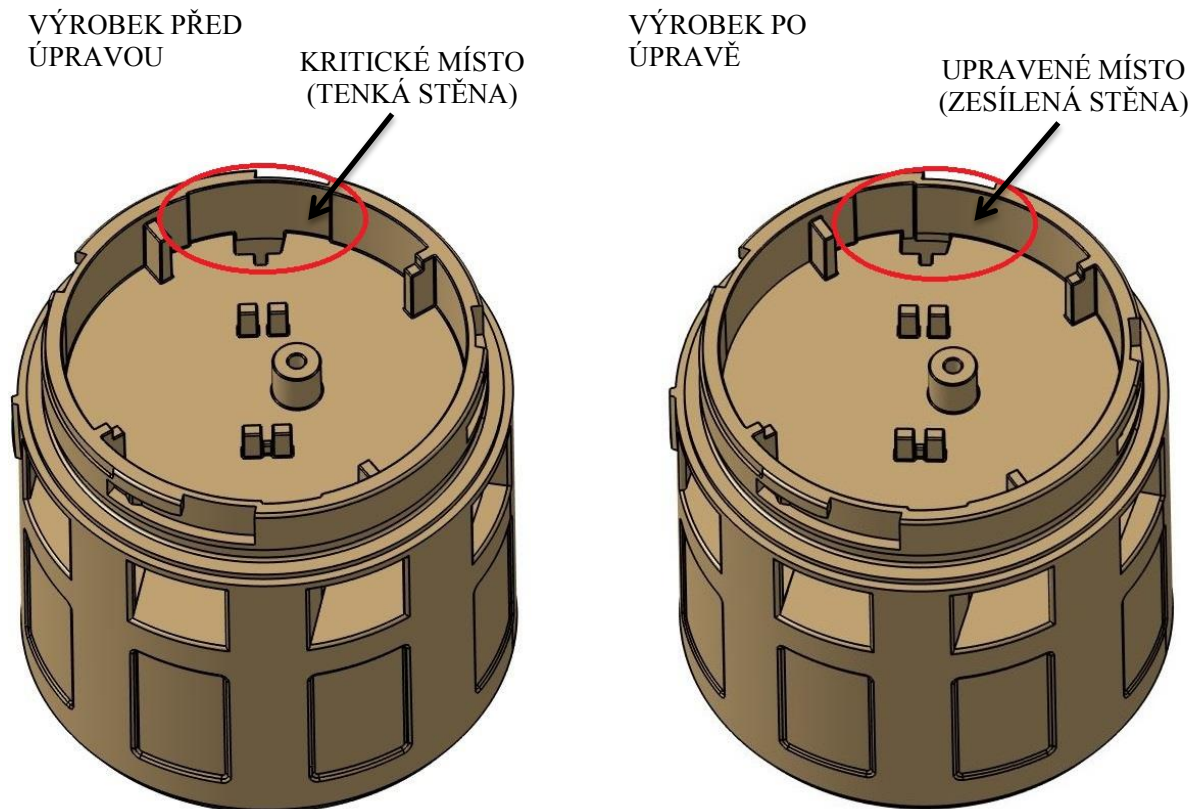
Obr. 35. Rychlost smykové deformace při použití sekvenčních vtoků

7.6 Návrh úpravy konstrukce vstříkovaného výrobku

Před vlastním zahájením modelování vstříkovací formy byl proveden návrh úpravy konstrukce vstříkovaného výrobku. U výrobku bylo nutné konstrukčně vyřešit problém se zatékáním taveniny do úzkého prostoru u bajonetového uzávěru, který činil potíže i při vstříkování sekvenčními vtoky. Také byla provedena změna vnitřních podkosů, se kterými by výrobek nebylo možné z dutiny formy odformovat.

7.6.1 Úprava tloušťky stěny výrobku u bajonetového uzávěru

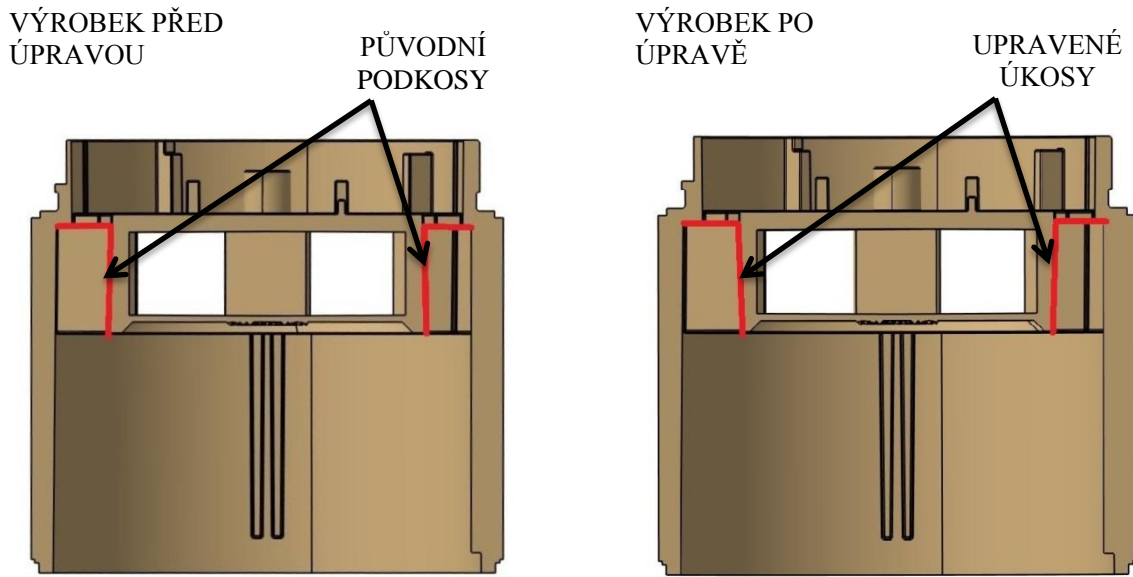
U vstříkovaného výrobku byla provedena konstrukční úprava v oblasti bajonetového uzávěru, ve které byla původně příliš tenká stěna. Z výsledků tokových analýz bylo zřejmé, že v tomto místě nedojde k dokonalému zatečení taveniny. Změnami procesních podmínek a změnami polohy vtokového ústí nebylo možné v tomto místě dosáhnout zatečení taveniny. S ohledem na zachování funkčnosti výrobku a zachování tolerovaných rozměrů dle dodaného výkresu bylo kritické místo s úzkou stěnou rozšířeno. Úprava tloušťky stěny je zřejmá z následujícího obrázku č. 36.



Obr. 36. Úprava tloušťky stěny výrobku u bajonetového uzávěru

7.6.2 Úprava podkosů ve vnitřní části výrobku

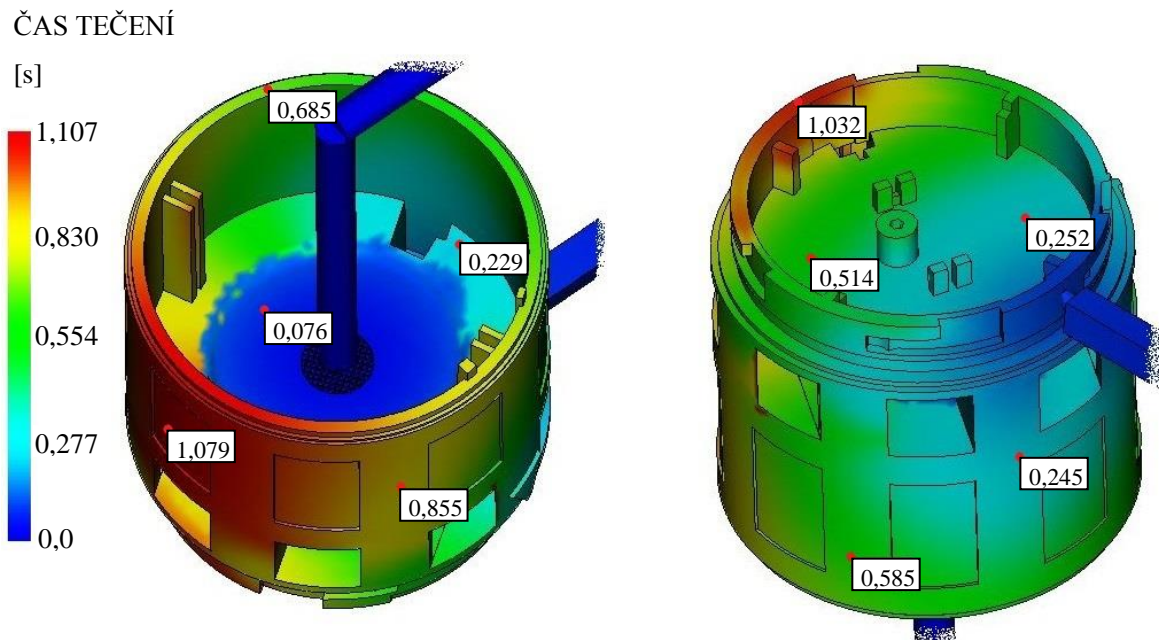
Z důvodů požadavku snadnější odformovatelnosti proběhly na výrobku konstrukční úpravy. Původní podkosy otvorů ve vnitřní části výrobku byly změněny na úkosy. Tento problém by bylo možné řešit i při vlastní konstrukci vstříkovací formy šikmými vyhazovacími kolíky. Šikmé vyhazovací kolíky by ale byly velmi tenké a hrozila by jejich porucha, protože rozměry vnitřních otvorů na výrobku jsou velmi malé. Použitím těchto šikmých vyhazovacích kolíků by také vzrostly náklady na výrobu vstříkovací formy. Změnou podkosů na úkosy nebyla ovlivněna funkčnost vstříkovaného výrobku a také zůstala zachována jednodušší konstrukce formy. Velikost úhlů původních podkosů byla $0,5^\circ$. Na nově navržené otvory s úkosy jsou použity úhly stejné velikosti. Je zde pouze změněná orientace naklonění stěny otvorů na výrobku. Úprava sklonu vnitřních otvorů na výrobku je zřejmá z následujícího obrázku č. 37.



Obr. 37. Řez původním a nově upraveným modelem vstřikovaného výrobku

7.6.3 Kontrolní analýza plnění dutiny formy u upraveného modelu výrobku

Upravený model vstřikovaného výrobku byl ověřen tokovou analýzou. Tavenina za-tekla do celé dutiny vstřikovací formy a vyplnila celý objem vstřikovaného výrobku. Doba plnění dutiny formy je přibližně 1,1 sekundy.



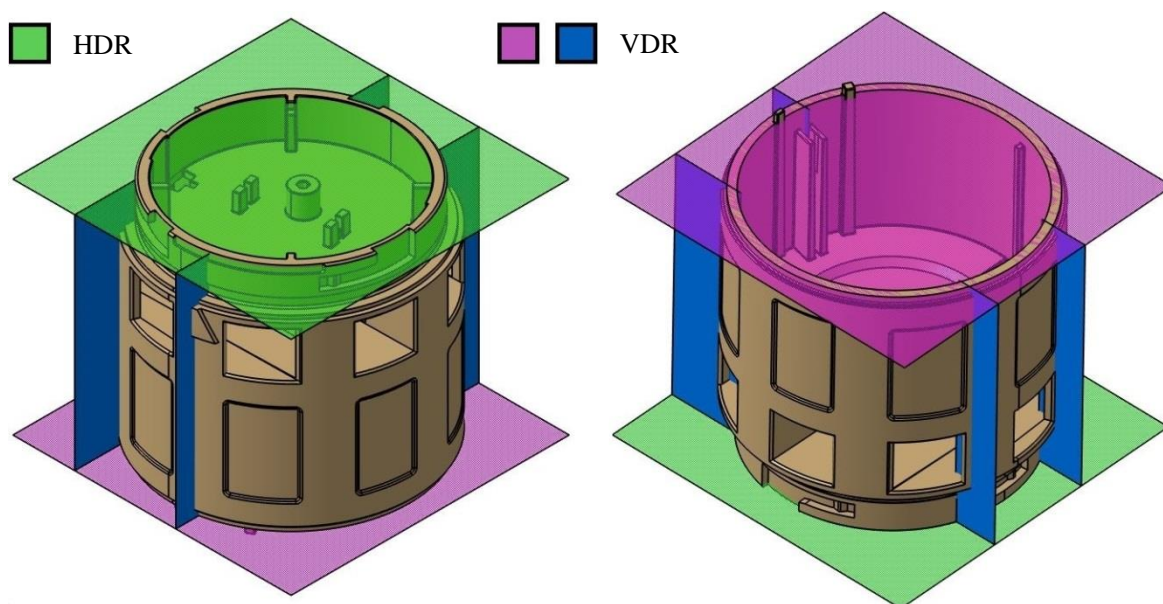
Obr. 38. Analýza plnění dutiny formy u upraveného modelu výrobku

8 NÁVRH KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Navržená vstřikovací forma je řešena jako jednonásobná, v jednom vstřikovacím cyklu umožní tedy vyrobit jeden výrobek. Tavenina polymeru je do dutiny formy vstříknuta pomocí vtokového systému, který je kombinací horké i studené varianty. Temperování formy je provedeno vrtnými kanály s cirkulující vodou a vyhazování výstřiků je řešeno válcovými vyhazovači. Součástí formy je také odformovací mechanismus s tvarovými čelistmi ovládaný šikmými kolíky a hydraulickými tahači. Při konstrukci formy byly použity především normálie firmy Meusburger.

8.1 Zaformování vstřikovaného výrobku do vstřikovací formy

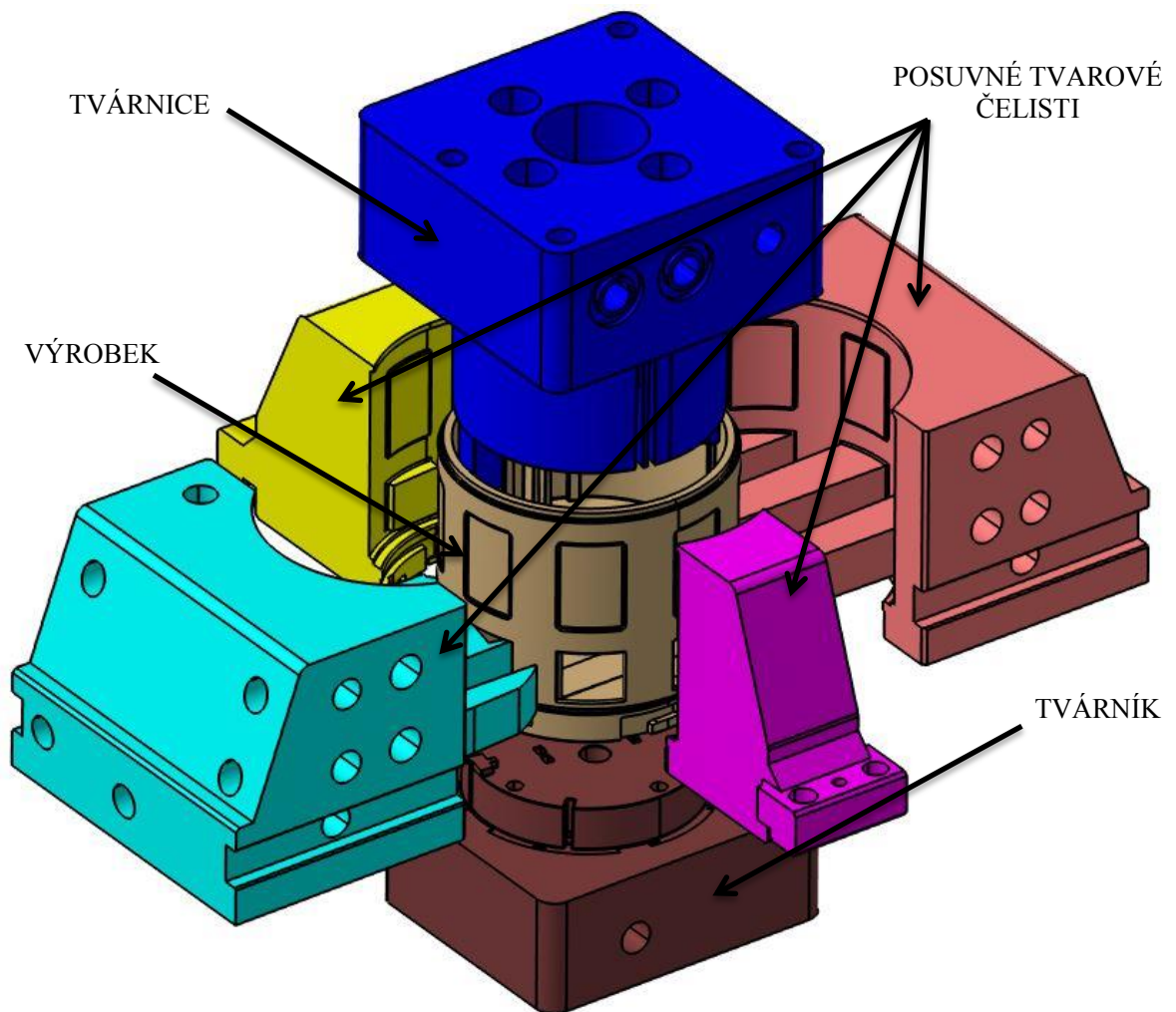
Vstřikovaný výrobek je do vstřikovací formy uložen ve vertikální poloze. Aby bylo možné po vystříknutí výrobek z dutiny formy vyjmout, je zaformován pomocí více dělicích rovin. Hlavní dělicí rovina (HDR) se vyskytuje mezi tvárníkem a posuvnými tvarovými čelistmi. Na obrázku č. 39 je HDR vykreslena zelenou barvou. Vedlejší dělicí roviny (VDR) se vyskytují mezi tvárnicí a posuvnými čelistmi. VDR mezi tvárnicí a posuvnými tvarovými čelistmi je vykreslena barvou fialovou a mezi tvarovými čelistmi navzájem barvou modrou.



Obr. 39. Zaformování vstřikovaného výrobku do dělicích rovin

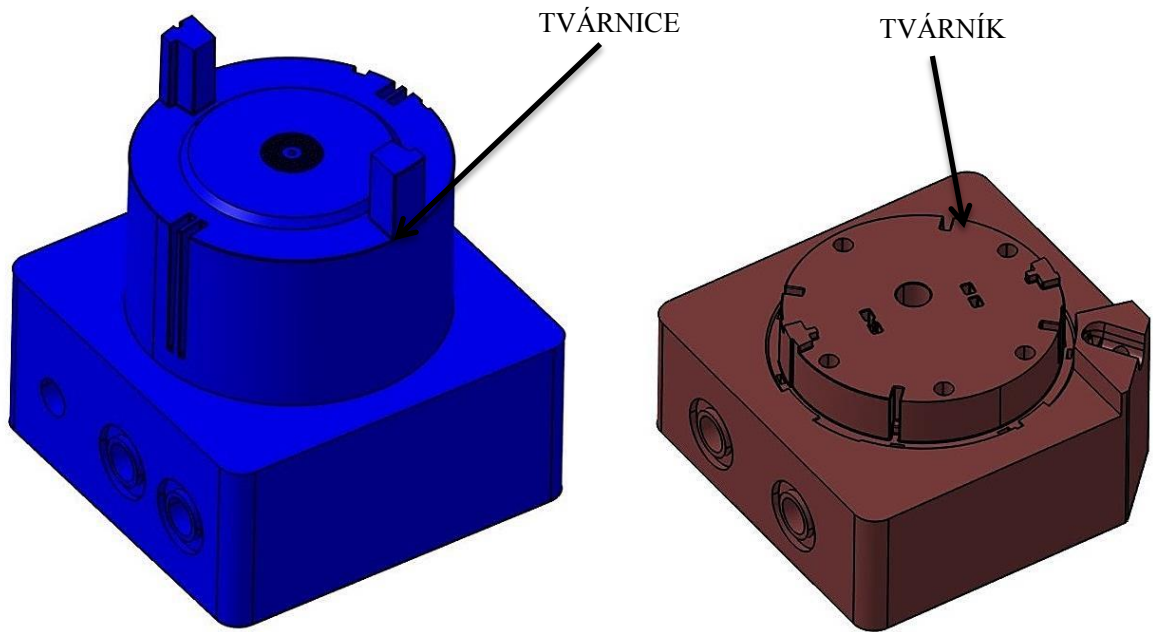
8.2 Tvarové části vstřikovací formy

Dutina vstřikovací formy, která definuje tvar vstřikovaného výrobku, je vymezena tvarovými částmi formy. Velikost dutiny byla při konstruování zvětšena o velikost smrštění vstřikovaného polymeru Lexan 940. Hodnota smrštění je dle materiálového listu v intervalu 0,5 až 0,7 %. K vlastnímu zvětšení dutiny formy byla zvolena průměrná hodnota 0,6 %. Mezi tvarové části navržené vstřikovací formy patří tvárník, tvárnice a čtyři posuvné tvarové čelisti. Zvoleným materiálem tvarových částí formy je ocel ČSN 19 552.



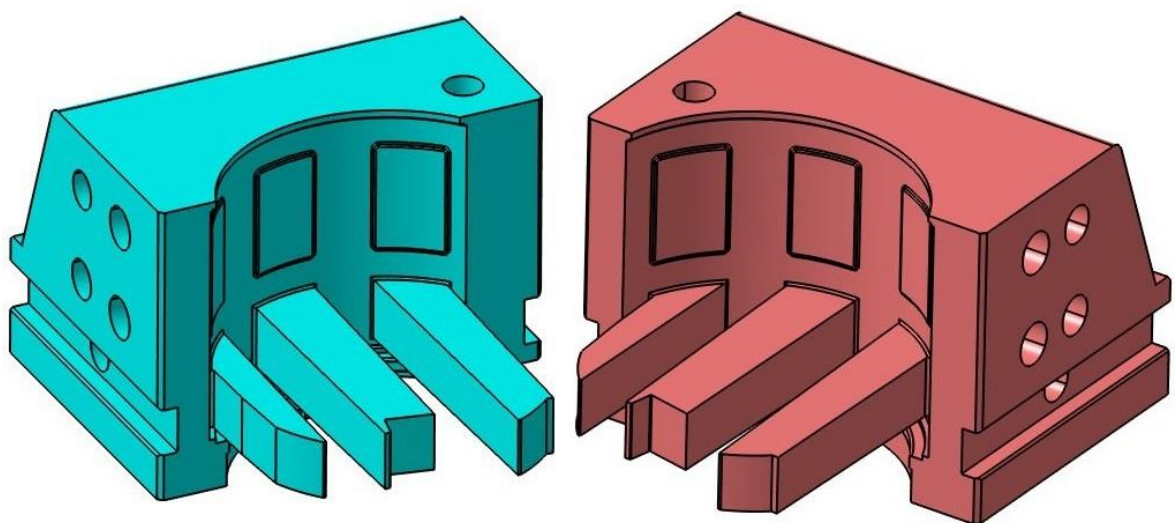
Obr. 40. Zaformování výrobku do tvarových částí vstřikovací formy

Tvárník s tvárnicí jsou řešeny tvarovými vložkami o rozměrech 80 x 80 mm a o výškách, které jsou dány tloušťkami tvarových desek. Každá tvarová vložka je vsazena do tvarové desky a přišroubována čtyřmi šrouby M8 k opěrným deskám. Obě tvarové vložky jsou temperovány vrtanými kanály s cirkulujícím temperačním médiem.

