

Návrh vstřikovací formy

Bc. Jakub Karel

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub KAREL**
Osobní číslo: **T11163**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh vstřikovací formy pro výrobu součásti motoru**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Proveďte konstrukci 3D modelu zadaného vstřikovaného dílu.
3. Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl.
4. Vhodnost návrhu ověřte pomocí analýz.
5. Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.

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. února 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

10. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: KAREL JAKUB

Obor: KT2-P1

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 obhajoby¹⁾;
- 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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ 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 § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit 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 25.4.2013

Karel

²⁶ 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 nevydělčinně 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.

²⁷ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

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

²⁸ 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). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybného projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit 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 výdětku jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložil, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdětku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem vstřikovací formy. Forma byla navržena pro zadaný plastový dílec, kterým je část chladiče automobilu.

Práce je složena z části teoretické, jenž obsahuje popis teorie vstřikování, popis vstřikovacího cyklu a vstřikovacích strojů. Dále základní rozdělení polymerů. V části praktické je řešen konstrukční návrh formy v programu CATIA V5 R18 spolu s tokovými analýzami vytvořenými v programu Autodesk Moldflow.

Klíčová slova: vstřikovací forma, konstrukce, návrh, vstřikování

ABSTRACT

Thesis deals with the design of injection mold. Mold design was based from the specified component, which is part of car cooler.

The work is composed of theoretical part, which contains description of injection theory, description of injection cycle and injection machines. Next part is base distribution of polymers. In the practice part is solved construction design of injection mold in software CATIA V5 R18 together with flow analysis generated in software Autodesk Moldflow.

Keywords: injection mold, construction, mold design, injection molding

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D., za příkladné vedení, odborné rady a věnovaný čas v průběhu vypracovávání práce.

Taktéž bych chtěl poděkovat všem lidem z Ústavu výrobního inženýrství fakulty technologické, za získané vědomosti v průběhu celého studia na Universitě Tomáše Bati ve Zlíně.

Překážky se stavějí do cesty obyčejným lidem proto, aby z nich udělali neobyčejné.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 POLYMERY A JEJICH ROZDĚLENÍ	13
1.1 TERMOPLASTY	13
1.2 REAKTOPLASTY.....	14
1.3 ELASTOMERY	14
1.4 ZPRACOVATELSKÉ PODMÍNKY TERMOPLASTŮ PRO PROCES VSTŘIKOVÁNÍ.....	14
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	16
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	16
2.1.1 Strojní doby během cyklu	17
2.1.2 Doba vstřikování	17
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	18
2.2.1 Vstřikovací jednotka	19
2.2.2 Uzavírací jednotka	21
3 KONSTRUKCE VÝSTŘIKU	22
3.1 POŽADAVKY PŘI KONSTRUKCI VÝROBKU	22
3.1.1 Tloušťka stěn výstřiku.....	23
3.1.2 Zaoblení na výstřiku.....	23
3.1.3 Úkoso a podkoso na výstřiku	24
3.1.4 Vyztužení výstřiku žebry	25
3.1.5 Umístění otvorů a drážek	25
3.1.6 Rýhování	27
3.1.7 Okraje a obruby.....	28
3.1.8 Velké rovinné plochy	28
3.1.9 Závity	28
3.1.10 Zástřiky a kovové vložky	29
3.1.11 Nápis a značky na výstřiku	30
3.2 DODATEČNÁ ÚPRAVA SOUČÁSTI	30
3.2.1 Temperování a kondicionování.....	30
3.2.2 Obrábění výstřiků.....	31
3.3 VADY VÝROBKŮ VZNIKLÉ PŘI VSTŘIKOVÁNÍ.....	31
3.3.1 Deformace výstřiku	31
3.3.2 Delaminace, štípání	32
3.3.3 Černé skvrny	32
3.3.4 Plastické švy na výstřiku	32
3.3.5 Stříbrné pruhy na výstřiku.....	32
3.3.6 Bubliny	32
3.3.7 Spálená místa na výstřiku.....	33
3.3.8 Přetok	33
3.3.9 Nedotečený výstřik.....	33
3.4 CERTIFIKACE VÝROBKŮ Z PLASTŮ.....	34
4 KONSTRUKCE FOREM PRO VSTŘIKOVÁNÍ	35

4.1	DRUHY VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	35
4.2	NÁSOBNOST VSTŘIKOVACÍ FORMY	35
4.3	VTKOVÉ SYSTÉMY	36
4.3.1	Studený vtokový systém	36
4.3.2	Horký vtokový systém	37
4.4	VYHAZOVÁNÍ VÝSTŘIKŮ	38
4.4.1	Vyhazování mechanické	39
4.4.2	Vyhazování stírací deskou	40
4.5	TEMPERACE VSTŘIKOVACÍCH FOREM	41
4.6	ODVZDUŠNĚNÍ VSTŘIKOVACÍCH FOREM	43
4.6.1	Určení místa pro odvzdušnění.....	43
4.7	MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PŘI KONSTRUKCI FOREM	44
4.7.1	Používané druhy ocelí	44
4.7.2	Požadované vlastnosti ocelí	44
II	PRAKTICKÁ ČÁST	45
5	CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE	46
6	VYTVOŘENÍ MODELU VÝROBKU	47
6.1	MATERIÁL VÝROBKU	49
6.2	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	50
7	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	51
7.1	ZPŮSOB ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....	53
7.2	PRAVÁ (PEVNÁ) STRANA FORMY	54
7.2.1	Izolační deska.....	55
7.2.2	Upínací deska	55
7.2.3	Mezideska pro uložení horké trysky	55
7.2.4	Kotevní deska.....	56
7.2.5	Tvarová vložka pravé strany	57
7.3	POHYBLIVÁ STRANA FORMY.....	58
7.3.1	Tvarová vložka pohyblivé strany formy	60
7.3.2	Kotevní deska pohyblivé strany formy	60
7.3.3	Opěrná deska pohyblivé strany formy	61
7.4	ODFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU Z FORMY	62
7.4.1	Odformování jádra	62
7.4.2	Odformování kostek.....	63
7.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	64
7.5.1	Vratné kolíky.....	65
7.6	TEMPERACE FORMY	65
7.6.1	Temperační systém pohyblivé strany formy	66
7.6.2	Temperační systém pevné strany formy	67
7.7	ODVZDUŠNĚNÍ DUTIN FORMY	67
8	CAE ANALÝZA V PROGRAMU AUTODESK MOLDFLOW.....	68

8.1	VYTVORENÍ SÍŤE (GENERATE MESH)	68
8.2	UMÍSTĚNÍ VTKOVÉHO ÚSTÍ.....	70
8.3	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	72
8.4	PROCESNÍ PODMÍNKY	74
9	VÝSLEDKY ANALÝZ.....	75
9.1	PLNĚNÍ A DOTLAK	75
9.1.1	Čas plnění (Fill time)	75
9.1.2	Teplota na čele taveniny (Temperature at flow front).....	76
9.1.3	Smykové napětí v celém objemu (Shear stress, bulk).....	76
9.1.4	Studené spoje (Weld lines).....	77
9.1.5	Tlak při přepnutí na dotlak (Pressure at V/P switchover)	78
9.1.6	Uzavírací síla (Clampforce, XY Plot).....	79
9.2	VÝSLEDKY ANALÝZ TEMPERAČNÍCH OKRUHŮ.....	80
9.2.1	Teplota média v temperačním obvodu (Circuit coolant temperature)	80
9.2.2	Objemový průtok (Circuit flow rate)	80
9.2.3	Průměrná teplota dílu (Average temperature, part).....	81
9.2.4	Čas potřebný na ochlazení dílu na vyhazovací teplotu (Time to reach ejection temperature, part)	82
9.3	DEFORMACE.....	83
9.3.1	Celková deformace (Deflection, all effects : Deflection)	83
9.3.2	Deformace vlivem smrštění (Deflection, differential shrinkage : Deflection).....	84
9.3.3	Deformace vlivem chlazení (Deflection, differential cooling: deflection)	85
10	SHRNUTÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	86
	ZÁVĚR	88
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	89
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	91
	SEZNAM OBRÁZKŮ	92
	SEZNAM TABULEK.....	95
	SEZNAM PŘÍLOH.....	96

ÚVOD

Polymery jsou pro průmyslovou výrobu dnešní doby velice důležité. Stále častěji se dnešní doba setkává s nahrazováním původních kovových či dřevěných materiálů plastovými výrobky. Jako příklad lze uvést automobil, kuchyňské potřeby, zdravotnické potřeby apod.

Důvodů pro takové nahrazování je několik, zejména potom dobré fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti polymerů. Plasty jsou v porovnání s kovy lehčí, mají nižší tepelnou vodivost, nižší elektrickou vodivost, dobrou chemickou odolnost. Mají ovšem vyšší tepelnou roztažnost. Z plastů je možné vyrábět díly velmi složité tvarově, které by jiným způsobem vyrobit nešlo.

Zpracování plastů se provádí mnoha způsoby. Nejrozšířenějším z nich je vstřikování. Proces vstřikování spočívá v zaplnění dutiny formy, která má tvar budoucího výrobku, polymerní taveninou v plastickém stavu. Polymer v dutině formy ztuhne a pomocí vyhazovacího systému je z formy vyhozen výstřik.

Vstřikovací formy jsou tedy důležitým faktorem ovlivňují nejen kvalitu výrobku, ale především jeho cenu. Proto musí být správně konstrukčně řešeny s ohledem na hledisko ekonomičnosti výroby.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY A JEJICH ROZDĚLENÍ

Plastem se označuje takový materiál, jehož struktura je tvořena makromolekulárními řetězci (oproti kovům, jejichž struktura je vytvořena krystalickou mřížkou). [1]

Polymery se dělí na tři základní druhy:

- termoplasty,
- reaktoplasty,
- elastomery.

Vlivem nadměrného ohřevu dochází u obou typů polymerů k přetrhání chemických vazeb, tím se materiál rozruší a ztratí pevnost. Jedná se o degradaci hmoty materiálu, je to nevratný děj, po němž je další zpracovávání materiálu zbytečné. [1]

1.1 Termoplasty

Polymery, které mají řetězce přímé (lineární polymery) nebo řetězce s bočními větvemi (rozvětvené polymery). Při ohřevu se uvolní soudržnost řetězců a hmota je viskózní. V tomto stavu se může tvářet. Po ochlazení se dostanou opět do původního pevného stavu.[1]

Termoplasty se označují makromolekulární látky, jejichž řetězce jsou přímé (lineární polymery). Taktéž můžou mít řetězce s bočními větvemi (rozvětvené polymery). Ohřevem na danou teplotu řetězce ztratí svojí soudržnost a hmota se stane viskózní - v tomto stavu je možné polymery tvářet. Po ochlazení se řetězce vrátí do původního stavu. [1]

Tyto polymery, lineární či rozvětvené, u kterých tvoří řetězce vždy jen jeden druh základní chemické skupiny, se nazývají homopolymery. Pokud jsou řetězce složeny z více než jednoho druhu základních chemických skupin, mluvíme o kopolymerech. Termoplasty můžeme dále dělit podle vnitřní struktury:

- amorfní, mají prostorově nepravidelně uspořádané řetězce,
- semikrystalické, jenž mají podstatnou část struktury pravidelně uspořádanou do krystalické struktury, a uspořádání zbytku struktury je amorfní.[1]

Využitelnost výrobků z amorfních plastů je v oblasti pod teplotou skelného přechodu (T_g). Polymer je v tomto stavu pevný. Zvyšováním teploty nad T_g postupně slábnou

kohezní síly mezi makromolekulami a plast přechází do plastické oblasti až do viskózního stavu, kdy se zpracovává. Se zvyšováním teploty současně narůstá i objem polymeru.[1]

Výrobky z amorfních polymerů se dají využít v oblasti pod teplotou skelného přechodu (T_g). Pod teplotou skelného přechodu jsou termoplasty pevné, avšak se zvyšováním teploty nad T_g začínají slábnout kohezní síly mezi makromolekulami. Tím se materiál dostává do stavu plastického až viskózního, ve kterém dochází k jeho zpracování. S narůstající teplotou narůstá také objem polymeru. [1]

Semikrystalické polymery mají části makromolekul vázány pevněji v lamelách či ve sférolitech krystalické fáze. Při zvýšení teploty se jako první uvolní makromolekuly z amorfní fáze, poté makromolekuly z fáze krystalické. Tento proces doprovází značný objemový nárůst. Použití semikrystalických polymerů je vhodné nad teplotou T_g , protože nad touto teplotou mají výhodnou kombinaci pevnosti a houževnatosti.[1]

1.2 Reaktoplasty

Jsou to polymerní materiály, jenž mají po zpracování řetězce příčně propojeny pomocí chemických vazeb, které vytváří prostorovou trojrozměrnou síť. Při ohřevu dochází ke zvětšení pohyblivost této sítě, ale nedojde k úplnému uvolnění. Tvářením vlivem tlaku a teploty dochází k zesíťování (vytvrzování) plastu. [1]

1.3 Elastomery

Elastomery jsou materiály, které mají původní řetězce velmi ohebné s přiměřenou hustotou sítě. Za normální teploty jsou tedy poddajné a pružné. K jejich zesíťování dochází během vulkanizace, elastomery se při ní převedou na pryž. Po dokončení chemického procesu není možné tyto materiály dále tvářet. [1]

1.4 Zpracovatelské podmínky termoplastů pro proces vstřikování

Na vlastnosti hotového výstřiku mají značný vliv technologické podmínky. Zpracovatelské parametry jako teplota, tlak, čas, jsou určujícím parametrem pro rozměry, mechanické a fyzikální vlastnosti a v neposlední řadě na izotropii. [1]

Ve vtokových kanálech a tvarových dutinách při vstřikování dojde k orientaci makromolekul, jejichž řetězce jsou srovnány ve směru proudění polymerní taveniny. Tato orientace je po ztuhnutí příčinou anizotropie, nepravidelného smrštění a vnitřního pnutí. [1]

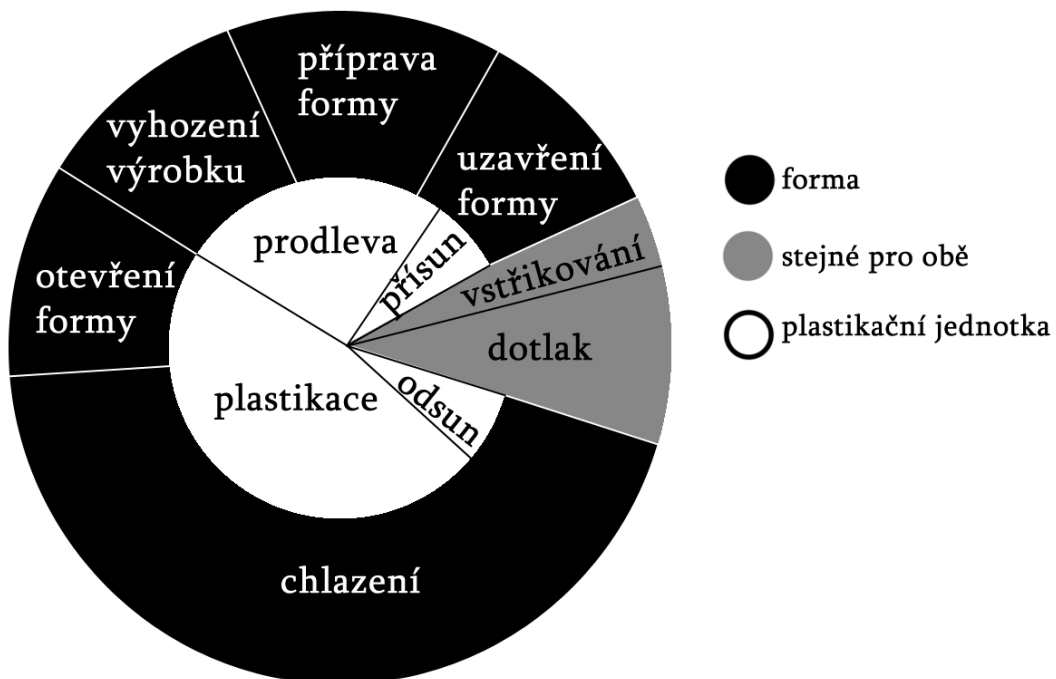
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Tento způsob zpracování polymerních materiálů je nejrozšířenějším typem výroby platových dílů. Na celém procesu (fyzikálně poměrně složitém) se podílejí polymer, vstřikovací forma a vstřikovací stroj, na kterém je forma upnuta. Během procesu vstřikování je polymerní materiál v plastickém stavu dopravován tlakem do dutiny formy. V dutině následně ochladne a je vyhozen. [1]

Jedním z nejdůležitějších aspektů pro výrobu kvalitních dílců je volba typu a kvalita použitého polymerního materiálu. Správně zvolený materiál musí být ovšem doplněn o správně zvolené procesní podmínky a správný technologický postup, jenž je potřeba během celého výrobního procesu respektovat. [1]

2.1 Vstřikovací cyklus

Násobností formy se ovlivní množství výstřiků zhotovených na jeden cyklus, tím pádem se při této technologii může zvýšit produkce správnou volbou násobnosti. Důležitá je také optimální délka celého cyklu, ta závisí na technologických parametrech stroje a teplotě. Konstrukce výstřiku může také ovlivnit délku cyklu, především tloušťka jeho stěn. [1]



Obr. 1 Průběh vstřikovacího cyklu

Poté co je forma uzavřena dojde ke vstříknutí taveniny požadované teploty určitou rychlostí a s nastaveným tlakem do dutiny formy. Tavenina je vystavena působení tlaku tak dlouho, než se začne ochlazovat. Následuje fáze dotlaku trvajících do částečného ochlazení polymerní taveniny ve formě. Po ukončení dotlakové fáze se vstřikovací jednotka vstřikovacího stroje odsune a začne v ní plastikace další hmoty pro následný cyklus. Při ochlazení výstřiku na nastavenou vyhazovací teplotu se forma otevře a výstřik se vyhodí. Další fází cyklu je čištění a příprava formy pro následující cyklus. [1]

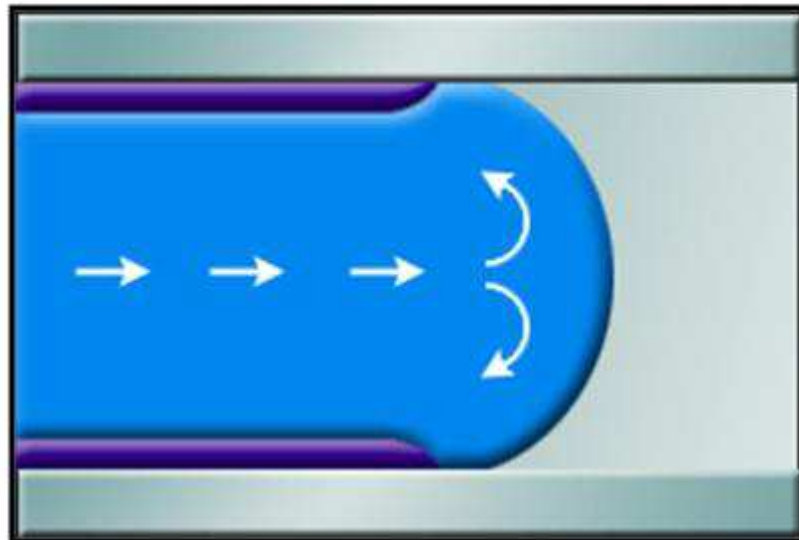
2.1.1 Strojní doby během cyklu

Strojní doby formy pro uzavření t_{s1} a pro otevření formy t_{s3} jsou závislé na dráze, kterou musí forma při své funkci vykonat při dané rychlosti. Dráha otevření formy závisí na velikosti výstřiku (jeho rozměrech, tvaru) ve směru odformování a musí být alespoň tak velká, aby bylo umožněno odformování výstřiku bez jeho poškození, popřípadě aby mezi jednotlivými stranami formy vznikl prostor pro pohyb manipulátoru či robota. Všeobecnou snahou při konstrukci formy je zkrácení těchto časů na minimum a tím zvýšení produkce. Tohoto se dosahuje např. navýšením rychlosti pohybu formy. U moderních vstřikovacích strojů používaných v dnešní době je rychlost formy při počátku uzavírání rozdílná od rychlosti dosedání dělicí roviny. Jde zejména o to, aby na sebe obě strany formy bez problému hladce dosedly a nedošlo tak vlivem nárazu k mechanickému poškození dělicí roviny. Stejně tak je tomu při otevírání formy. Pohyblivá strana formy se pohybuje vysokou rychlostí a před dosažením dorazové polohy se její rychlost sníží. Odformování výstřiku tak bude pomalejší a plynulejší. Výsledná doba strojních časů t_{s1} , t_{s2} , t_{s3} se u strojů středních velikostí pohybuje v řádu několika sekund. Vedle těchto strojních časů je však potřeba brát zřetel na časy temperace. [2]

2.1.2 Doba vstřikování

Dobu potřebnou pro zaplnění dutiny formy polymerní taveninou označujeme T_v . Tato doba závisí na rychlosti pohybu šneku vpřed, jenž je ovlivněna technologickými podmínkami – zejména teplotou taveniny T_{tav} a vstřikovacím tlakem p . Neopomenutelnými aspekty jsou také teplota formy, velikost, tvar a objem výstřiku, vtoková soustava a typ vstřikovaného polymeru. Pro správně nastavené podmínky vstřikovacího procesu je nutné si uvědomit, že určité hodnotě vstřikovací rychlosti odpovídá určitá hodnota vstřikovacího tlaku. Nelze tedy nastavit příliš vysokou rychlost pro nízké tlaky. Programování průběhu rychlosti vstřikování je možné u složitých výrobků a u výrobků, které mají vysoký požada-

vek na povrchovou kvalitu. Při vysoké rychlosti vstřikování získáváme příznivou orientaci makromolekul, ovšem hrozí zde přehřátí materiálu a jeho degradace. Doba vstřikování je pro různá dle objemu součástí, násobnosti formy atd. Pohybuje se v řádu desetin sekundy až po několik sekund. Měla by však být co nejkratší. Čelo taveniny při styku s chladnější stěnou formy ztrácí svojí tekutost a tuhne. Je tedy možné, že nestihne dotéci do všech míst dutiny – vznikne nedotečený výrobek. Proces vstřikování se má řídit tak, aby polymerní taveniny netekla ve vytvořených kanálech volným tokem, ale aby dutinu zaplňovala postupně. Při takovémto postupném plnění dochází ke složitému mechanismu tuhnutí vrstev taveniny. Tento tok se nazývá laminární. Jelikož je teplota stěn formy zhruba 3x až 4x chladnější než pohybující se tavenina, vytvoří tavenina na stěně formy okamžitě nepohyblivou vrstvu, která slouží také jako tepelná izolace. [2]



Obr. 2 Fontánový tok [7]

2.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj je jedním z hlavních činitelů výroby. Jeho uspořádání může být různé a různě zvolené dle aplikace jeho použití. Od vstřikovacího stroje je vyžadována vysoká kvalita svých parametrů a zároveň dokonalé řízení, které vedou k výrobě jakostních výstřiků. V současnosti se můžeme setkat s různými konstrukčními variantami strojů, lišících se od sebe provedením, stupněm řízení, stálostí a reprodukovatelností jednotlivých parametrů, rychlostí výroby, typem obsluhy, počtem vstřikovacích jednotek a dalšími parametry. Konstrukce stroje je charakterizována podle:

- vstřikovací jednotky,
- uzavírací jednotky,
- ovládání a řízení stroje. [1]

Kvalita stroje je dána jeho stupněm řízení a snadnou obsluhou. Pro zachování kvality je zapotřebí stálá reprodukovatelnost technologických parametrů. Při kolísání těchto parametrů dochází ke zhoršení kvality výroby, ke zhoršování přesnosti výroby. [1]



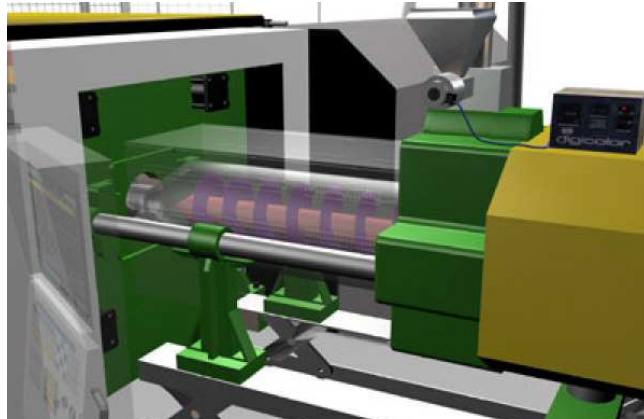
Obr. 3 Vstřikovací stroj Krauss Maffei řady CX [3]

2.2.1 Vstřikovací jednotka

Hlavní dva úkoly vstřikovací jednotky jsou: přeměna granulátu polymerního materiálu na homogenní taveninu o dané viskozitě, vstříknutí taveniny do dutiny formy velkou rychlostí a velkým tlakem. [2]

Prvními vstřikovacími jednotkami používanými ke vstřikování na konci minulého století, byly jednotky pístové. Svůj princip převzali z lití roztavených kovů pod tlakem. Tyto jednotky se ve výrobě vstřikování udržely zhruba do poloviny 20. století, kdy byly postupně vytlačeny a nahrazeny jednotkami šnekovými. Ve výrobě se s nimi dnes dá setkat jen výjimečně, jejich význam je tedy zanedbatelný, další text se tedy bude týkat zejména jednotek šnekových. Rozdílnost těchto dvou typů vstřikovacích jednotek je zejména v konstrukci tavicí komory. Hlavním úkolem tavicí komory je převedení polymerní směsi, nejčastěji ve formě granulátu, do plastického stavu. Tato plastikace by měla trvat co nejkratší dobu pro co největší množství materiálu s dosažením co nejvyšší teplotní homogeni-

ty taveniny. Pohyb taveniny je u strojů pístových zajištěn pohybem pístu, u šnekových je to pohybem šneku. Šnekové vstřikovací stroje svou konstrukcí úspěšně vyřešily všechny nedostatky vstřikovacích strojů pístových. [2]



Obr. 4 Šneková vstřikovací jednotka [2]

Mezi největší přednosti šnekových strojů patří:

- dobrá a spolehlivá plastikace taveniny,
- dobrá homogenizace taveniny,
- materiál se v tavicí komoře nepřehřívá,
- umožnění zvyšování velikosti výstřiku, vysoký plastikační výkon, velký zdvihový objem,
- snadnější čištění komory po výměně materiálu,
- přesnější dávkování,
- malé tlakové ztráty,
- snadnější řízení dotlaku a tím lepší možnost zásahu do procesu vstřikování. [2]

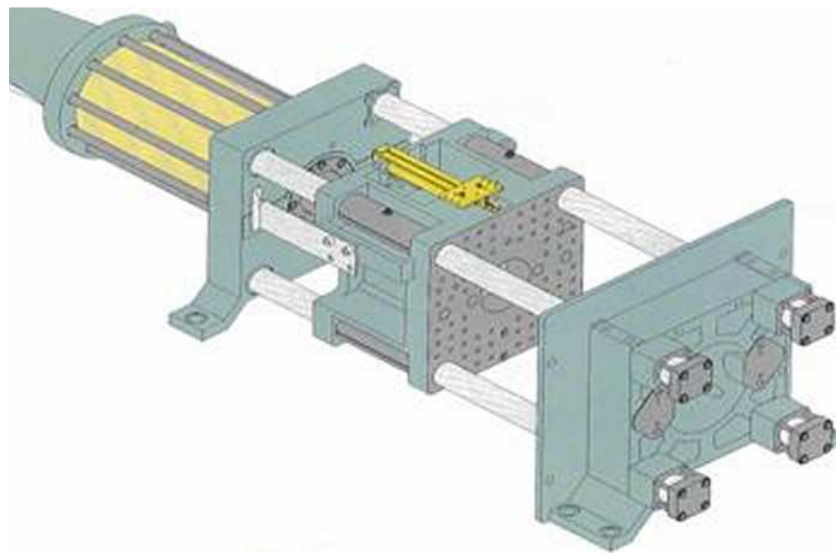
Šnekový vstřikovací stroj pracuje na následujícím principu: při plastikaci se šnek otáčí, ve vstupní oblasti nabírá polymer ve formě granulátu, ten je stlačován a dopravován do části tavicí komory vybavené vytápěním. V této oblasti materiál taje a ve formě taveniny je dopravován před otáčející se šnek, jenž zároveň koná pohyb vratný. Po plastikaci nastaveného množství se šnek přestane otáčet a začne se pohybovat dopředu jako píst. Tímto pohybem je tavenina vstříknuta do dutiny formy. Plastikace další dávky probíhá při současném chlazení výstřiku v dutině formy, což umožňuje zkrátit dobu cyklu oproti strojům pístovým. Další výhodou šnekových vstřikovacích strojů je jednoduché dávkování

granulátu i taveniny, možnost dodatečného obarvení hmoty či přidání plniv a jiných látek až při zpracování. [2]

2.2.2 Uzavírací jednotka

Hlavním a nejdůležitějším úkolem uzavírací jednotky je zavírání a otevírání formy dle nastavení procesu vstřikování a zajištění takové síly, která je nutná pro správné uzavření formy tak, aby nedošlo vlivem vstřikovacího tlaku k jejímu otevření. Při činnosti formy se musí rozlišovat síla přisouvací F_p a uzavírací síla F_u . Stroje používané v současnosti mají pohodlně programovatelnou rychlost a sílu uzavírání formy. [2]

Uzavírací jednotka je tvořena těmito hlavními částmi: opěrnou deskou, spojenou pevně s ložem stroje, deskou pohyblivou, jenž slouží k upnutí pohyblivé části formy, desky upínací s otvorem pro trysku vstřikovacího stroje, která je určena pro upnutí pevné části vstřikovací formy, vedením pohyblivé desky, uzavíracími a přidržovacími mechanismy. Uzavírací systémy používané v dnešní době jsou různé, jde o systémy hydraulické, mechanické, jejich kombinaci, v poslední době se také využívají uzavírací systémy elektrické. [2]



Obr. 5 Schéma hydraulické uzavírací jednotky [2]

3 KONSTRUKCE VÝSTŘIKU

Při konstrukci výrobků z polymerních materiálů je nutné dodržovat jisté konstrukční zásady. Jsou dány určité meze konstrukčních tvarů, které by měl konstruktér dodržovat, aby nevznikly při výrobě či při provozu součásti žádné problémy. Všeobecné pravidlo říká, že součást by měla být co nejjednodušší. Docílí se tím levnější a jednodušší výroby, zároveň klesne cena výstřiku.