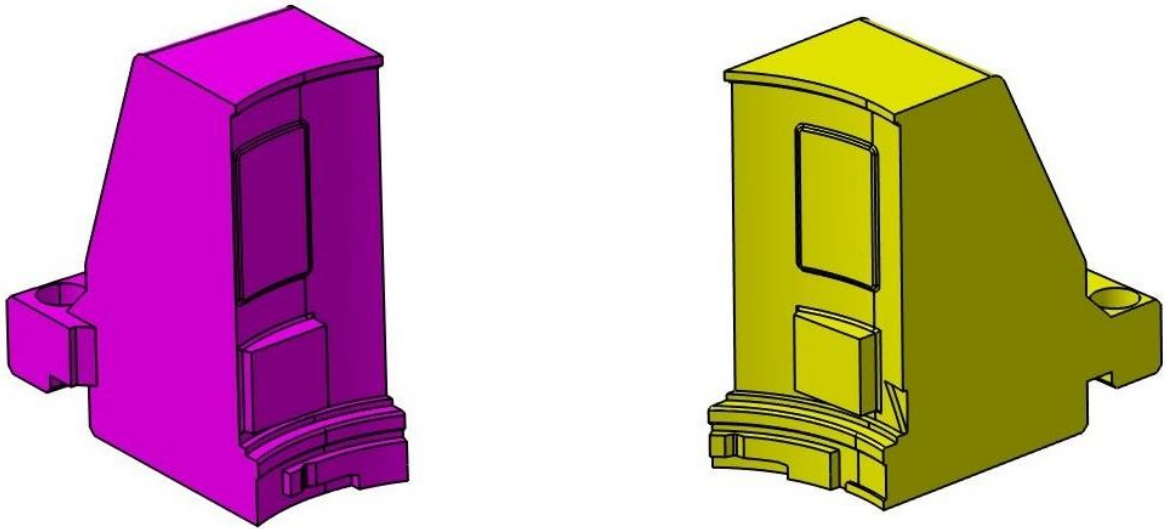


Obr. 41. Tvarové vložky navržené vstříkovací formy

Odformování bočních stěn výrobku je provedeno čtyřmi posuvnými tvarovými čelistmi. Jedná se o dvě větší čelisti, které jsou temperované vrtanými kanály, a o dvě menší čelisti. Ovládání pohybu u velkých čelistí je pomocí hydraulických pístů. Zbylé dvě menší čelisti nejsou z důvodů malých rozměrů temperované a jejich ovládání pohybu je šikmými kolíky s posuvnými kostkami.



Obr. 42. Velké posuvné tvarové čelisti navržené formy



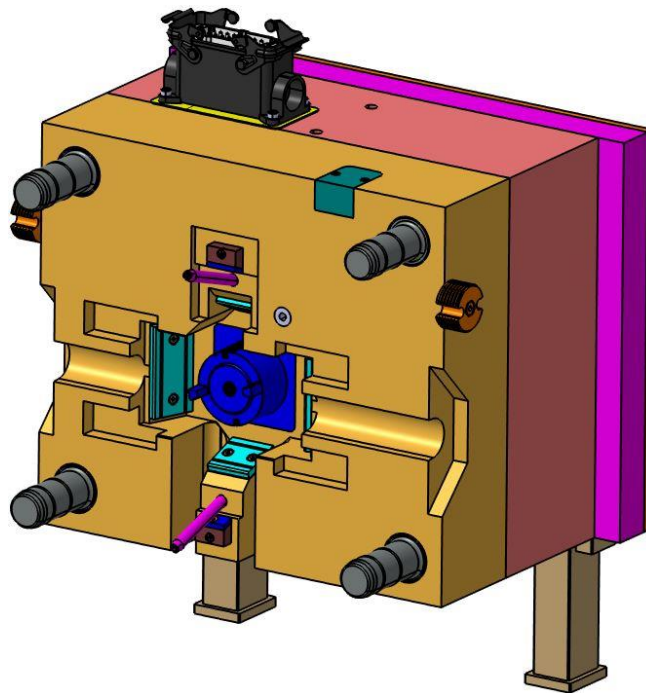
Obr. 43. Malé posuvné tvarové čelisti navržené formy

8.3 Rám navržené vstříkovací formy

Navržená vstříkovací forma je složená ze tří základních podsestav. Jedná se o podstavu pevné části formy, podstavu pohyblivé části a podstavu vyhazovacího systému.

8.3.1 Pevná část vstříkovací formy

Tato část vstříkovací formy je nepohyblivá a je připevněna k upínací desce stroje na straně se vstříkovací jednotkou. Pohled na tuto část formy je možný na obrázku č. 44.

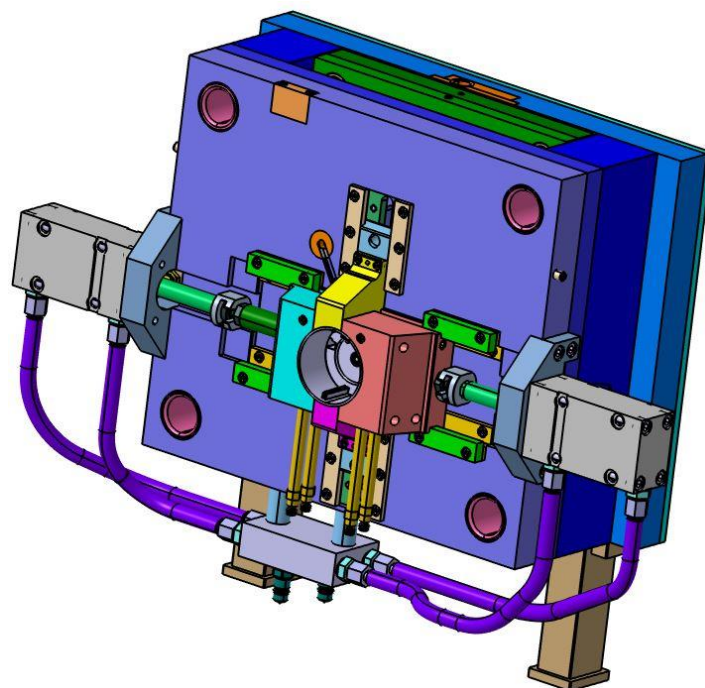


Obr. 44. Pevná část navržené vstříkovací formy

Součástí nepohyblivé části formy je pravá upínací deska, pravá opěrná deska a pravá tvarová deska s tvarovou vložkou (tvárnici). Dále se zde nachází horký rozvodný systém formy, vodící čepy, středící trubky, pravý středící kroužek, izolační deska, zámky tvarových čelistí s šikmými čepy a spojovací prvky. Pravá opěrná deska má ze všech desek na vstřikovací formě největší tloušťku, protože slouží k uložení horkého rozvodného bloku, který je opatřen hydraulicky ovládanými vtokovými tryskami. Celkové pohledy na pevnou část vstřikovací formy jsou možné v příloze P4.

8.3.2 Pohyblivá část vstřikovací formy

Pohyblivá část vstřikovací formy umožňuje svými pohyby otevírání a zavírání dutiny formy. Uložení pohyblivé části formy je na upínací desce uzavíracího mechanismu vstřikovacího stroje. Součástí této podsestavy formy je levá upínací deska, dvě rozpěrné desky, levá opěrná deska a levá tvarová deska s tvarovou vložkou (tvárníkem). Vyskytují se zde také čtyři posuvné tvarové čelisti, hydraulické písty, posuvné kostky, vodící lišty, vodící pouzdra, středící trubky, izolační deska a levý středící kroužek. Tloušťky všech desek byly voleny co nejmenší, aby bylo možné vstřikovací formu použít pro předepsaný vstřikovací stroj ENGEL VC 330/80 spex. Velká šířka formy je zapříčiněná velkou tloušťkou pravé opěrné desky s uloženým horkým vtokovým systémem. Součástí pohyblivé strany formy je také vyhazovací systém, který je podrobně rozebrán v kapitole 8.7. Celkové pohledy na pohyblivou část formy, včetně vyhazovacího systému, je možné vidět v příloze P5.



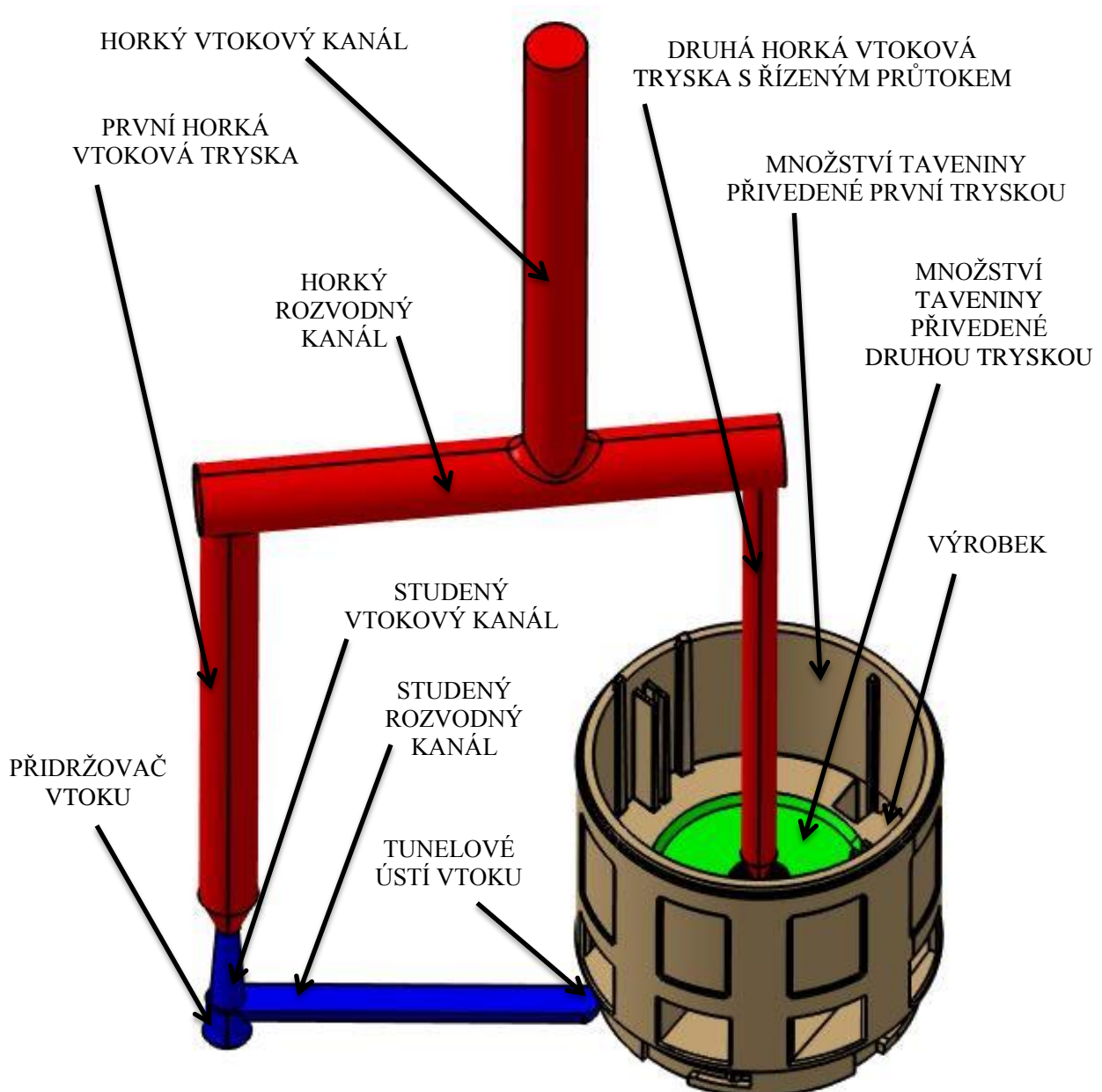
Obr. 45. Pohyblivá část navržené vstřikovací formy

8.4 Vtokový systém vstříkovací formy

Vstříkovaná tavenina je do dutiny formy přivedena kombinovaným vtokovým systémem pomocí dvou vtokových ústí. První vtokové ústí je na výrobku uloženo do střední části akustické membrány. Tento vtok je vyveden přímo z vyhřívané vtokové trysky, u které je pomocí jehly regulovaný průtok taveniny. Množství taveniny přivedené tímto regulovaným vtokem je 1,5 g. Druhé vtokové ústí je na výrobku umístěné v nepohledové oblasti u bajonetového uzávěru. Jedná se o tunelové vtokové ústí ze studeného vtoku, které při vyhození výstřiku z dutiny formy umožní odstrižení vtokového zbytku od výrobku. Tímto vtokem je přivedena tavenina do zbylého objemu dutiny formy. Tavenina do studeného vtokového systému přitéká druhou vyhřívanou vtokovou tryskou, u které již průtok regulován není. Rozměry studeného vtokového systému byly voleny dle literatury [3]. Studený rozvodný kanál má lichoběžníkový průřez se zaoblenými hranami. Délka rozvodného kanálu je 72 mm, šířka kanálu 7 cm a úhel úkosu kanálu je 15° . Studený rozvodný kanál je součástí pohyblivé části formy. Umístění studeného vtokového kanálu je ve vtokové vložce, která je součástí horkého vtokového systému.

Horký vtokový systém byl poptán a na míru navržen ve firmě Synventive. Jedná se o systém složený z horkého rozvodného bloku, který je vytápěn dvěma odporovými topnými dráty. Na horkém vtokovém bloku jsou nesymetricky uloženy dvě vyhřívané trysky. Obě trysky jsou uzavíratelné jehlami ovládanými hydraulickými válci. Na dodaném horkém vtokovém systému byla dodatečně horká vtoková vložka opatřena rádiusem 15,5 mm, který je potřebný pro dokonalé dosednutí trysky vstříkovacího stroje. Napájení topných těles horkého vtokového systému je provedeno šestnácti kolíkovým konektorem od firmy Konel.

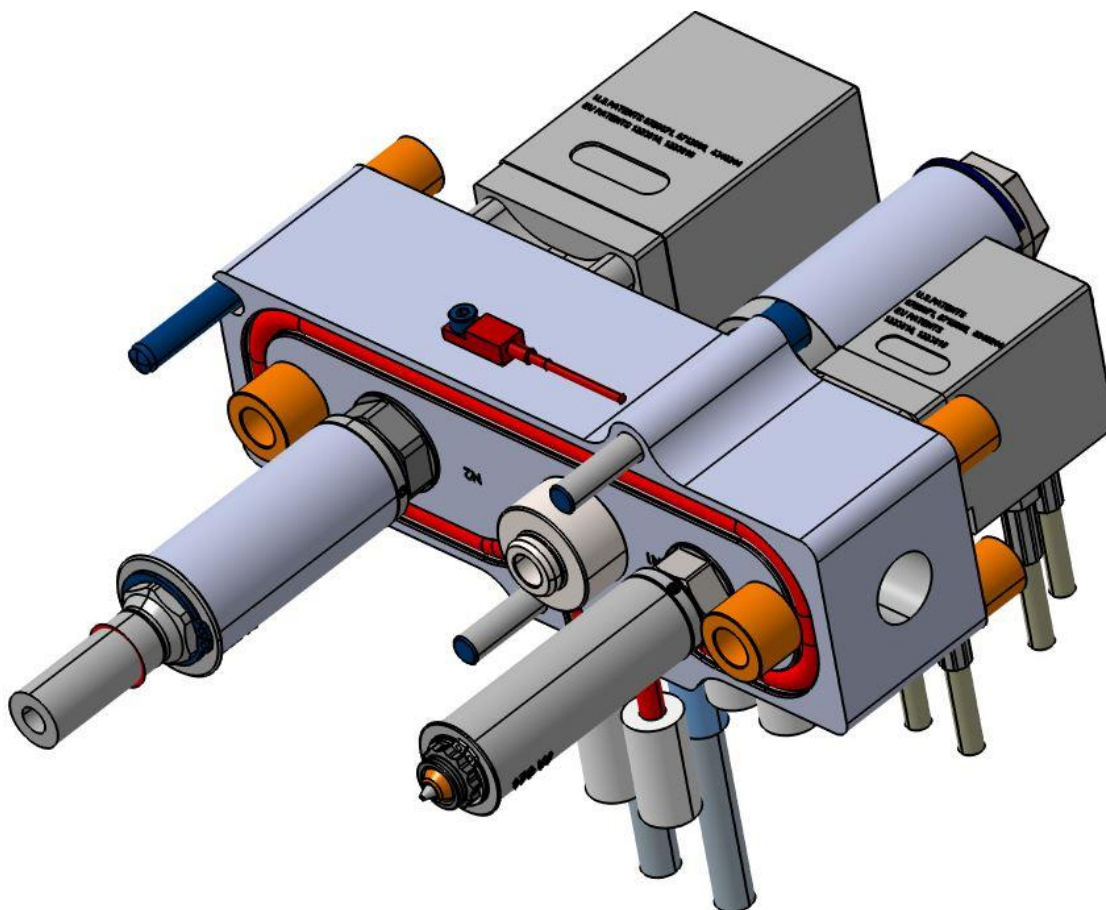
Celkovou geometrii vtokového systému navržené vstříkovací formy lze vidět na obrázku č. 46. Horký vtokový systém navržený firmou Synventive je zobrazen na obrázku č. 47.



Obr. 46. Pohled na vstřikovaný výrobek s vtokovým systémem formy

Vstřikovaný výrobek se studeným vtokovým systémem je přidržen na pohyblivé části formy. K přidržení vtokového zbytku napomáhá přidržovač vtoku E1660/24x36.

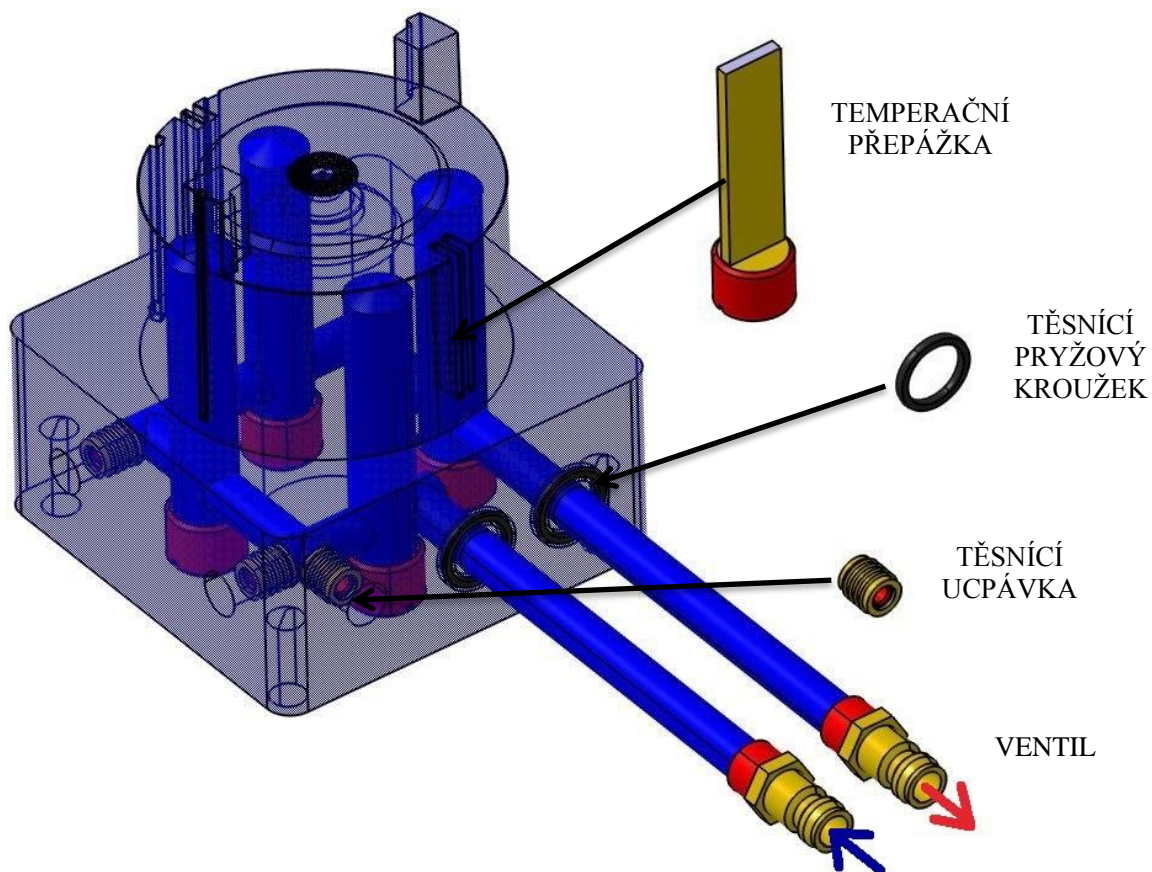
Z důvodů velké šířky horkého rozvodného systému bylo nutné horký blok uložit do pravé opěrné desky o tloušťce 132 mm. Částečně je horký systém uložen i v pravé upínací desce. Tloušťky ostatních desek byly voleny s minimálními možnými hodnotami, aby bylo možné formu použít u zadaného vstřikovacího stroje. Šířka navržené vstřikovací formy dosáhla maximální povolené hodnoty 450 mm.



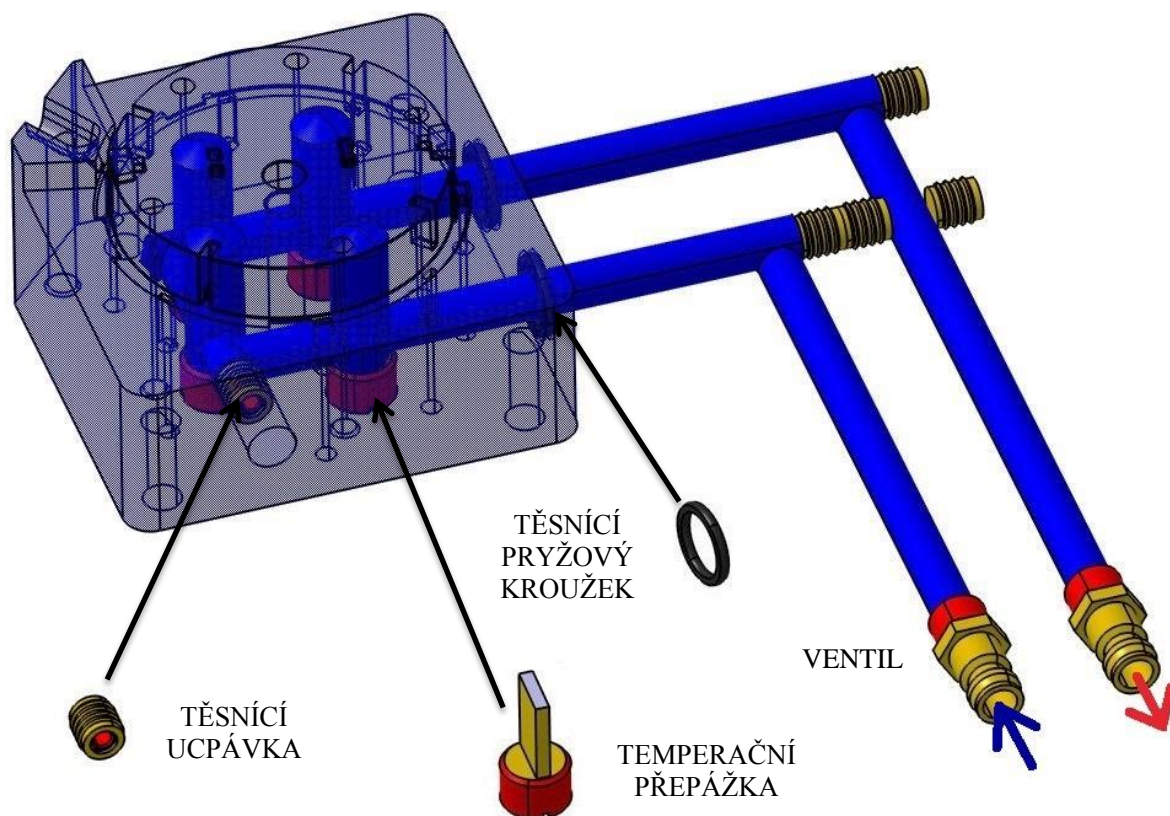
Obr. 47. Pohled na sestavu horkého vtakového systému firmy Synventive

8.5 Temperační systém vstřikovací formy

Cílem temperačního systému je dosáhnout na stěnách dutiny formy co nejrovnoměrnějšího teplotního pole, které má vliv na průběh ochlazování vstříknuté taveniny a na kvalitu budoucího výrobku. U navržené vstřikovací formy je zvolena temperace vodou protékající vrtanými kanály s průměrem 8 mm. Temperace vodou je u vstřikovaného polymeru Lexan 940 vystačující, protože doporučená teplota vstřikovací formy je 82°C. U vstřikovací formy jsou navrženy celkem čtyři temperační větve. Jednotlivé větve slouží k temperaci tvarových částí formy, mezi které patří temperace tvárnice, tvárníku a dvou posuvných tvarových čelistí. Temperační médium vstupuje a vystupuje do vrtaných kanálů ve tvarových deskách pomocí ventilů E2000/9x10. Všechny okruhy vrtaných větví jsou uzavřené těsníci ucpávkami E2078/8 a těsnost temperačních okruhů u přechodů mezi deskami a tvarovými vložkami je zajištěna pryžovými těsníci kroužky E2130/11x2. Vlastní temperování tvárnice je provedeno čtyřmi temperačními přepážkami E2100/14x150. Temperování tvárníku je řešeno čtyřmi temperačními přepážkami E2100/12x125. Všechny temperační přepážky byly zkráceny na potřebnou délku.

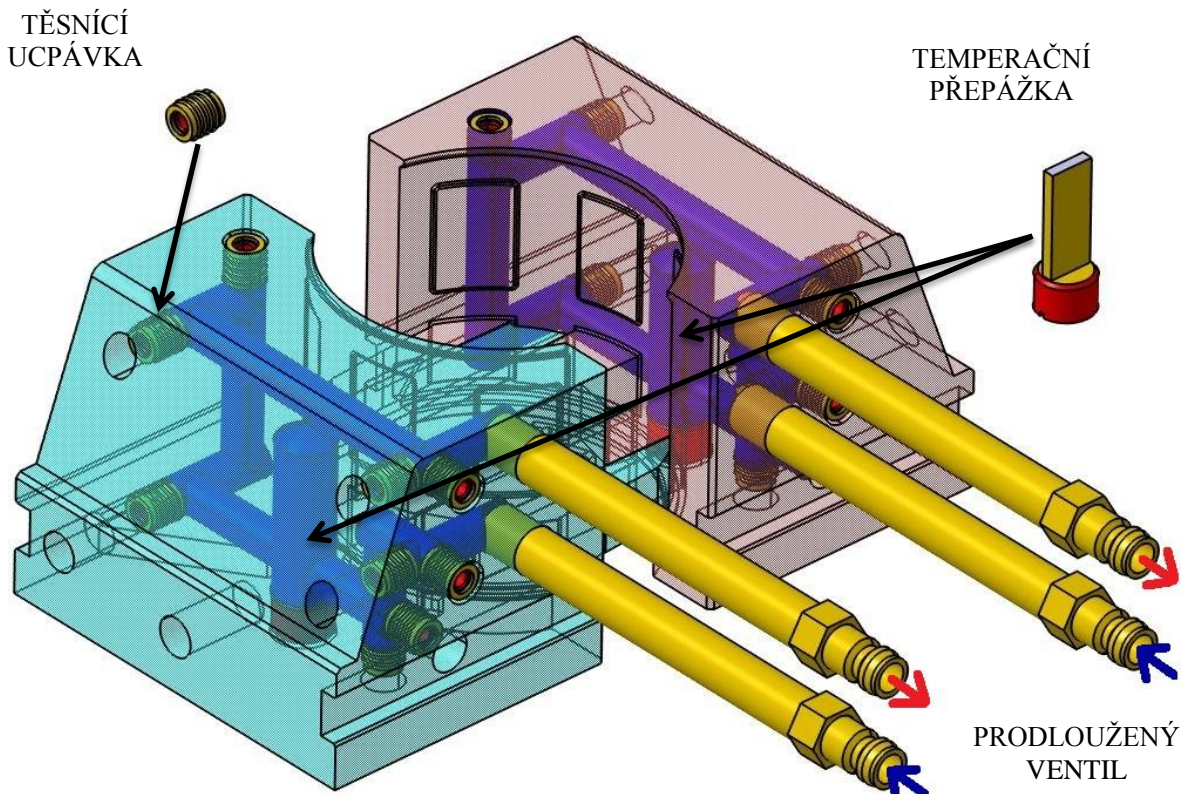


Obr. 48. Temperace pravé tvarové vložky (tvárnice)



Obr. 49. Temperace levé tvarové vložky (tvárníku)

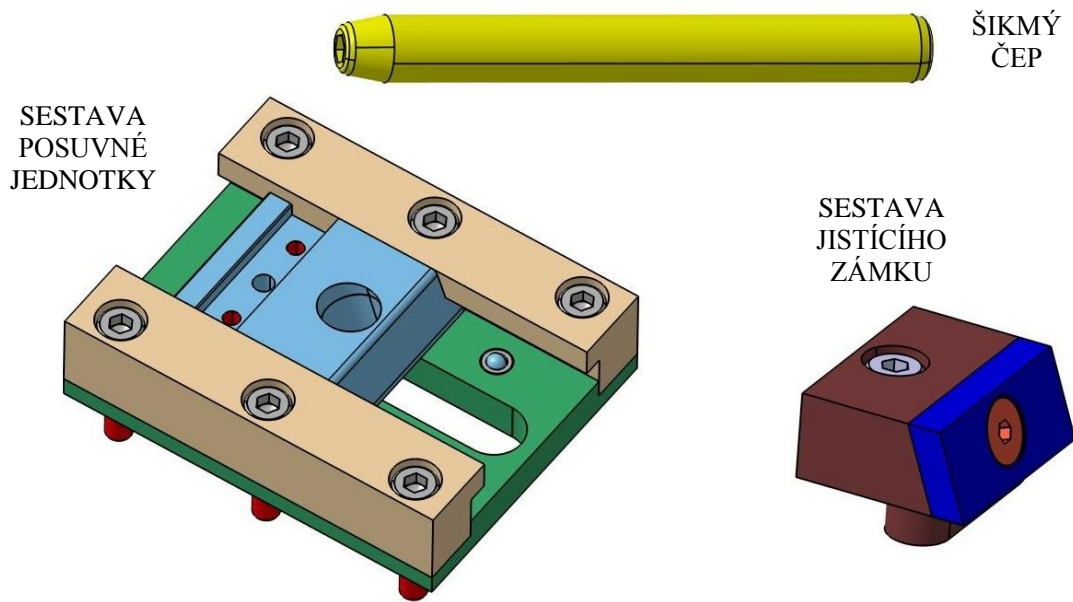
Přivedení a odvedení temperačního média do posuvných tvarových čelistí je pomocí prodloužených ventilů E2018/10x120. Do každé z posuvných tvarových čelistí je v temperačním okruhu vložena temperační přepážka E2100/12x125.



Obr. 50. Temperace posuvných tvarových čelistí

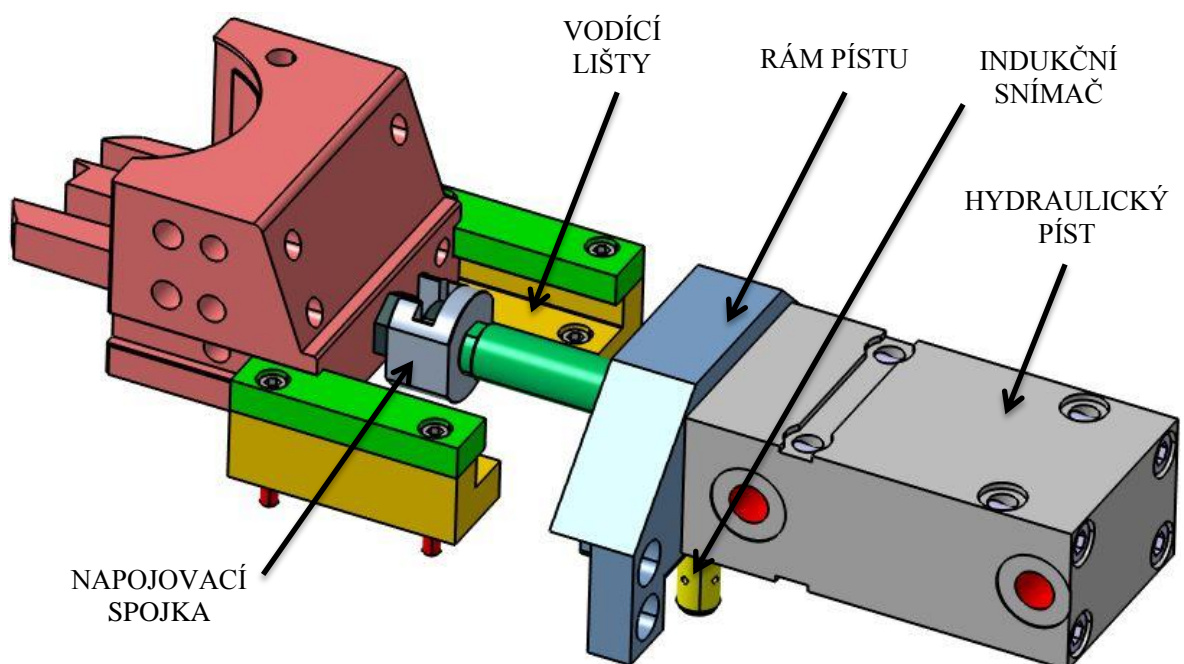
8.6 Systém odformování vstřikovací formy

Posuvné tvarové čelisti uložené na pohyblivé části vstřikovací formy jsou po ochlazení výstřiku na vyhazovací teplotu odsunuty a vystříknutý výrobek je odformován. Dvě menší tvarové čelisti, které nejsou temperované, jsou posouvány již při otevírání vstřikovací formy pomocí šikmých válcových čepů E1034/10x90 a posuvných jednotek E3011/12x32x80. Tyto posuvné jednotky jsou již celkové sestavy složené z posuvné kostky, vodících lišt, kluzné desky, pružných kuliček a šroubů. Úhel sklonu šikmých čepů je 18°. Zajištění polohy menších tvarových čelistí během procesu vstřikování je pomocí sestavy zámku s kluznou destičkou E3024/11x28. Všechny posuvné čelisti jsou při vstřikování také jištěny zámky, které jsou součástí stěn pravé tvarové desky. Na těchto zámcích jsou přišroubované kluzné destičky E3036/6x40x40 a E3036/6x40x80.



Obr. 51. Pohled na ovládací prvky k odformování menších tvarových čelistí

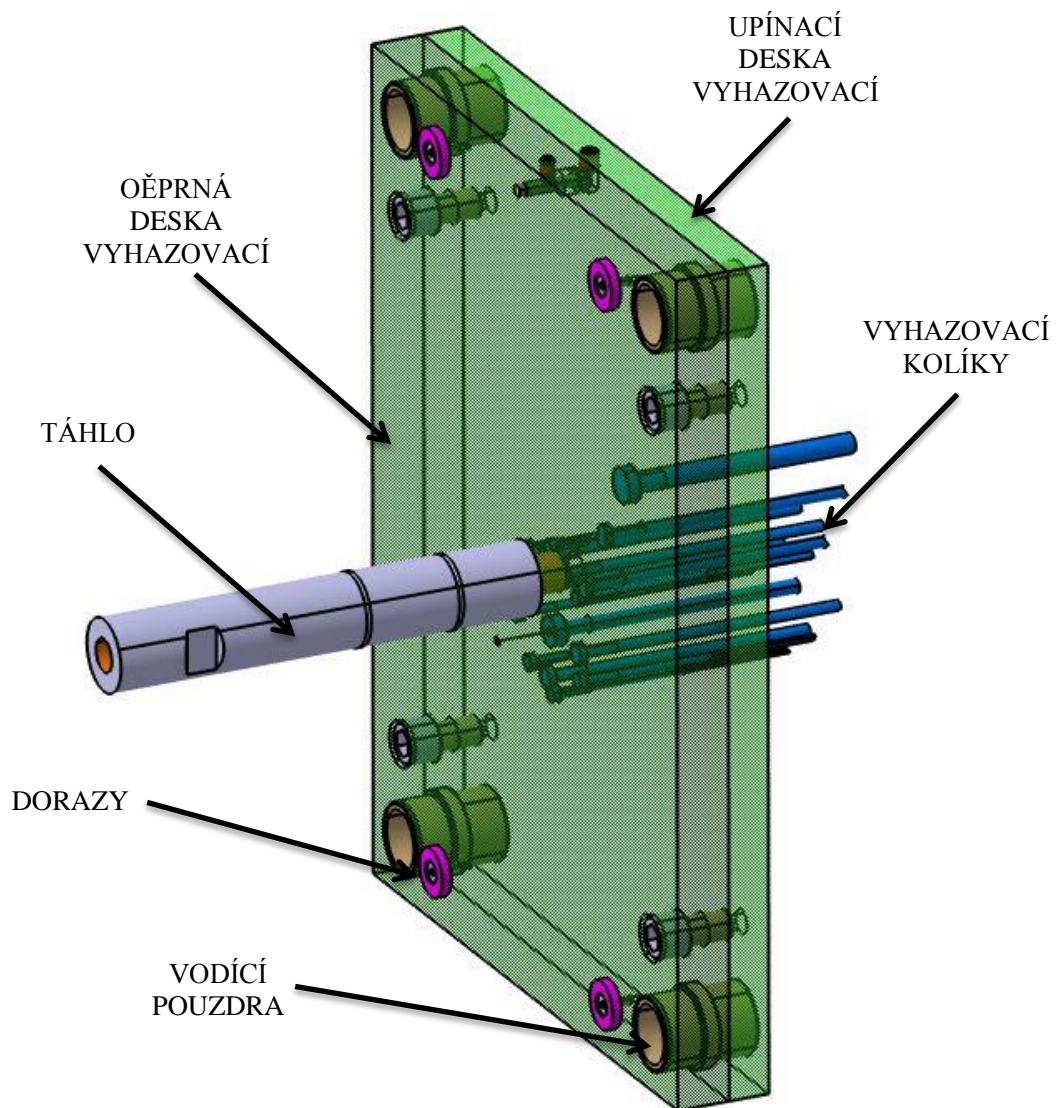
Ovládání posuvu velkých tvarových čelistí je hydraulickými válci E7000/25x75, které jsou napojeny na hadice do hydraulického obvodu přípojkami HPP06/08 1415/1415-A od firmy Hydrap. Hydraulické písty jsou připojeny ke vstřikovací formě z vnějších stran formy pomocí vyráběných rámců. Připojení pístních tyčí k posuvným tvarovým čelistem zajišťují spojky E7084/10. Tvarové čelisti jsou při pohybu vedeny sestavou vodících lišt E31300/27x10x70. Otevírání i uzavírání posuvných čelistí probíhá pouze u otevřené vstřikovací formy, aby nedošlo ke kolizi tvarové desky s prodlouženým ventilem. Polohu pístu u otevřené vstřikovací formy hlídá indukční snímač SIEN-M12B-PS-S-L firmy Festo.



Obr. 52. Pohled na systém ovládání posuvu velké tvarové čelisti

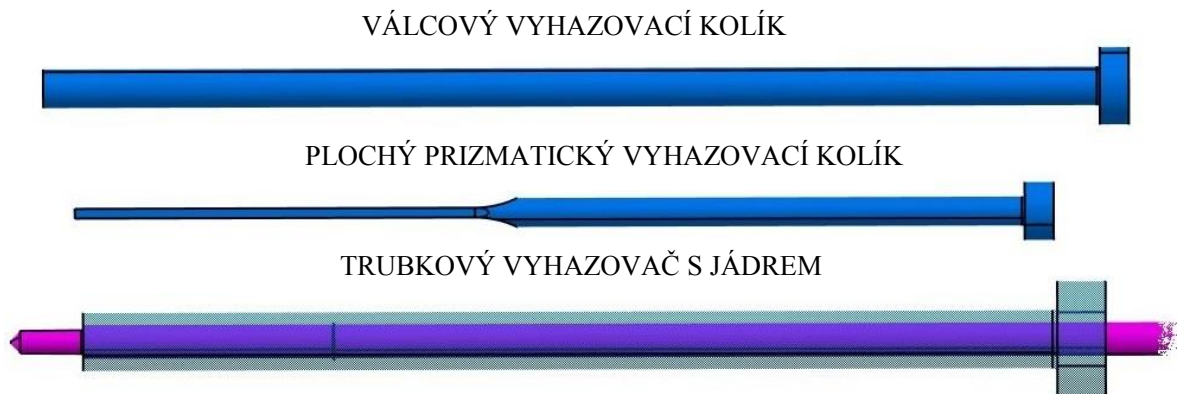
8.7 Vyhazovací systém vstříkové formy

Výstřik je po ochlazení na vyhazovací teplotu z dutiny formy vyhozen vyhazovacím systémem. Součástí vyhození výstřiku je také odstřížení vtokového zbytku od vystříknutého výrobku. Sestava vyhazovacího systému je složena z opěrné desky, upínací desky a vyhazovacích kolíků. Pohyb vyhazovacího systému je vyvozen táhlem E1050/16/30x180 a přesné vedení vyhazovacích desek při vyhazovacím pohybu je zajištěno vodícími čepy E3030/24x100 a vodícími pouzdry E11202/24X17/22. Po vyhození výstřiku z dutiny formy je vyhazovací systém vrácen do původní polohy a vyhazovací desky dosednou čtyřmi dorazy E1500/20 na levou upínací desku formy. Aby bylo zabráněno kolizi vyhazovacích kolíků s tvarovými vložkami, je poloha vyhazovacího systému kontrolována koncovým spínačem E6505.



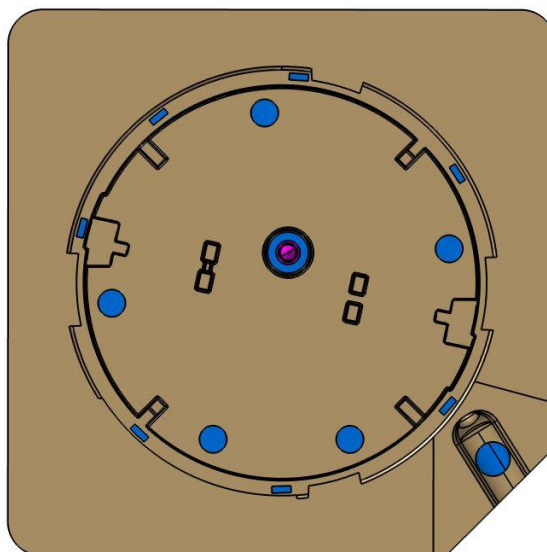
Obr. 53. Pohled na vyhazovací systém formy

K vyhození výstřiku z dutiny formy jsou použity vyhazovací kolíky. Na vystříknutý výrobek působí pět válcových vyhazovacích kolíků E1710/4x125, sedm plochých prizmatických vyhazovacích kolíků E1725/2,8x1x125 a jeden trubkový vyhazovač E1720/6x3,5x125, ve kterém je uložené pevné tvarové jádro. Na vtokový zbytek působí dva válcové vyhazovací kolíky E1712/5x160 a jeden válcový vyhazovací kolík E1710/8x100 uložený v přídržovači vtoku. Všechny vyhazovací kolíky byly zkráceny na požadovanou délku tak, aby lícovaly s povrchem dutiny vstřikovací formy.



Obr. 54. Pohled na vyhazovače vstřikovací formy

Rozmístění vyhazovacích kolíků v dutině vstřikovací formy a ve studeném vtokovém systému bylo voleno tak, aby vyhazovací síla byla rovnoměrně rozložená. Na vstřikovaném výrobku vzniknou stopy po vyhazovacích kolících na nepohledové straně. Při volbě poloh vyhazovacích kolíků na vstřikovaném výrobku bylo snahou vhodným rozmístěním předejít prasknutí nebo deformování vyhazovaného výrobku.



Obr. 55. Rozmístění vyhazovačů v dutině formy

8.8 Odvzdušňovací systém formy

Odvzdušňovací systém, který zajistí odvedení uzavřeného vzduchu z dutiny formy během procesu vstřikování, u navržené vstřikovací formy není řešen. Předpokládá se, že vzduch, který se uvnitř dutiny vstřikovací formy nachází, unikne při jejím plnění netěsnostmi v dělicích rovinách, vůlemi mezi tvarovými částmi formy a vůlemi mezi vyhazovacími kolíky a tvárníkem. Pokud by u navržené vstřikovací formy vznikaly problémy s kvalitou výrobku zapříčiněné nedostatečným odvzdušněním, bylo by nutné kritické místo dodatečně opatřit odvzdušňovacími kanály. Kvalita odvzdušnění se zajištěním formy vzroste, protože dojde ke zvětšení zmíněných vůlů.