Konstruktér jako nositel vědomostí o vlastnostech a zpracování polymerů zásadní měrou ovlivňuje celý výrobní postup. To jak z hlediska výrobního, tak zejména z hlediska ekonomického. Jelikož je v dnešní době konkurence veliká, je vhodné snažit se vyrobit daný výrobek co nejlevněji.



Obr. 6 Příklad výrobku z polymeru - součást chladiče motoru automobilu [8]

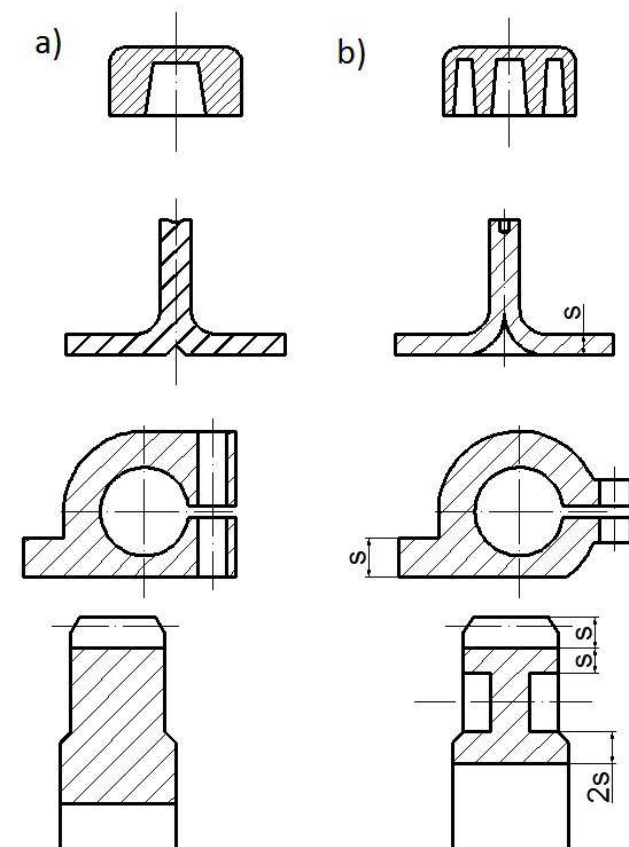
3.1 Požadavky při konstrukci výrobku

Již při návrhu budoucího výrobku je třeba brát v úvahu budoucí výrobu formy, způsob odformování výstřiku, použitý materiál, cenu výrobku a formy. Všechny tyto vlastnosti ovlivní konstruktér, ekonomickou stránku věci dále musí diskutovat s ekonomickým oddělením či zadavatelem.

3.1.1 Tloušťka stěn výstřiku

- závisí na délce toku plastu,
- závisí na uzavíracím tlaku.

Dle zásad správné konstrukce by tloušťky stěn měly být jednotné, pokud jsou na výstřiku náhlé přechody v tloušťkách, neměly by být s ostrými hranami. Když vznikne případ, kde je nutné vytvořit tloušťku stěny větší, musí se provést vhodné odlehčení, nejlepší je v tomto případě odlehčení provést na opačné straně, jak je znázorněno na obr. 7. Boční stěny a žebra by měly mít tloušťku 0,8 násobku tloušťky hlavní stěny. [1]

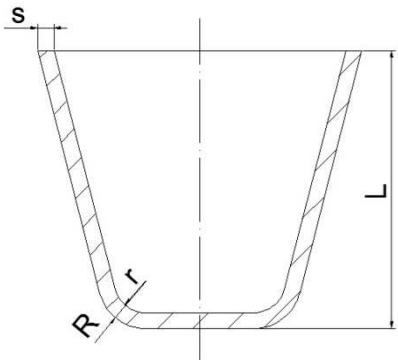


Obr. 7 Konstrukce výstřiku - a) špatné, b) správné [1]

3.1.2 Zaoblení na výstřiku

Pro usnadnění toku taveniny se zaoblují rohy, hrany a kouty. Zaoblení zabrání koncentraci napětí v těch to místech. Dalším důvodem je snížení opotřebení formy v důsledku použití menších tlaků při vstřikování. Tím, že se zaoblí hrany a rohy, se zvýší rázová houževnatost součásti až o 50%. Poloměry zaoblení, které jsou doporučené, jsou v tab. 1. [1]

Tab. 1 Zaoblení hran a rohů [1]

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

3.1.3 Úkosy a podkosy na výstřiku

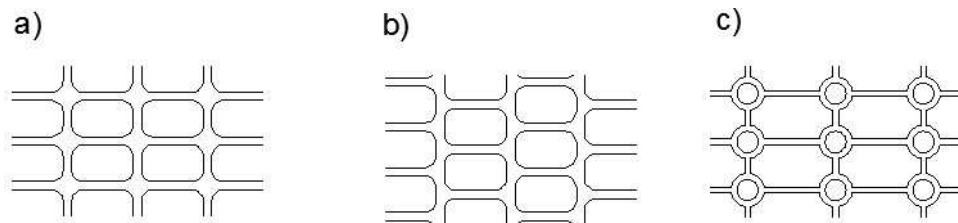
Úkosy jsou sklony stěn výstřiku kolmo k dělicí rovině. Pomocí úkosů se umožňuje vyjímání výstřiku z dutiny formy. Opakem úkosů jsou podkosy, zabraňující vyjmutí výstřiku. Velikost úkosů a podkosů je závislá na funkci, jež mají plnit. Dle uspořádání se rozdělují na vnitřní a vnější. Jejich velikost může být různá, volí se dle druhu materiálu - jeho smrštění, elasticita. Dále se jejich velikost stanovuje podle povrchu stěn formy a na typu použité automatizace výroby. Velikost úkosů (doporučená) je vidět v tab. 2. Z principu se volí u stěn vnitřních větší úkos, u stěn vnějších menší úkos. Jelikož podkosy komplikují samotnou konstrukci formy, je snaha se jim vyhnout. Neplatí to ovšem v případě, že se jedná o úkosy technologické. [1]

Tab. 2 Doporučené velikosti úkosů [1]

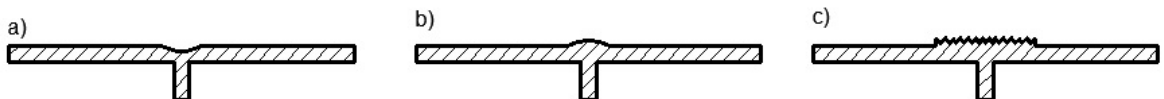
Úkos pro	Velikost úkosu
Vnější plochy	30' - 2° (1°)
Vnitřní plochy	30' - 3° (2°)
Otvory do hloubky 2 D	30' - 1° (45')
Hluboké otvory	1° - 10° (1°)
Žebra, nálitky	1° - 10° (3°)
Výstupky	2' - 10°

3.1.4 Vyztužení výstřiku žebra

Žebra lze rozdělit podle svého účinku, jenž plní na součásti, nebo v dutině formy. Prvním typem žeber jsou žebra technická. Ta zabezpečují pevnost a tuhost součásti. Druhým typem žeber jsou žebra technologická, jenž slouží především k optimálnímu plnění dutiny formy a brání zborcení stěn. Některá žebra nemají vliv na použití, ale spíše na vzhled výrobku. Na obr. 8 jsou vidět vhodné konstrukce žeber a jejich rozměry. Na obr. 9 jsou vidět způsoby pro úpravu možných vzniklých propadlin. [1]



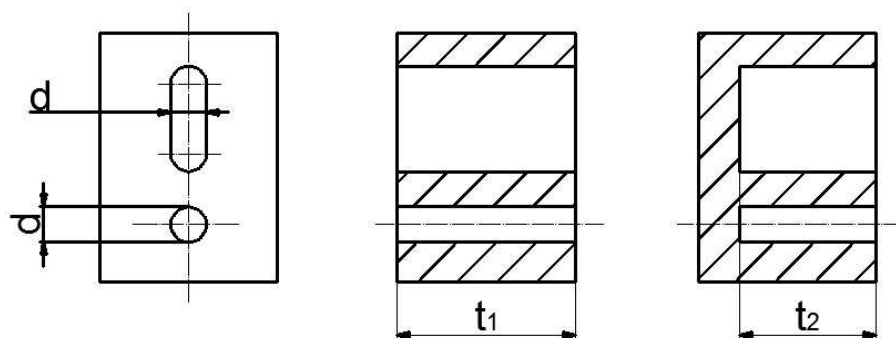
Obr. 8 Různá uspořádání žeber [1]



Obr. 9 Způsoby korekce propadlin u žeber na výstřiku [1]

3.1.5 Umístění otvorů a drážek

Otvory a drážky by měly být zvoleny s co největším ohledem na zaformování, také by neměly během výroby způsobovat potíže. Jejich zhotovení kolmo ve směru dělicí roviny se provádí pomocí čelistí nebo výsuvných jader. [1]



Obr. 10 Zakótované rozměry k tab. 3 [1]

Výroba otvorů a drážek ve směru zaformování je poměrně jednoduchá - pomocí pevných kolíků nebo trnů. Průměr kolíků a trnů by neměl být menší než 1 mm. U slepých děr bývá jejich hloubka brána maximálně jako pětinasobek průměru (5d). V tab. 3 je hloubka zobrazena. U slepých otvorů by měla tloušťka stěn být dle tab. 4. [1]

Tab. 3 Maximální hloubka otvorů [1]

d	t₁	t₂
1,6	4,5	4,5
2	5,3	5,3
2,5	8,5	7,1
3	14	8,5
4	20	14
5	28	20
6	36	25
8	53	34
10	67	45
12	80	53

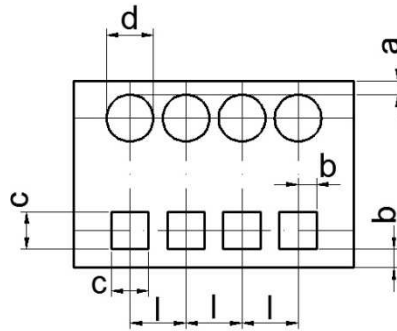
Tab. 4 Tloušťky stěn u slepého otvoru [1]

D [mm]	do 3	3 -6	6 - 10	10 -18	18 -30	30 - 50
t [mm]	1	2	2,5	3	4	5

V tab. 5 jsou doporučené vzdálenosti otvorů s drážek od kraje výstřiku. Při nedodržení těchto parametrů může dojít k popraskání stěn mezi nimi, nebo mezi nimi a okrajem. Doporučuje se konstruovat drážky otevřené až ke kraji, tím se zamezí vzniku nechtěných studených spojů za drážkou. V tab. 6 jsou velikosti otvorů pro závity šroubů. Z důvodu nevhodného rozložení tlaku v polymeru se nevyrábí zahloubení pro kuželové hlavy.

Tab. 5 Doporučené vzdálenosti otvorů a drážek [1]

Doporučené vzdálenosti otvorů a drážek										
a	1,6	1,6	2,0	2,5	2,5	3,2	3,2	4,0	5,0	5,5
b	2,1	2,1	2,6	3,3	3,3	4,1	4,1	5,2	6,5	7,2
c	1,6	2,0	2,5	3	4	5	6	8	10	12
d	3,2	3,6	4	5	6	8	9	11	14	16



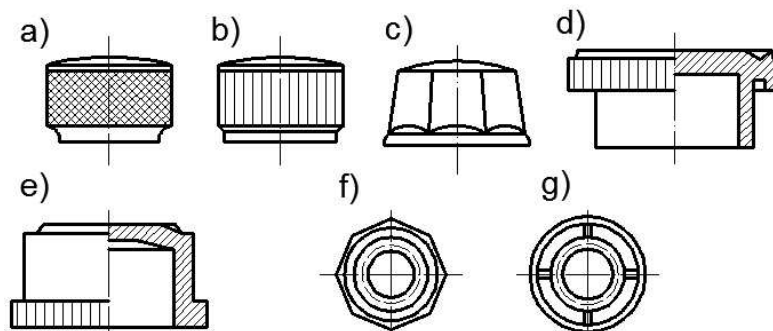
Obr. 11 Rozměry k tab. 5 [1]

Tab. 6 Velikost otvorů pro závity [1]

M 2,5	2,2	3	4	0,3	2,3	2,6	3,2	4	0,5
M 3	2,6	3,5	5	0,3	2,7	3,1	2,8	6	0,6
M 3,5	3	4	6	0,4	3,1	3,6	4,4	7	0,6
M 4	3,3	4,5	8	0,4	3,6	4,1	5	9	0,8
M 5	4,2	5,5	10	0,5	4,6	5,2	6,1	12	1
M 6	4,9	6,5	12	0,6	5,6	6,2	7,2	14	1,2
M 8	6,6	9	16	0,8	7,5	8,4	9,5	18	1,6
M 10	8,3	11	20	1	9,5	10,4	11,6	22	2
	d1	d2	t1	t2	d1	d2	d3	t1	t2
	ABS,SAN,PC,PMMA,PS,PVC				PA, PE, PP				

3.1.6 Rýhování

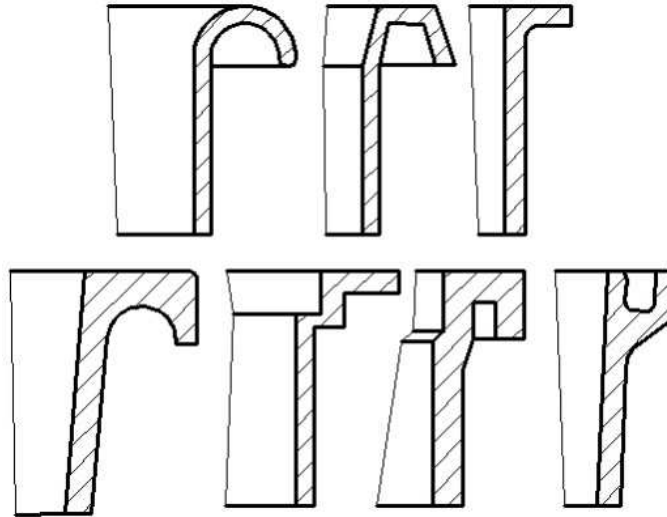
Využití rýhování je především u držáků a různých ovládacích prvků. Jeho provedení by mělo být lehce zaformovatelné. Rýhování křížové tvoří příliš velké problémy při vyhazování. Nejpoužívanější je rýhování podélné. Příklady jsou na obr. 12. [1]



Obr. 12 Rýhování - a) nevhodné, ostatní vhodné [1]

3.1.7 Okraje a obruby

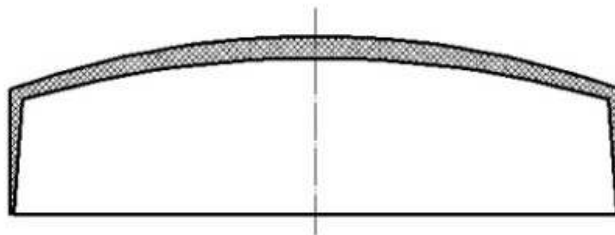
Okraje a obruby vytvořené v dělicí rovině bývají často vyztužovány. Způsoby vyztužení jsou na obr. 13. [1]



Obr. 13 Příklad vyztužení okrajů [1]

3.1.8 Velké rovinné plochy

Výstřiky není vhodné konstruovat s velkými rovinnými plochami. Pokud je to možné, plochy se opatřují žebry nebo se člení. Velké plochy rotačních tvarů se vyrobí s konkávním či konvexním klenutím.

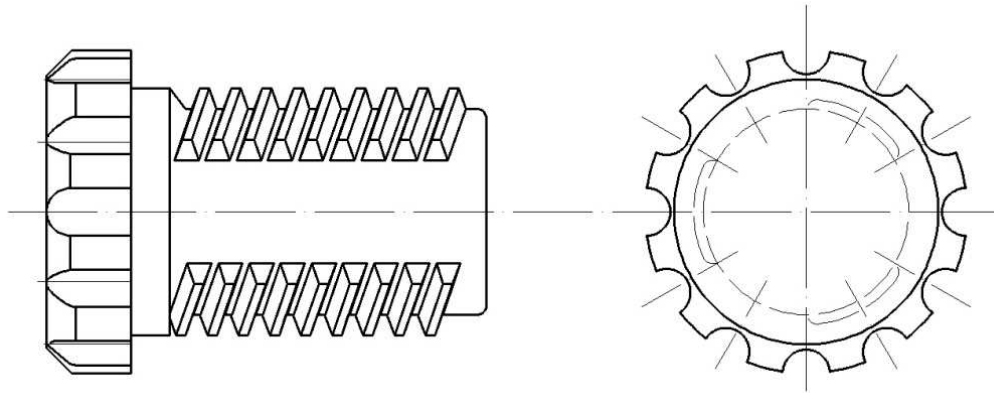


Obr. 14 Příklad konkávního zaoblení rovinných ploch [1]

3.1.9 Závity

Pokud se na plastových dílech vytváří závity, mají nižší pevnost a u jemnějších tvarů jsou i obtížněji zaformovatelné. Doporučuje se proto vyrábět závity větších průměrů, s větším stoupáním a ve tvaru oblém, pilovém, trapézovém. Tyto typy závitů jsou pro vý-

robu vhodnější, stejně tak pevnostně. Na obr. 15 je vidět, že pomocí přerušovaných závitů se docílí nízkých výrobních nákladů. [1]



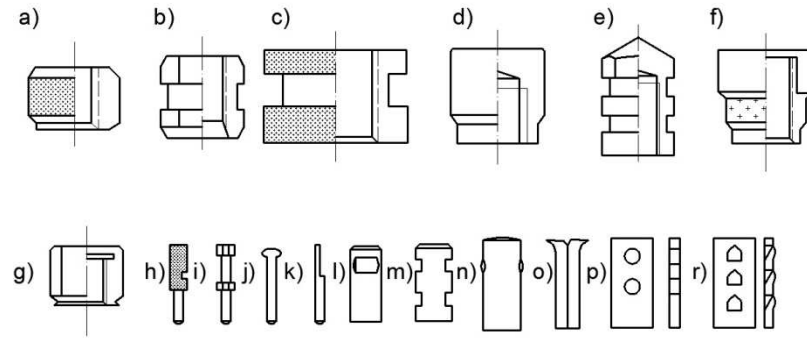
Obr. 15 Přerušovaný závit na plastovém výstříku [1]

Výroba vnějších závitů probíhá na formách, které mohou mít dělené čelisti. Tím pádem není potřeba složitého vyhazování. Při výrobě závitů ve formách nedělených se musí vytáčet, což je pracnější a složitější způsob. Výroba vnitřních závitů se provádí pomocí trnů. Trny jsou po vstříku a vyhození z výrobku vyšroubovány, v některých případech se vyšroubovávají již ve formě, pomocí různých vytáčecích zařízení. [1]

Z konstrukčního hlediska by závit neměl začínat na okraji součásti, kde se jeho ostrá část často ulamuje. Na obr. 15 je vidět, že by měl být zaoblen a vzdálen od okraje. Výroba závitů menších průměrů s menším stoupáním je vhodné řezat až dodatečně ve vytvořených otvorech. [1]

3.1.10 Zástříky a kovové vložky

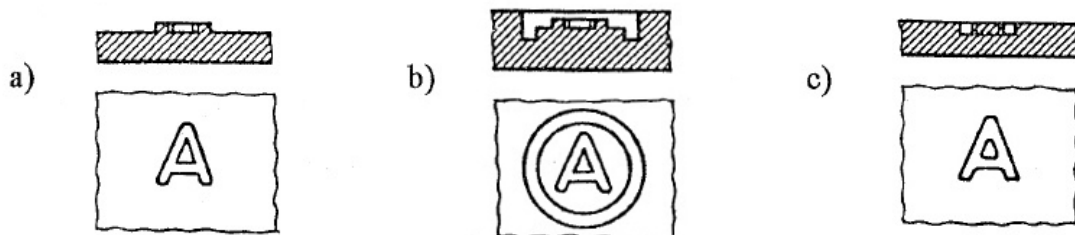
Použití zástříků a kovových vložek je nejčastěji z důvodu zpevnění a zajištění rozměrové stability a vyztužení výstříku. Zástříky také mohou být členy pro spojování součástí s jinými díly (např. pomocí šroubů). Na obr. 16 je vidět, jak jsou zástříky či vložky zajištěny proti otáčení a vytažení (vytvořením různých zápichů). [1]



Obr. 16 Typy zajištění záložky proti pootočení [1]

3.1.11 Nápis a značky na výstříku

Na obr. 17 je znázorněno, jak je možno vytvořit nápisy a značky na výstříku. Nejčastěji se vyrábí na výstříku již při výrobě. Výrobně nejjednodušší jsou nápisy a značky vystouplé, avšak nejméně vhodné. Naopak zapuštěné nápisy a značky jsou výrobně obtížnější. Na obr. 17c je vidět optimální způsob, a to písmo vystouplé v zahloubení, ovšem tak aby nepřesáhlo nad povrch. [1]



Obr. 17 Způsoby vytvoření nápisů a značek [1]

3.2 Dodatečná úprava součástí

3.2.1 Temperování a kondicionování

Temperováním se rozumí tepelné zpracování výstříků již zhotovených. Používá se pro stabilizaci rozměrů výstříku, či pro zlepšení vlastností výstříku. Nejčastěji se provádí za teploty 30 - 40 °C pod bodem měknutí polymeru a to na vzduchu nebo v kapalinách. Temperování na vzduchu se používá u tenkostěnných výrobků. Častěji se používají vodní nebo olejové lázně, které trvají podstatně kratší dobu. Délka procesu však závisí na tloušťce stěn výstříku, neměla by však být kratší než 1 hodinu. Temperování slouží u amorfních polymerů k odstranění vnitřního pnutí a ke zvýšení odolnosti vůči popraskání, u semikrystalických má menší vliv. [1]

Temperování navlhavých plastů ve vodě (např. polyamidů) se nazývá kondicionování. Dosáhne se tím zvýšení houževnatosti a ustálení rozměrů. [1]

3.2.2 Obrábění výstřiků

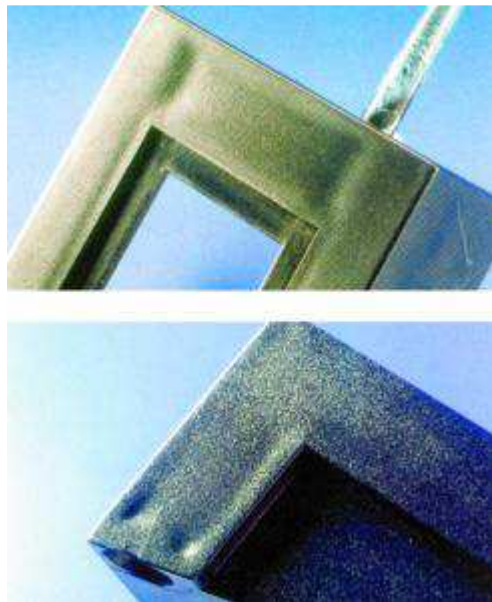
Obrábění výstřiků po zhotovení většinou spočívá v začištění a zahlazení stop po vrtacích, přetocích. Některé tvary na výstřiku, které komplikují či znemožňují výrobu formy, se zhotovují až po vystříknutí. Obrábění polymerních výstřiků má odlišné vlastnosti než obrábění kovů. Je třeba to respektovat. [1]