8.9 Ostatní použité součásti při konstrukci formy

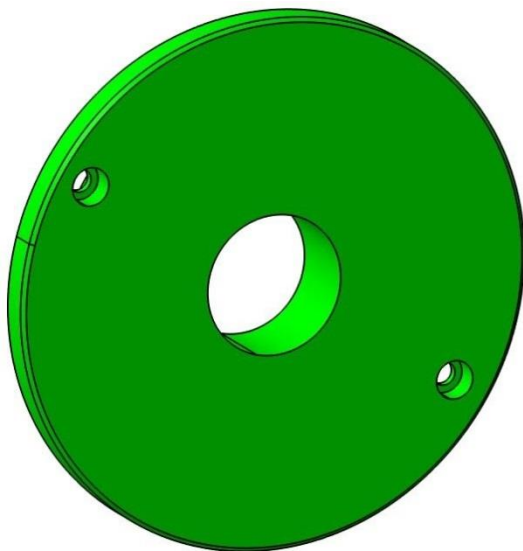
Navržená vstřikovací forma je složená z pravé nepohyblivé vstřikovací části, levé pohyblivé vyhazovací části a z vyhazovacího systému. Jednotlivé podsestavy jsou složeny z příslušných desek, které jsou k sobě spojeny šrouby E1200. Tvarové desky mají rozměry 346x396 mm a desky upínací 346x446. Celková výška formy je 450 mm. Vystředění desek v pevné části formy je čtyřmi středícími trubkami E1160/42x140 a středění desek v části pohyblivé je čtyřmi středícími trubkami E1160/42x120. Vzájemné polohování a přesné dosednutí pohyblivé části formy na část pevnou zajišťují vodící čepy E1000 a vodící pouzdra E1100.



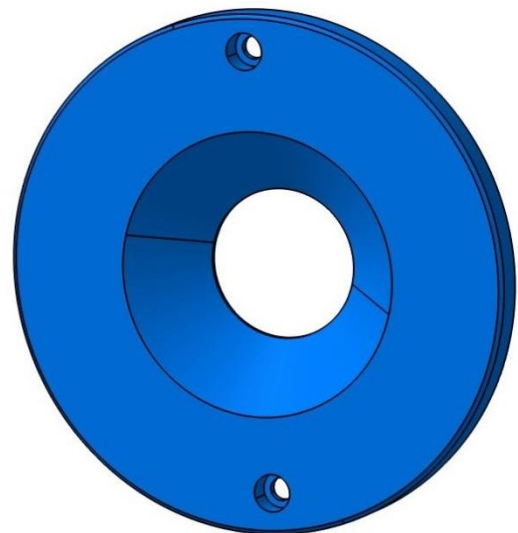
Obr. 56. Vodící a středící součásti navržené vstřikovací formy

Navržená vstřikovací forma je na upínací desky vstřikovacího stroje vystředěna středícími kroužky. Na pravé nepohyblivé straně formy je pravý středící kroužek E1375/125/90x18, který je opatřen otvorem pro přivedení vstřikovací trysky stroje k vtokové vložce. Na levé pohyblivé straně formy je levý středící kroužek E1375/125/90x20 s otvorem pro vstup táhla vyhazovacího systému. Oba středící kroužky jsou na vstřikovací formě přišroubovány dvěma šrouby.

LEVÝ STŘEDÍCÍ KROUŽEK



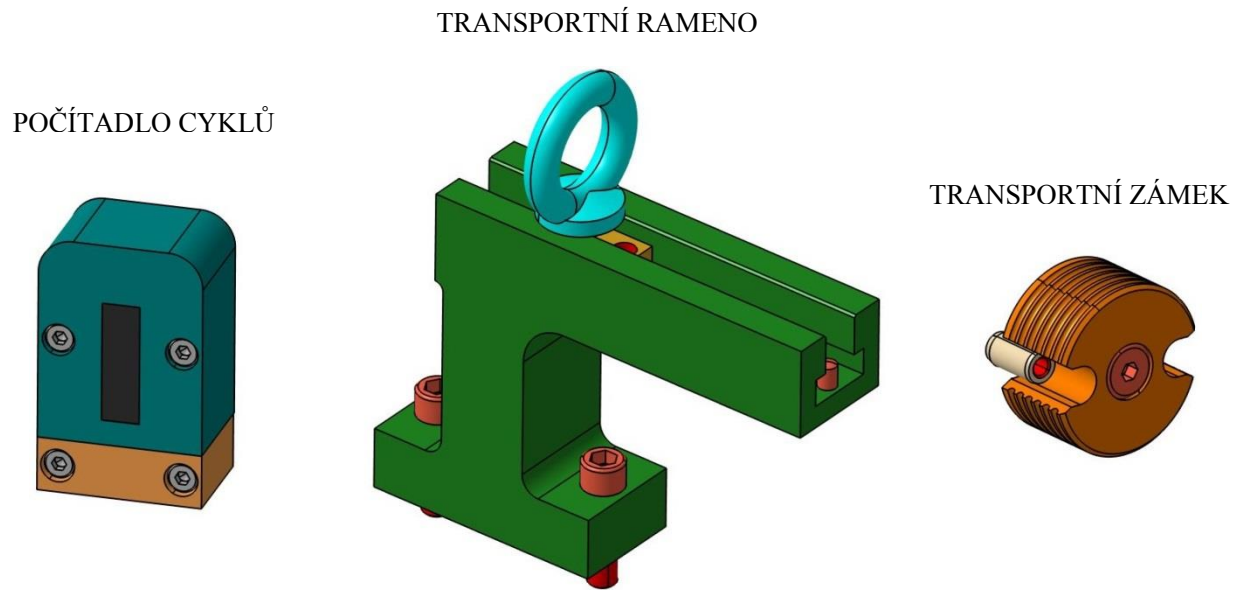
PRAVÝ STŘEDÍCÍ KROUŽEK



Obr. 57. Použité kroužky k vystředění formy do vstřikovacího stroje

Vstřikovací forma je pro kontrolování množství provedených cyklů otevření a uzavření formy opatřena počítadlem cyklů E2480. Počítadlo započítává další cyklus uzavřením vstřikovací formy a dosednutím tvarových desek v dělicí rovině.

Pro možnou manipulaci formy mimo vstřikovací stroj je forma opatřena sestavou transportního ramena E1930/82/107. Tato sestava je složena z vlastního ramena, závěsného oka a posuvné kostky, která umožní posun oka a nalezení těžiště vstřikovací formy. Nosnost zvoleného transportního ramena je 700 kg a hmotnost navržené vstřikovací formy je 550 kg. Během transportu je forma zajištěna proti pootevření dvěma transportními zámkami E1936/40.



Obr. 58. Počítadlo cyklů a transportní součásti navržené formy

Celkové sestavení navržené vstřikovací formy, poloha jednotlivých součástí a jejich soupiska je zřejmá z výkresu sestavy DP-A1-P08-S000 v příloze P8. Součástí této přílohy je také výkres pohledů do hlavní dělicí roviny DP-A1-P08-P000.

9 VSTŘIKOVACÍ STROJ NAVRŽENÉ VSTŘIKOVACÍ FORMY

Návrh vstřikovací formy byl proveden pro vstřikovací stroj ENGEL VC 330/80 spex. Jde o vstřikovací stroj rakouské firmy ENGEL, který je složen z hydraulické uzavírací jednotky a vstřikovací jednotky se šnekem o průměru 35 mm.



Obr. 59. Vstřikovací stroj ENGEL VC 330/80 spex

Při vlastním navrhování konstrukce vstřikovací formy byly rozměry jednotlivých součástí voleny s ohledem na parametry zadaného vstřikovacího stroje. Porovnání sledovaných parametrů u navržené vstřikovací formy a zadaného vstřikovacího stroje lze vidět v tabulce č. 3 a v tabulce č. 4. Technické parametry vstřikovacího stroje a jeho základní rozměry jsou uvedené v příloze P2.

Tab. 3. Parametry formy a uzavírací jednotky vstřikovacího stroje ENGEL VC 330/80 spex

Technický parametr	Jednotka	Hodnota stroje	Hodnota formy
Maximální síla uzavírání během vstřikování	kN	800	315
Výška vstřikovací formy	mm	250-450	450
Maximální možné rozměry upínacích desek	mm	490x560	346x446
Maximální možné rozměry formy	mm	600x670	523x660
Maximální síla vyhození výstřiku	kN	39,8	-
Maximální zdvih vyhazovacích kolíků	mm	100	30
Průměr levého středícího kroužku	mm	125	125

Tab. 4. Parametry formy a vstřikovací jednotky vstřikovacího stroje ENGEL VC 330/80
spex

Technický parametr	Jednotka	Hodnota stroje	Hodnota formy
Průměr šneku	mm	35	-
Maximální posuv šneku	mm	300	-
Maximální objem vstříknuté taveniny	cm ³	154	54
Maximální vstřikovaná hmotnost PC	g	184,2	64,7
Maximální vstřikovací tlak	bar	2177	604
Maximální rychlost tečení taveniny	cm ³ .s ⁻¹	132	-
Průměr pravého středícího kroužku	mm	125	125

10 KONTROLNÍ TOKOVÁ ANALÝZA NAVRŽENÉ FORMY

Funkčnost navržené vstřikovací formy byla ověřena v programu Moldflow tokovou analýzou, která zahrnovala výpočet plnění dutiny formy vstřikovaným polymerem, působení dotlaku, působení temperačního systému s průběhem ochlazování výstřiku a velikost deformací vystříknutého výrobku.

10.1 Nastavené procesní podmínky při výpočtu analýzy

Model vstřikovaného výrobku navržený v programu Catia byl do programu Moldflow vložen ve formátu *.stp. Vložený model byl opatřen trojúhelníkovou plošnou sítí – viz kapitola 7.1. Vložení vtokového a temperačního systému do programu Moldflow proběhlo ve formátu *.igs. Návrh geometrie těchto systémů proběhl opět v programu Catia.

Před vlastním výpočtem byly nastavené procesní parametry vstřikování, které se volily s ohledem na doporučené hodnoty zpracování zvoleného polymeru Lexan 940 a s ohledem na výsledky dříve provedených analýz. Mezi nastavené procesní parametry plnění dutiny formy a působení dotlaku patří čas plnění dutiny formy, který byl zvolen na 1 sekundu. Přepnutí na dotlak je nastaveno dle procentuálního objemového naplnění dutiny formy na 98 %. Nastavení fáze dotlaku je dle procentuální hodnoty maximálního vstřikovacího tlaku. Doba působení dotlaku je 12 sekund o velikosti 85 % z maximální hodnoty vstřikovacího tlaku.

Zvoleným temperačním médiem je voda, která protéká temperačními okruhy o objemovém průtoku 6 litrů za minutu. Protékající voda má s ohledem na požadovanou teplotu formy 82°C nastavenou vstupní teplotu 80°C. Dále zde byla nastavena hodnota teploty vstřikované taveniny 301°C, doba otevírání vstřikovací formy 5 sekund, teplota vystříknutého dílce při vyhození 128°C a procento ztuhlých vrstev při vyhození 90 %.

Součástí nastavení analýzy bylo také nadefinování vstřikovacího stroje ENGEL VC 330/80 spex a volba vstřikovaného polymeru Lexan 940. Pro přesnější výpočet tepelných pochodů ve vstřikovací formě byla nastavena velikost vstřikovací formy vloženým blokem o velikosti 346x446x450 mm.

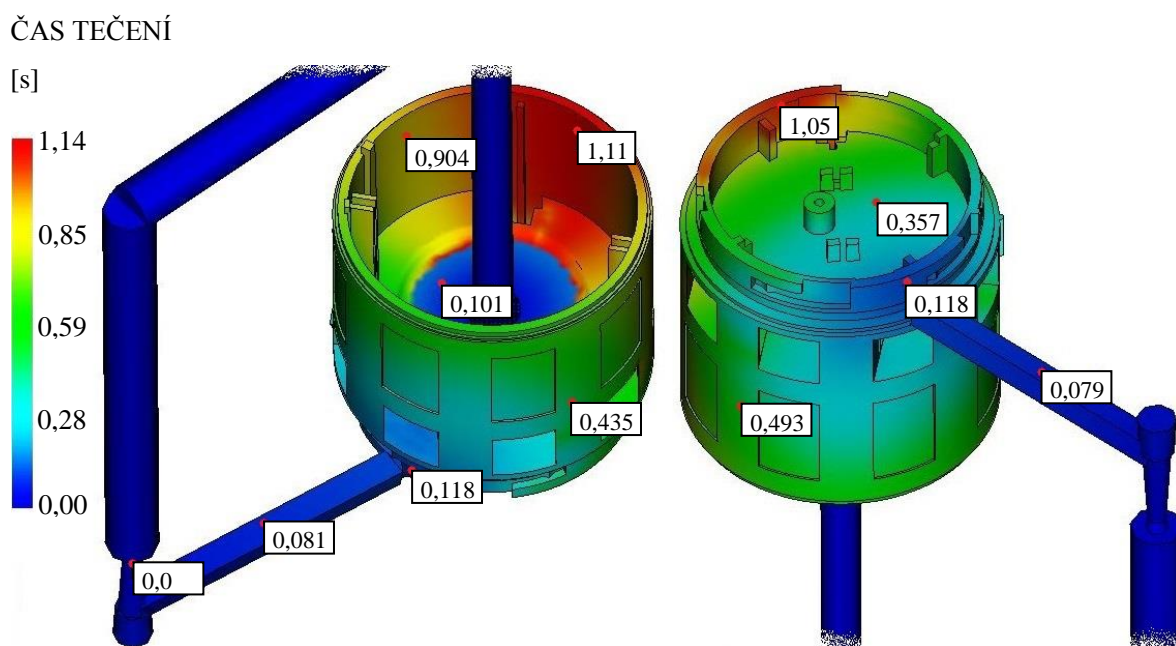
10.2 Výsledky analýzy plnění dutiny formy

Výsledky této analýzy pomáhají popsat průběh plnění dutiny vstřikovací formy a průběh působení dotlaku. Vybrané výsledky jsou rozebrány v této kapitole.

10.2.1 Čas plnění dutiny vstřikovací formy

Analýza času plnění dutiny formy pomáhá stanovit čas, který je potřebný k vyplnění studeného vtokového systému a celé dutiny vstřikovací formy. Také zde dojde ke kontrole, zda bude dutina vstřikovací formy zcela vyplněna. Výsledek této analýzy je ovlivněn konstrukcí vstřikovaného výrobku a vtokového systému, volbou vstřikovaného polymeru, nastavenými hodnotami teplot a velikostí vstřikovacího tlaku.

Původní čas plnění 1 sekunda, která byla nastavená při spouštění analýzy, byla vlastním výpočtem přepočtena na více než 1,1 sekundy. Pokud by bylo požadováno tento čas plnění dutiny formy snížit, lze zvýšit teplotu vstřikované taveniny nebo zvýšit hodnotu vstřikovacího tlaku.

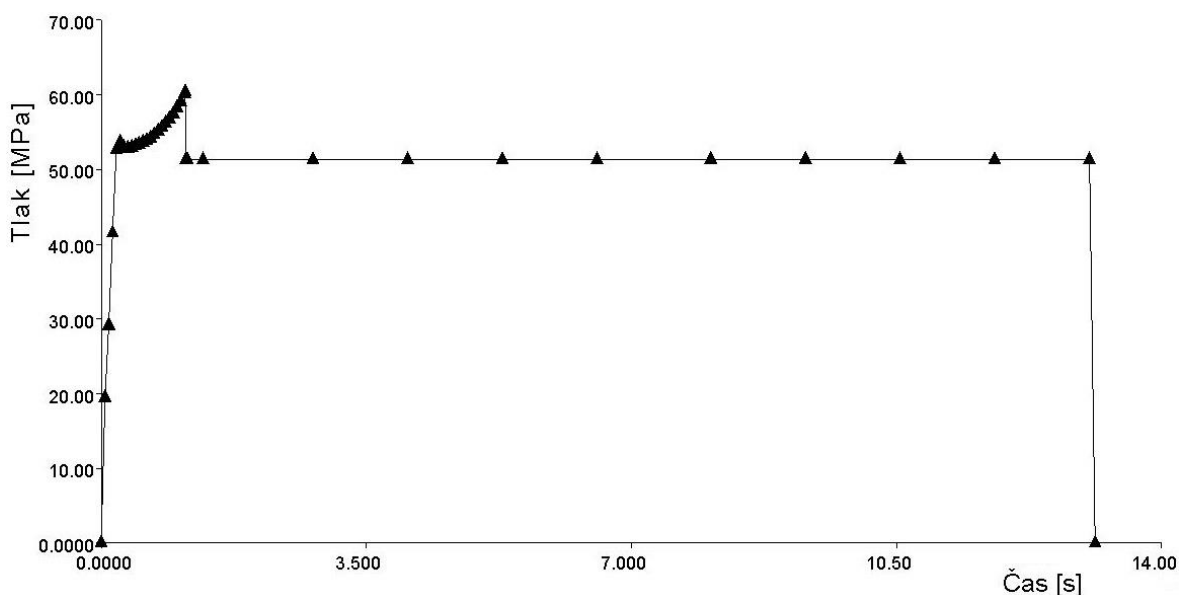


Obr. 60. Čas plnění dutiny vstřikovací formy

Z výsledků je patrné, že dojde bezpečně k celkovému vyplnění dutiny vstřikovací formy. Pokud by vznikl problém se zatečením, bylo by možné zvýšit teplotu vstřikované taveniny, nebo zvýšit velikost vstřikovacího tlaku.

10.2.2 Průběh vstřikovacího tlaku

Průběh vstřikovacího tlaku je popsán grafem, ve kterém je působící tlak a dotlak závislý na čase. Sledovaná hodnota působícího tlaku je v místě vtoku. Velikost a doba působení vstřikovacího tlaku a dotlaku má výrazný vliv na zatékavost polymeru a objemové smrštění vystříknutého výrobku. Pokud by byla doba působení dotlaku příliš malá, vznikaly by nežádoucí jevy, mezi které patří nadměrné smrštění, deformace a vznik propadlin. Velká doba působení dotlaku vede k nedostatečnému vyrelaxování vstřikované taveniny a k problémům s vyhozením výstřiku. Působení dotlaku na vstřikovanou taveninu je omezeno zamrznutím vtokového ústí.

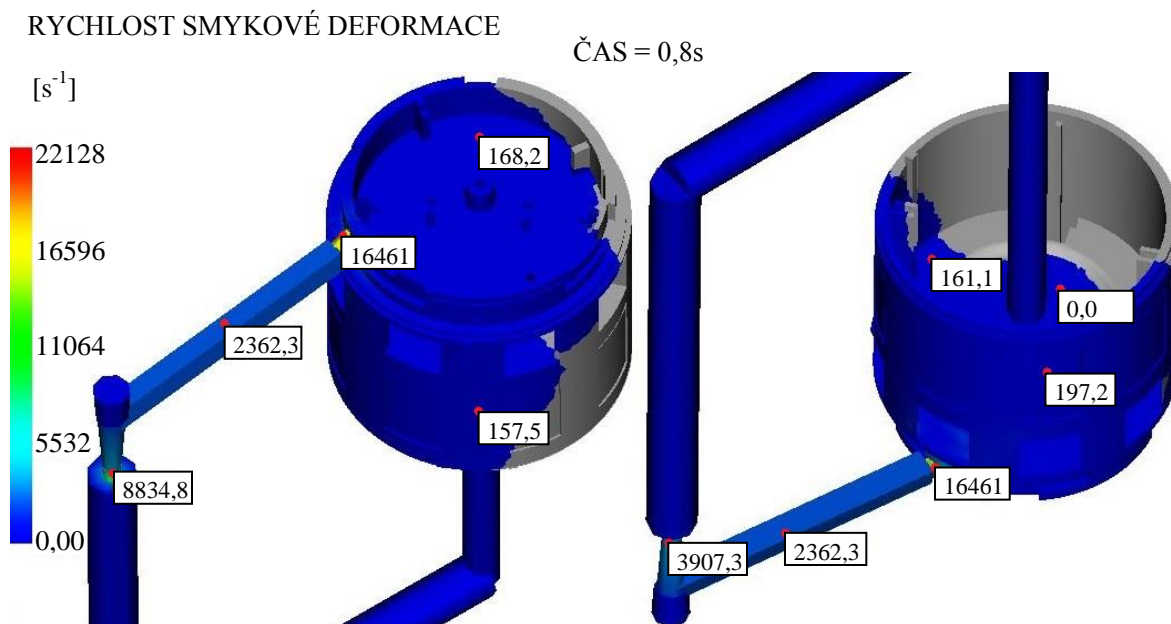


Obr. 61. Závislost vstřikovacího tlaku a dotlaku na čase

Z grafu je zřejmé, že nejvyšší hodnota vstřikovacího tlaku 60,4 MPa je v čase 1,1 sekundy a velikost působícího dotlaku je 51,3 MPa. Celková doba působení vstřikovacího tlaku a dotlaku je 13,1 sekund. Pokud by nedošlo k zatečení taveniny do celé dutiny formy, bylo by nutné zvýšit hodnotu vstřikovacího tlaku. Vznik velkého smrštění vystříknutého výrobku vyžaduje působení většího dotlaku. Při vzniku přetoků na vystříknutém výrobku je potřeba hodnotu vstřikovacího tlaku a dotlaku snížit.

10.2.3 Rychlost smykové deformace

U navržené vstřikovací formy je potřebné zkontrolovat již dříve řešený problém s velmi vysokou hodnotou rychlosti smykové deformace – viz kapitola 7.4.1 a 7.5.1.



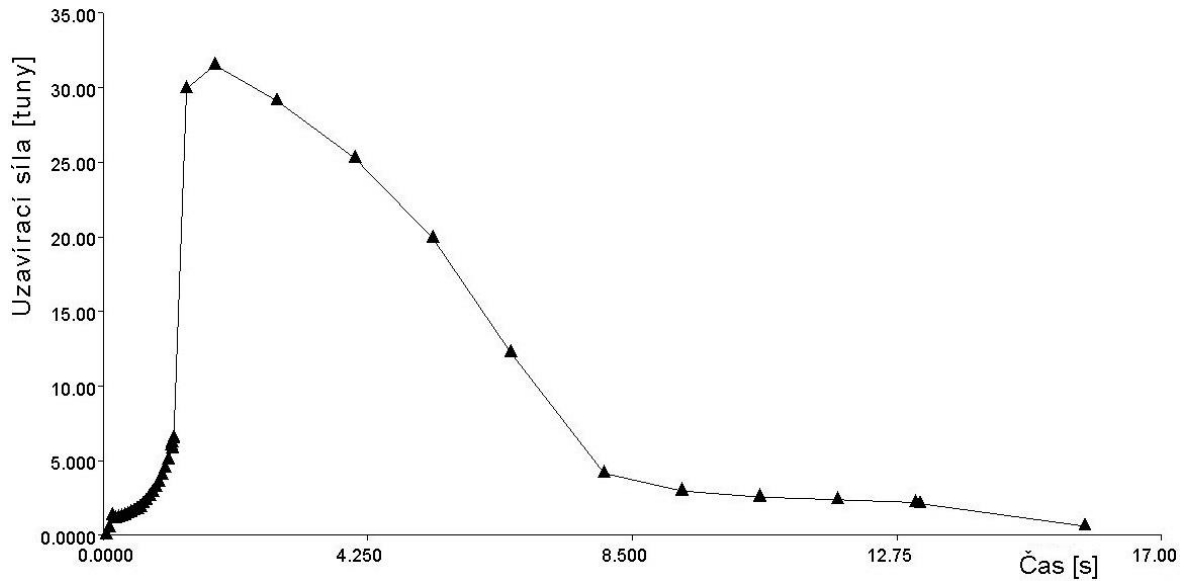
Obr. 62. Rychlost smykové deformace u navržené vstřikovací formy

Maximální hodnota rychlosti smykové deformace mírně přesahuje 22000 s⁻¹. Tato hodnota se bezpečně pohybuje pod maximální doporučenou hodnotou 40000 s⁻¹, tudíž zde nehrozí riziko degradace materiálu. Nejvyšší rychlost smykové deformace je v oblasti studeného vtokového ústí. Pokud by byl s těmito hodnotami problém, bylo by možné zvětšit průřez vtokového ústí, nebo zvýšit teplotu vstřikované taveniny.