3.3 Vady výrobků vzniklé při vstřikování

Výroba výstřiku vstřikováním je poměrně složitý proces, který je ovlivněn řadou činitelů a to ne vždy v optimální míře. Proto na výstřiku může docházet k různým typům závad. [1]

3.3.1 Deformace výstřiku

Deformaci výstřiku nejčastěji způsobuje: špatná doba chlazení, špatný způsob vyhození, příliš velký podkos, orientace plniv, nevhodně zvolený materiál, špatná teplota formy. [1]



Obr. 18 Příklad deformace výstřiku [12]

3.3.2 Delaminace, štípaní

Delaminaci a štípaní je často způsobeno špatnou volbou materiálů (vzájemně ne-snášenlivé polymery), nízkou teplotou formy, špatně zvolenou rychlostí vstřikování. [1]

3.3.3 Černé skvrny

Bývají na výrobku, pokud jsou v polymeru nečistoty, pokud je materiál ve válci příliš dlouho a degraduje, nebo pokud je pracovní válec příliš dlouho v nečinnosti. [1]

3.3.4 Plastické švy na výstřiku

Vznikají na výrobku při zvolení příliš nízké teploty taveniny, při nízké vstřikovací rychlosti, při nízké teplotě formy. [1]

3.3.5 Stříbrné pruhy na výstřiku

Tato vada vzniká při vstřikování taveniny příliš vysoké teploty. Dalším důvodem může být vznik příliš velkého tření na vtokovém ústí, nebo špatně vysušený materiál. [1]



Obr. 19 Stříbrné pruhy na výrobku [9]

3.3.6 Bubliny

Vada vznikající je-li vstřikovací tlak příliš nízký, je nízká teplota formy, pokud jsou při vstřikování zachyceny těkavé složky. Velký vliv má příliš prudký přechod ze slabé do silné stěny. [1]

3.3.7 Spálená místa na výstřiku

Spálená místa jsou na výstřiku viditelná. Jejich vznik ovlivňuje především vysoká teplota taveniny, špatné odvodušnění či příliš vysoké tření mezi taveninou a stěnou formy. [1]

3.3.8 Přetok

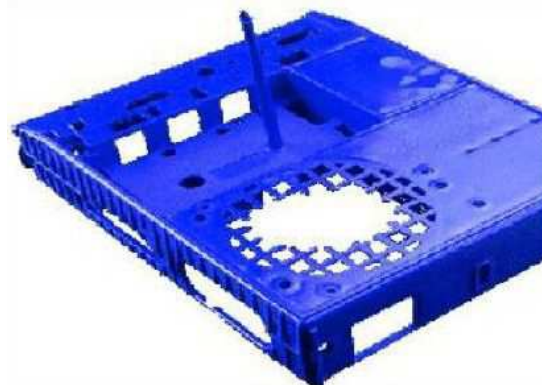
Přetoky vznikají při nesprávně zvolených parametrech vstřikování. Může to být vysoká teplota taveniny, malá uzavírací síla, nečistoty v dělicí rovině nebo příliš velký tlak vstřikovacího stroje. [1]



Obr. 20 Ukázka přetoku na výstřiku [12]

3.3.9 Nedotečený výstřik

K vadě tohoto typu dochází, pokud je příliš malá rychlost vstřikování, pokud je doba vstřikování příliš dlouhá a dojde tak k rychlejšímu tuhnutí taveniny. Všeobecně při špatně nastavených vstřikovacích parametrech jako je doba vstřiku, teplota taveniny. [1]



Obr. 21 Nedotečený výstřik [2]

3.4 Certifikace výrobků z plastů

V dnešní době je na trhu s výrobky z plastů, ale nejen z nich, velký počet konkurenčních výrobců rozdílných kvalit, kteří usilují o získání co největší části trhu. Jejich snahou je proto mít potvrzení o důvěryhodnosti svojí a svých výrobků. Významným důkazem tohoto je „certifikát dodavatelské kvality“, který je v souladu s normou ČSN EN ISO 9001, 9002 a 9003. Tato norma vychází z normy ISO 9000. Je určující pro požadavky na realizaci systému řízení jakosti, který je možné použít pro všechny podnikatelské aktivity, včetně výroby plastových dílů. Není určena pouze pro výrobu, nýbrž pro všechny činnosti jí přecházející i následující (návrh, vývoj, výroba,...). [1]

Normy tohoto systému přikazují způsoby řízení výrobních činností, identifikují ty znaky, pomáhající při reakci na požadavky zákazníků a trhu. Přesně zaznamenávají postupy všech předvýrobních, výrobních a dalších úkonů a důsledně zapisují výsledky. Touto dokumentací celé výrobní činnosti je zaručena kvalita výroby i samotných výrobků. [1]

Pro obdržení certifikace jakosti dle ISO 9001 jako kvalitního dodavatele, musí daný výrobce přesně zaznamenat systém řízení a zajištění jakosti a kvality jeho procesů, souvisejících s výrobou. Ten obsahuje 20 zvláštních výrobních a obchodních členů, v každém z nich je potom potřeba dosáhnout určitého požadovaného standardu. Tyto činnosti kontrolují akreditovaní inspektoři z akreditovaných certifikačních organizací. Inspektoři sledují a zaznamenávají kvalitu výroby a dalších činností přímo u zákazníka. [1]

Pokud inspektoři udělí kladné hodnocení, je firma registrována do ISO registru jako kvalitní dodavatel. Platnost tohoto certifikátu není trvalá, je však pravidelně kontrolována inspektory (zhruba jednou za rok). [1]

4 KONSTRUKCE FOREM PRO VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikovací formy jsou svým konstrukčním provedením podobné formám na zpracování kovů litím pod tlakem. Principem vstřikování je ve vstříknutí plastické hmoty tryskou do dutiny formy tlakem. Základním podkladem pro výrobu formy je výkres či model výrobku, dále jeho objem, typ materiálu, ze kterého se bude vstřikovat, násobnost, složitost. Z těchto podkladů je nutno vypracovat základní technologický a ekonomický projekt, jenž rozhodne o nejvhodnějším stroji, druhu a násobnosti formy (popř. forem). [5]

4.1 Druhy vstřikovacích forem

Vstřikovací formy lze rozdělit z několika hledisek. Prvním z typů je rozdělení podle konstrukce vstřikovacích strojů:

- vstřikovací stroje s vtokem kolmo na dělicí rovinu,
- s vtokem do dělicí roviny. [5]

Podle násobnosti se formy rozdělují na jednonásobné a vícenásobné. Formy jednonásobné se rozdělují dle vtokového systému:

- s bodovým vtokem,
- s kotoučovým vtokem,
- s rozvětveným vtokem,
- s kruhovým vtokem,
- s bočním vtokem,
- s více bodovými vtoky,
- s filmovým vtokem. [1],[5]

4.2 Násobnost vstřikovací formy

Násobnost vstřikovací formy se volí z hlediska požadovaného množství, velikosti výrobku, složitosti výrobku a dále podle strojních možností. Tvrzení že pro malé výstřiky jsou vhodnější menší vstřikovací stroje a naopak, má jen omezenou platnost. Pouze správnou technologickou a ekonomickou volbou se určí správný výsledek násobnosti formy. [5]

Pro mále či ověřovací (zkoušecí) série se volí zpravidla jednonásobné a jednoduché formy s předpokladem minimálních nákladů na jejich výrobu. U forem pro hromadnou výrobu je zapotřebí se řídit zpracovaným technologickým a ekonomickým návrhem. Z tohoto návrhu se musí určit nejvhodnější konstrukci formy pro největší výkon formy. Ke stanovení optimální násobnosti je nutné uvážit několik faktorů:

- celková spotřeba materiálu s podílem na ztrátu ve vtokových kanálech (s rostoucí násobností je zapotřebí více kanálů),
- výrobní náklady na vstřikování neklesají lineárně se zvyšující se násobností - stroje s větší plastikační kapacitou pracují pomaleji, mají vyšší pořizovací náklady, vyšší režie, vyšší náklady na údržbu, nároky na prostor),
- násobnost ovlivňují náklady na výrobu formy, u větších sérií je podíl v ceně výrobku malý, naopak u malých sérií je podíl na ceně velký,
- zvolený vstřikovací stroj. [5]

4.3 Vtokové systémy

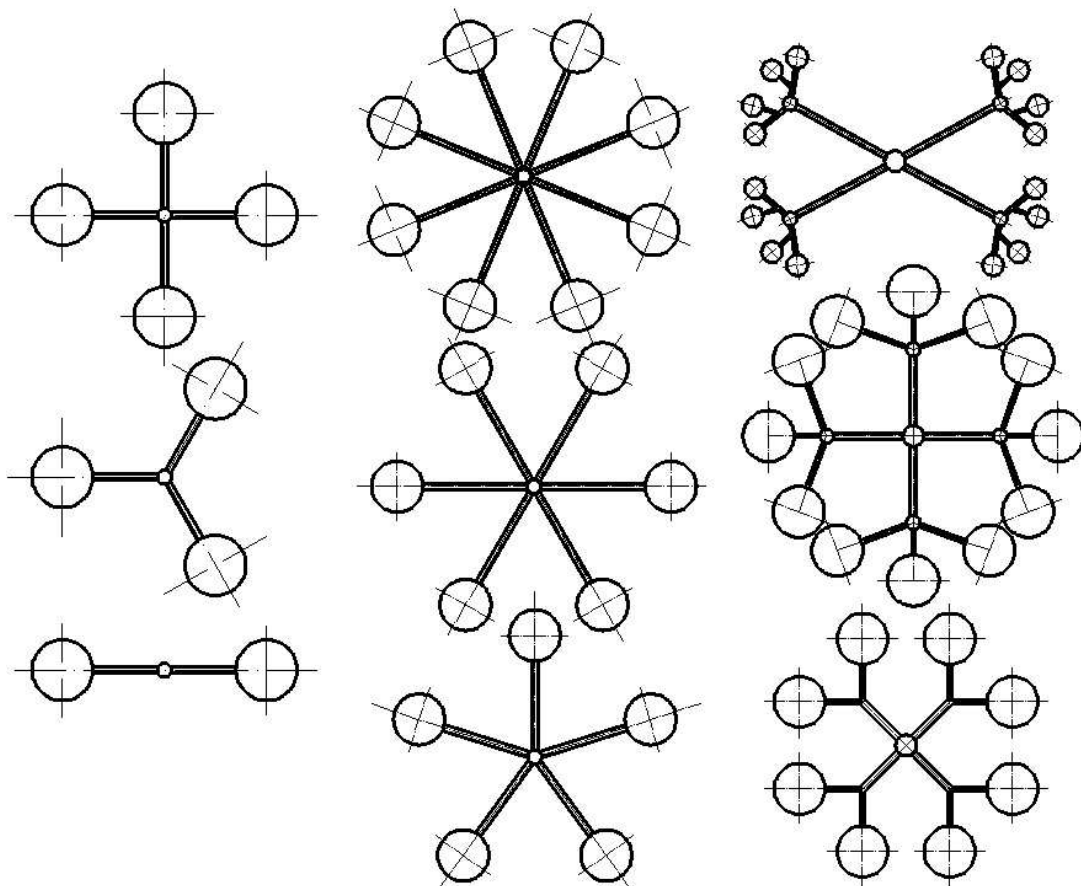
Jelikož je třeba taveninu ze vstřikovací jednotky dopravit do dutiny formy, je zapotřebí vytvořit vtokový systém. Ten by měl zajistit zaplnění dutiny formy homogenní taveninou v co možná nejkratším čase. Vtokový systém může být studený, horký či jejich kombinace.

4.3.1 Studený vtokový systém

Tok taveniny ve vtokovém systému doprovází složitý tepelně-hydraulický proces. Tvar vtoku a jeho umístění na výrobku mají vliv na rozměry, vzhled a vlastnosti výstřiku, na množství spotřebovaného plastu a v neposlední řadě na energetickou náročnost výroby. [1]

Uspořádání vtokového systému je dáno především konstrukcí formy a násobností. Při použití vícenásobných forem by měla tavenina dorazit ke všem vtokovým ústím ve stejnou dobu a se stejným tlakem. [1]

Při volbě vtokového systému se vychází z toho, že tavenina je vstřikována vysokou rychlostí do relativně studené dutiny formy. Průtokem dutinou formy viskozita taveniny na vnějším povrchu zprudka roste, nejnižší viskozita zůstává uprostřed. Z důvodů vysoké viskozity je zapotřebí použití vysokých tlaků (40 - 200 MPa) [1]



Obr. 22 Symetrické rozložení vtokových soustav u vícenásobných forem [11]

4.3.2 Horký vtokový systém

Použitím horkého rozvodného systému se sníží náklady na vstřikování. Ekonomiku vstřikování ovlivňuje množství plastu použitého pro výrobu výstřiku. Díky tomuto systému se vstřikuje bez vtokových zbytků, čím přirozeně klesne spotřeba materiálu. Nevýhodou je možnost použití pouze bodového ústí, které však postačí pro výrobu většiny výstřiků.

Pro horký vtokový systém byly vyvinuty vyhřívané trysky. Ty jsou vyráběny ve velkém množství variant. Dle použitého materiálu se může zvolit mezi tryskou s uzavírací jehlou (pro materiály s nízkou viskozitou, táhnoucí vlas) a tryskou bez uzavírání. Plastový materiál je v celém tělese trysky v tekutém stavu.

Pro vstřikování u vícenásobných forem je použit horký rozvodný blok v kombinaci s vyhřívanými tryskami. Rozvodné bloky jsou vyráběny v různých tvarech (H, X, I, aj.) a jejich vytápění je zajištěno pomocí elektrických odporových topení. Použití horkých vtokových systémů je určeno hlavně pro velkosériovou výrobu. Teplota taveniny se reguluje pomocí snímačů a regulátorů.



Obr. 23 Vyhřívaná tryska [10]



Obr. 24 Příklady horkých rozvodných bloků firmy HASCO [14]

4.4 Vyhazování výstřiků

Jedná se o činnost, při které se z tvárníku či dutiny otevřené formy vysune či vytlačí již hotový výstřik ochlazený na vyhazovací teplotu. K vyhazování se používá vyhazovací zařízení, jenž doplňuje formu a zajišťuje tak automatický výrobní cyklus. Vyhazování má dvě fáze - pohyb dopředný (vyhazování), pohyb zpětný (návrat vyhazovacího systému do základní polohy). [4]

Pro dobré vyhazování je zapotřebí hladkých stěn a úkosů na výstřiku, ve směru vyhazování. Vyhazování musí být rovnoměrné, nesmí docházet k přičení výstřiku ve for-

mě. K vyhazování se používají různé způsoby. Vyhazování pomocí vyhazovačů zanechává na výrobku zpravidla stopy. Pokud jsou tyto stopy nepřijatelné na daném místě výstřiku (např. jedná-li se o pohledovou část) musí se způsob vyhazování změnit. Jednou z možností je použití stírací desky, tím se však zcela změní koncepce zaformování i forma samotná. Kromě výstřiků je zapotřebí vyhazovat i vtokový zbytek. [4]

4.4.1 Vyhazování mechanické

Jedním ze způsobů vyhazování je vyhazování mechanické. Jedná se o nejrozšířenější způsob vyhazování, používaný všude kde je to možné. Jeho konstrukce je různá dle použití (vyhazovací kolíky, stírací deska, trubkové vyhazovače, šikmé vyhazování, postupné vyhazování a vyhazování speciální). Při vyhazování měkkých výstřiků dochází pouze k vyhazování vtokového zbytku, na který je napojený samotný výstřik. [4]

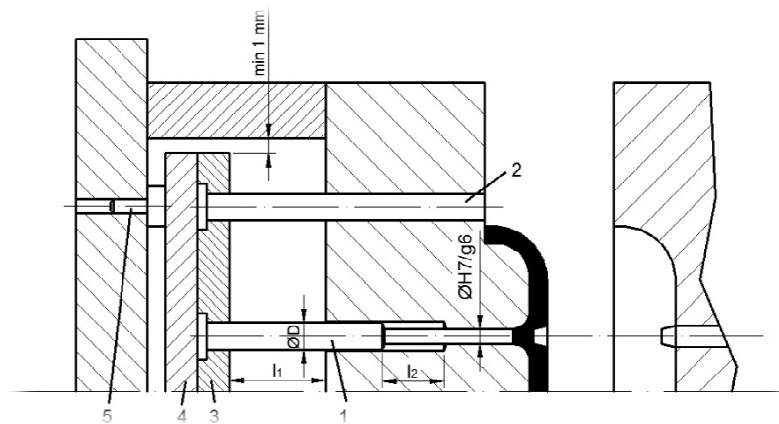


Obr. 25 Válcový vyhazovací kolík

Kolík se má opírat o žebro či stěnu výstřiku, při vyhazování nesmí kolík výstřik nijak deformovat. Vyhazovací kolíky jsou základem pro mechanické vyhazování. Kromě tvaru válcového mohou mít jakýkoliv požadovaný tvar - např. prizmatické vyhazovače. Ve formě bývají dle typu použitého polymeru a požadované funkce uloženy v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/j6. Vůle působí taktéž jako odvzdušnění dutiny formy při vstřikování. [4]



Obr. 26 Plochý vyhazovací kolík

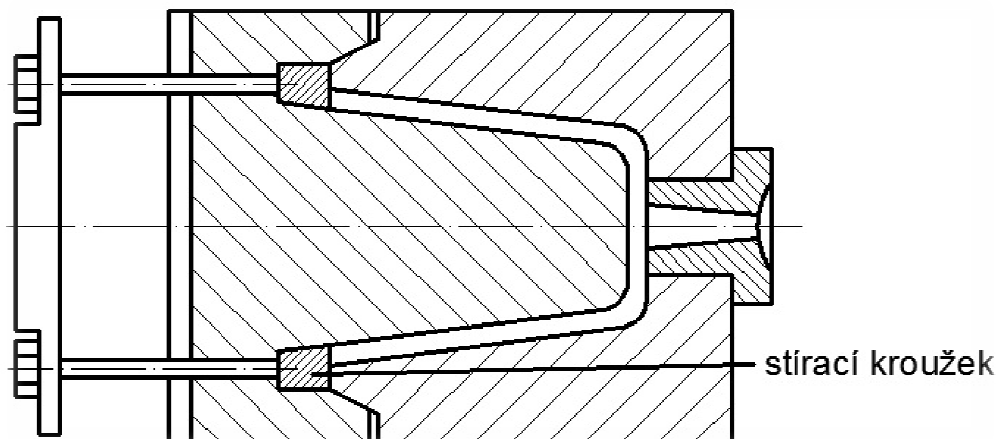


Obr. 27 Odformování výrobku vyhazovacími kolíky [4]

1- vyhazovací kolík, 2- vratný kolík, 3- horní deska vyh., 4- spodní deska vyh., 5- zarážka

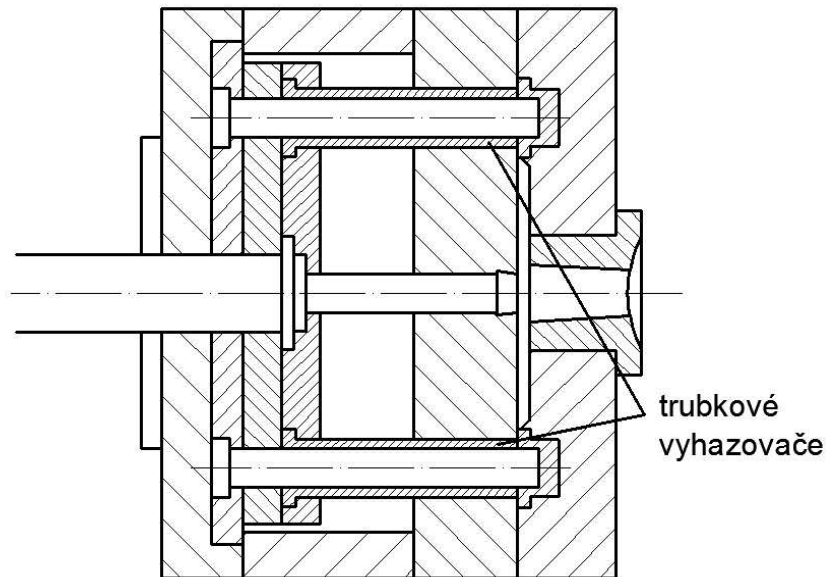
4.4.2 Vyhazování stírací deskou

Výstřík je z tvárníku stahován po celém svém obvodu. Na výstříku nezůstávají stopy po vyhazování, jelikož mezi deskou a výstříkem je velká styčná plocha. Díky velké stírací síle, která zároveň zapřičiňuje minimální deformace, se používá nejčastěji u výrobků tenkostěnných. Využití u výrobků rozměrných je kvůli požadavku na velkou vyhazovací sílu. [4]



Obr. 28 Stírací deska (kroužek) [4]

Ovládání stírací desky je vyvozeno tlakem vyhazovacího trnu, pneumatickým či hydraulickým zařízením. Stírací deska obvykle bývá pro zvýšení životnosti vyložena vložkou se zvýšenou tepelnou odolností. [4]



Obr. 29 Trubkové vyhazovače [4]

Zvláštním případem stírání tlakem je trubkový vyhazovač. Ten plní funkci stírací desky, pracuje ovšem jako vyhazovací kolík. Trubkový vyhazovač je pevně ukotven v desce, nepohybuje se tedy a tvoří pevné jádro. Na obr. 13 je vidět jeho uložení. [4]

4.5 Temperace vstřikovacích forem

Již při konstruování vstřikovací formy se musí řešit temperování tvarových částí. Temperace tvarových částí formy má zásadní vliv na výslednou kvalitu výrobku a na hospodárnost výroby. Při vstřikování je nutné odvézt z výstřiku velké množství tepla, a to stejnoměrně a co nejrychleji. Největší intenzita chlazení by měla být v místech, kde proudí nejvíce taveniny. U velkoplošných výstřiků s tenkými stěnami bývá před samotným vstřikem forma vyhřátá na optimální teplotu horkou vodou, vpuštěnou do kanálů chladicího systému. [5]

Cílem je tedy dosáhnoutí optimální délky vstřikovacího cyklu za konstantního teplotního režimu formy. [4]

U forem pro vstřikování bývá nejčastěji použitým chladícím médiem voda. Regulace temperačního média bývá realizována škrťacím ventilem, ten reguluje množství vody vstupujícího do chladicího kanálu. Chladicí voda bývá přiváděna do míst formy s nejvyšší teplotou, oteplená voda se vede do míst vzdálenějších. [5]

Tab. 7 Doporučené teploty pro dané materiály [6]

Termoplast	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]
ABS	190 - 250	50 - 85
PA 6	230 - 290	40 - 120
PC	280 - 320	85 - 120
PE-HD	180 - 270	20 - 60
PE-LD	180 - 270	20 - 60
PMMA	200 - 250	50 - 80
POM	180 - 220	50 - 120
PP	170 - 280	20 - 100
PS	180 - 260	55 - 80
PVC tvrdé	190 - 220	30 - 60
SAN	200 - 260	50 - 85
PSU	340 - 400	120 - 160
PEEK	380 - 430	160 - 220
LCP	310 - 360	65 - 95

Pro temperování forem na jednoduché výstřiky postačí jednoduchý způsob pro vedení temperačního média – vrtané kanály. Vrtané kanály se nejčastěji vyrábí o průměru 8 mm až 12 mm. [5]

Pro přívod kapaliny do těla formy jsou ve formě našroubovány náustky pro nasazení hadic. Tyto náustky mohou být kovové nebo z polyamidu. [5]

Chlazení dlouhých tvárnků a jader bývá provedeno samostatně, pomocí přepážek, různých spirál nebo mosazných či měděných trubek. Pro těsnění se používají O kroužky dle ČSN 02 9280. Pokud se musí řešit chlazení dlouhých tenkých jader, je vhodné je vložit do mědi, kvůli jejím dobrým tepelně vodivým vlastnostem. [5]

Temperování formy na předepsanou teplotu spočívá v energetické bilanci formy a okolního prostředí. Teplo je z formy odváděno zejména temperačním systémem, ke ztrátám tepla dochází také vedením do upínacích ploch vstřikovacího stroje, vyzařováním do okolí a okolním vzduchem. [4]

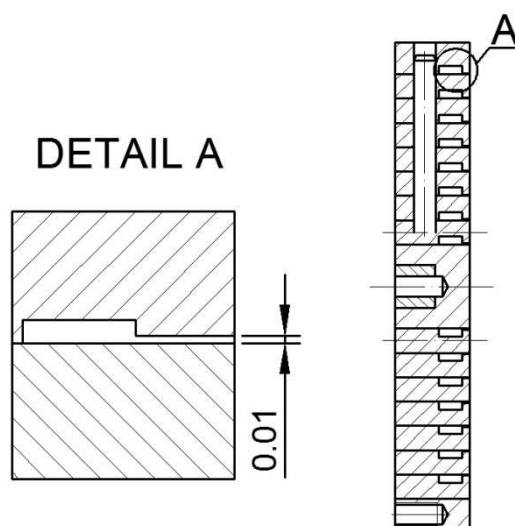
Při vstřikovacím procesu není teplota formy konstantní, zejména potom teplota tvarových dutin. Po vstřiku teplota vzroste a poté v důsledku odvodu tepla temperačním systémem formy klesá. Toto kolísání by mělo být zpravidla co nejmenší. Je proto nutná optimalizace temperačního procesu, která spočívá ve volbě správné velikosti a rozmístění temperačních kanálů, v nastavení teploty chladicí kapaliny a rychlosti jejího proudění. [4]

4.6 Odvzdušnění vstřikovacích forem

Dutina formy je před samotným vstříknutím zaplněna vzduchem, který se při vstříkávání taveniny polymeru stlačuje a vzrůstá jeho tlak. Vzrůst tlaku může způsobit vzplanutí vzduchu a tím dojde ke spálení polymeru. Tento jev se nazývá Dieselův efekt. Vzduch stlačený v dutině formy také může negativně ovlivnit mechanické vlastnosti výrobku, v němž mohou vzniknout bubliny. Pro eliminaci těchto vad musíme provést dobré odvzdušnění formy. [6]

4.6.1 Určení místa pro odvzdušnění

Určení místa, ve kterém je nutné provést odvzdušnění, může být zřejmé z tvaru výstřiku, jindy je toto určení složitější, jelikož je nutné brát v úvahu směr a způsob plnění dutiny formy taveninou. V místě, jenž bylo zaplněno naposledy, je třeba vytvořit dostatečné odvzdušnění. [6]



Obr. 30 Příklad odvzdušnění dutiny formy [6]

Pokud z analýz či úvah nelze správně určit místo pro odvzdušnění, musí být forma realizována tak, aby bylo možné odvzdušnění následně dodělat. Následně lze místa pro odvzdušnění určit při praktických zkouškách formy (nedotečený výstřik, spálené místo). [6]

V případech kdy je nutné velké odvzdušnění, mohou na výstřiku vzniknout stopy. Tyto stopy by neměly být na pohledových plochách. Jednou z možností jak zabránit vzniku

těchto stop je vhodná volba vtoku, jeho umístění na výstřiku či změna parametrů vstřikovacího procesu. [6]

4.7 Materiály používané při konstrukci forem

Vstřikovací formy jsou finančně nákladné nástroje, složené z dílů funkčních a pomocných. Při vstřikování se od forem vyžaduje dosažení předepsané kvality výroby, životnosti a zejména nízké pořizovací náklady. Významným faktorem ovlivňujícím tyto podmínky je materiál, z kterého je forma vyrobena. Materiál je ve velké míře ovlivněn provozními podmínkami výroby, jenž jsou určeny druhem vstřikovaného materiálu, přesností a jakostí výrobku, vstřikovacími podmínkami a strojem pro vstřikování. [4]

4.7.1 Používané druhy ocelí

Určení konkrétního druhu oceli záleží na funkci součásti, na níž bude ocel použita. Předpokladem pro dostatečnou životnost a správnou funkci je správná konstrukce, rozměry, dobré zacházení a pravidelná údržba. Výsledek ovlivňuje také způsob výroby a druh tepelného zpracování materiálu. Pokud je kvalita povrchu nedostačující, může být ovlivněno vyjímání výstřiku z formy. Povrch leštěný slouží také jako ochrana proti korozi. Z těchto parametrů vyplývá také nárok na čistotu oceli. [4]

4.7.2 Požadované vlastnosti ocelí

Požadavek na vlastnosti oceli se liší s druhem součásti, jelikož jednotlivé části forem nemají stejnou funkci. Výběr materiálu musí odpovídat funkci dané součásti, zohledněna musí být životnost a opotřebení.. [4]

Od materiálů použitých pro vstřikovací formy je vyžadována především dobrá mechanická pevnost a dobrá obrobitelnost. [4]

Z hlediska technologie výroby výstřiků má mít materiál použitý na funkční díly speciální požadavky na kvalitu struktury, ta je dána:

- dobrou obrusitelností a leštitelností,
- zlepšenou odolností proti otěru,
- korozivzdorností a odolností proti chemickým vlivům,
- dobrou kalitelnost a prokalitelnost,
- rozměrovou stálostí, minimální deformací při kalení a vhodnými fyzikálními vlastnostmi. [4]

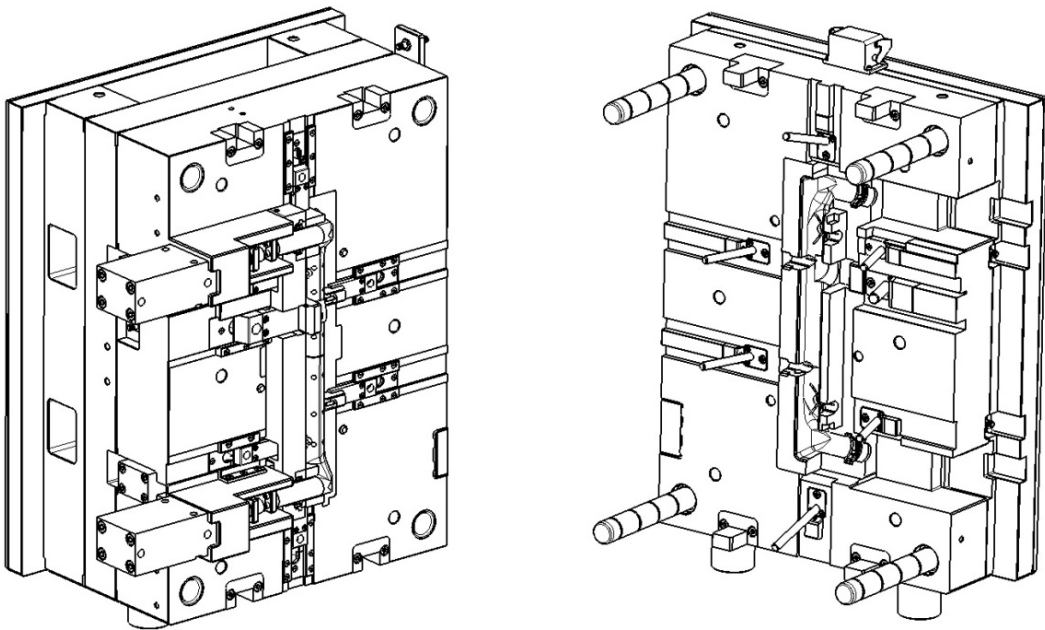
II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem praktické části diplomové práce je vytvoření modelu zadaného výrobku v programu CATIA V5 R18. Po vymodelování dílce následuje konstrukce vstřikovací formy pro tento zadaný výrobek, taktéž zhotovené v CATIA V5 R18. Součástí návrhu je vytvoření tokové analýzy pro zadaný díl v programu Autodesk Moldflow.

Cílený postup:

- tvorba modelu zadaného výrobku,
- návrh vstřikovací formy pro zadaný výrobek,
- návrh temperačního systému vstřikovací formy,
- zpracování analýzy toku v Autodesk Moldflow,
- formulace výsledků jednotlivých analýz,
- shrnutí a diskuze výsledků.



Obr. 31 Pohledy na obě strany navržené vstřikovací formy

Pro část věnující se analýze toku v programu Autodesk Moldflow jsou cíle následující:

- volba materiálu výrobku,
- volba vstřikovacího stroje,
- volba a nastavení parametrů procesu,
- popis jednotlivých výsledků analýz.

6 VYTVOŘENÍ MODELU VÝROBKU

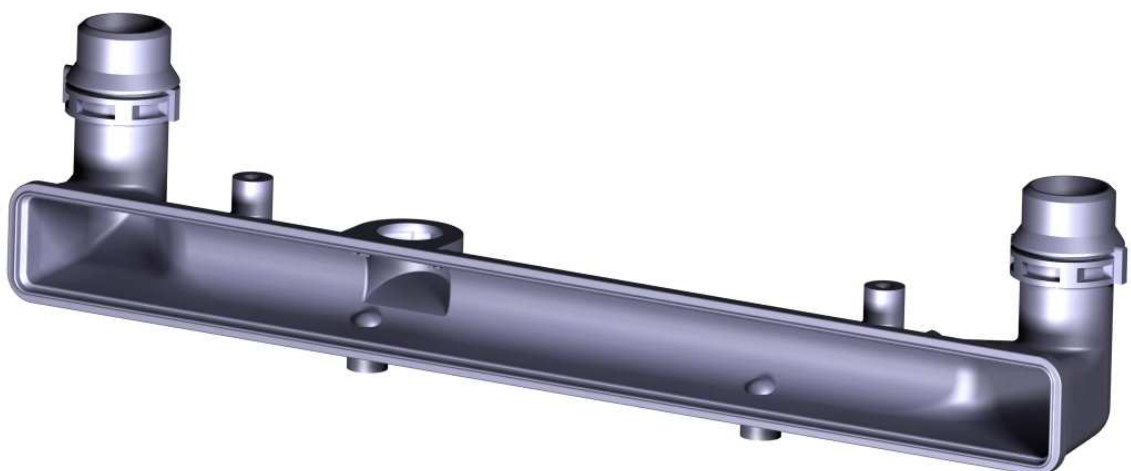
Zadaný výrobek byl v měřítku 1:1 vmodelován v programu CATIA V5R18. Model byl vytvořen ve třech verzích. První verze rozměrově odpovídá zadanému výrobku (originál), druhá verze je zvětšena o hodnotu smrštění zvoleného materiálu - tento model slouží pro vytvoření dutiny formy, třetí verze je upravena (zjednodušena pro usnadnění výpočtu - byly odstraněny malé rádiusy a tvary) a uložena jako *.stl pro program Autodesk Moldflow.

Výrobek je použit jako součást chladiče motoru automobilu, ke kterému jsou připojeny hadice.

Objem výrobku je 172 cm^3 a jeho max. rozměry jsou $415 \times 101 \times 59,5 \text{ mm}$.

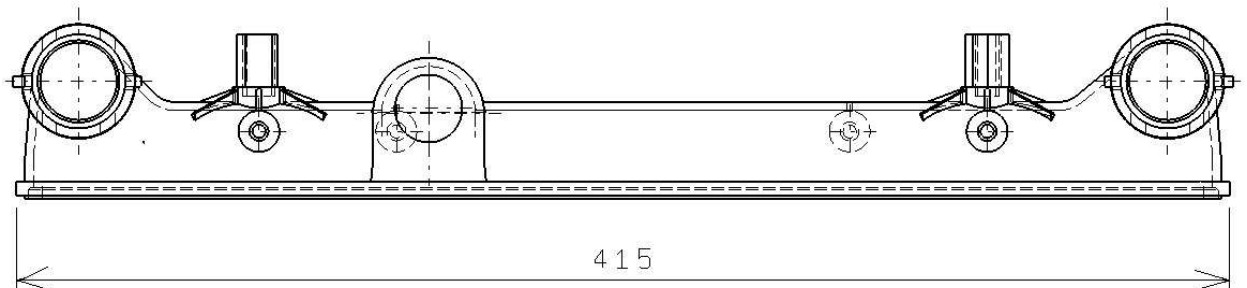


Obr. 32 Model výrobku v programu CATIA V5R18



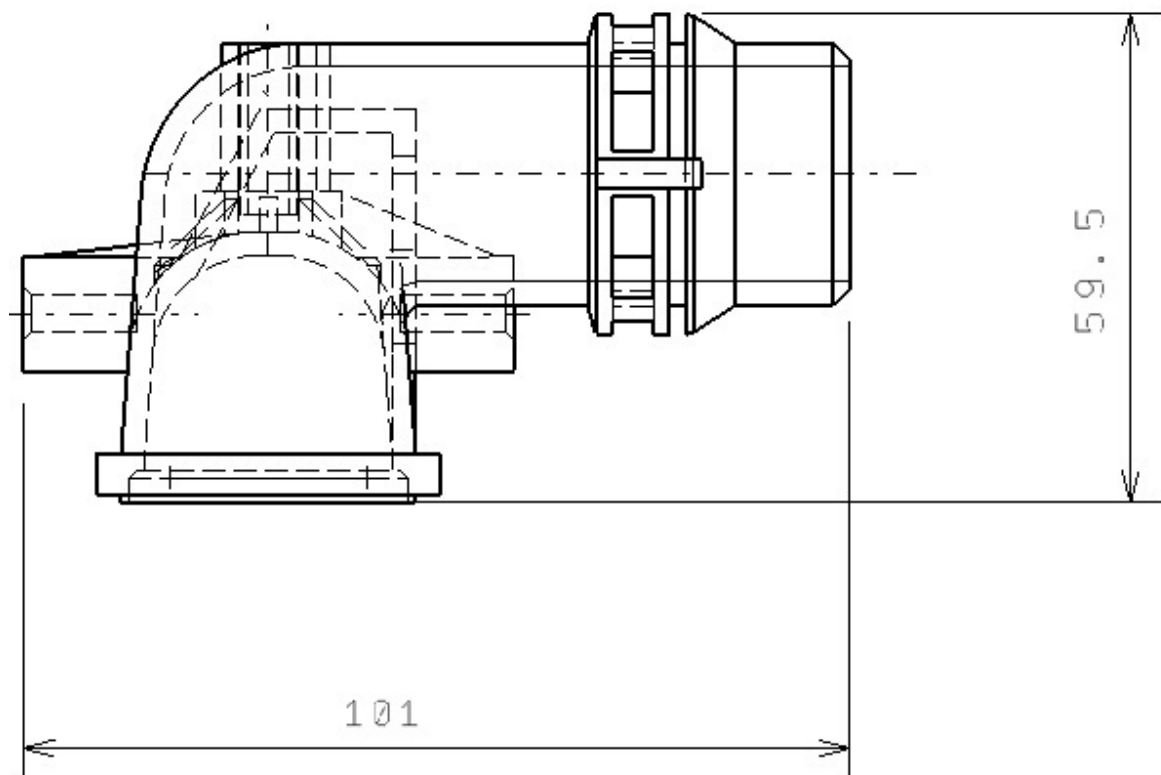
Obr. 33 Model výrobku v programu CATIA V5R18

Maximální rozměry výrobku byly zakótovány v programu Catia V5 R18. Výkres výrobku je přiložen v přílohách diplomové práce.



Obr. 34 Maximální rozměr výrobku ve směru osy X

K rozměrům výrobku bylo přihlíženo při návrhu násobnosti formy. Vstřikovací forma pro zadaný výstřik je koncipována jako jednonásobná, s horkým vtokem.



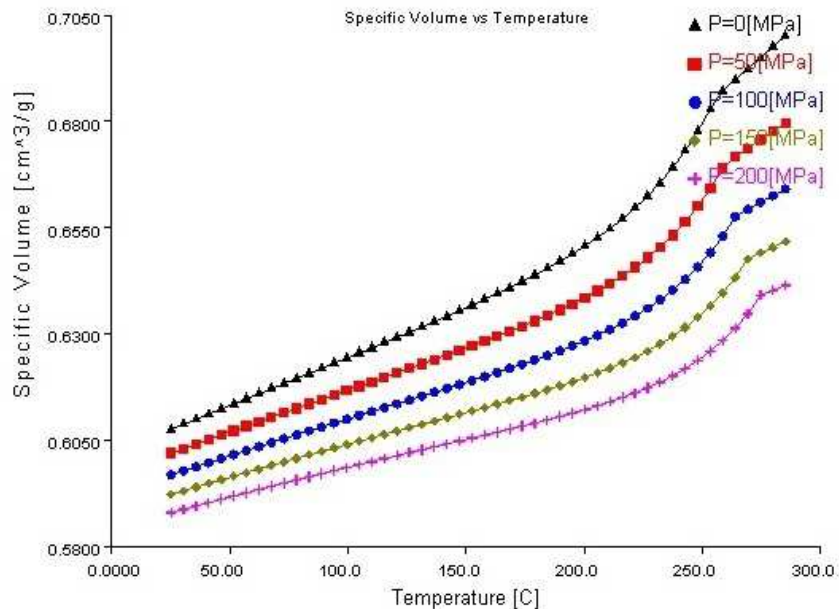
Obr. 35 Maximální rozměry výrobku ve směru os Y a Z

6.1 Materiál výrobku

Zvoleným materiálem výrobku je PA66 + 30% skla, zejména pro své dobré mechanické vlastnosti a odolnost vůči vysokým teplotám. Obchodní název materiálu je PA66 - Radiflam A RV 300AE 100C NAT firmy Radici Plastics. O hodnotu smrštění tohoto materiálu - 0,708% byla zvětšena dutina formy.

Tab. 8 Doporučené procesní podmínky v programu Autodesk Moldflow

	T [°C]
Teplota povrchu formy	90
Teplota taveniny	280
Teplota formy (doporučená)	
Minimum	80
Maximum	100
Teplota taveniny (doporučená)	
Minimum	275
Maximum	285
Nejvyšší možná T taveniny	320
Vyhazovací teplota	222



Obr. 36 pvT diagram zvoleného materiálu z Autodesk Moldflow

6.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj byl zvolen dle velikosti plastikační jednotky, jejíž objem musí být větší než objem vstřikovaného výrobku, vtokového systému a musí obsahovat rezervu cca 10%. Dalším aspektem je velikost uzavírací síly a maximální velikost rámu pro upnutí vstřikovací formy, resp. vzdálenost vodicích sloupků, mezi které se musí vejít vstřikovací forma.

Vstřikovací stroj byl vybrán v programu Autodesk Moldflow. Stroj Arburg Allrounder 920 S 5000 - 4600 má následující parametry:

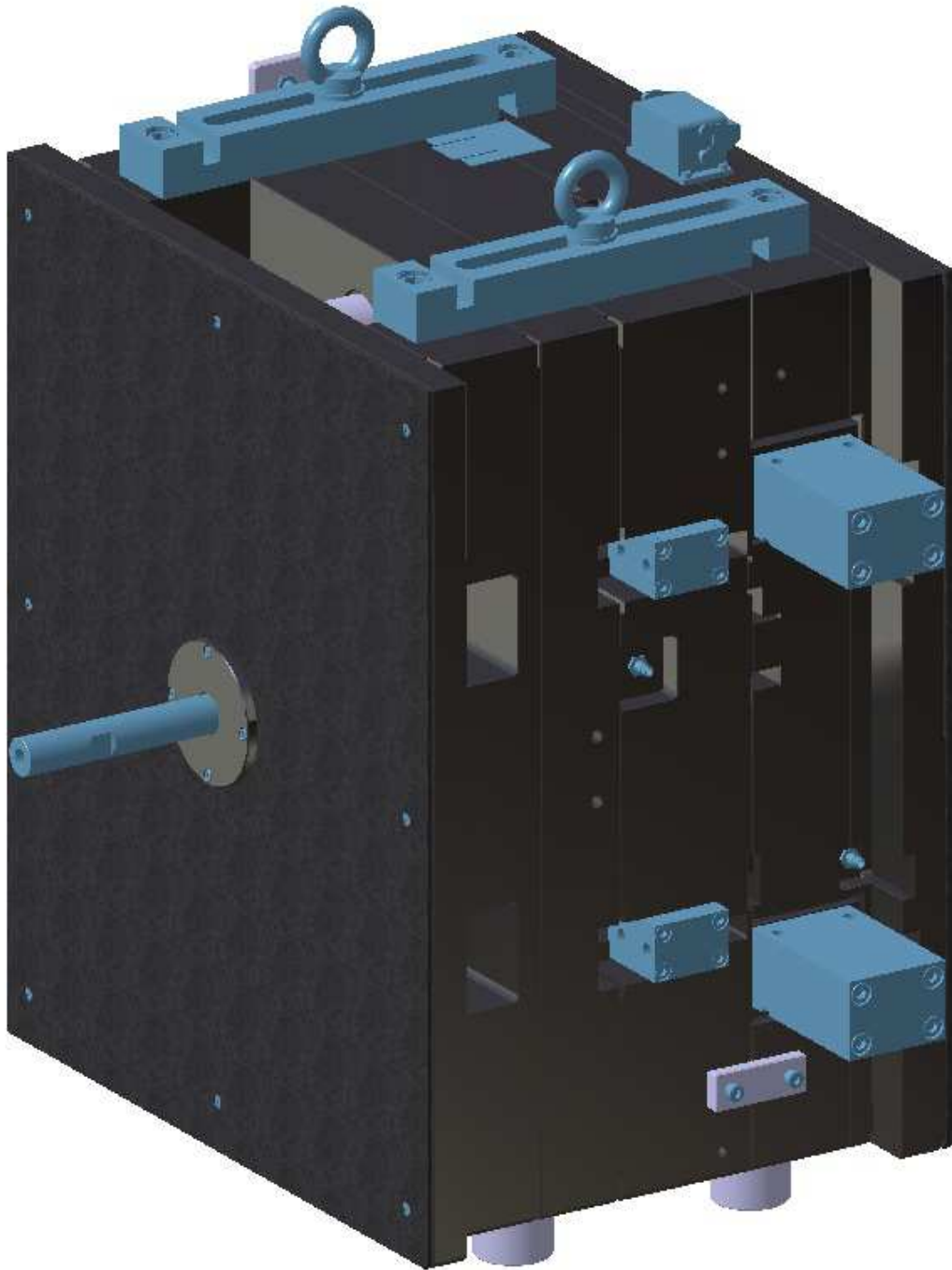


Tab. 9 Parametry zvoleného vstřikovacího stroje

Výrobce	Arburg	dle Moldflow
Úplný název	Allrounder 920 S 5000 - 4600	x
Uzavírací síla	500 tun (5000 kN)	36.12 tun (361,2 kN)
Průměr šneku	90 mm	x
Vzdálenost vodicích sloupků	920 mm x 920 mm	700 mm x 650 mm
Objem vstřikovací jednotky	2827 cm ³	Objem výstřiku 172 cm ³
Max. vstřikovací tlak	2000 bar	x
info	http://www.arburg.com/cs/cz/	

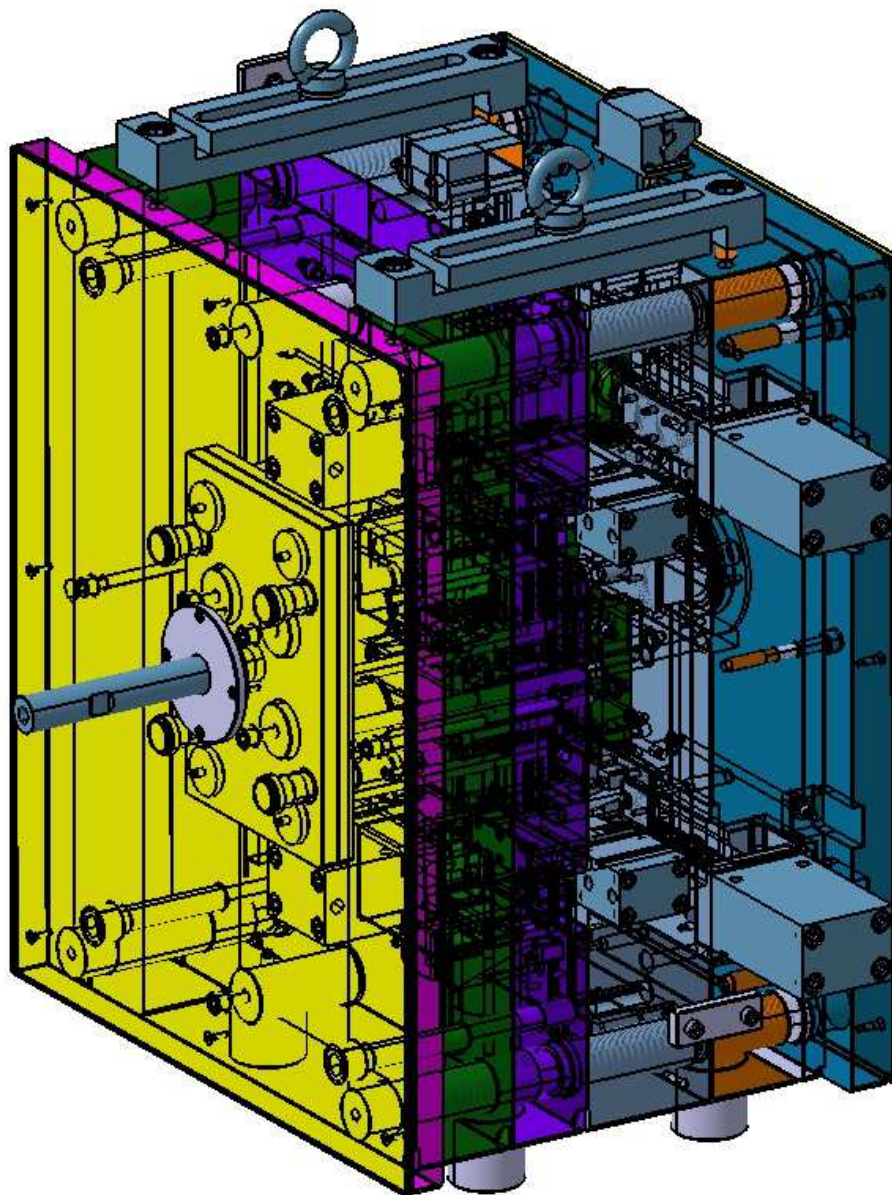
7 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Forma je nástroj, který se upíná na vstřikovací stroj. Její cena je poměrně vysoká a proto musí během své životnosti splnit tyto požadavky: odolnost proti vysokým tlakům, musí zajišťovat rozměrovou a tvarovou stabilitu výstřiku, musí být jednoduchá na obsluhu a provoz, výstřik musí být snadno odformovatelný.



Obr. 37 Pohled na složenou vstřikovací formu - render

Vstřikovací forma pro zadaný výrobek byla koncipována jako jednonásobná, s horkou vtokovou soustavou. Skládá se z pravé (pevné) strany, pohyblivé strany a vyhazovacího systému. Obě strany formy jsou vůči sobě vzájemně centrovány při zavírání středícími zámky, dále je forma vystředěna středícími kolíky a čepy. Jelikož je výrobek poměrně velký a pro jeho správné zaformování je zapotřebí velké množství jader a posuvových kostek, dosahují rozměry formy 580 x 700 mm. Do rámu vstřikovacího stroje se forma vejde bez problému. Vzdálenost vodicích sloupků stroje je 920 mm - vznikne tedy volný prostor pro manipulaci s formou.