10.2.4 Velikost potřebné uzavírací síly

Při procesu vstřikování vzniká v dutině formy vstřikovací síla, která působí proti síle uzavírací. Pokud by hodnotu uzavírací síly vstřikovací síla překročila, došlo by k pootvěžení vstřikovací formy a vzniku přetoků na vstřikovaném výrobku. Velikost vstřikovací síly závisí na velikosti vstřikovacího tlaku a na velikosti plochy dutiny vstřikovací formy. Vhodnou velikost uzavírací síly lze ovlivnit správnou volbou vstřikovacího stroje tak, aby uzavírací síla byla větší než síla vzniklá v dutině formy při procesu vstřikování.

Výsledek této analýzy popisuje obrázek č. 63, který zaznamenává velikost uzavírací síly závislé na čase. Z obrázku je zřejmé, že maximální dosažená uzavírací síla je 31,5 tun, tedy 315 kN. Velikost uzavírací síly zadaného stroje ENGEL VC 330/80 spex je 800 kN. Zadaný vstřikovací stroj splňuje požadavky na potřebnou velikost uzavírací síly. Pokud by při vstřikování vznikl problém se vznikem přetoků, bylo by nutné snížit hodnotu vstřikovacího tlaku, případně změnit vstřikovací stroj za stroj se silnější uzavírací jednotkou.

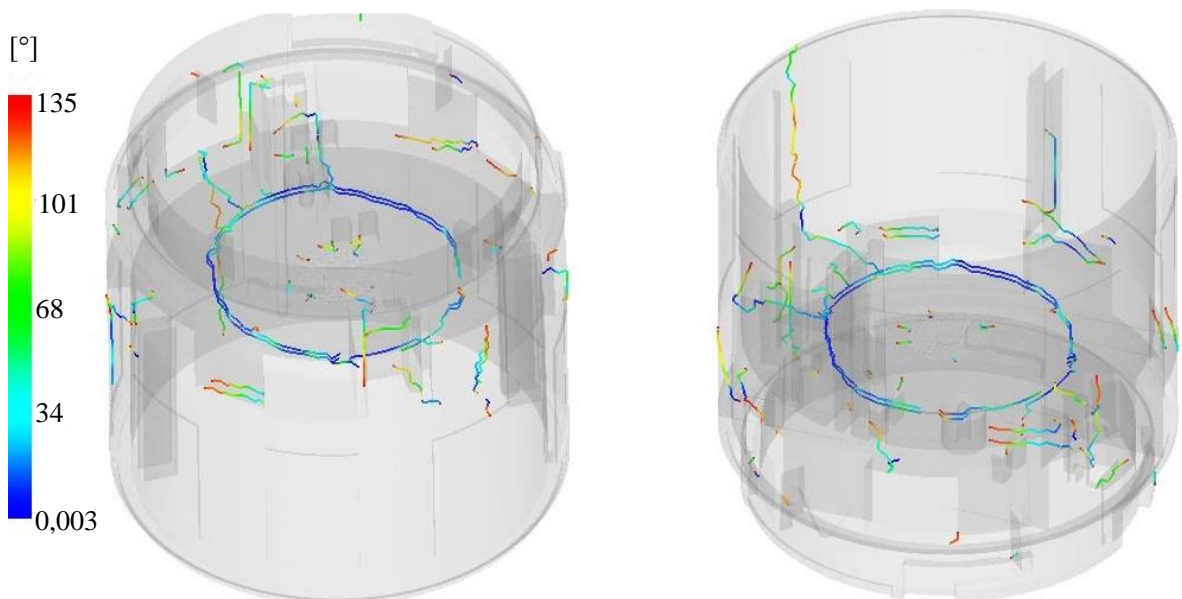


Obr. 63. Závislost uzavírací síly na čase při procesu vstřikování

10.2.5 Vznik studených spojů na vstřikovaném výrobku

V této analýze jsou popsána riziková místa na výrobku, ve kterých je nebezpečí vzniku studených spojů. Studené spoje vznikají setkáním dvou studených čel taveniny a představují nebezpečné místo o nižší pevnosti a místo se vzhledovou vadou. Obzvláště nebezpečný vznik studených spojů je u plněných polymerů a to především skleněnými vlákny. Vznik studených spojů lze ovlivnit změnou teploty taveniny a teploty vstřikovací formy, případně konstrukcí vstřikovaného výrobku a polohami vtokových ústí.

STUDENÉ SPOJE



Obr. 64. Vznik studených spojů u vstřikovaného výrobku

Z výsledků je patrné, že u příslušného způsobu řešení vstřikovací formy je nebezpečí vzniku studených spojů. Kritická oblast se týká především oblasti akustické membrány, kde dochází k obtékání taveninou z jedné vstřikovací trysky okolo vystříknutého středu druhou vstřikovací tryskou. Je tedy zřejmé, že použitím řízených vtoků byl vyřešen problém se vznikem velkých rychlostí smykových deformací, ale vznikl nový problém se studenými spoji. Při případné realizaci tohoto projektu bude nutné důkladně zvážit rizika vzniku velkých rychlostí smykových deformací, nebo riziko vzniku studených spojů. Studené spoje lze odstranit zvýšením teploty vstřikované taveniny a teploty vstřikovací formy. Případně lze provést změnu poloh vtokových ústí, nebo zvýšením množství přivedené taveniny do středu akustické membrány.

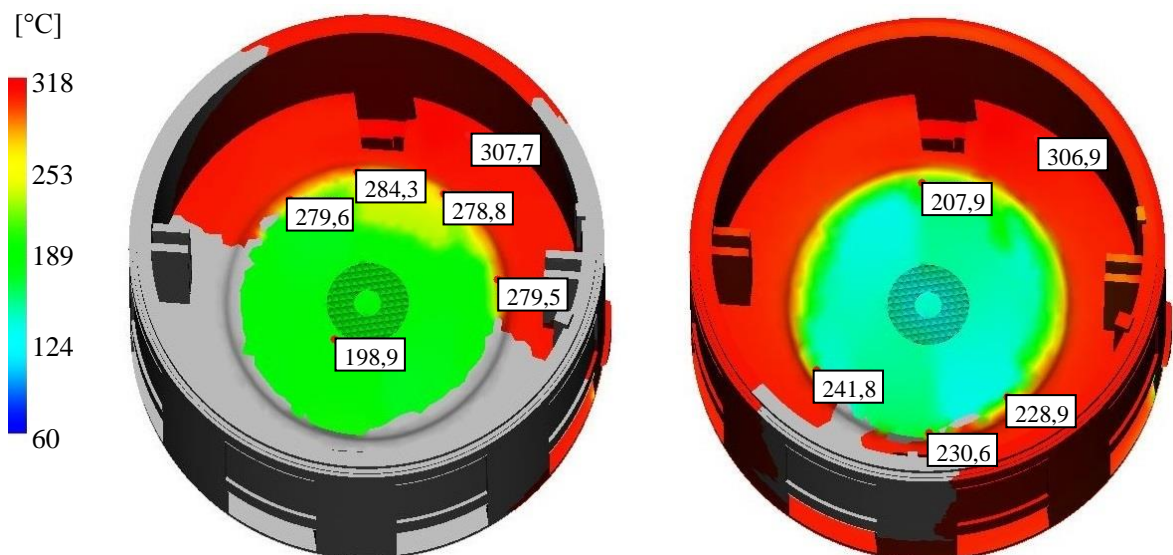
10.2.6 Teplota vstřikované taveniny v okamžiku vzniku studených spojů

Ve vypočtených výsledcích analýzy plnění dutiny formy lze sledovat teplotu taveniny v libovolném okamžiku vstřikovacího cyklu. Pomocí tohoto výsledku je možné zjistit, při jaké teplotě vznikají studené spoje. Znalost teplot vstřikované taveniny je možné využít i při vlastním plnění dutiny formy ke sledování již ztuhlých míst a míst, kde tavenina ještě bezpečně teče.

TEPLOTA TAVENINY

ČAS = 0,6s

ČAS = 1 s



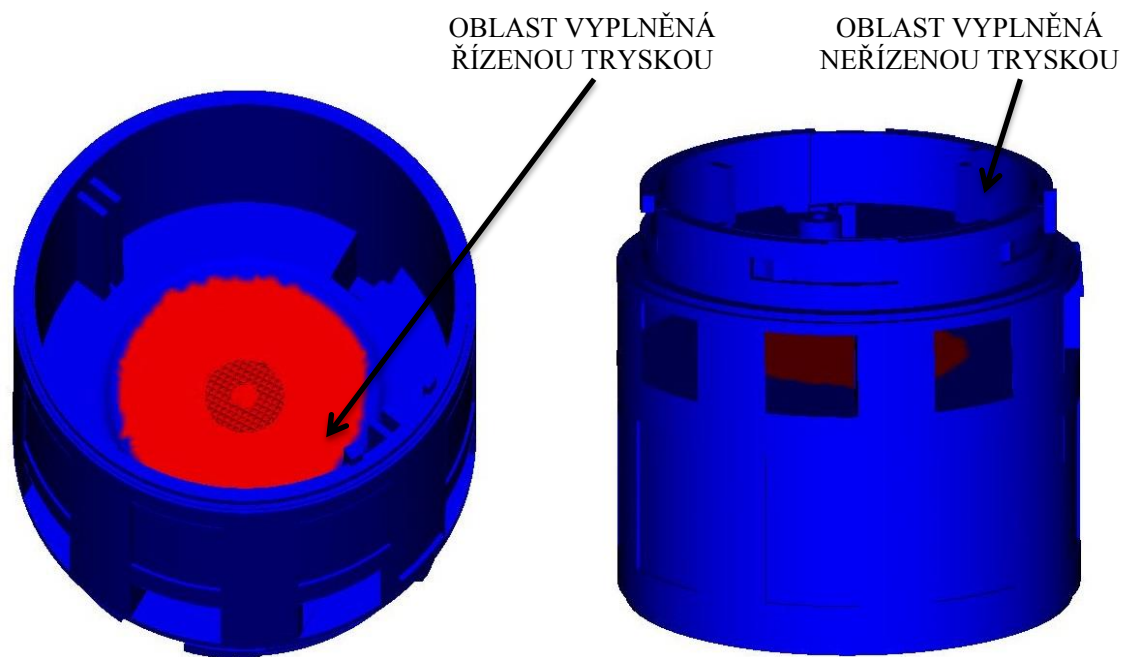
Obr. 65. Teplota taveniny při vzniku studeného spoje

Z obrázku č. 65 je zřejmé, že v čase 0,6 sekundy vzniká studený spoj přibližně při 280°C. V čase 1 sekundy vzniká zbytek studeného spoje již při 230 až 240°C. Minimální

doporučená teplota vstřikované taveniny je 287°C. Vzhledem k tomu, že dráha toku taveniny je relativně krátká a teploty při vzniku studených spojů jsou blízké minimální doporučené zpracovatelské teplotě, lze přepokládat, že dojde k dostatečnému propojení jednotlivých čel taveniny. Podpořit vzájemné propojení čel je možné vyšší teplotou taveniny a nižší intenzitou chlazení.

10.2.7 Množství taveniny přivedené jednotlivými tryskami

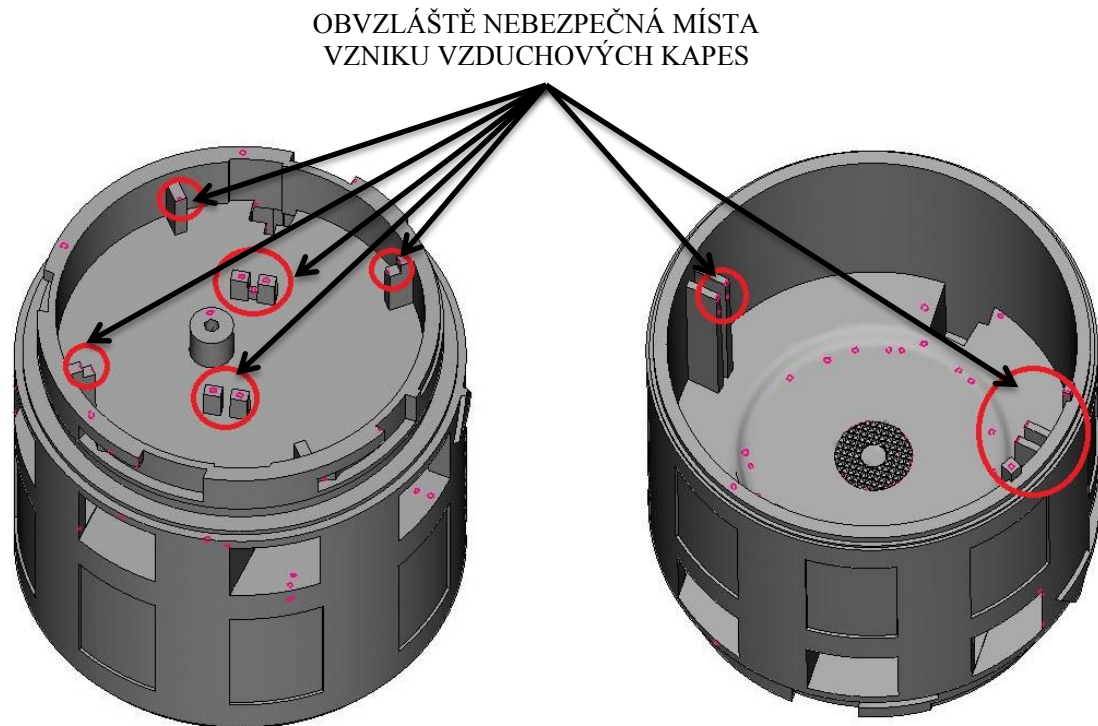
Ve vypočtených výsledcích je možné provést kontrolu vyplněných prostorů výrobku jednotlivými tryskami. Obrázek č. 66 zobrazuje vstřikovaný výrobek, na kterém jsou barevně vykresleny dvě oblasti. Červená oblast v prostoru akustické membrány je při procesu vstřikování vyplněna řízenou tryskou. Touto řízenou tryskou proteče 1,5 g taveniny za 0,15 sekundy. Zbytek vstřikovaného výrobku vykresleného modrou barvou je vstřikován druhou neřízenou tokovou tryskou.



Obr. 66. Vyplněné oblasti vstřikovaného výrobku jednotlivými tryskami

10.2.8 Místa v dutině vstřikovací formy s uzavřeným vzduchem

Analýza míst s uzavřeným vzduchem umožňuje charakterizovat kritická místa, ve kterých je riziko vzniku vzduchových kapes a nedotečení taveniny do celého objemu dutiny formy vedoucí ke vzniku vadného výrobku. Místa s uzavřeným vzduchem jsou při vstřikování nebezpečná i z hlediska vzniku nežádoucího Dieslova efektu. Dieslův efekt vede k prudkému stlačení a zahřátí vzduchu a následnému spálení vstřikované taveniny.



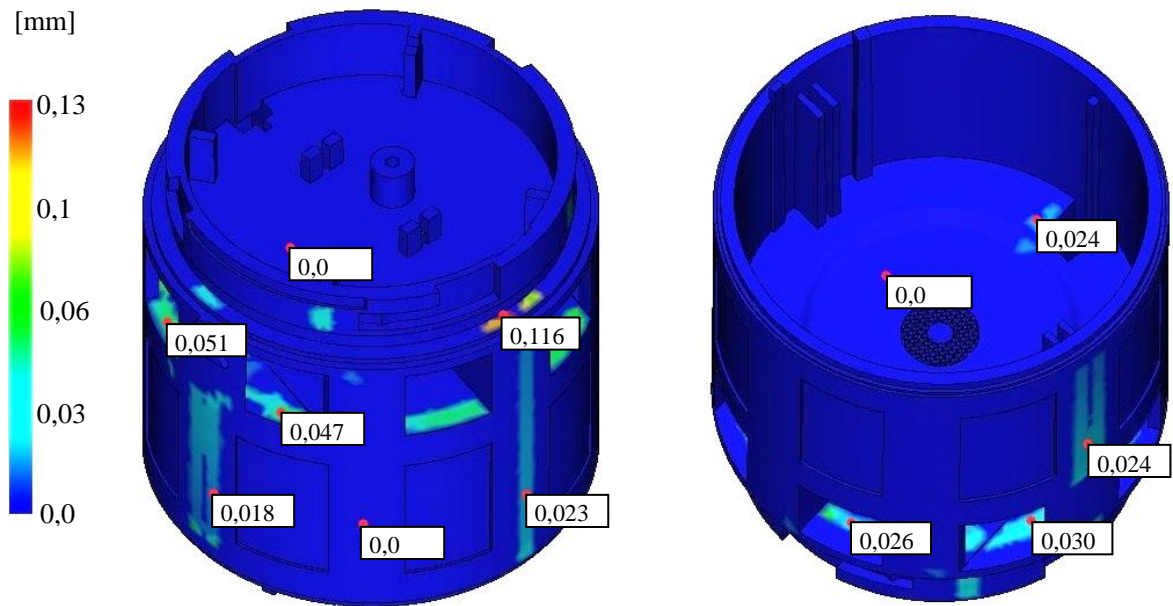
Obr. 67. Vzduchové kapsy na vstříkovaném výrobku

Na vstříkovaném výrobku je analýzou vypočteno mnoho kritických míst, ve kterých hrozí sevření vzduchu. Vzhledem k poloze hlavních a vedlejších dělicích rovin a míst s uloženými vyhazovacími kolíky lze některá kritická místa zanedbat. V těchto zanedbaných místech unikne vzduch vůlemi mezi příslušnými dílci formy. Na obrázku č. 67 jsou zvýrazněné kritické místa, u kterých hrozí sevření vzduchu. Pokud by se zmíněnými nebezpečnými místy vznikaly problémy při zkoušení či zajíždění formy, bylo by vhodné tato místa opatřit odvzdušňovacími kanály.

10.2.9 Vznik propadlin na vstříkovaném výrobku

Tato analýza slouží k definování míst, ve kterých je nebezpečí vzniku propadliny. Jedná se o vadu vznikající v důsledku velkých tloušťek stěn, nízkého vstříkovacího tlaku a dotlaku, nedostatečného odvzdušnění a příliš dlouhých toků taveniny. Velikost propadlin u vstříkovaného výrobku je vykreslena na obrázku č. 68. Největší hodnota propadliny je okolo 0,13 mm. Vzhledem k tomu, že je příslušná propadlina na nefunkčním místě výrobku a že se jedná o místo, které není pohledové, nepředstavuje tato propadlina velké riziko. Pokud by byl s propadlinami na výrobku problém, bylo by možné zvýšit hodnotu vstříkovacího tlaku a dotlaku nebo snížit teplotu formy.

VELIKOST PROPADLIN



Obr. 68. Propadliny na vstřikovaném výrobku

10.3 Výsledky analýzy teploty vstřikovací formy

Výsledky analýzy teploty pomáhají charakterizovat průběh temperování vstřikovací formy a ochlazování vstřikovaného výrobku. Některé z výsledků analýzy teploty vstřikovací formy jsou rozebrány v této kapitole.

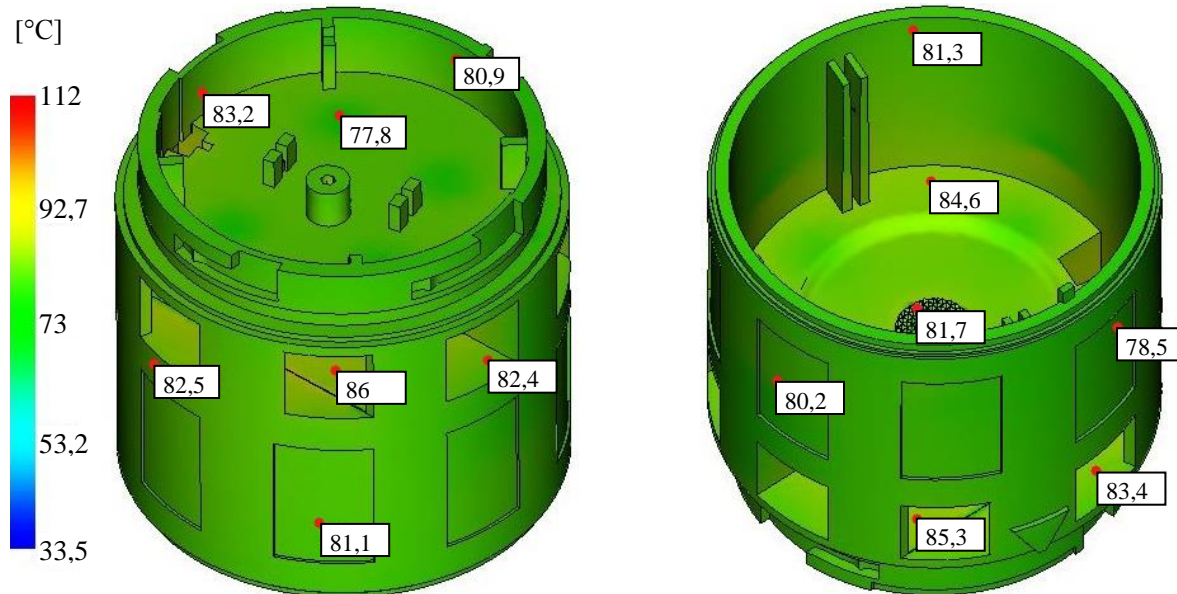
10.3.1 Teplota povrchu dutiny vstřikovací formy

Vypočtená hodnota teploty povrchu dutiny formy se od požadované nastavené teploty liší. Skutečná teplota povrchu dutiny formy je závislá na konstrukci temperačních kanálů, vlastnostech temperačního média, teplotě vstupujícího média, teplotě vstřikované taveniny, konstrukci vstřikovaného výrobku a na vlastnostech vstřikované taveniny.

Při spuštění analýzy byla požadovaná teplota povrchu dutiny formy nastavená na hodnotu 82°C a teplota vstupujícího temperačního média do temperačních kanálů 80°C. Z obrázku je zřejmé, že se výsledná teplota povrchu dutiny formy pohybuje v intervalu 78 až 86°C, tedy okolo požadované hodnoty. V celé dutině formy se nejpřesněji požadovaných hodnot dosáhlo na vnější pohledové stěně výrobku. Vzhledem ke složitější konstrukci formy a složitějšímu řešení temperačního systému bylo dosaženo velmi dobrého teplotního pole na povrchu dutiny formy. V případě požadavku změny tohoto teplotního

pole, je možné měnit teplotu a průtok temperačního média, případně provést změnu konstrukce temperačního systému.

TEPLOTA POVRCHU DUTINY FORMY



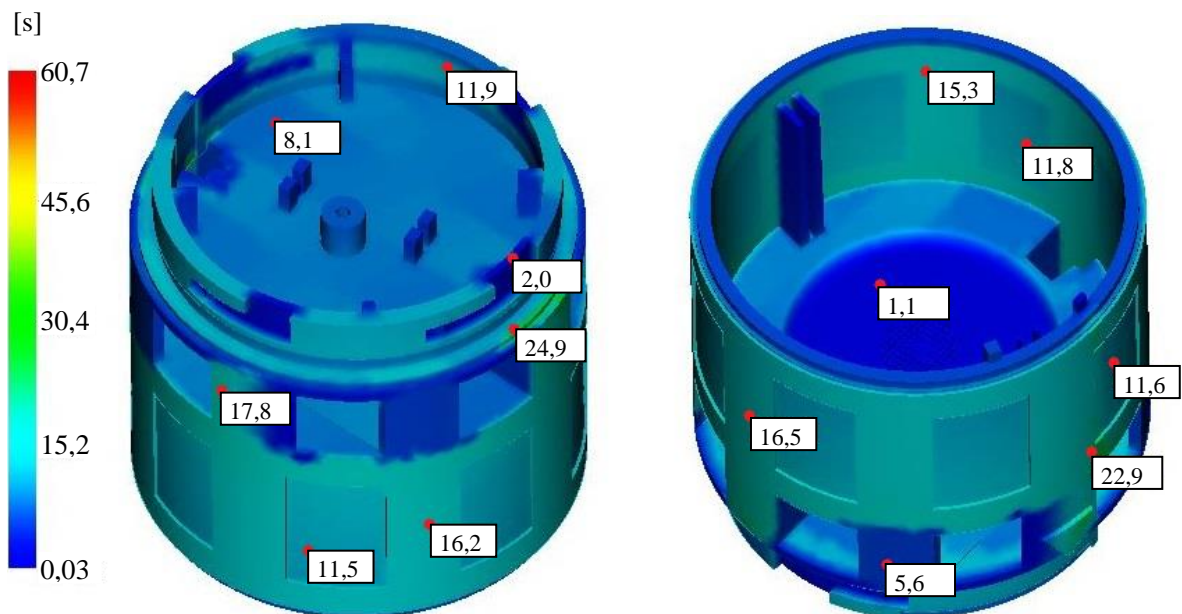
Obr. 69. Teplota povrchu dutiny navržené vstříkovací formy

10.3.2 Čas potřebný k ochlazení vystříknutého výrobku na vyhazovací teplotu

Vlastní vyhození vystříknutého výrobku z dutiny vstříkovací formy je možné provést až po ochlazení na vyhazovací teplotu, tedy teplotu, při které nehrozí porušení vystříknutého výrobku. Snahou je, aby čas potřebný k ochlazení výstřiku na vyhazovací teplotu byl z hlediska produktivity co nejkratší. Vystříknutému výrobku je ovšem nutné poskytnout dostatek času k vyrelaxování vstříknuté taveniny

Vyhazovací teplota vstříkovaného polymeru Lexan 940 je 128°C. Maximální čas ochlazování celého výrobku na vyhazovací teplotu je dle výpočtu analýzy přibližně 60 sekund. Vstříkovaný výrobek je možné z dutiny vstříkovací formy vyhodit mnohem dříve, protože se vyhazovací kolíky opírají o stěnu, která má čas potřebný k ochlazení do 9 sekund. Čas potřebný k ochlazení na vyhazovací teplotu u vnějších stěn výrobku je zhruba do 20 sekund a u vnitřních stěn výrobku do 17 sekund. Akustická membrána je na vyhazovací teplotu ochlazená do 1,5 sekundy. Celkovou dobu chlazení vstříkovaného výrobku lze bezpečně stanovit na 20 až 25 sekund. Pokud by u vstříknutého výrobku docházelo k borcení stěn, bylo by vhodné zvýšit dobu ochlazování. Kratší doby ochlazování výstřiku lze dosáhnout snížením teploty vstupujícího temperačního média.

ČAS POTŘEBNÝ K OCHLAZENÍ NA VYHAZOVACÍ TEPLITU



Obr. 70. Čas potřebný k ochlazení výstřiku na vyhazovací teplotu

Celková doba ochlazování výstřiku na vyhazovací teplotu je také omezena dobou ochlazování vtokového zbytku, která se pohybuje do 46 sekund. Vyhodit vtokový zbytek lze mnohem dříve, protože se jedná o odpad, který se bude recyklovat. Vtokový zbytek může být při vyhození zdeformován, ale nesmí být vyhazovacími kolíky propíchnut.

10.3.3 Reynoldsovo číslo protékajícího média v temperačním okruhu

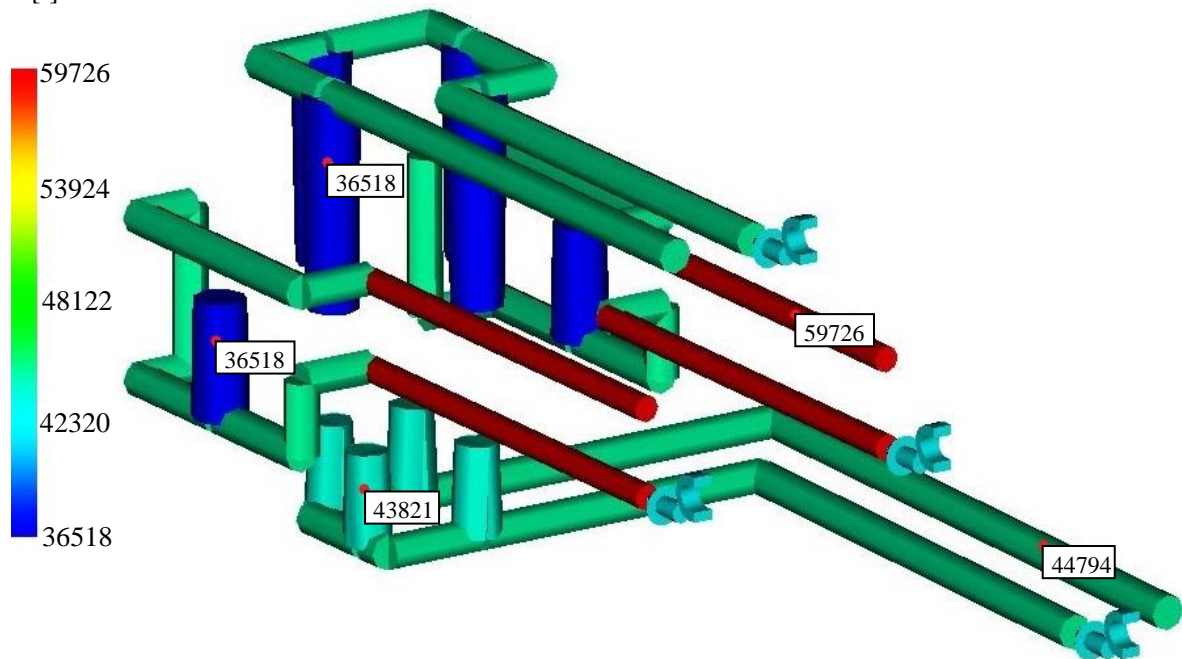
Temperační médium proudící temperačními vrtanými kanály má definovaný typ proudění. Typ proudění charakterizuje bezrozměrné Reynoldsovo číslo. Pokud je Reynoldsovo číslo menší než 2500, jedná se o proudění laminární, pokud je Reynoldsovo číslo větší než 10000, jde o proudění turbulentní. Mezi hodnotami 2500 až 10000 Reynoldsova čísla je přechodová oblast proudění. Při tečení temperačního média v temperačním systému je snahou mít turbulentní typ proudění, které zvýší intenzitu odvádění tepla ze vstřikovací formy.

Objemový průtok proudící vody byl při spuštění analýzy nastaven na 6 litrů za minutu. Reynoldsovo číslo je v jednotlivých částech temperačního systému rozdílné. V oblasti tvarových částí formy je proudění temperační kapaliny v intervalu 36000 až 45000 Reynoldsova čísla. V těchto tvarových částech je tedy velmi intenzivní sdílení tepla mezi proudící kapalinou a stěnou vrtaných kanálů. Hodnotu Reynoldsova čísla lze zvýšit větším objemovým průtokem, který vede k větší rychlosti proudění kapaliny. Reynoldsovo číslo je

také závislé na průměru temperačního kanálu a na kinematické viskozitě temperační kapaliny.

REYNOLDSOVO ČÍSLO PROUDÍCÍHO TEMPERAČNÍHO MÉDIA

[-]



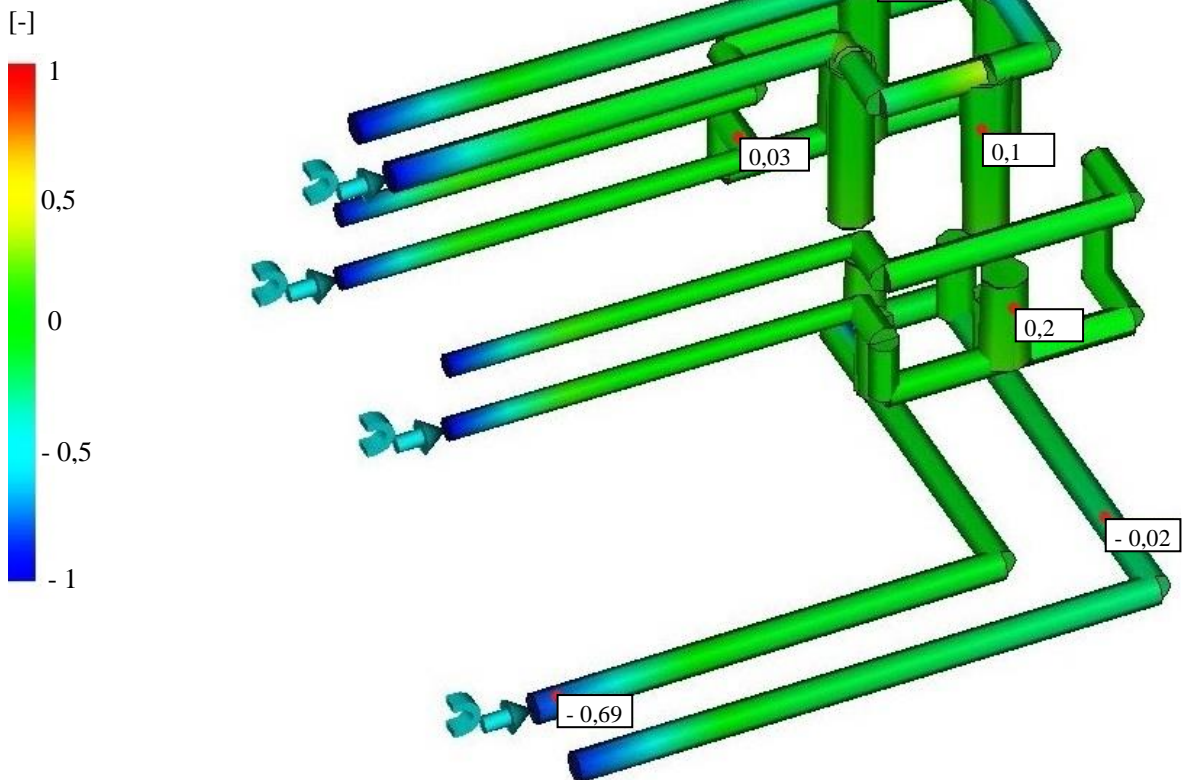
Obr. 71. Reynoldsovo číslo proudícího temperačního média v temperačních okruzích

10.3.4 Intenzita sdílení tepla v temperačním systému vstříkovací formy

Intenzita odvádění tepla pomáhá charakterizovat poměrné množství odvedeného tepla v jednotlivých místech temperačního systému. Množství tepla odvedeného v různých částech temperačního systému je závislé na konstrukci temperačních kanálů, průměru kanálů a na vzdálenosti kanálů od povrchu dutiny formy. Intenzitu odvádění tepla také ovlivňuje typ temperačního média, objemový průtok a typ proudění média.

Nejintenzivnější odvádění tepla je v oblastech temperace tvarových částí vstříkovací formy. Zvýšit intenzitu odvádění tepla lze přiblížením temperačních kanálů ke stěně dutiny vstříkovací formy. Tím ovšem poklesne pevnost a tuhost tvarových částí formy. Zvětšením průřezu vrtaných kanálů lze zvýšit intenzitu odvádění tepla, ale v porovnání s poklesem tuhosti formy velmi nepatrně. Procesními parametry lze zvýšit intenzitu odvádění tepla snížením teploty a zvýšením průtoku temperačního média.

INTENZITA ODVÁDĚNÍ TEPLA V TEMPERAČNÍCH KANÁLECH



Obr. 72. Intenzita odvádění tepla v temperačních kanálech

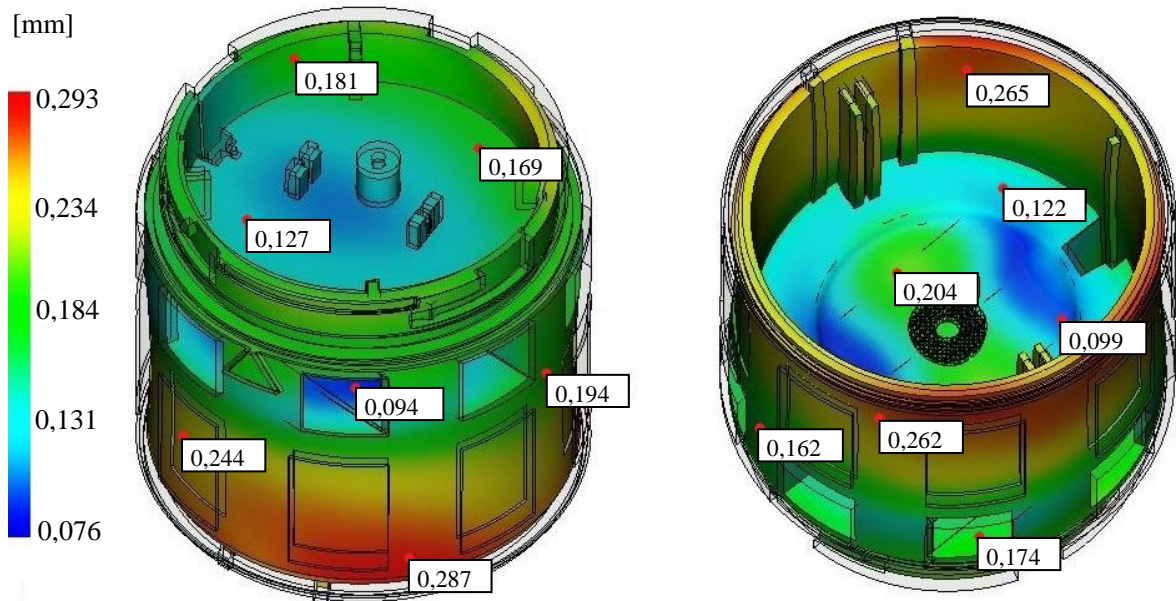
10.4 Výsledek analýzy deformace vstříkovaného výrobku

U vstříkovaného výrobku může po vlastním vystříknutí dojít ke vzniku deformací způsobenými mnoha vlivy. Výpočetní analýzou jsou řešeny deformace způsobené vlivem teplotné roztažnosti a orientace vstříkované taveniny a vlivem působícího temperačního systému. Velikost celkových deformací je velmi důležitá při navrhování rozměrů dutiny vstříkovací formy. Na obrázku č. 73 je vykreslena deformace způsobená všemi třemi vlivy. Velikost deformace výrobku je pro lepší ilustraci desetkrát zvětšena.

Při řešení konstrukce tvarových částí vstříkovací formy byla dutina formy zvětšena o hodnotu smrštění polymeru LEXAN 940, která byla 0,6 % a to ve všech směrech. Celková deformace vstříkovaného výrobku je v jednotlivých místech a v jednotlivých směrech různá. Největší hodnoty deformace 0,3 mm je dosaženo ve spodní části výrobku. Pokud by nebyly po vystříknutí dodrženy rozměry vstříkovaného výrobku dle přiloženého výkresu, bylo by nutné ovlivnit velikost deformace působícím dotlakem, nebo změnou teplot vstříkované taveniny a vstupujícího temperačního média do temperačního systému. Ovlivnit

velikost deformace v jednotlivých místech vstřikovaného výrobku je také možné úpravou konstrukce vstřikovací formy. Jedná se o změnu polohy vtokového ústí, úpravu konstrukce temperačního systému a změnu rozměrů dutiny vstřikovací formy. Deformování vyhazovaného výstřiku může být také způsobeno nevhodně navrženým vyhazovacím systémem, nebo nedostatečným ochlazením výstřiku na vyhazovací teplotu.

VELIKOST DEFORMACE VŠECH VLVIVŮ



Obr. 73. Deformace vstřikovaného výrobku způsobená všemi vlivy (zvětšeno 10x)

DISKUZE VÝSLEDKŮ

V praktické části diplomové práce bylo cílem pro firmu Obzor navrhnout u zadaného vstřikovaného výrobku konstrukci jednonásobné vstřikovací formy. Zadaným vstřikovaným výrobkem je dílec světelné a akustické signalizace sloužící jako alarm. Správná funkce vstřikovaného výrobku je zadavatelem podmíněna použitím polymeru Lexan 940 od firmy Sabic. Před vlastní konstrukcí formy byly u zadaného výrobku z důvodů lepšího zatékání polymeru a možnosti odformování výrobku provedené konstrukční úpravy, které neměly vliv na funkčnost výrobku.

Konstrukční řešení vstřikovací formy je omezeno technickými parametry zadaného vstřikovacího stroje ENGEL VC 330/80 spex a možnost použití různých normálií je omezené pouze na množství normálií používaných ve zmíněném podniku.

Dutina navržené vstřikovací formy je vymezena tvárníkem, tvárnicí a čtyřmi posuvnými tvarovými čelistmi definující vnější tvar výrobku. Tvárník s tvárnicí jsou řešeny snadno demontovatelnými tvarovými vložkami, které jsou ve vstřikovací formě přichyceny šrouby. Dvě menší posuvné tvarové čelisti mají svůj posun ovládan šikmými válcovými kolíky pod úhlem 18° . Velké posuvné tvarové čelisti jsou posouvány hydraulickými válci, protože by u těchto čelistí při použití šikmých válcových kolíků byly kolíky velmi dlouhé. Posun pomocí hydraulických válců je proveden pouze u otevřené vstřikovací formy, aby nedošlo ke kolizi mezi prodlouženými nátrubky temperačního systému a deskami vstřikovací formy. Z důvodů vyšší bezpečnosti je poloha těchto větších tvarových čelistí kontrolována indukčními snímači.

Během řešení konstrukce vtokového systému vstřikovací formy vznikaly při použití jednoho vtoků problémy se zatečením taveniny do celé dutiny vstřikovací formy. S použitím dvou vtoků bylo zadavatelem vyžadováno, aby jeden vtok ústil na výrobku do středu akustické membrány, kde je velmi tenká stěna. Plnění dutiny formy v tomto místě vedlo ke vzniku velmi vysokých hodnot rychlosti smykové deformace, které by zapříčinily degradaci materiálu. Nižších hodnot rychlosti smykové deformace je dosaženo u kombinovaného vtokového systému s horkým blokem a uzavíratelnými vtokovými tryskami. Horký blok je od firmy Synventive a trysky jsou uzavírané hydraulicky ovládanou jehlou. Do střední části akustické membrány na vstřikovaném výrobku je přivedeno minimální množství taveniny, čímž dojde k omezení vzniku vysokých hodnot rychlostí smykových deformací. Zbytek dutiny je vyplněn studeným vtokovým systémem s tunelovým vtokem.

Tunelový vtok umožní odstřížení vtokového zbytku při vlastním vyhazování výstřiku z dutiny formy a tím odstraní případné dodatečné operace. Studený vtokový systém je plněn druhou horkou vtokovou tryskou.

Temperace navržené vstřikovací formy je vyřešena vrtanými kanály. Vzhledem k požadované teplotě vstřikovací formy a nižším nákladům na temperační médium byla pro temperování formy zvolena voda. Temperační systém je složen ze čtyř temperačních okruhů. První temperační okruh slouží k temperaci tvárníku, druhý k temperaci tvárnice a zbylé dva temperují velké posuvné tvarové čelisti. Připojení temperačních okruhů k temperačnímu zařízení je umožněno připojovacími ventily. Uzavření vrtaných kanálů do temperačních okruhů je provedeno těsníci ucpávkami. Těsnost kanálu mezi tvarovými vložkami a deskami formy zajišťují pryžové těsnící kroužky.

Po ochlazení na vyhazovací teplotu je výrobek z dutiny formy vyhozen vyhazovacím systémem složeným z vyhazovacích kolíků uložených na vyhazovacích deskách. Na vyhození výrobku a vtokovém zbytku se podílí osm válcových vyhazovačů různých velikostí, sedm prizmatických vyhazovačů a jeden trubkový vyhazovač uložený na tvarovém jádře. Uložení vyhazovacích kolíků na vstřikovaném výrobku je do nepohledových míst výrobku a tak, aby vyhazovací síla byla co nejvíce rovnoměrná. Přidržení vtokového zbytku je na pohyblivé straně formy zajištěno přídržovačem vtoku.

Pro snadnější manipulaci vstřikovací formy mimo vstřikovací stroj byla forma opatřena transportním ramenem a zámky jistící formu v uzavřené poloze.

Funkce navržené vstřikovací formy byla ověřena tokovou analýzou v programu Moldflow. Z výsledků je zřejmé, že dojde k celému vyplnění dutiny formy a výsledky rychlosti smykové deformace se pohybují v bezpečných hodnotách. Vzhledem k použití řízených vtoků ovšem vzniklo riziko se studenými spoji na vstřikovaném výrobku, které mohou v oblasti akustické membrány vést ke vzniku méně pevných míst. V případné realizaci tohoto projektu je nutné zvážení vlivu vysoké hodnoty rychlosti smykové deformace, nebo v opačném případě při použití řízených vtoků riziko vzniku studených spojů.