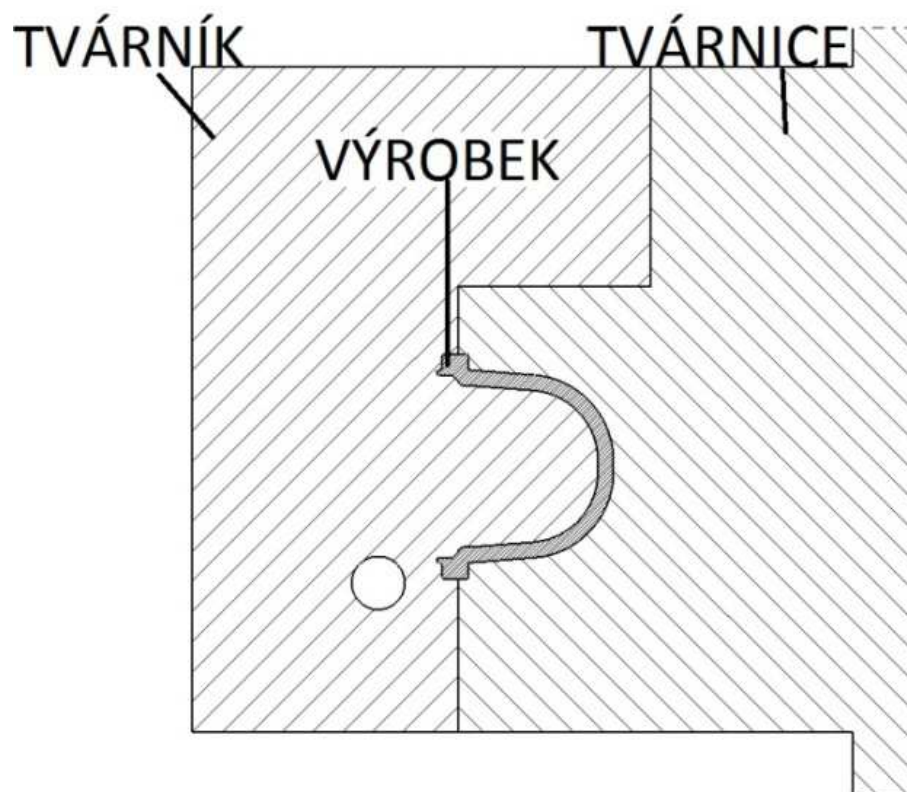
Obr. 38 Pohled na složenou vstřikovací formu

- Žlutá barva – izolační desky

- Růžová barva – upínací deska pohyblivé strany formy
- Zelená barva – rozpěrky
- Fialová barva – opěrná deska pohyblivé strany formy
- Šedo-modrá barva – kotevní deska pohyblivé strany formy
- Oranžová barva – kotevní deska pravé strany formy
- Šedá barva – mezideska pro středění trysky
- Modrá barva – upínací deska pravé strany formy

7.1 Způsob zaformování výrobku

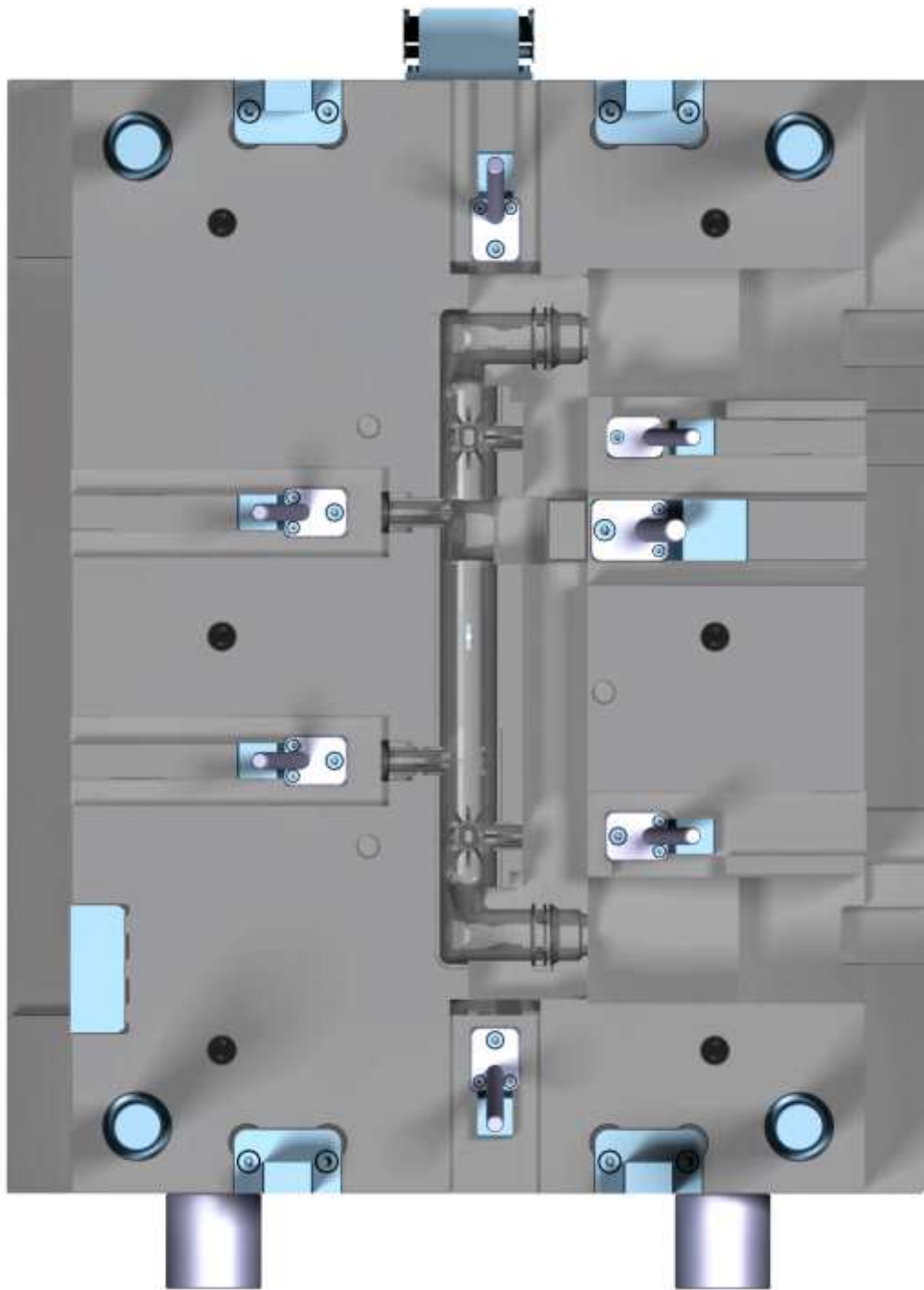
Zaformování výrobku ve formě je vidět na obr. 39. Tvarová vložka pravé strany formy formuje vnější tvar výstřiku. Tvarová vložka pohyblivé strany formy naopak formuje vnitřní tvar.



Obr. 39 Schéma zaformování výrobku

7.2 Pravá (pevná) strana formy

Pravá strana formy je složena ze 4 desek: izolační desky, upínací desky, mezidesky pro ukotvení horké trysky a z desky kotevní. V kotevní desce je uložena tvarová vložka pravé strany formy, která je ve své poloze zajištěna tvarovými výstupky. Materiály a konstrukce jednotlivých desek jsou upřesněny níže.



Obr. 40 Pevná (pravá) strana vstřikovací formy - render

7.2.1 Izolační deska

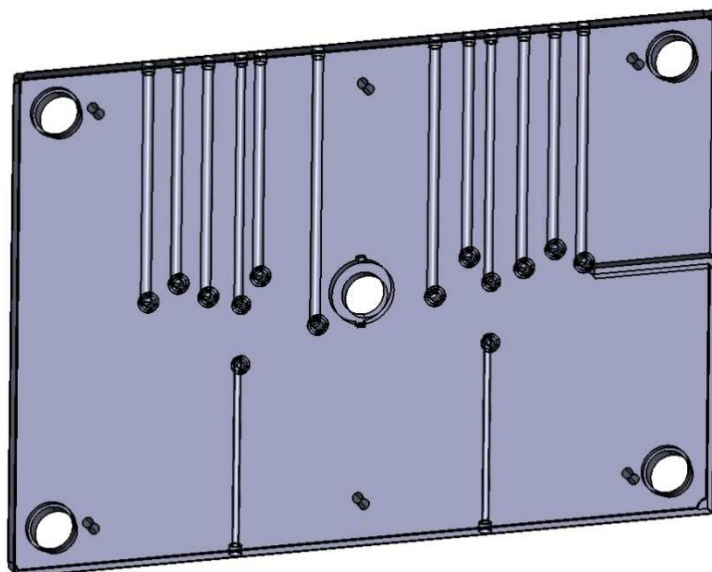
Tyto desky všeobecně slouží k udržení stabilního teplotního pole formy, a zabránění přestupu tepla na rám vstřikovacího stroje. Na navrženou desku byl použit materiál GLASTHERM HT250 M. Tento materiál je v praxi jedním z nejčastěji používaných pro tepelnou izolaci forem, zejména forem pro vstřikování reaktoplastů. Vyznačuje se vysokou pevností proti ohybu a stlačení, neláme se, má dlouhodobé užití, má nízkou tepelnou vodivost, dobrou rozměrovou stálost, je odolný proti olejům a vlhkosti, má vynikající dielektrické vlastnosti. Deska snese operační teploty okolo 250 °C, má příčnou tepelnou vodivost 0,23 W/(m*K).

7.2.2 Upínací deska

K upínací desce jsou upnuty středící kolíky, slouží také ke spojení celé vstřikovací strany formy pomocí šroubů. Materiál upínací desky je ocel 11 600.

7.2.3 Mezideska pro uložení horké trysky

V mezidesce je uložena vyhřívaná tryska, dále jsou v ní vyvrtány kanály pro temperaci formy o průměru 10 a 8 mm, na jejichž koncích jsou našroubovány náustky pro napojení hadic temperačních okruhů. Vyfrézované zahloubení pro vedení kabelu výhřevu trysky do konektoru je pouze jedno a vede uprostřed desky kolmo směrem ke konektoru. Tato deska je vyrobena z materiálu 11 600.

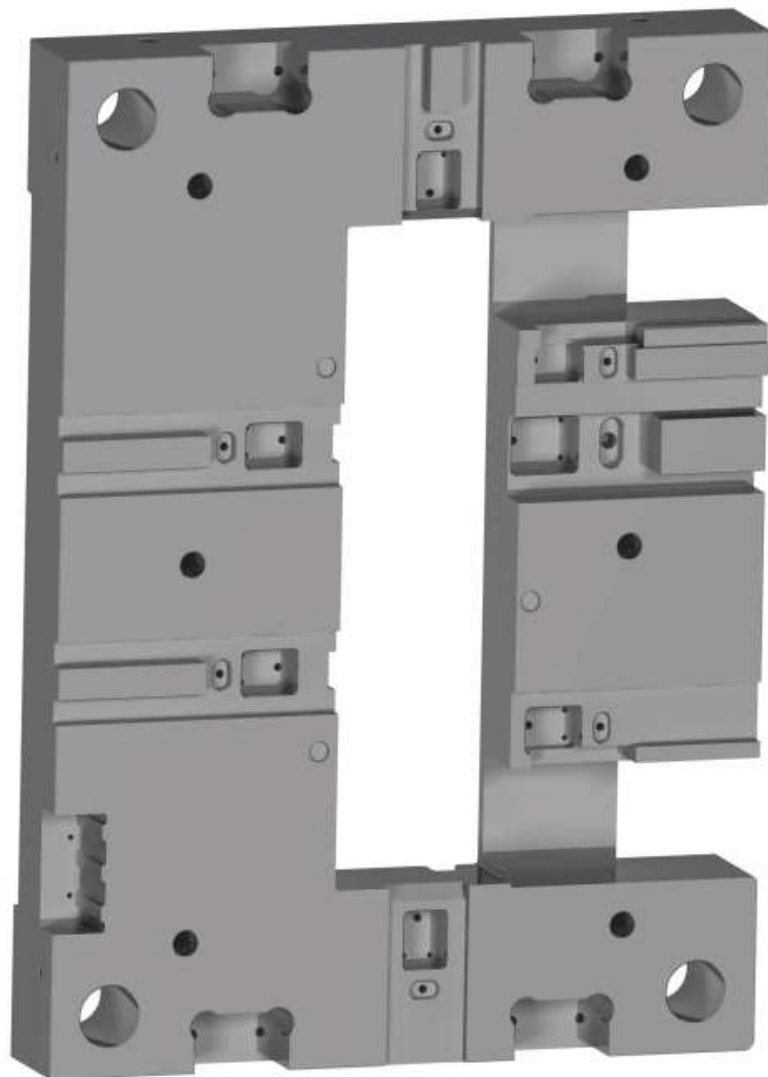


Obr. 41 Mezideska

7.2.4 Kotevní deska

V kotevní desce jsou vytvořena vybrání pro:

- uložení vyhřívané trysky,
- uchycení tvarové vložky vstřikovací strany,
- uchycení středících zámků HASCO,
- vedení posuvových kostek,
- uložení šikmých čepů.

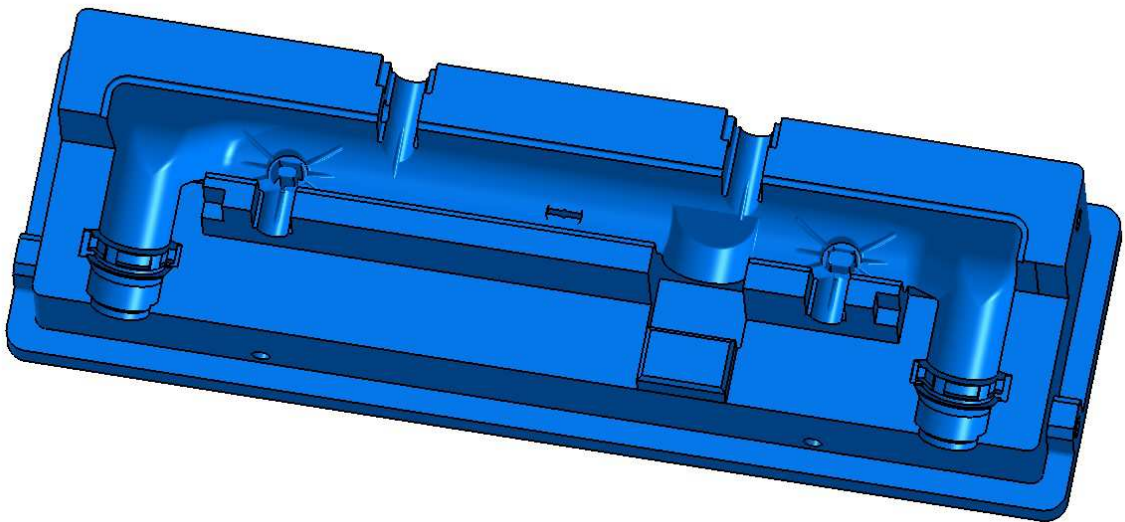


Obr. 42 Kotevní deska pravé strany formy

7.2.5 Tvarová vložka pravé strany

Tvarová vložka na pravé straně je z důvodu zaformování tvarovaná tak, aby spolu s vložkou pohyblivé strany formy a zavřených tvarových kostek udala správný tvar dutině formy. Ve vložce jsou vytvořena vybrání umožňující pohyb posuvových kostek pro správné odformování výrobku. Materiál vložky je zvolena Cr-Mo-Si-V nástrojová ocel 19 552, jejíž vlastnosti ve zkratce jsou následující: Tato ocel je vhodná na formy, nástroje pro tváření a stříhání za tepla, hloubka zakalení do cca 150 mm v celém průřezu při kalení na vzduchu nebo v oleji, pro velmi namáhané nástroje. Materiál bude zakalen na hodnotu 55 HRC. Ve vložce jsou vytvořeny temperační kanály pro chlazení, o průměru 8 a 10 mm.

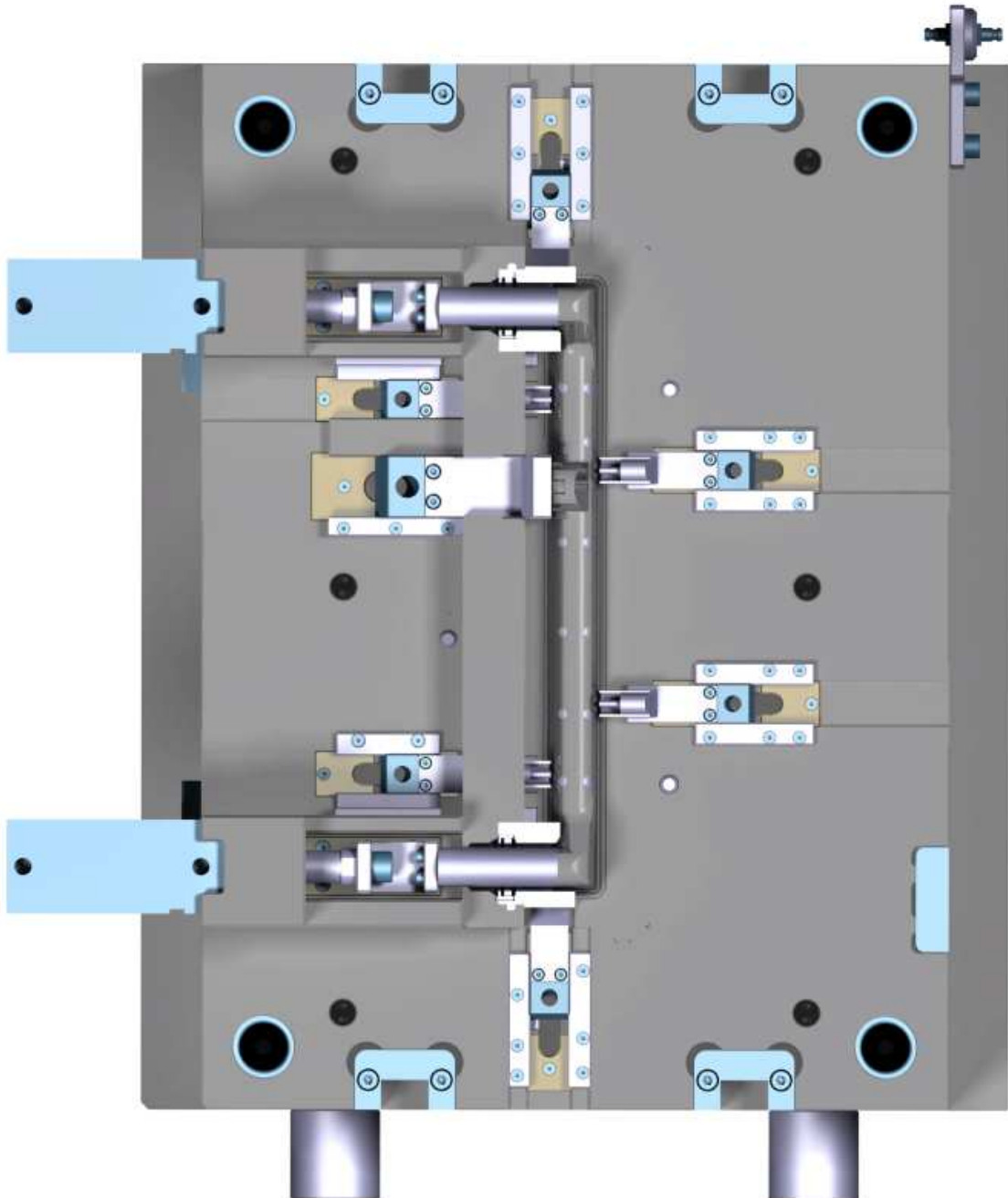
Vložky na obou stranách jsou vyráběny jak nekonvenčními technologiemi - elektrojiskrově (pomocí tvarových elektrod), tak konvenčními technologiemi jako je frézování. Na obr. 43 je vidět, že některé kontury ve vložce nelze vyrobit jinak než nekonvenčními metodami obrábění.



Obr. 43 Tvarová vložka pravé strany

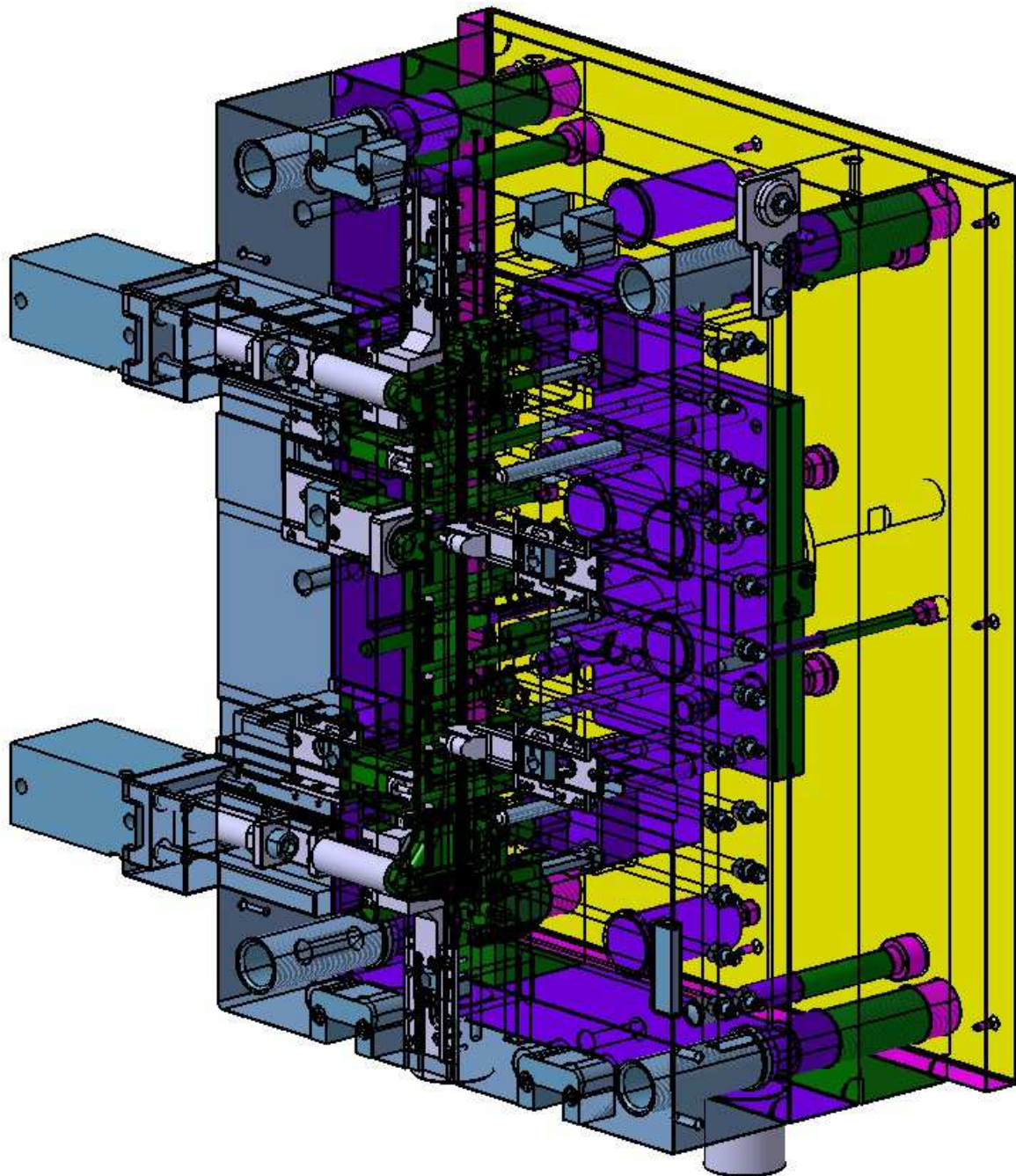
7.3 Pohyblivá strana formy

Pohyblivá strana navržené vstřikovací formy je složena z izolační desky, upínací desky, dvou rozpěrek, opěrné desky a kotevní desky. Elementy pro středění vzájemné polohy obou stran formy jsou středící zámky umístěné na horní a dolní straně kotevních desek obou stran.



Obr. 44 Pohyblivá strana vstřikovací formy - render

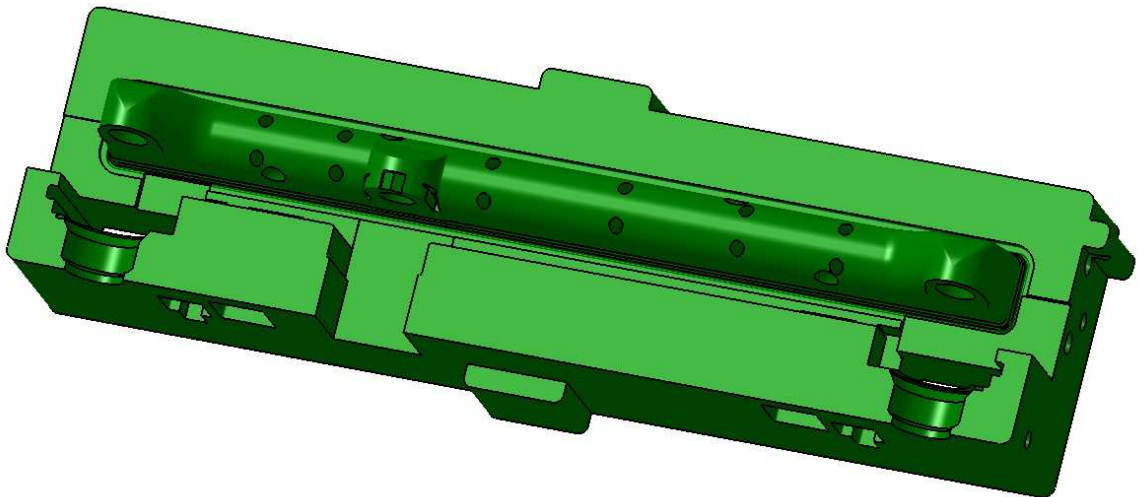
Materiál izolační desky pohyblivé strany formy je totožný s materiálem izolační desky na pevné straně formy. Stejně tak materiál upínací desky odpovídá materiálu upínací desky na pevné straně formy.



Obr. 45 Pohled na pohyblivou stranu vstřikovací formy

7.3.1 Tvarová vložka pohyblivé strany formy

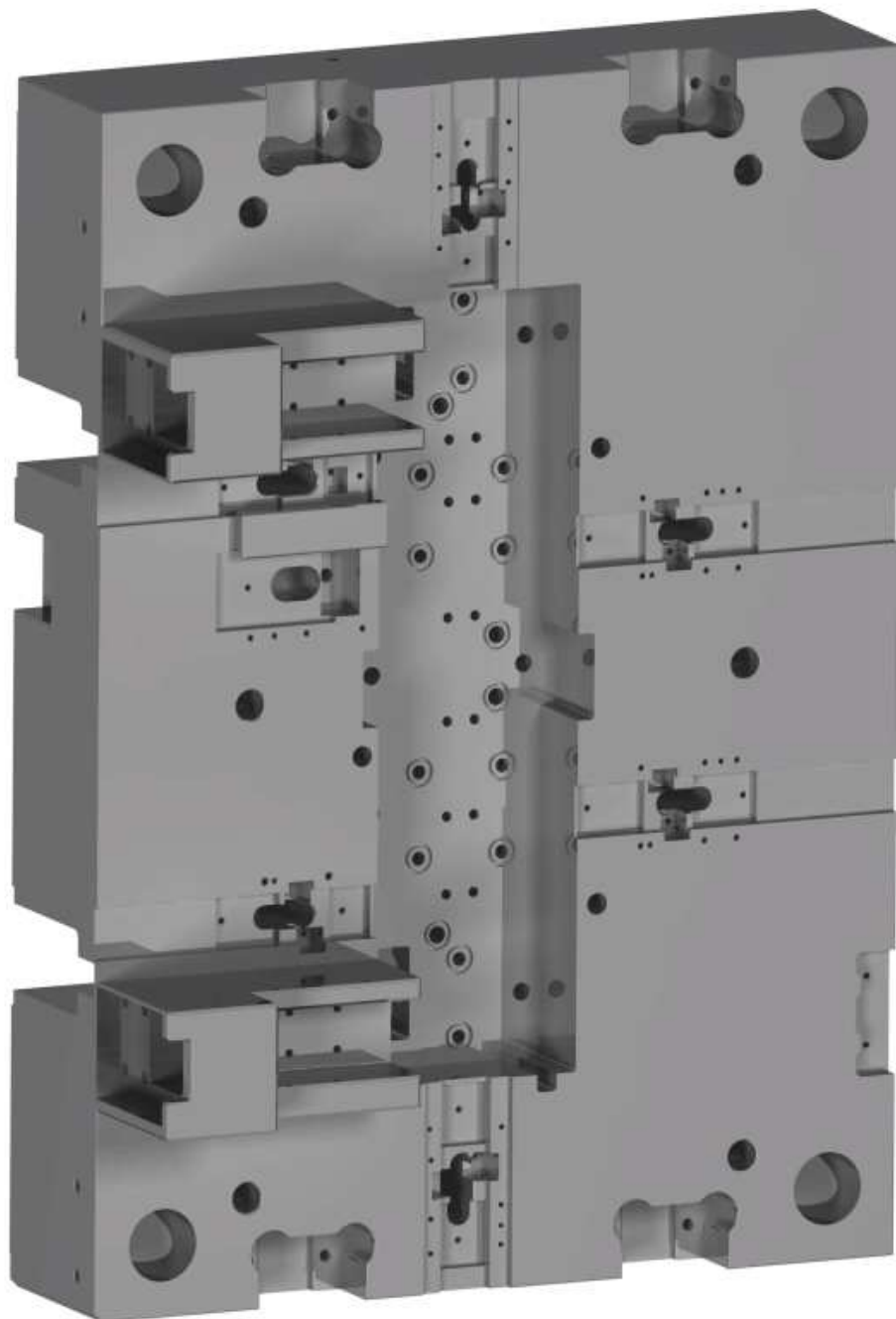
Materiál tvarové vložky na pohyblivé straně formy je totožný s materiálem vložky pevné strany formy, tedy nástrojová ocel 19 552 zakalená na hodnotu 55 HRC. Ve tvarové vložce jsou vytvořena tvarová vybrání pro posuvové kostky a pro jejich vedení. Kanály pro temperaci jsou vyvrtány a mají průměr 8 mm a 10 mm. Tvarová vložka je vystředěna pomocí tvarových výstupků a ke kotevní desce je přišroubována šrouby.



Obr. 46 Tvarová vložka pohyblivé strany formy

7.3.2 Kotevní deska pohyblivé strany formy

V kotevní desce na pohyblivé straně formy je vytvořeno vybrání pro ukotvení tvarové vložky. Dále jsou v ní uchyceny a vytvořeny lišty pro vedení posuvových kostek a vybrání pro umožnění zajetí šikmých kolíků při uzavírání formy. Kanály pro temperaci jsou vyvrtány a vedeny na boční strany pro přehlednější zapojení hadic temperace. Hydraulické válce jsou uchyceny pomocí šroubů a slouží k vysouvání a zasouvání tvarových kostek. Táhlá a vedení jsou vyrobená tak, aby měla co nejmenší hmotnost.



Obr. 47 Kotevní deska pohyblivé strany formy

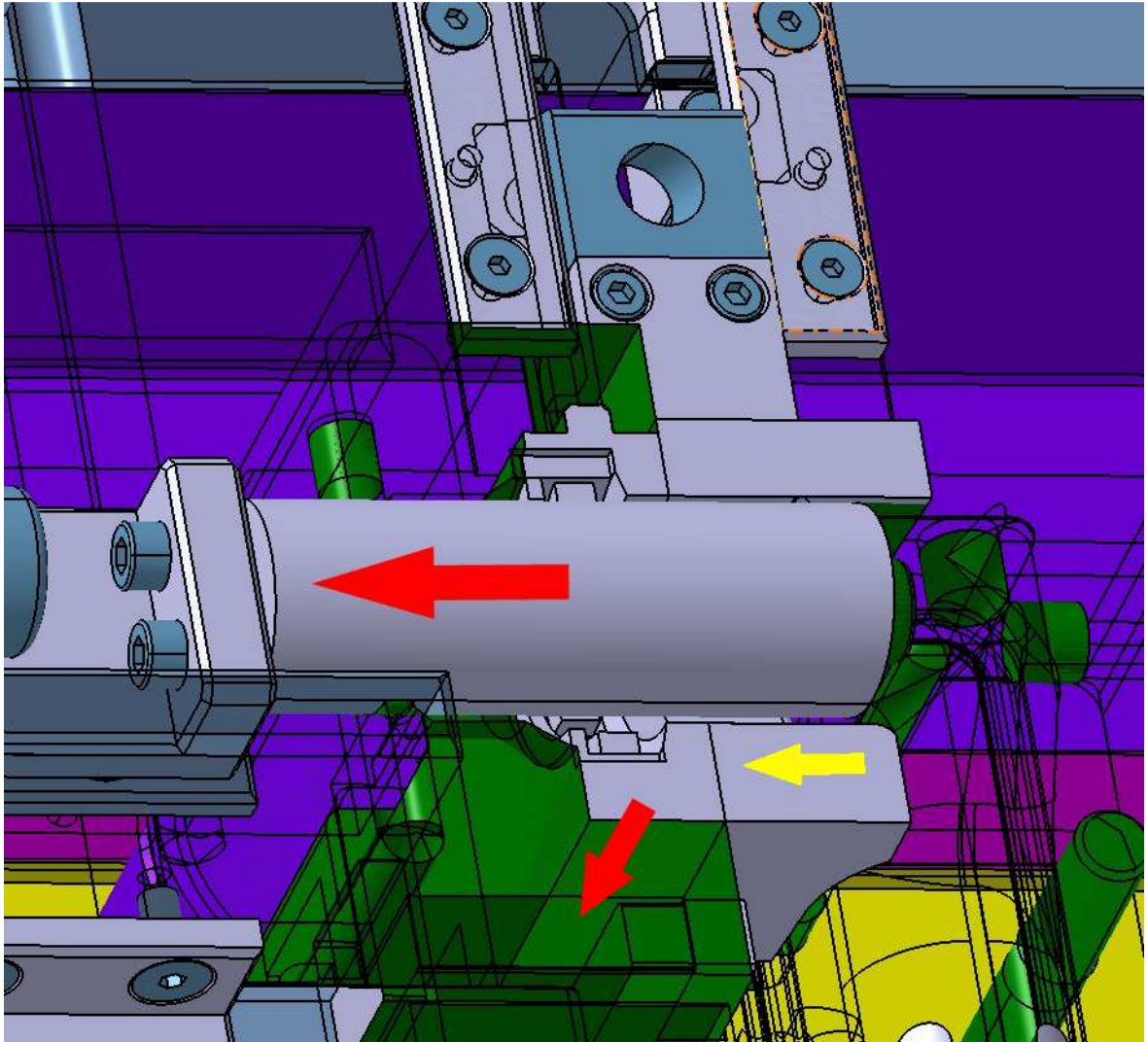
7.3.3 Opěrná deska pohyblivé strany formy

Opěrná deska slouží zejména k uchycení hydraulických válců a ke zvýšení tuhosti pohyblivé strany formy. O opěrnou desku jsou zapřeny válcové rozpěrky bránící prohnutí či zkroucení formy.

7.4 Odformování výstřiku z formy

Kvůli správnému odformování výstřiku z formy bylo nutné použít hydraulické válce v kombinaci s posuvnými kostkami vedenými šikmými čepy. Hydraulický systém je snadno říditelný - snadné nastavení rychlosti, zpoždění a velikosti zdvihu válce.

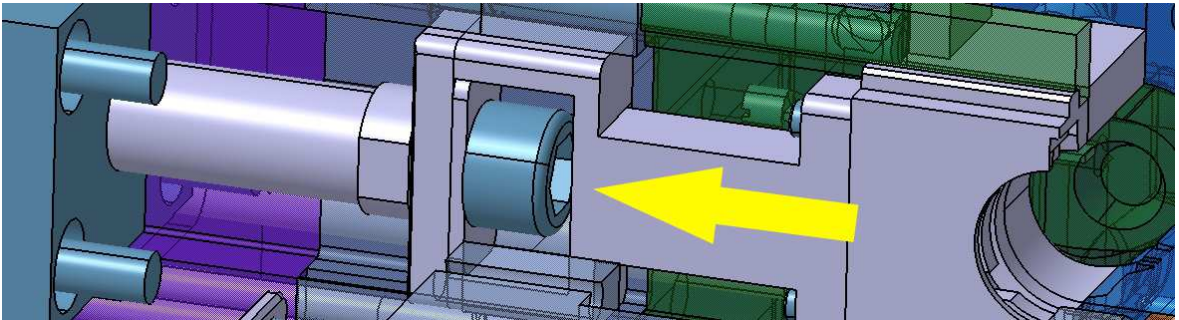
7.4.1 Odformování jádra



Obr. 48 Postup odformování hydraulickými válci

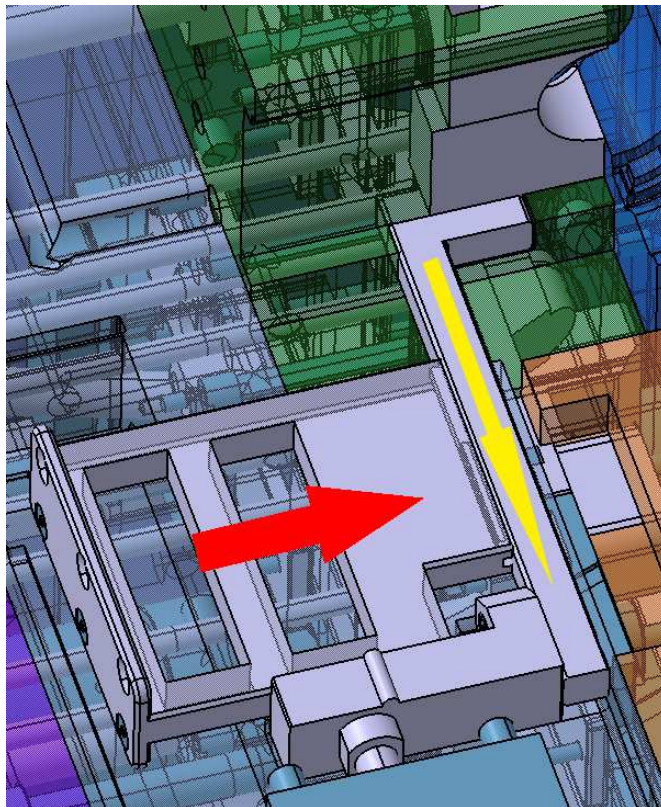
V okamžiku, kdy se forma začne otevírat, začnou hydraulické válce odsouvat jádro a kostku ve směru červených šipek (viz obr. 48). S časovým posunem (po zajištění kostky, která vytvoří prostor) se začne ve směru žluté šipky posouvat kostka spodní. Tento postup je nutný proto, aby nedošlo ke kolizím mezi jednotlivými kostkami. Svým vysunutím vytvoří kostky prostor pro snadné odformování výstřiku z dutiny formy.

7.4.2 Odformování kostek



Obr. 49 Odformování tvarové kostky

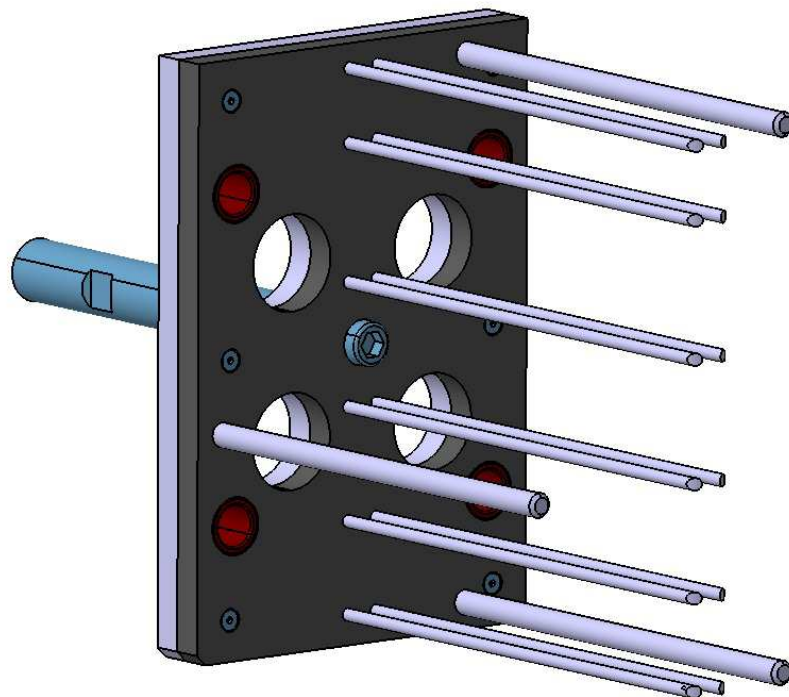
Zároveň s vysouváním jádra se spustí hydraulický válec, na kterém je pomocí šroubů připojené táhlo. Celá kostka se s táhlem zasune o 50 mm a vytvoří tak prostor pro další odformovávání (Obr. 49). V okamžiku kdy je válec vysouvající kostku plně zasunut a je tak vytvořen prostor, spustí se zasouvání dalšího válce s táhlem, pro odformování vnitřního úkosu a tvaru trubky (Obr. 50). Táhlo této kostky je vedeno ve vedení přitlačného dílu upnutého pomocí šroubů do kotevní desky (červená šipka). Tím je zajištěn pohyb tvarové kostky pouze ve směru osy hydraulického válce. Táhlo je ke vnitřní tvarové kostce připevněno pomocí tří šroubů.



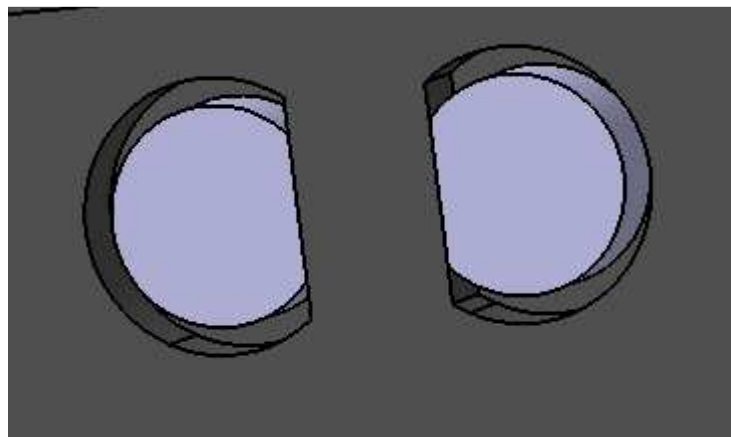
Obr. 50 Odformování vnitřní kostky

7.5 Vyhazovací systém

Ve formě je použito mechanické vyhazování pomocí válcových vyhazovačů HASCO, s vytvořenou aretací proti pootočení. Tvarové části jednotlivých válcových vyhazovačů svou plochou doplňují tvarovou vložku pohyblivé strany formy. Vyhazovací systém se uvede do činnosti po odsunutí všechny hydraulicky ovládaných posuvných kostek. Výstřik se uvolní a pomocí vyhazovačů bez problému vypadne z prostoru formy a umožní tak opakování cyklu.



Obr. 51 Vyhazovací sestava



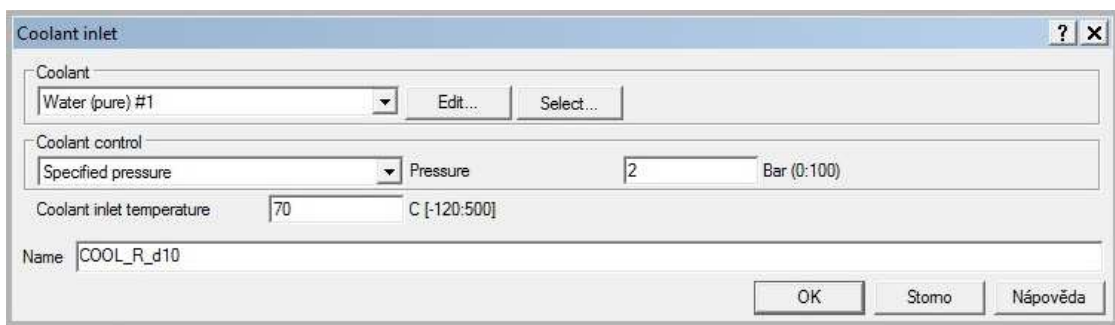
Obr. 52 Zajištění vyhazovačů proti pootočení

7.5.1 Vratné kolíky

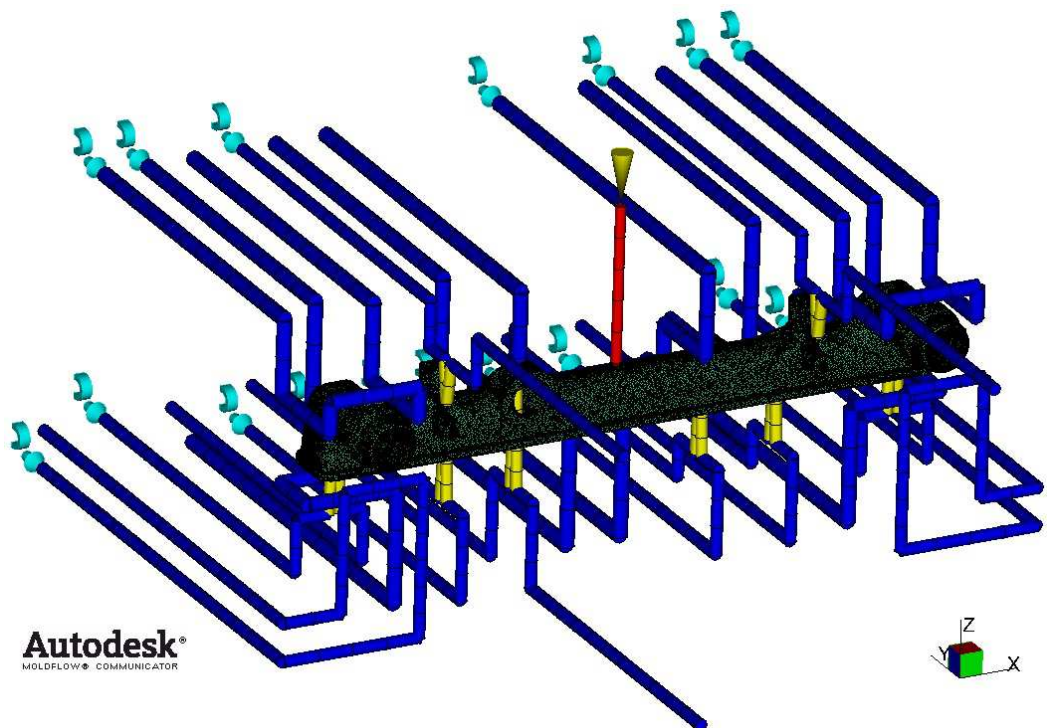
Kolíky ukotvené ve vyhazovací desce kotevní jsou zde proto, aby ochránily formu před mechanickým poškozením, např. zalomením vyhazovače. Tyto kolíky zaručí, že při zavření formy bude vyhazovací systém v základní poloze.

7.6 Temperace formy

Chladicím médiem v temperačním systému navržené vstřikovací formy je voda, zahřátá na teplotu 70°C a vháněná do temperačních okruhů (v Autodesk Moldflow jsou nadefinovány čtyři temperační okruhy, rozdělené podle průměru kanálů) pod různými tlaky (rozmezí 1.8 - 2.2 bar).



Obr. 53 Nastavené parametry pro okruh pravé strany o průměru kanálu 10 mm



Obr. 54 Temperační systém

Temperačním zařízením je tlakovodní temperovací přístroj do 90°C: 90XL od firmy REGLOPLAS. Charakteristika temperačního zařízení je následující:

Název:	90XL
Teplosměnné médium:	voda
Výstupní teplota:	max. 90°C
Topný výkon při 400V:	60 kW
Chladicí výkon:	160 kW
Výkon čerpadla:	240 l/min; 4,6 bar [13]

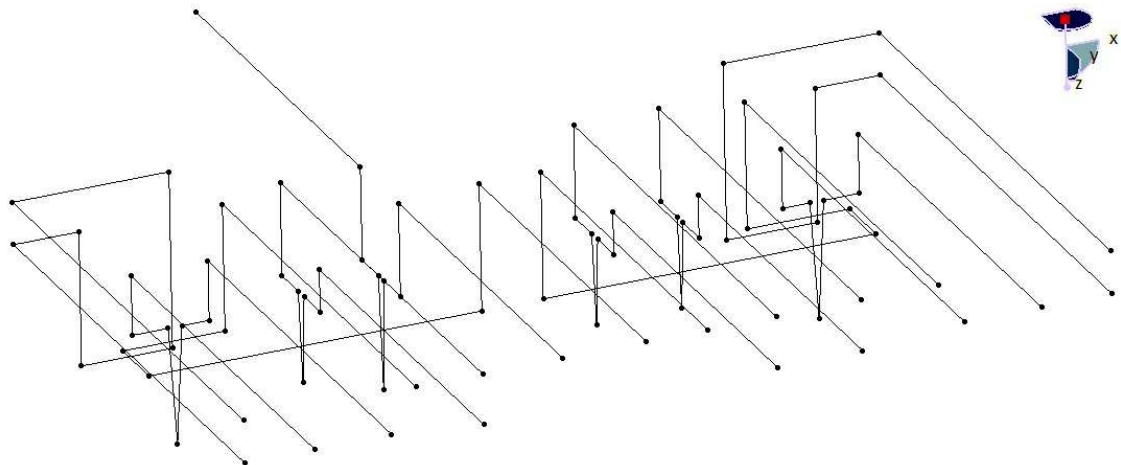


*Obr. 55 Temperační
přístroj [13]*

7.6.1 Temperační systém pohyblivé strany formy

Temperace pohyblivé strany vstřikovací formy je tvořena vrtanými kanály o průměru 10 mm a kanály s přepážkami o průměru 8 mm.

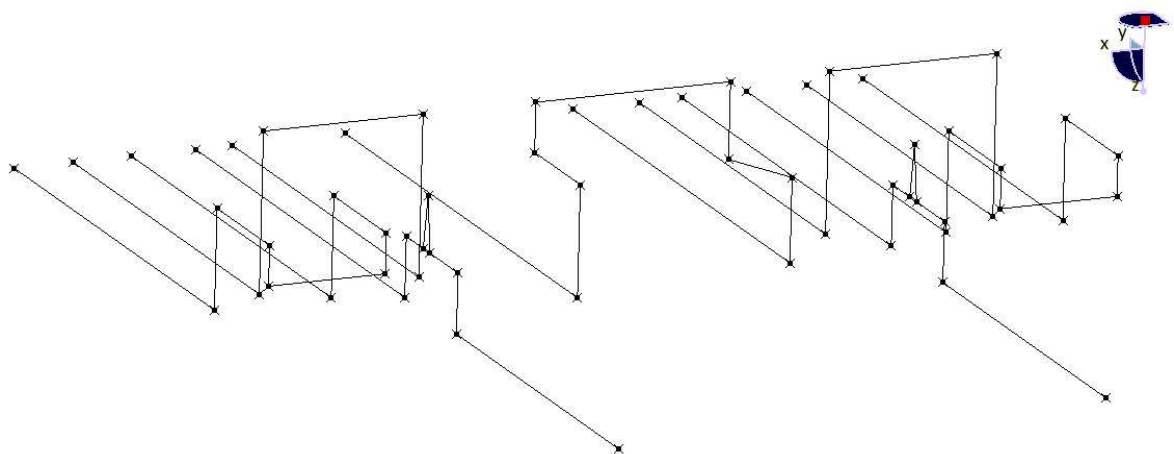
Pro umožnění temperace tvarové vložky zevnitř, bylo použito přepážek (baffle), tyto přepážky mají průměr 8 mm a různou délku.



Obr. 56 Trajektorie temperačního systému pohyblivé strany formy

7.6.2 Temperační systém pevné strany formy

Na pravé straně formy jsou použity vrtané kanály o průměru 8 mm a 10 mm s proudící vodou, společně se dvěma přepážkami průměru 8 mm.



Obr. 57 Trajektorie temperačního systému pevné strany formy

7.7 Odvzdušnění dutin formy

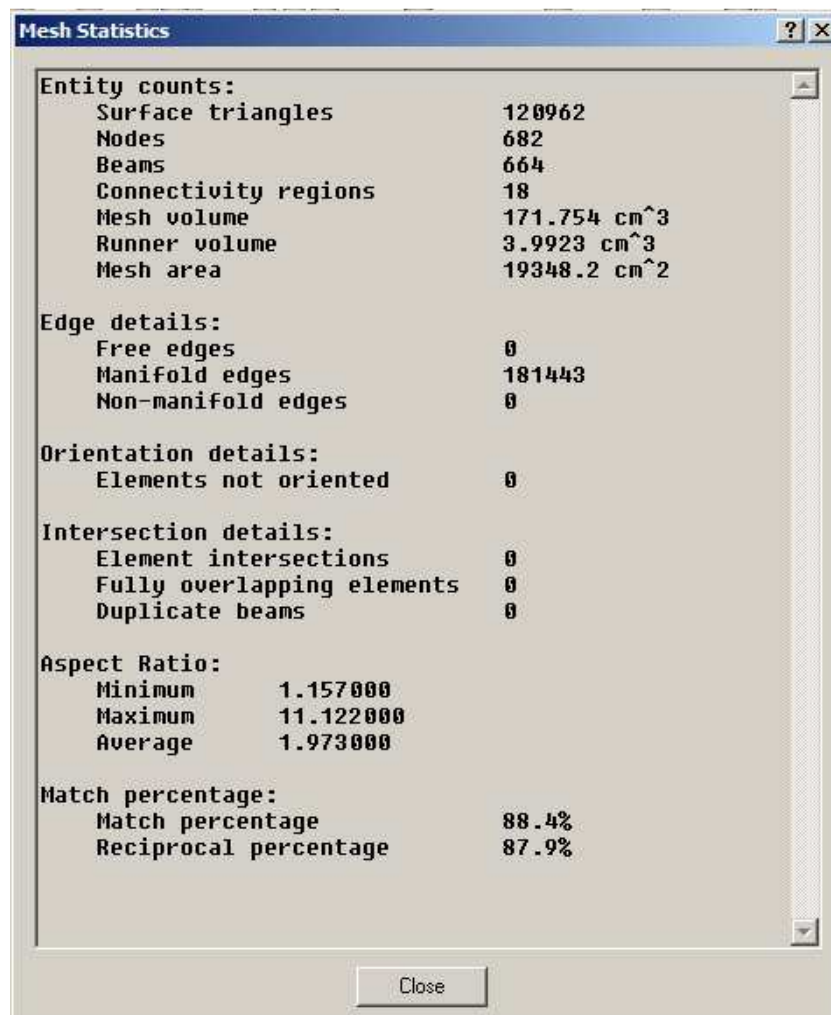
Stlačováním v dutině formy se uzavřený vzduch změnou svého objemu zahřívá a ohrožuje tak kvalitu výstřiku (degradace materiálu). To může vést ke vzniku Dieselova efektu (spálená místa na výrobku). K odvzdušnění dutin formy dochází dělicí rovinou, vůlí mezi vyhazovači, vůlí v uložení posuvových kostek a jader. Musí se brát proto zřetel na mazání těchto částí. Při zjištění nedostatečného odvzdušnění či vzniku vad na výrobku se na formě v náležitých místech vytvoří odvzdušňovací kanály.