Návrh konstrukce vstřikovací formy byl proveden v konstrukčním softwaru Catia. Při vlastním modelování formy byly použity normálie především firmy Meusburger. Navržená konstrukce vstřikovací formy nepředstavuje definitivní řešení a slouží především jako jedna z možných variant pro případnou realizaci tohoto projektu.

ZÁVĚR

Diplomová práce složená z jednotlivých částí byla řešena na základě stanovených cílů vycházejících z oficiálního zadání.

Teoretická část práce řeší literární rešerši na téma konstrukce vstřikovacích forem a vstřikovaných výrobků. V této literární studii je také řešena technologie vstřikování, vstřikované polymery a používané vstřikovací stroje.

V praktické části je navržena konstrukce vstřikovací formy pro zadaný výrobek v programu Catia a ověřena funkčnost navržené formy tokovou analýzou v programu Moldflow.

Zadaným vstřikovaným výrobkem je dílec světelné a akustické signalizace sloužící jako alarm. Správná funkce výrobku je zadavatelem podmíněna použitím vstřikovaného materiálu Lexan 940 od firmy Sabic.

Hlavní část diplomové práce představuje vlastní návrh jednonásobné vstřikovací formy. Vzhledem k zadanému vstřikovacímu stroji ENGEL VC 330/80 spex bylo nutné vhodně zvolit základní rozměry formy. Následně byl vstřikovaný výrobek uložen do dělicích rovin a proběhl návrh tvarových částí formy. Posuvné tvarové čelisti formy byly opatřeny ovládacími mechanismy. Přivedení taveniny do dutiny formy je kombinovaným vtokovým systémem, který obsahuje horký rozvodný blok s hydraulicky uzavíratelnými tryskami od firmy Synventive. Vstřikovací forma byla opatřena čtyřmi temperačními okruhy z vrtaných kanálů, kterými proudí voda. Navržený vyhazovací systém je složen z rovnoměrně rozmístěných válcových vyhazovacích kolíků, prizmatických vyhazovacích kolíků a jednoho trubkového vyhazovače.

Funkce navržené vstřikovací formy byla ověřena tokovou analýzou v programu Moldflow. Byla zde nezbytná kontrola zatečení polymeru a velikosti hodnot rychlostí smykových deformací.

Navržený 3D model výrobku a vstřikovací formy je doložen výkresy. Jedná se o sestavu vstřikovací formy s kusovníkem, výkres pohledů do dělicí roviny formy a výkres vstřikovaného výrobku. Konstrukce vstřikovací formy i tvorba zmíněných výkresů byla provedena v programu Catia a to za použití normálií firmy Meusburger.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] TOMIS, František. *Základy gumárenské a plastikářské technologie*. Brno : VUT v Brně, 1980. str. 178.
- [2] LENFELD, Petr. *Technologie II – Vstřikování plastů*, TU Liberec – Fakulta strojní. Dostupný z WWW:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [3] BOBČÍK, Ladislav a kol. *Formy pro zpracování plastů I.díl- Vstřikování termoplastů*. 2.vyd. Brno : UNIPLAST, 1999. str. 134.
- [4] ŠTĚPĚK, Jiří a ZELINGER, Jiří. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1989. str. 637.
- [5] NEUHÄUSL, Emil. *Vstřikování plastických hmot*. Praha : SNTL, 1973. str. 206.
- [6] *RUTLANDPLASTICS* [online]. [cit. 2015-10-03]. Dostupné z:
http://www.rutlandplastics.co.uk/advice/moulding_machine.html
- [7] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, str. 229.
- [8] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN -technická literatura, 2009. str. 248. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [9] *INTECH* [online]. [cit. 2015-10-04]. Dostupné z:
<http://www.intechopen.com/books/computational-fluid-dynamics-technologies-and-applications/modelling-and-simulation-for-micro-injection-molding-process>
- [10] HOLUB, Vojtěch. *Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu galanterní spony*. Zlín, 2014. Bakalářská práce. UTB ve Zlíně. Vedoucí práce Michal Staněk.
- [11] MÉZL, Milan. *Základy technológie vstrekovania plastov*. Olomouc: Mapro, 2012, 301 s. ISBN 978-80-970749-7-5.
- [12] VLČEK, Jiří a Miroslav MAŇAS. *Aplikovaná reologie*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2001, 144 s. ISBN 8073180391.
- [13] BRUMMEL, Michal. *Rozměrově přesné výrobky z plastů*. 1. vydání. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1977, 278 stran.
- [14] STANĚK, Michal. *Formy – technologie vstřikování*. (přednáška). Zlín: UTB ve Zlíně, 23. 9. 2015
- [15] *SPRA* [online]. [cit. 2015-10-07]. Dostupné z:
<http://www.spra.org.uk/news/201103/3d-forming-process-plastics-injection-moulding>

- [16] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. str. 280. ISBN 80-7080-617-6. Dostupný z WWW: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-img/obalka-1.html
- [17] DVOŘÁK, Zdeněk a LAMBOROVÁ, Romana. *Základy výrobních procesů I – konstrukční materiály polymerní a kompozity*. Zlín: UTB ve Zlíně, 2008. str. 64. Dostupný z WWW: <http://www.utb.cz/file/40834/>
- [18] VOJTĚCH, Dalibor. *Materiály a jejich mezní stavy*. Vyd. 1. V Praze: Vysoká škola chemicko-technologická, 2010, 204 s. ISBN 978-80-7080-741-5.
- [19] MAŇAS, Miroslav a HELŠTÝN, Josef. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1990. str. 199.
- [20] REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Munich : Hanser Publishers, 2002. str. 688. ISBN 3-446-21659-6.
- [21] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*. Liberec, 2014. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Impresum.html>
- [22] DVOŘÁK, Zdeněk a LÉDLOVÁ, Hana. *Základy výrobních procesů - Výrobní technologie zpracování polymerů vstřikováním*. Zlín : UTB ve Zlíně, 2007. str. 84. Dostupný z WWW: <http://www.utb.cz/file/40836/>
- [23] TORAY [online]. [cit. 2015-10-19]. Dostupné z: http://www.toray.jp/plastics/torelina/technical/tec_032.html
- [24] ARBURG [online]. [cit. 2015-10-20]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/spektrum-sluzeb/vstrikovani/vstrikovaci-stroje/>
- [25] IMAGECK [online]. [cit. 2015-10-20]. Dostupné z: <http://imageck.com/410911408-machine-injection-molding-clamping-unit.html>
- [26] KOLOUCH, Jan. *Strojní součásti z plastů*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1981, 258 s.
- [27] TOMIS, František a HELŠTÝN, Josef. *Formy a přípravky*. 2. vyd. Praha : SNTL, 1985. str. 274.
- [28] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce vylisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 978-80-7204-833-5.
- [29] BEAUMONT, John P., NAGEL, Robert a SHERMAN, Robert. *Successful injection molding: process, design and simulation*. Munich : Hanser Publishers, 2002. str. 362. ISBN 3-446-19433-9
- [30] HYNEK, Martin. *Ukázkové vývojové projekty z praxe pro posílení praktických znalostí budoucích strojních inženýrů: Plastové díly*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013. Dostupné z: https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05/

- [31] DYM, Joseph B. *Injection molds and molding: a practical manual*. 2nd ed. New York: Nostrand Reinhold, c1987, xvi, 395 s. ISBN 0-442-21785-4.
- [32] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů II.díl -Vstřikování termoplastů*. Brno : UNIPLAST, 1999. str. 214.
- [33] *MELTDESIGN* [online]. [cit. 2015-11-14]. Dostupné z: <http://www.meltdesign.com/news/?p=85>
- [34] *HASCO* [online]. [cit. 2015-11-14]. Dostupné z: <http://www.hasco.de/gb/Products>
- [35] *TECHNODAT* [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <http://www.technodat.cz/catia-v5>
- [36] *SMARTPLAST* [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <http://www.smartplast.cz/software.php>
- [37] *CAD STUDIO* [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/moldflow>
- [38] *SABIC* [online]. [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://www.sabic.com/>
- [39] *BAYER* [online]. [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <https://www.bayer.cz/cs/o-spolecnosti/zakladni-informace/>
- [40] *ADVANTAGEAUSTRIA* [online]. [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://www.advantageaustria.org/international/index.en.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

MPa	Megapaskal
p	Tlak [Pa]
t	Čas [s]
T	Teplota [°C]
v	Měrný objem [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]
g	Gram
kg	Kilogram
mm	Milimetr
cm	Centimetr
cm^2	Centimetr čtvereční
cm^3	Centimetr krychlový
3D	Třírozměrný prostor
2D	Dvourozměrný prostor
°C	Stupeň Celsia
%	Procenta
s	Sekunda
PC	Polykarbonát
HDR	Hlavní dělicí rovina
VDR	Vedlejší dělicí rovina
s^{-1}	Reciproká sekunda
NC	Číslicové ovládání
kN	Kilonewton
D	Průměr [mm]
ČSN	Česká technická norma
CAD	Počítačem podporované projektování

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Schématické zobrazení vstřikovacího stroje [6].....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 2. Schématické zobrazení vstřikovacího cyklu [9]</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 3. Časový diagram vstřikovacího cyklu [10].....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 4. Graf tlaku a teploty taveniny v závislosti na čase při vstřikování [8].....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 5. Schématický průběh vstřikovacího procesu v pVt diagramu [8]</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 6. Zpracovatelské okno vstřikovacího procesu [13]</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 7. Schéma laminárního toku taveniny [15]</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 8. Makromolekulární struktura polymerů [18]</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 9. Schématické zobrazení vstřikovací jednotky [23]</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 10. Příklad hydraulického uzavíracího systému firmy Arburg [24]</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 11. Schéma hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky [25].....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 12. Příklad návrhu zmenšení tloušťek u vstřikovaného výrobku [28]</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 13. Přejechod mezi různými tloušťkami stěn u výstřiku [29]</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 14. Základní desky vstřikovací formy</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 15. Schématické zobrazení studeného vtokového systému [30]</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 16. Příklad rozmístění rozvodných kanálů vícenásobné formy [30]</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 17. Příklad průřezů rozvodných kanálů [29]</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 18. Schématický princip třídeskového uspořádání formy [4], [20]</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 19. Princip odtržení a vyhození výstřiku u srpkovitého vtoku [30].....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 20. Příklad horkých vtokových trysek [33].....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 21. Příklad temperačních přepážek firmy Hasco [34]</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 22. Příklad vyhazovacích kolíků firmy Hasco [34]</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 23. Princip odformování posuvné čelisti pomocí šikmých válcových kolíků [10]</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 24. Pohled na vymodelovaný vstřikovaný výrobek.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 25. Základní rozměry vstřikovaného výrobku</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 26. Analýza plnění dutiny formy u polymeru Lexan 940.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 27. Analýza plnění dutiny formy u polymeru Makrolon 2805</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 28. Pohled na vysíťovaný model výrobku</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 29. Statistika vytvořené sítě modelu výrobku v programu Moldflow</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 30. Analýza optimálního umístění vtokového ústí</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 31. Plnění dutiny formy při uložení vtoku do horní části výrobku</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 32. Plnění dutiny formy při použití dvou vtoků</i>	<i>55</i>

<i>Obr. 33. Rychlost smykové deformace při vstřikování dvěma vtoky</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 34. Plnění dutiny formy při použití dvou sekvenčních vtoků</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 35. Rychlost smykové deformace při použití sekvenčních vtoků</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 36. Úprava tloušťky stěny výrobku u bajonetového uzávěru</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 37. Řez původním a nově upraveným modelem vstřikovaného výrobku</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 38. Analýza plnění dutiny formy u upraveného modelu výrobku</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 39. Zaformování vstřikovaného výrobku do dělicích rovin</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 40. Zaformování výrobku do tvarových částí vstřikovací formy</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 41. Tvarové vložky navržené vstřikovací formy</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 42. Velké posuvné tvarové čelisti navržené formy</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 43. Malé posuvné tvarové čelisti navržené formy</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 44. Pevná část navržené vstřikovací formy</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 45. Pohyblivá část navržené vstřikovací formy</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 46. Pohled na vstřikovaný výrobek s vtokovým systémem formy</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 47. Pohled na sestavu horkého vtokového systému firmy Synventive</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 48. Temperace pravé tvarové vložky (tvárnice)</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 49. Temperace levé tvarové vložky (tvárníku)</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 50. Temperace posuvných tvarových čelistí</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 51. Pohled na ovládací prvky k odformování menších tvarových čelistí</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 52. Pohled na systém ovládání posuvu velké tvarové čelisti</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 53. Pohled na vyhazovací systém formy</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 54. Pohled na vyhazovače vstřikovací formy</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 55. Rozmístění vyhazovačů v dutině formy</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 56. Vodící a středící součásti navržené vstřikovací formy</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 57. Použité kroužky k vystředění formy do vstřikovacího stroje</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 58. Počítadlo cyklů a transportní součásti navržené formy</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 59. Vstřikovací stroj ENGEL VC 330/80 spex</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 60. Čas plnění dutiny vstřikovací formy</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 61. Závislost vstřikovacího tlaku a dotlaku na čase</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 62. Rychlost smykové deformace u navržené vstřikovací formy</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 63. Závislost uzavírací síly na čase při procesu vstřikování</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 64. Vznik studených spojů u vstřikovaného výrobku</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 65. Teplota taveniny při vznikání studeného spoje</i>	<i>84</i>

<i>Obr. 66. Vyplněné oblasti vstříkovaného výrobku jednotlivými tryskami</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 67. Vzduchové kapsy na vstříkovaném výrobku</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 68. Propadliny na vstříkovaném výrobku</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 69. Teplota povrchu dutiny navržené vstříkovací formy</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 70. Čas potřebný k ochlazení výstřiku na vyhazovací teplotu</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 71. Reynoldsovo číslo proudícího temperačního média v temperačních okruzích</i>	<i>90</i>
<i>Obr. 72. Intenzita odvádění tepla v temperačních kanálech</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 73. Deformace vstříkovaného výrobku způsobená všemi vlivy (zvětšeno 10x)</i>	<i>92</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Plocha, objem a hmotnost vstříkovaného výrobku</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 2. Doporučené zpracovatelské teploty materiálu Lexan 940</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 3. Parametry formy a uzavírací jednotky vstříkovacího stroje.....</i>	<i>77</i>
<i>Tab. 4. Parametry formy a vstříkovací jednotky vstříkovacího stroje</i>	<i>78</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P1	Vlastnosti vstřikovaného polymeru Lexan 940
PŘÍLOHA P2	Technické parametry vstřikovacího stroje ENGEL VC 330/80 spex
PŘÍLOHA P3	3D pohledy na celou vstřikovací formu
PŘÍLOHA P4	3D pohledy na pravou pevnou část vstřikovací formy (bez transportního můstku)
PŘÍLOHA P5	3D pohledy na levou pohyblivou část vstřikovací formy (včetně vyhazovacího systému)
PŘÍLOHA P6	3D renderované pohledy zadaného vstřikovaného výrobku
PŘÍLOHA P7	Výkres vstřikovaného výrobku
PŘÍLOHA P8	Výkresy vstřikovací formy <ul style="list-style-type: none">- Sestava vstřikovací formy- Kusovník vstřikovací formy- Výkres pohledů do dělicí roviny
PŘÍLOHA P9	DVD disk obsahující: <ul style="list-style-type: none">- Textovou část DP (doc/pdf)- 3D model vstřikovaného výrobku a vstřikovací formy- Nakreslené výkresy výrobku a vstřikovací formy- Výsledky tokových analýz (přípravné, finální)

PŘÍLOHA P1: VLASTNOSTI VSTŘIKOVANÉHO POLYMERU

LEXAN 940



LEXAN™ Resin 940 Europe-Africa-Middle East: COMMERCIAL

LEXAN 940 is a medium viscosity flame retardant grade, especially suitable for electrical applications.

TYPICAL PROPERTIES ¹	TYPICAL VALUE	Unit	Standard
MECHANICAL			
Taber Abrasion, CS-17, 1 kg	10	mg/1000cy	SABIC Method
Tensile Stress, yield, 50 mm/min	63	MPa	ISO 527
Tensile Stress, break, 50 mm/min	60	MPa	ISO 527
Tensile Strain, yield, 50 mm/min	6	%	ISO 527
Tensile Strain, break, 50 mm/min	85	%	ISO 527
Tensile Modulus, 1 mm/min	2350	MPa	ISO 527
Flexural Stress, yield, 2 mm/min	90	MPa	ISO 178
Flexural Modulus, 2 mm/min	2300	MPa	ISO 178
Hardness, H358/30	95	MPa	ISO 2039-1
IMPACT			
Izod Impact, unnotched 80°10'3 +23°C	NB	kJ/m ²	ISO 180/1U
Izod Impact, unnotched 80°10'3 -30°C	NB	kJ/m ²	ISO 180/1U
Izod Impact, notched 80°10'3 +23°C	70	kJ/m ²	ISO 180/1A
Izod Impact, notched 80°10'3 -30°C	12	kJ/m ²	ISO 180/1A
Charpy 23°C, V-notch Edgew 80°10'3 sp=62mm	73	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy -30°C, V-notch Edgew 80°10'3 sp=62mm	14	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy 23°C, Unnotch Edgew 80°10'3 sp=62mm	NB	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy -30°C, Unnotch Edgew 80°10'3 sp=62mm	NB	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy Impact, notched, 23°C	30	kJ/m ²	ISO 179/2C
THERMAL			
Thermal Conductivity	0.2	W/m-°C	ISO 8302
CTE, 23°C to 80°C, flow	7.E-05	1/°C	ISO 11359-2
Ball Pressure Test, 125°C +/- 2°C	PASSES	-	IEC 60695-10-2

TYPICAL PROPERTIES ¹	TYPICAL VALUE	Unit	Standard
THERMAL			
Ball Pressure Test, approximate maximum	140	°C	IEC 60695-10-2
Vicat Softening Temp, Rate A/50	150	°C	ISO 306
Vicat Softening Temp, Rate B/50	141	°C	ISO 306
Vicat Softening Temp, Rate B/120	142	°C	ISO 306
HDT/Be, 0.45MPa Edgew 120*10*4 sp=100mm	136	°C	ISO 75/Be
HDT/Ae, 1.8 MPa Edgew 120*10*4 sp=100mm	125	°C	ISO 75/Ae
Relative Temp Index, Elec	130	°C	UL 746B
Relative Temp Index, Mech w/impact	120	°C	UL 746B
Relative Temp Index, Mech w/o impact	125	°C	UL 746B
PHYSICAL			
Mold Shrinkage on Tensile Bar, flow (2) (5)	0.5 - 0.7	%	SABIC Method
Density	1.2	g/cm ³	ISO 1183
Water Absorption, (23°C/sat)	0.35	%	ISO 62
Moisture Absorption (23°C / 50% RH)	0.15	%	ISO 62
Melt Volume Rate, MVR at 300°C/1.2 kg	9	cm ³ /10 min	ISO 1133
OPTICAL			
Haze, 2.54 mm	NA	%	ASTM D 1003
Refractive Index	NA	-	ISO 489
ELECTRICAL			
Volume Resistivity	>1.E+15	Ohm-cm	IEC 60093
Surface Resistivity, ROA	>1.E+15	Ohm	IEC 60093
Dielectric Strength, shorttime, 1.0mm	17	kV/mm	IEC 60243-1
Dielectric Strength, in oil, 3.2 mm	17	kV/mm	IEC 60243-1
Relative Permittivity, 1 MHz	2.7	-	IEC 60250
Dissipation Factor, 50/60 Hz	0.001	-	IEC 60250
Dissipation Factor, 1 MHz	0.01	-	IEC 60250

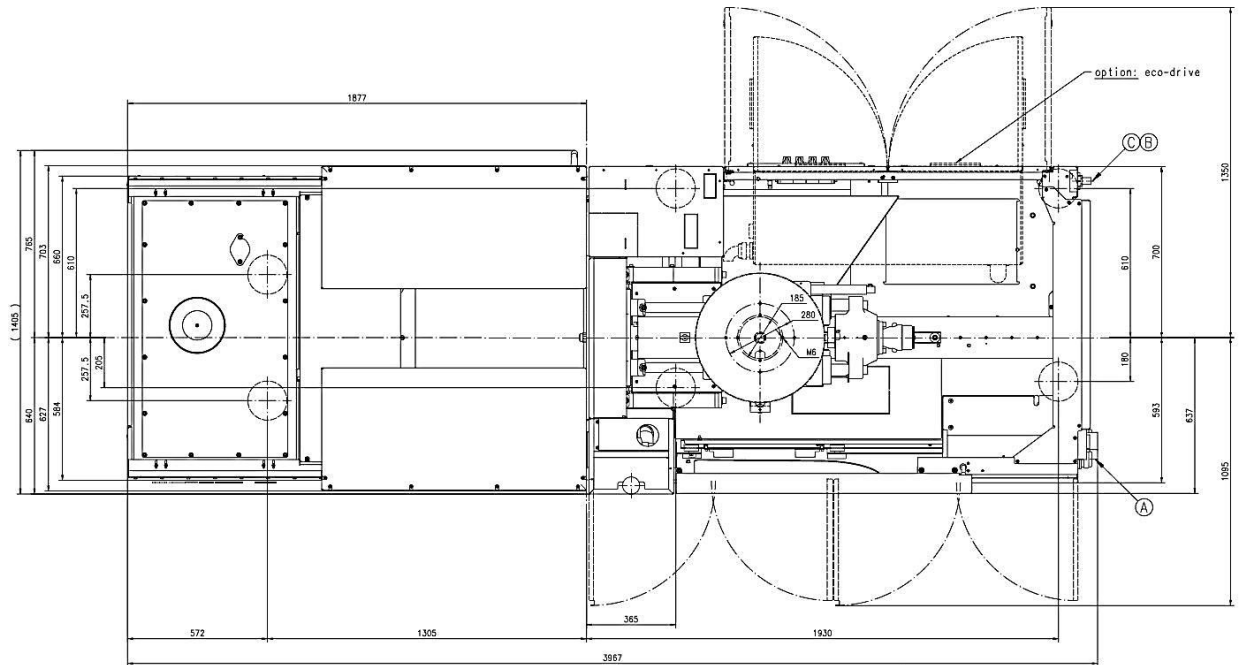
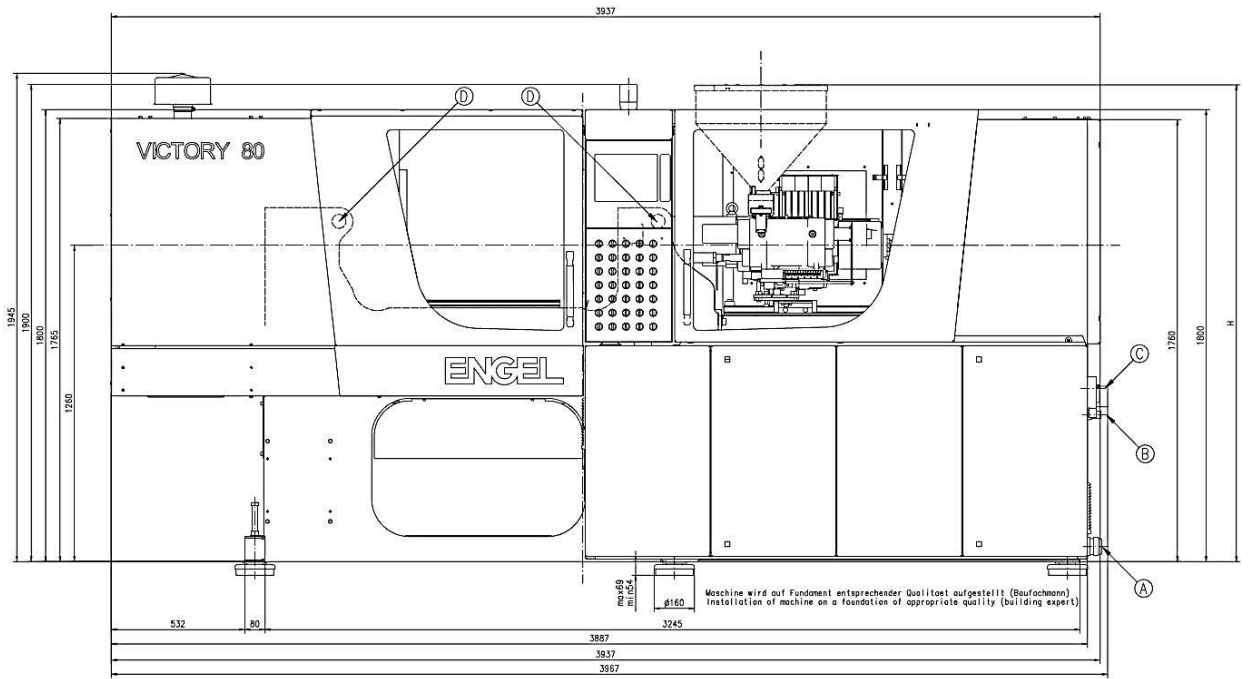
TYPICAL PROPERTIES ¹	TYPICAL VALUE	Unit	Standard
ELECTRICAL			
Comparative Tracking Index	225	V	IEC 60112
Relative Permittivity, 50/60 Hz	2.7	-	IEC 60250
FLAME CHARACTERISTICS			
UL Recognized, 94V-0 Flame Class Rating (3)	1.1	mm	UL 94
Glow Wire Flammability Index 850°C, passes at	1	mm	IEC 60695-2-12
Glow Wire Flammability Index 960°C, passes at	1.6	mm	IEC 60695-2-12
Glow Wire Ignitability Temperature, 1.0 mm	825	°C	IEC 60695-2-13
Glow Wire Ignitability Temperature, 2.0 mm	850	°C	IEC 60695-2-13
Oxygen Index (LOI)	35	%	ISO 4589