8 CAE ANALÝZA V PROGRAMU AUTODESK MOLDFLOW

V programu Autodesk Moldflow byla z navržených parametrů a trajektorií spočítána analýza toku taveniny dutinou formy.

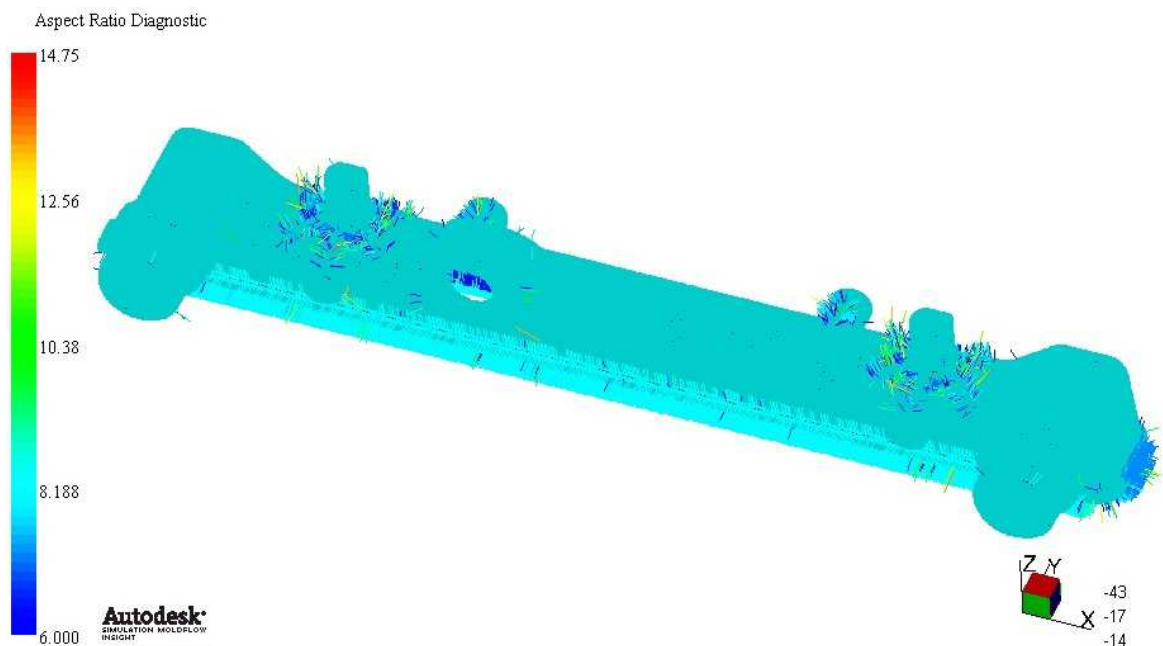
8.1 Vytvoření sítě (Generate mesh)

Po naimportování *.stl souboru do programu byla vygenerována síť s velikostí elementu 2 mm. Tato síť však zkreslovala tvar, jelikož deformovala mřížku. Velikost elementu tedy byla změněna na 1,5 mm s tím, že se dle potřeby použije příkaz REMESH na přesíťování. Po vygenerování sítě s velikostí elementů 1,5 mm byla vypsána statistika sítě (Mesh statistics). Na obr. 58 je vidět, že Aspect Ratio bylo 11,12 – splňuje zadané kritérium Aspect Ratio max. 15. Match percentage je 88.4 % (Aspect Ratio i Match percentage bude popsáno níže).



Obr. 58 Mesh statistics po úpravě sítě

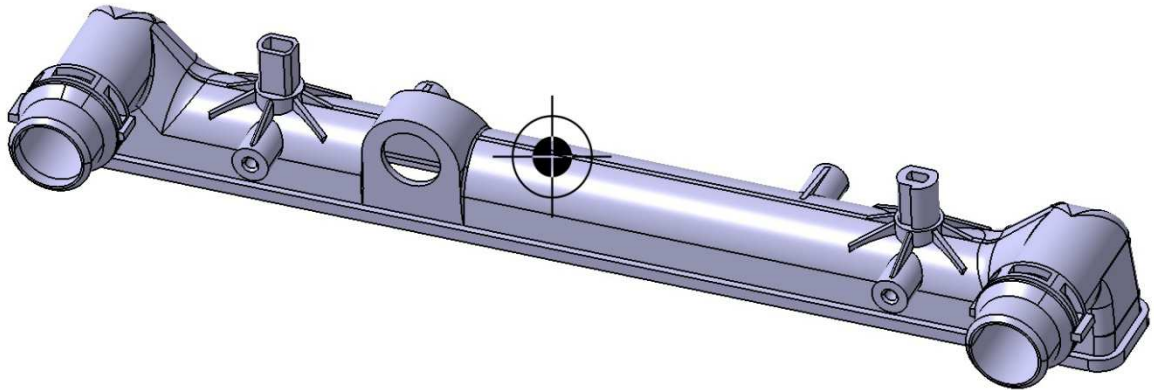
Příkaz Mesh statistics je dobrý ke zjištění kvality sítě. Kvalita sítě ovlivňuje výsledky analýzy. Proto se na modelu nesmí objevit volné hrany - free edges, dále nepropojené hrany - non-manifold edges, neorientované elementy - not oriented elements, elementy, které by se protínaly - element intersections, elementy které by se překrývaly - fully overlapping elements. Hodnota Match percentage by neměla být nižší než 90 % pro dosažení kvalitních výsledků. U jednoduchých výrobků může být i o něco málo nižší - na zadaném výrobku je tato hodnota 88,4%. Ukazatel hodnoty Aspect Ratio maximální a minimální by měl být nejlépe pod hodnotou 6, ovšem pro zadaný výrobek postačí 11. Aspect Ratio vyjadřuje poměr nejdelší strany trojúhelníka k výšce trojúhelníka na tuto kolmou stranu. Na obr. 59 je vidět jak se postupně Aspect Ratio snižuje s tím, jak se trojúhelníky upravují. Úprava trojúhelníků se provádí pomocí přemísťování, ubírání či přidávání nodů. Důležitým výsledkem těchto úprav jsou nuly na svých místech ve statistice sítě a nízké Aspect Ratio.



Obr. 59 Oprava sítě a zobrazené "jehličky"

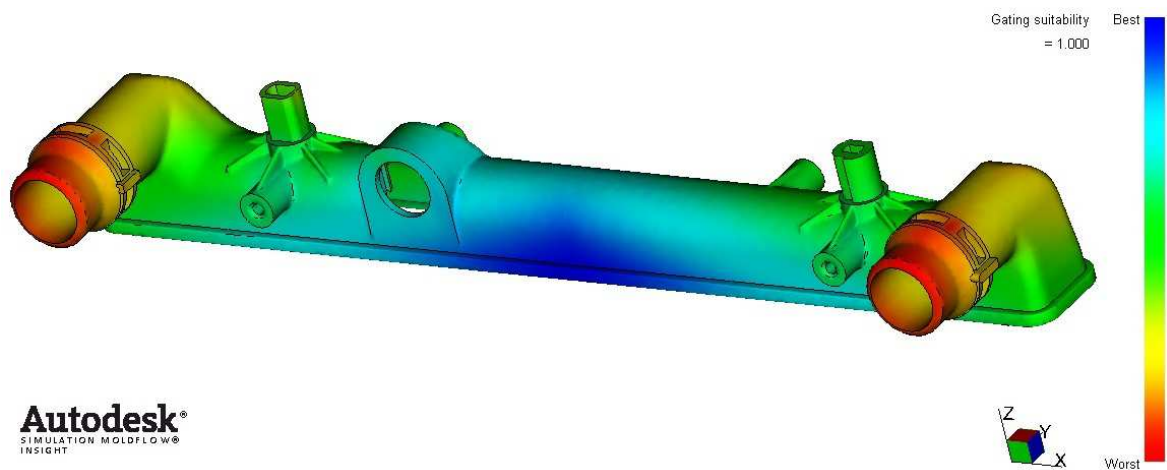
8.2 Umístění vtokového ústí

Umístění vtokového ústí bylo zvoleno s ohledem na použitý vtokový systém. Dále také tak, aby tavenina zatekla po celém objemu dutiny v co nejkratším čase a co nejlépe. Předpokládané místo vtoku je vidět na obr. 60.



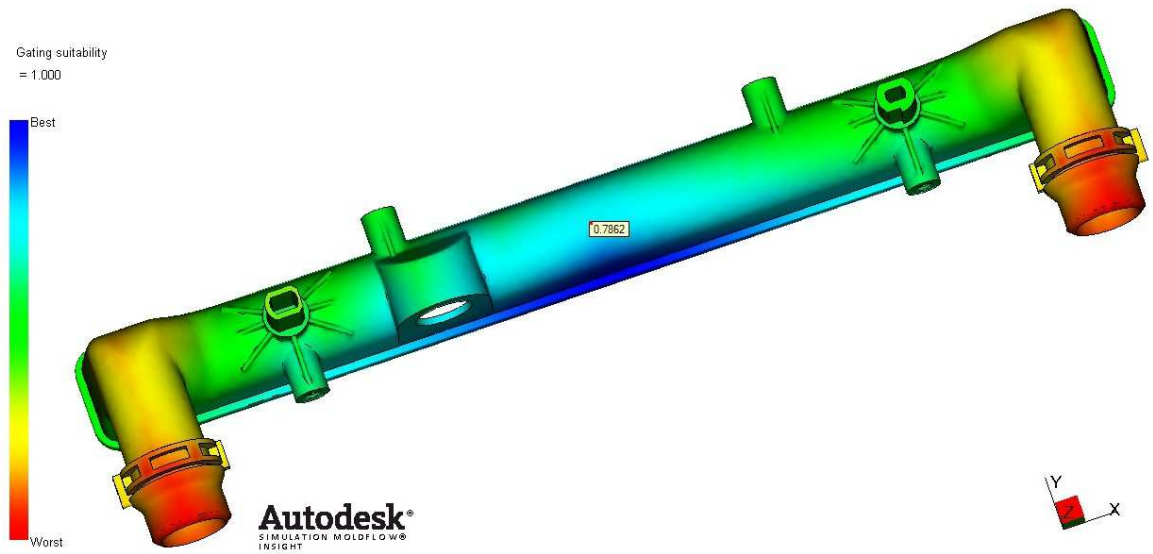
Obr. 60 Předpokládané umístění vtokového ústí

V programu Autodesk Moldflow byla spuštěna analýza umístění vtokového ústí (Gate Location). Tato analýza vyhodnotí pomocí matematických výpočtů nejvhodnější místo pro umístění vtoku a zbarví ho modře. Toto místo má hodnotu 1,0.



Obr. 61 Analýza umístění vtokového ústí

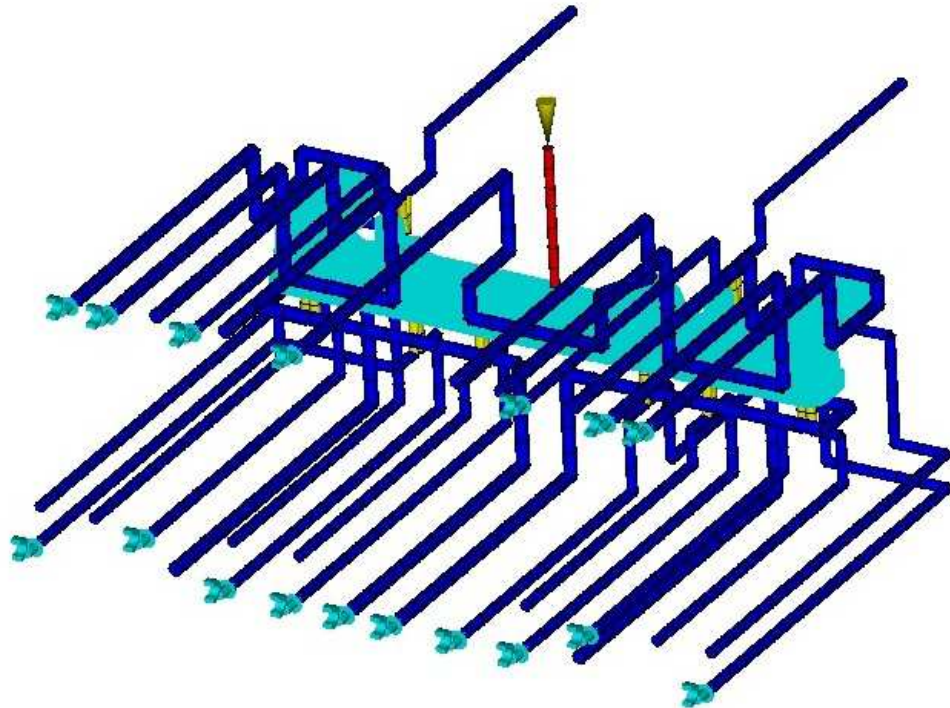
Hodnota vhodnosti umístění vtokového ústí do vybraného místa na výrobku je 0,786. Umístění vtoku tedy na 78,6% vyhovuje.



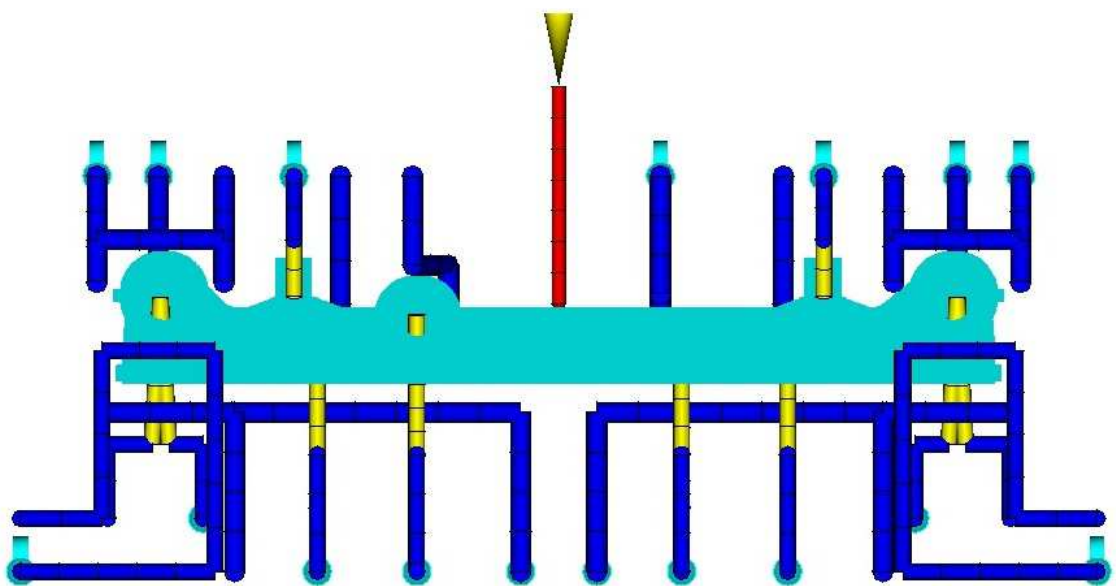
Obr. 62 Hodnota vhodnosti umístění vtokového ústí

8.3 Temperační systém

Rychlost chlazení výrobku je limitujícím prvkem celého vstřikovacího procesu. Kvalita provedení temperace ovlivňuje rychlost vstřikování a kvalitu výstřiku. Příliš prudké ochlazení může vést ke vzniku vnitřních pnutí a k deformaci výstřiku. Snahou výroby však je co nejkratší vstřikovací cyklus, a tím vyšší produkce.

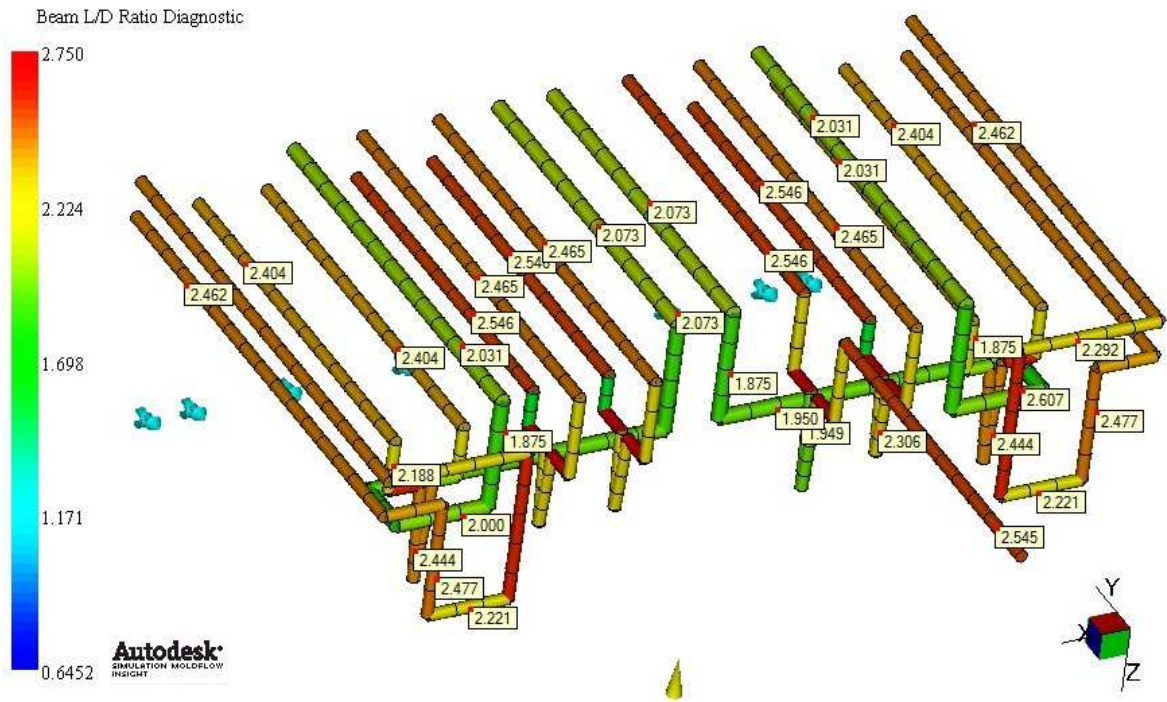


Obr. 63 Pohled na celý temperační systém v programu Autodesk Moldflow



Obr. 64 Pohled na temperační systém

Po nadefinování parametrů jednotlivých kanálů bylo upraveno Beam L/D Ratio Diagnostic. Doporučený poměr L/D je 2,5.



Obr. 65 Beam L/D Ratio Diagnostic temperačních kanálů pohyblivé strany formy



Obr. 66 Beam L/D Ratio Diagnostic temperačních kanálů pevné strany formy

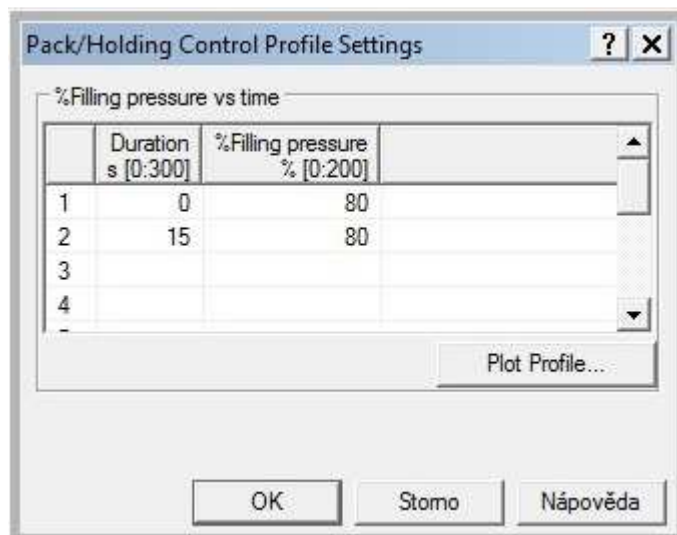
8.4 Procesní podmínky

V tab. 10 jsou vidět nastavené procesní podmínky v programu Autodesk Moldflow. Tyto podmínky byly zvoleny pro daný materiál a dále upravovány dle výsledků analýz, které byly spuštěny s různými parametry. Změny parametrů se týkaly především doby plnění, dotlaku, teploty taveniny a teploty taveniny.

Tab. 10 Procesní podmínky v Autodesk Moldflow

PROCESNÍ PODMÍNKY AUTODESK MOLDFLOW	
Teplota povrchu formy	95 °C
Teplota taveniny	280 °C
Čas otevření formy	7
Vstřík + Dotlak + Chlazení	AUTOMATIC
Čas vstřikování	3,3

Nastavení doby vstřikování na 3,3 sekundy, dotlaku na 15 sekund a jeho velikosti 80%, bylo zvoleno pro dané teploty formy, taveniny a temperačního média.



Obr. 67 Nastavení dotlaku v Autodesk Moldflow

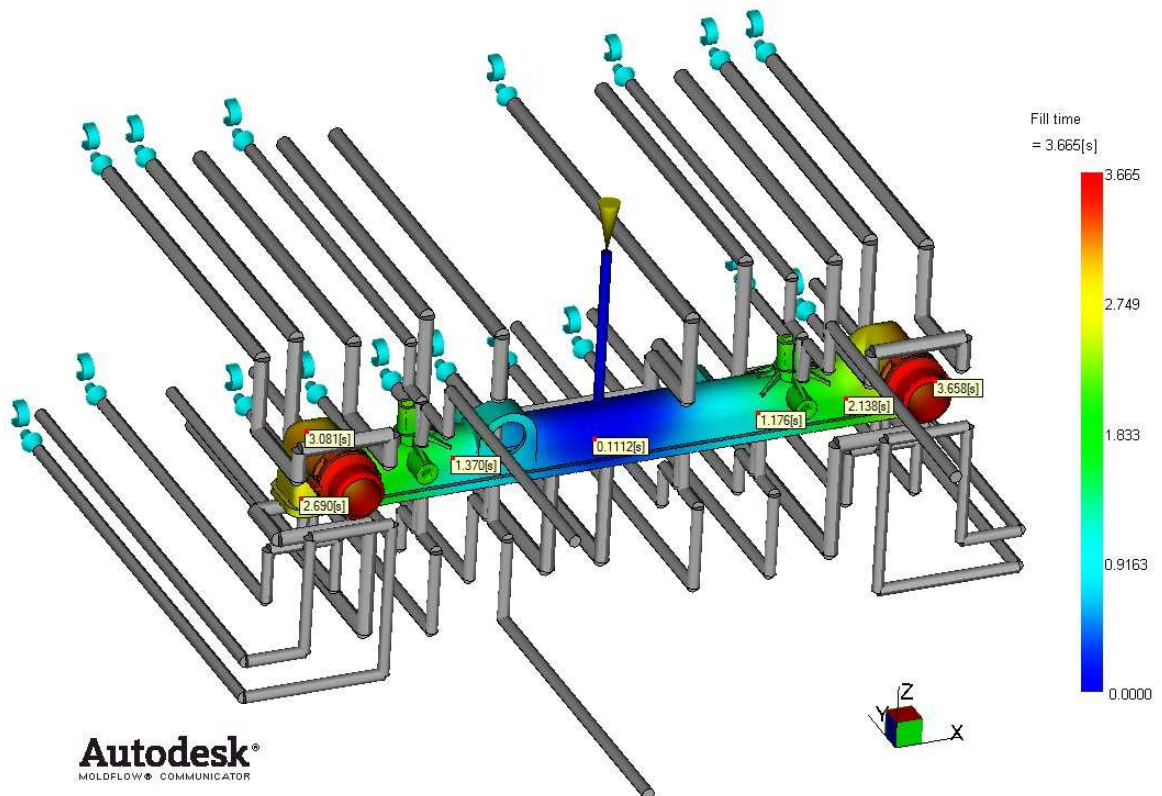
9 VÝSLEDKY ANALÝZ

V programu Autodesk Moldflow byla dle zadaných parametrů spočítána analýza toku taveniny dutinami formy.

9.1 Plnění a dotlak

9.1.1 Čas plnění (Fill time)

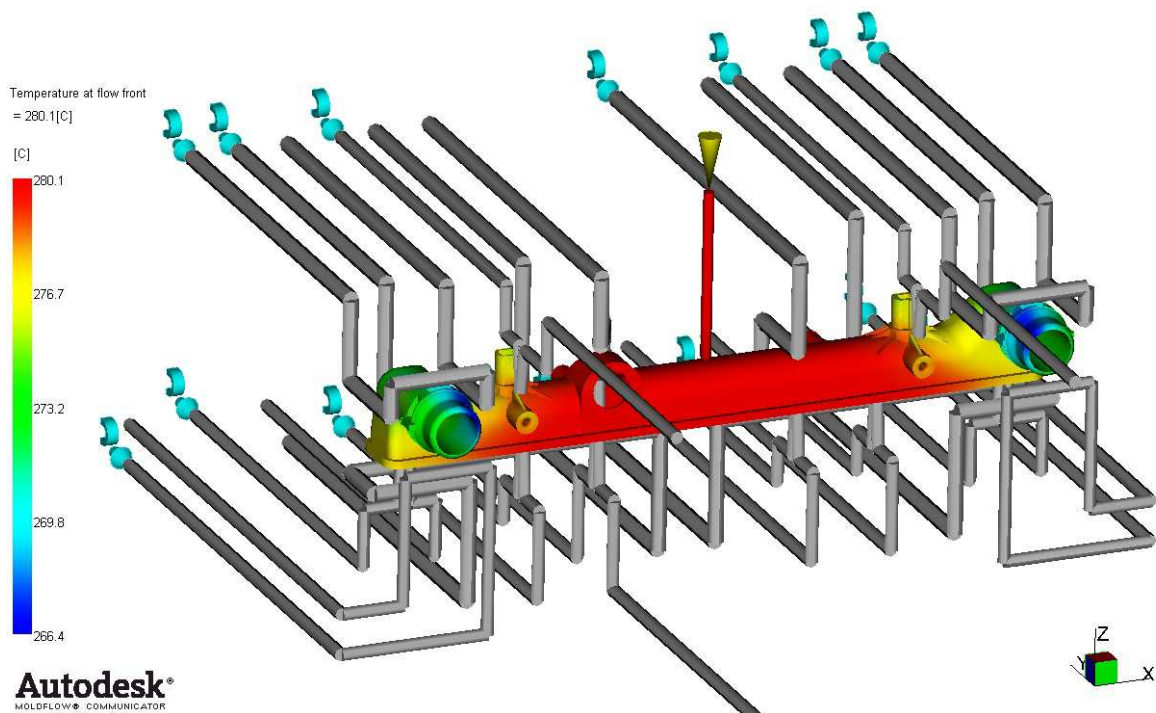
Díky analýze Fill time (čas plnění) se zobrazí, za jakou dobu se zcela zaplní dutina formy. V případě vícenásobných forem se musí sledovat, zda dochází k rovnoměrnému zaplnění všech dutin formy. V navrženém případě dochází k rovnoměrnému plnění dutiny formy. Celkový čas zaplnění je 3,6 sekundy.