PROCESSING PARAMETERS	TYPICAL VALUE	Unit
Injection Molding		
Drying Temperature	120	°C
Drying Time	2 - 4	hrs
Maximum Moisture Content	0.02	%
Melt Temperature	280 - 300	°C
Nozzle Temperature	270 - 290	°C
Front - Zone 3 Temperature	280 - 300	°C
Middle - Zone 2 Temperature	270 - 290	°C
Rear - Zone 1 Temperature	260 - 280	°C
Hopper Temperature	60 - 80	°C
Mold Temperature	80 - 100	°C

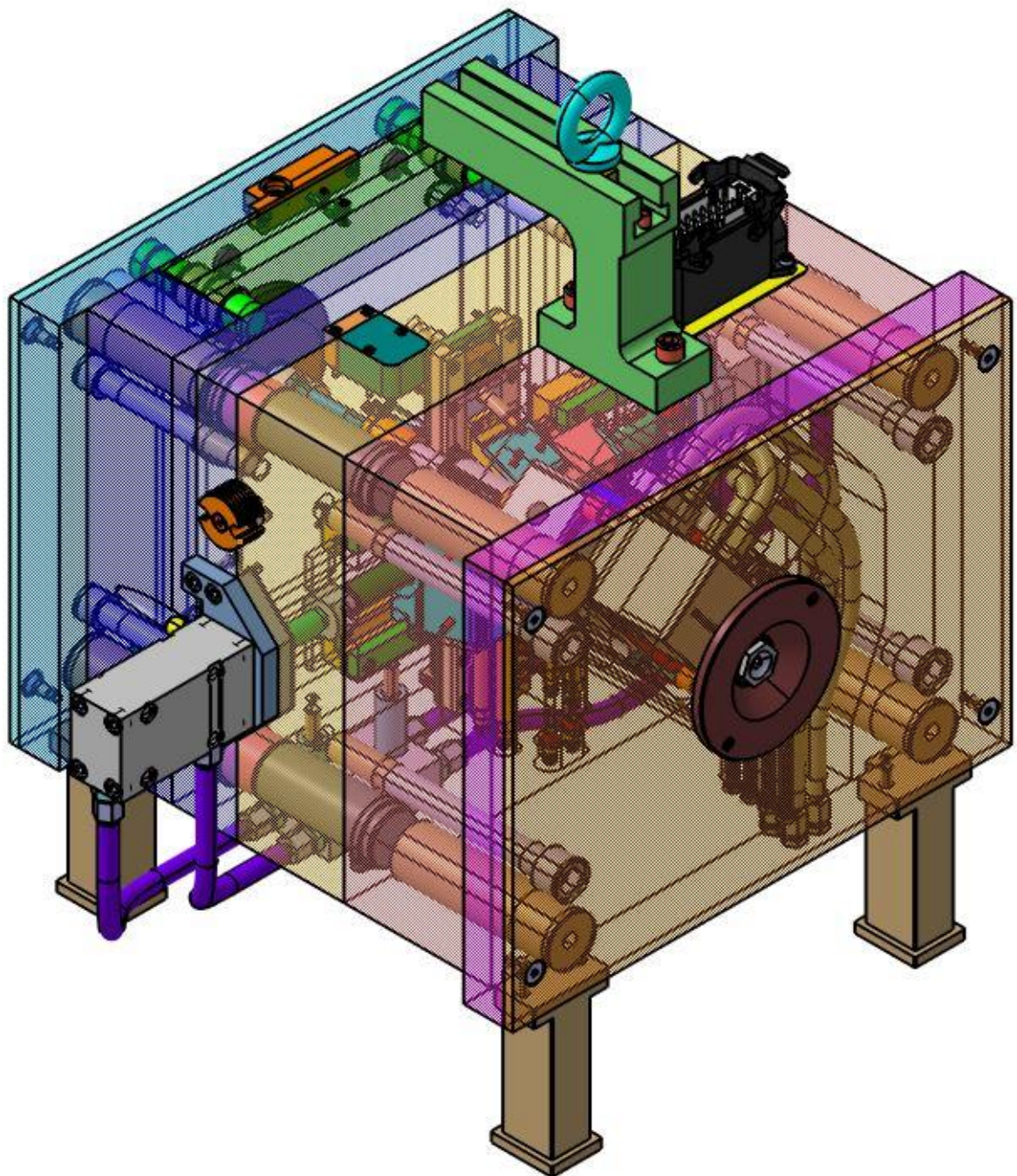
PŘÍLOHA P2: TECHNICKÉ PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE ENGEL VC 330/80 SPEX

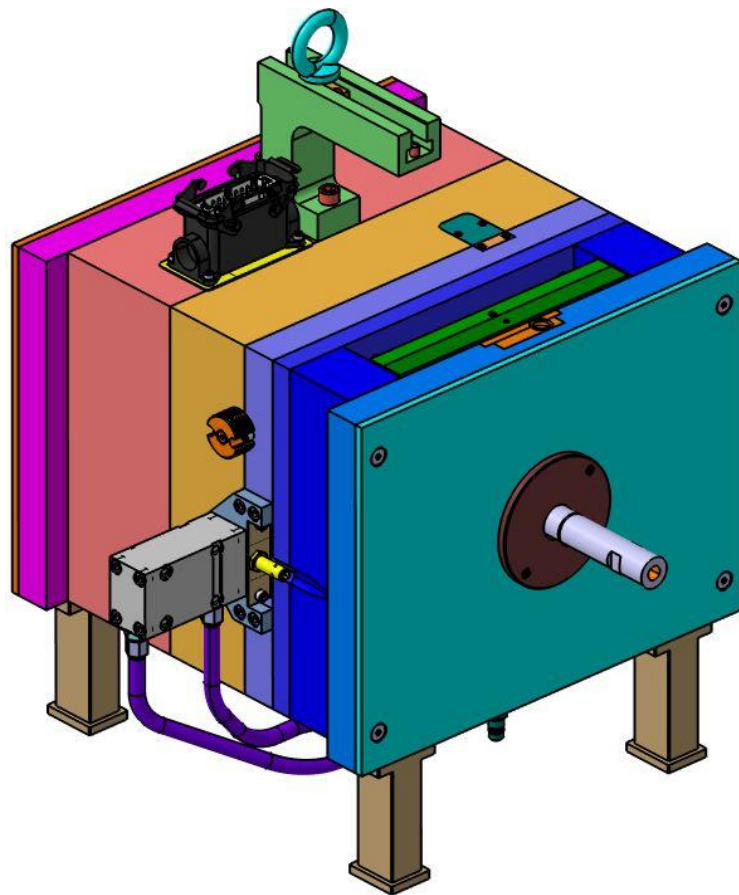
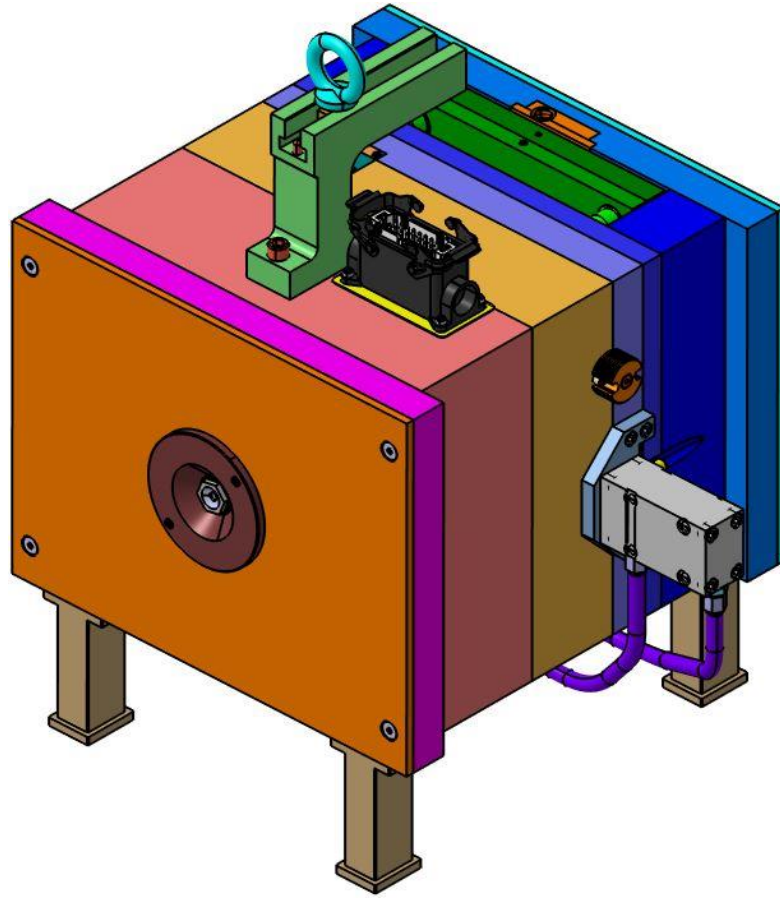
TECHNISCHES DATENBLATT / TECHN DATA SHEET

ENGEL	SCHWERTBERG	Fab.Nr.:	189786		
	AUSTRIA	angelegt am :	28.06.2013 11:18		
		letzte Aenderung:	28.06.2013 11:18		
Maschinenbezeichnung / Machine designation:		VC 330/80 spex			
1) Schliesseinheit / Clamping unit					
Schliesskraft / Clamping force	kN	800			
Oeffnungsweg / Opening stroke	mm	457			
Auswerferweg / Ejector stroke	mm	100			
Auswerferkraft / Ejector force	kN	39,8			
2) Antrieb / Drive					
Pumpenantriebsleistung / Pump drive power	kW	0			
3.1) Spritzeinheit 1 / Injection unit 1					
Schneckendurchmesser / Screw diameter	mm	25	30	35	40
Max. Hubvolumen / Max swept volume	cm ³	79	113	154	201
Schneckendrehzahl max / Screw speed max	r/min	400	400	400	320
Schneckendrehzahl max aktuell / Screw speed max current	r/min	400			
Einspritzstrom / Injection rate	cm ³ /s	67	97	132	172
Einspritzstrom erhoeht / Injection rate increased	cm ³ /s	50	71	97	127
Spez. Spritzdruck / Spec. Injection pressure	bar	2393	2185	1595	1221
Spez. Spritzdruck erhoeht / Spec. Injection pressure increased	bar	0	2385	2177	1667
Duesenweg / Nozzle stroke	mm	300			
Duesenanpresskraft / Nozzle cont. pressure	kN	48,9			
3.2) Spritzeinheit 2 / Injection unit 2					
Schneckendurchmesser / Screw diameter	mm				
Max. Hubvolumen / Max swept volume	cm ³				
Schneckendrehzahl max / Screw speed max	r/min				
Schneckendrehzahl max aktuell / Screw speed max current	r/min				
Einspritzstrom / Injection rate	cm ³ /s				
Einspritzstrom erhoeht / Injection rate increased	cm ³ /s				
Spez. Spritzdruck / Spec. Injection pressure	bar				
Spez. Spritzdruck erhoeht / Spec. Injection pressure increased	bar				
Duesenweg / Nozzle stroke	mm				
Duesenanpresskraft / Nozzle cont. pressure	kN				
3.3) Spritzeinheit 3 / Injection unit 3					
Schneckendurchmesser / Screw diameter	mm				
Max. Hubvolumen / Max swept volume	cm ³				
Schneckendrehzahl max / Screw speed max	r/min				
Schneckendrehzahl max aktuell / Screw speed max current	r/min				
Einspritzstrom / Injection rate	cm ³ /s				
Einspritzstrom erhoeht / Injection rate increased	cm ³ /s				
Spez. Spritzdruck / Spec. Injection pressure	bar				
Spez. Spritzdruck erhoeht / Spec. Injection pressure increased	bar				
Duesenweg / Nozzle stroke	mm				
Duesenanpresskraft / Nozzle cont. pressure	kN				

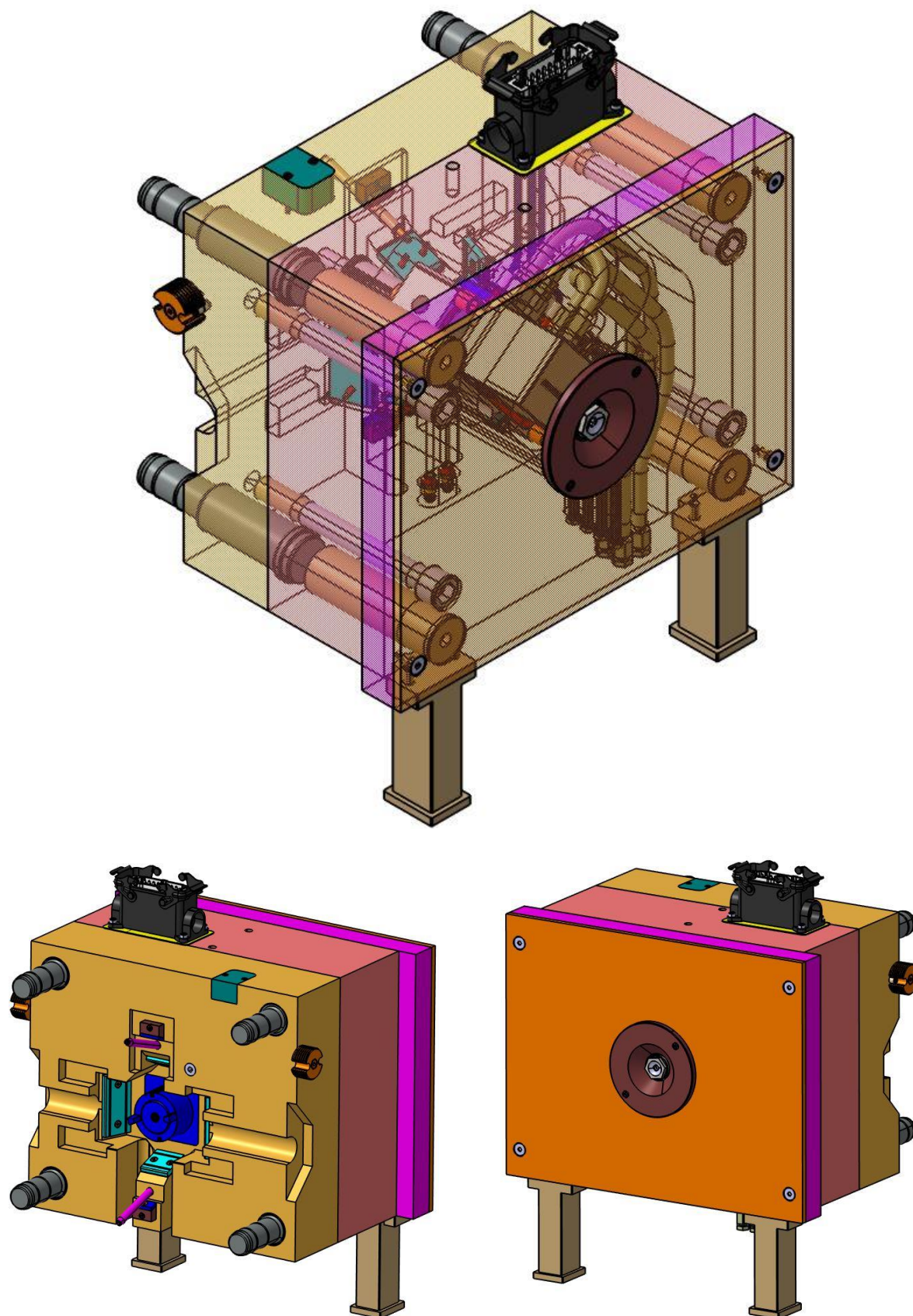


PŘÍLOHA P3: 3D POHLEDY NA CELOU VSTŘIKOVACÍ FORMU

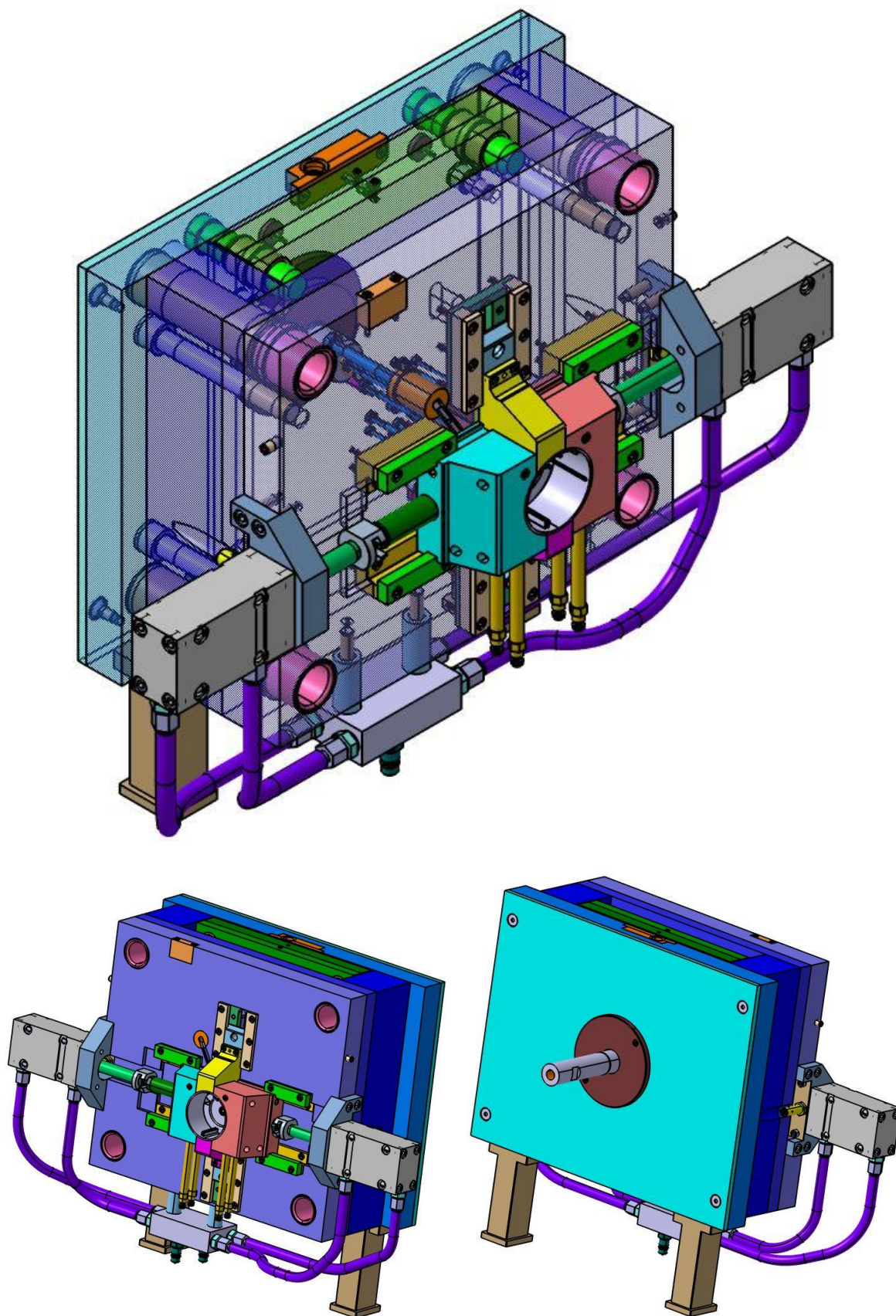




**PŘÍLOHA P4: 3D POHLEDY NA PRAVOU PEVNOU ČÁST
VSTŘIKOVACÍ FORMY (BEZ TRANSPORTNÍHO MŮSTKU)**



**PŘÍLOHA P5: 3D POHLEDY NA LEVOU POHYBLIVOU ČÁST
VSTŘIKOVACÍ FORMY (VČETNĚ VYHAZOVACÍHO SYSTÉMU)**



**PŘÍLOHA P6: 3D RENDEROVANÉ POHLEDY ZADANÉHO
VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU**