Obr. 68 Čas plnění

9.1.2 Teplota na čele taveniny (Temperature at flow front)

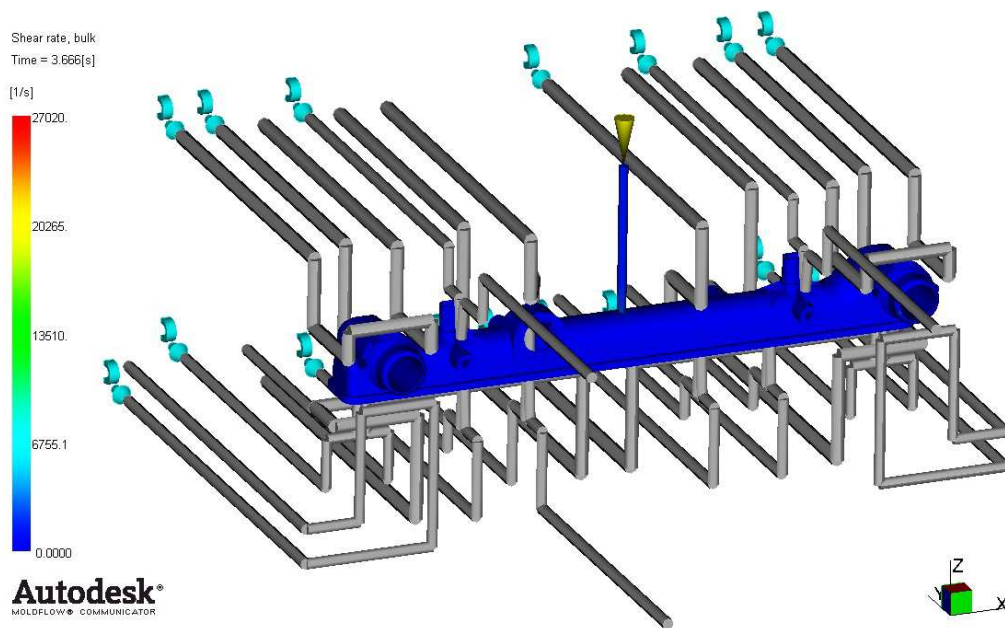
Tato analýza zobrazuje teplotu na čele taveniny v průběhu vstřikování. Pokud by došlo k velkému zvýšení teploty taveniny, mohlo by dojít k degradaci polymeru a znehodnocení výrobku. Degradovaný polymer na povrchu výrobku zanechá černé spálené skvrny. Příliš studené čelo taveniny je též nežádoucí a vede ke vzniku tzv. studených spojů. Studené spoje vznikají, pokud se dvě studená čela setkají a zásadně ovlivňují mechanické vlastnosti výrobku. V tomto případě se teplota čela taveniny pohybuje v rozmezí teplot cca 266,4 °C - 280,1 °C.



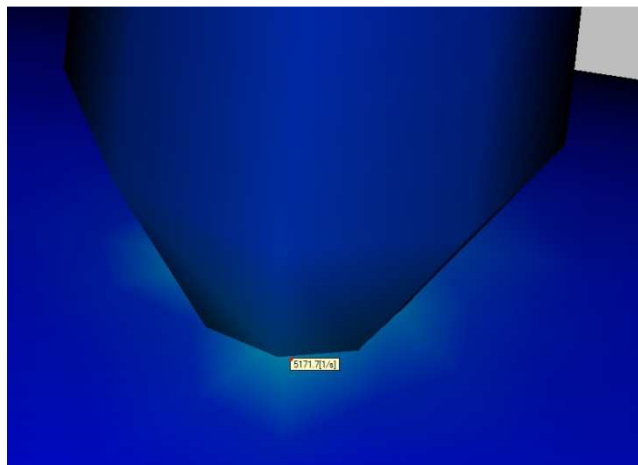
Obr. 69 Teplota na čele taveniny

9.1.3 Smykové napětí v celém objemu (Shear stress, bulk)

Výsledek smykového napětí ukazuje, zda nedojde k překročení maximální hodnoty v celém objemu výrobku. Maximální dovolená hodnota smykového napětí je v materiálovém listu použitého polymeru (v tomto případě je to hodnota 60 000 1/s). Při překročení této hodnoty by mohlo dojít k degradaci materiálu (potrhnají se makromolekulární řetězce). Obr. 70 ukazuje, že k překročení maximální hodnoty nedojde. Nejvyšší hodnota smykového napětí se pohybuje kolem 5200 1/s a je u vtokového ústí.



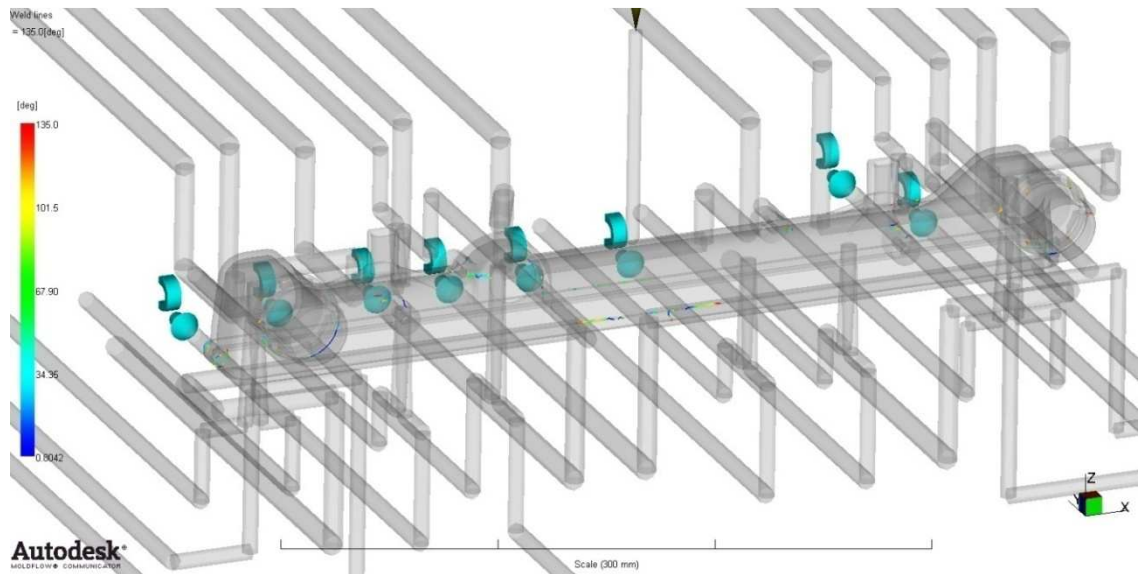
Obr. 70 Smykové napětí



Obr. 71 Detail smykového napětí ve vtokovém ústí

9.1.4 Studené spoje (Weld lines)

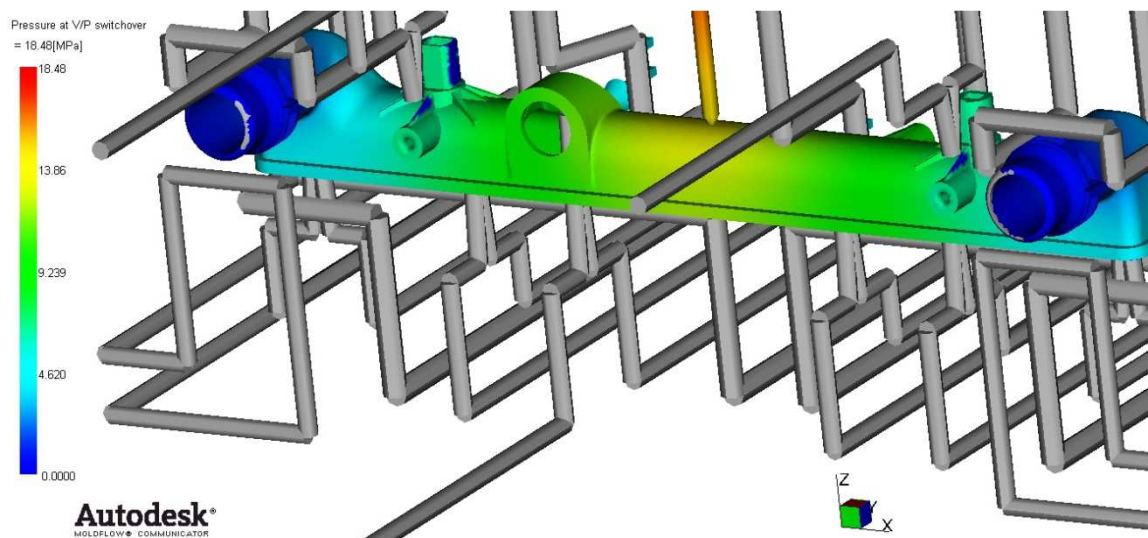
Studené spoje jsou místa, kde se stékají chladnoucí čela tavenin. Když se tyto chladnější čela setkají, nemají už potřebnou teplotu, aby se makromolekulární řetězce kvalitně propojily. Studené spoje zhoršují vzhledové i mechanické vlastnosti výrobku. Příčinou vzniku studených spojů je několik, například nízká teplota materiálu, nízká teplota vstřikovací formy nebo příliš dlouhá doba toku taveniny. Studené spoje lze eliminovat jiným umístěním vtoku taveniny do výrobku.



Obr. 72 Studené spoje

9.1.5 Tlak při přepnutí na dotlak (Pressure at V/P switchover)

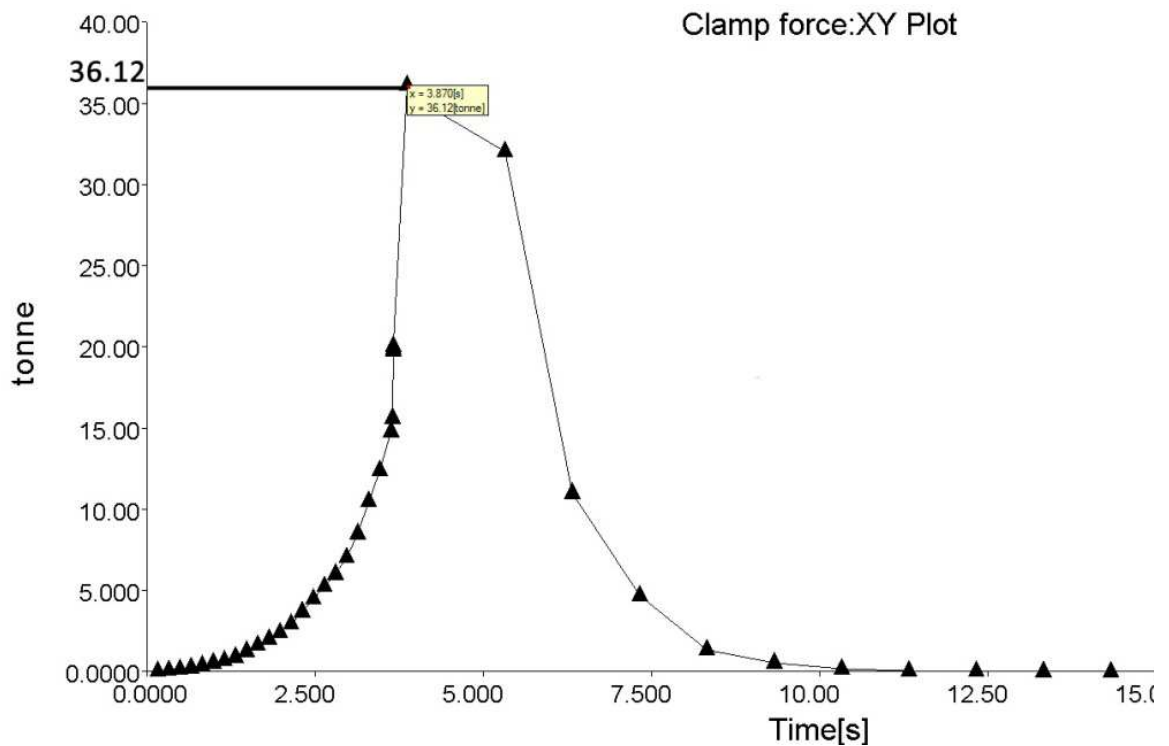
Ukazuje hodnotu tlaku, při které dojde k přepnutí na dotlak (tzv. bod přepnutí). Na dotlak se přepne automaticky po zaplnění zadaného množství dutiny formy (cca 98% zaplnění). Zobrazená hodnota přepnutí na dotlak je rovna 18,48 MPa.



Obr. 73 Tlak při přepnutí na dotlak

9.1.6 Uzavírací síla (Clampforce, XY Plot)

Z tohoto grafu lze zjistit, jak velkou uzavírací sílu potřebuje vytvořit stroj, aby se forma neotevřela. Tento údaj je důležitý z hlediska volby vstřikovacího stroje. Vybraný vstřikovací stroj by měl mít alespoň o 20 % větší uzavírací sílu než je maximální síla odečtená z grafu. Toto opatření se dělá kvůli bezpečnosti. Potřebná uzavírací síla z Autodesk Moldflow je 36,12 tun (361,2 kN) + 7,2 tun (72 kN; 20 % bezpečnostní rezerva) = 43,34 tun (433 kN). Nedosahuje tedy maximální uzavírací síly vstřikovacího stroje, která činí 500 tun (5000 kN) a tím pádem vyhovuje.

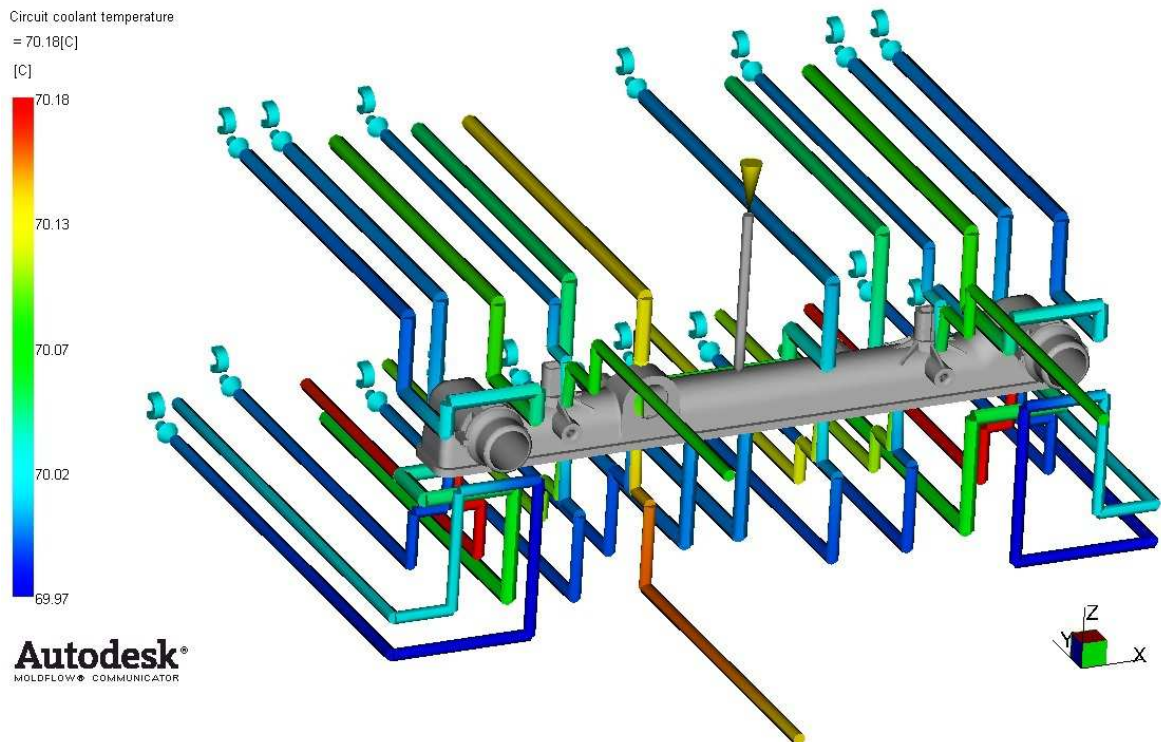


Obr. 74 Uzavírací síla

9.2 Výsledky analýz temperačních okruhů

9.2.1 Teplota média v temperačním obvodu (Circuit coolant temperature)

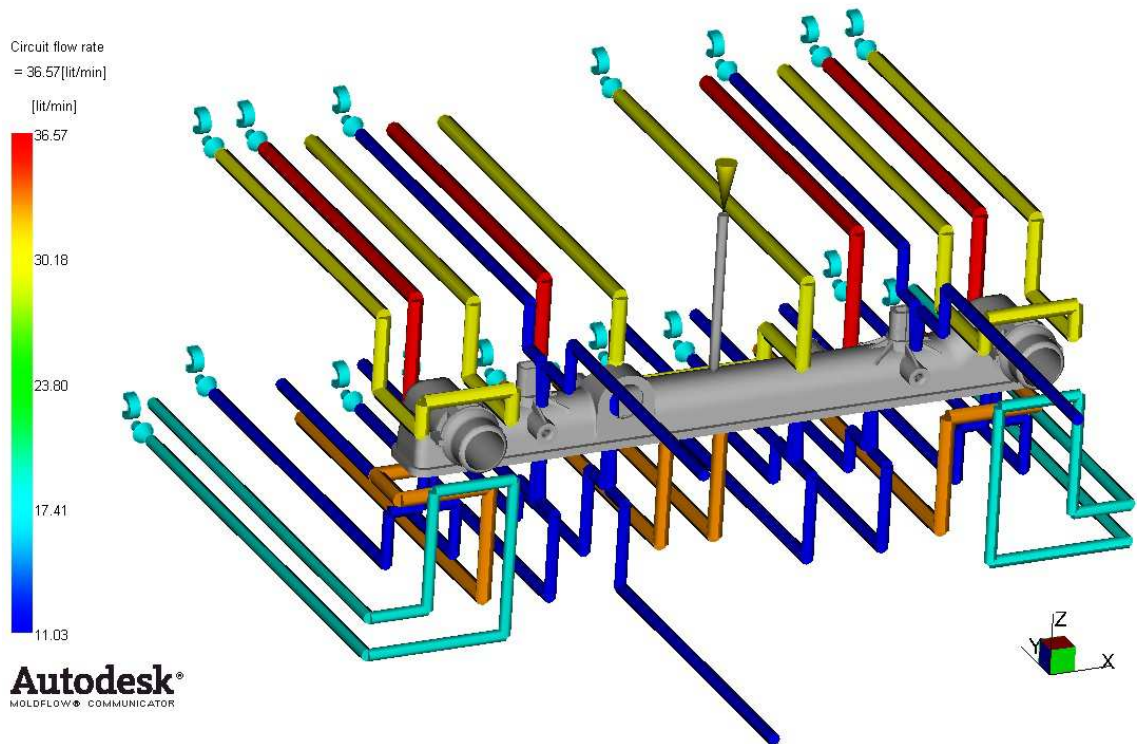
V navrženém temperačním okruhu byla použita jako temperační médium voda. U správně navrženého temperačního okruhu by rozdíl teplot na vstupu a výstupu neměl překročit 3 °C. Pokud je toto splněno, je zaručen rovnoměrný odvod tepla ze všech míst dutiny formy stejně. V tomto případě je rozdíl teplot na vstupu a výstupu jen 0,21 °C.



Obr. 75 Teplota média v temperačním okruhu

9.2.2 Objemový průtok (Circuit flow rate)

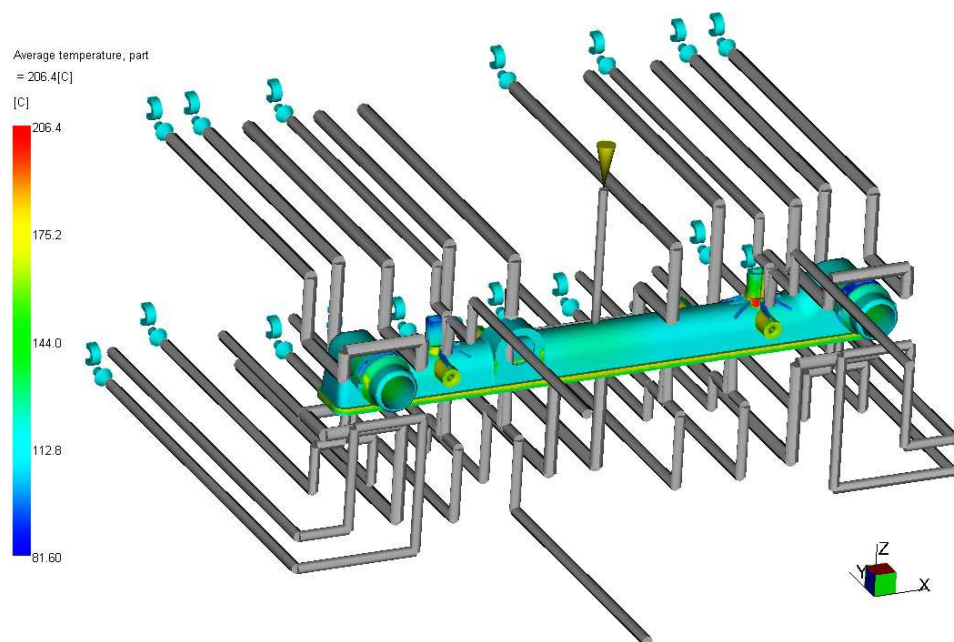
Hodnota objemového průtoku temperačního okruhu, vypočtená z hodnoty zadaného vstupního tlaku temperačního média při zadávání procesních podmínek. V navrženém případě je maximální objemový průtok 36,57 l/min. Dalším faktorem ovlivňujícím proudění temperačního média v temperačních okruzích je Reynoldsovo číslo, to je důležité z hlediska vytvoření tzv. turbulentního toku temperačního média nutného pro správný odvod tepla z dutiny formy. Turbulentní tok je zaručen, pokud Reynoldsovo číslo překročí hodnotu 10 000, což je v navrženém případě splněno (minimální Reynoldsovo číslo je 72 327). Proudění vyšlo turbulentní ve všech okruzích temperačního systému.



Obr. 76 Objemový průtok

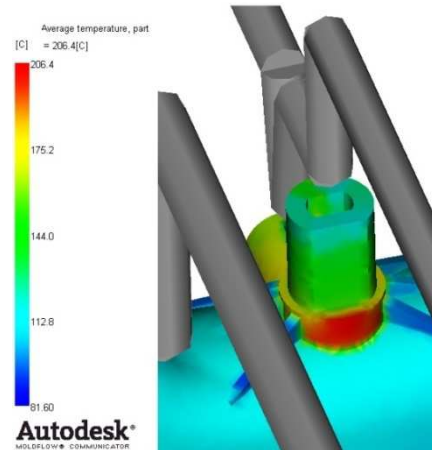
9.2.3 Průměrná teplota dílu (Average temperature, part)

Tyto výsledky analýzy ukazují, jaké je rozložení teploty v dílu během vstřikování. Díky tomu lze určit, kde se dutina formy chladí dobře a kde jsou místa, ve kterých by bylo potřeba chlazení zintenzivnit.



Obr. 77 Průměrná teplota dílu

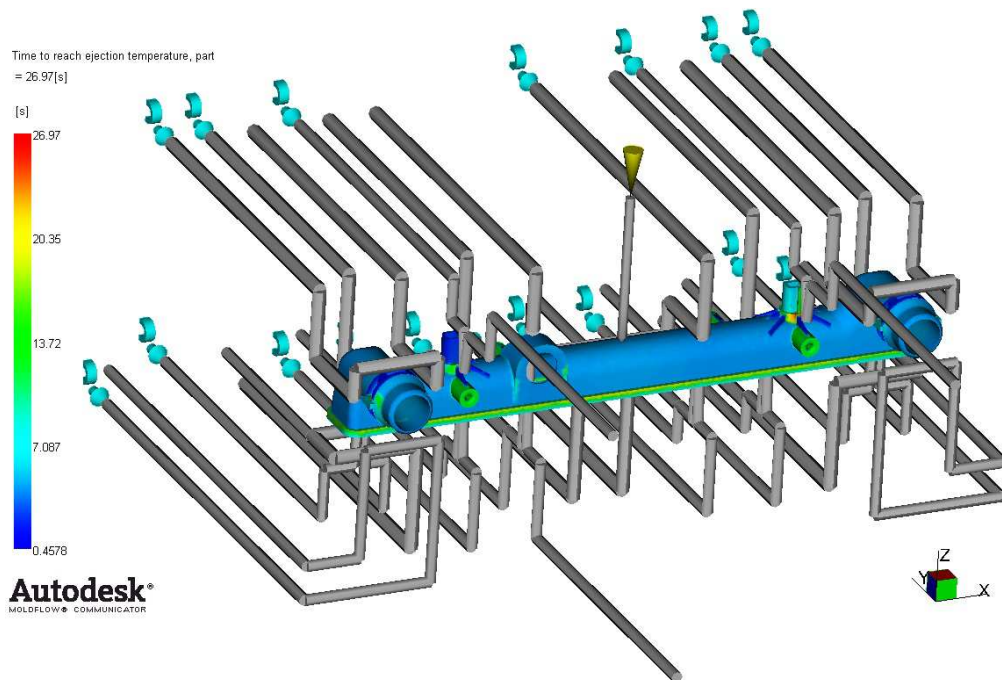
Nejpomaleji chlazeným místem na výrobku je dolní konec výstupu pro uchycení výrobku k rámu chladiče. Řešením by bylo vytvoření dalších chladicích kanálů, či úprava navržených.



Obr. 78 Detail nejpomaleji ochlazeného místa na výrobku

9.2.4 Čas potřebný na ochlazení dílu na vyhazovací teplotu (Time to reach ejection temperature, part)

Toto je velmi důležitá analýza, podle které lze zjistit, jak rychle se díl ochladí na teplotu, při které je možné vystříknutý výrobek vyhodit z formy. Především je to důležité v místech, kde jsou umístěny vyhazovače. Nejméně intenzivní chlazení je v místě dolního konce výstupu pro uchycení. Dosažení vyhazovací teploty je za 26,97 sekundy. Optimalizací teploty lze dosáhnout kratších časů k dosažení vyhazovací teploty (změnou průřezu kanálů, změnou geometrie).



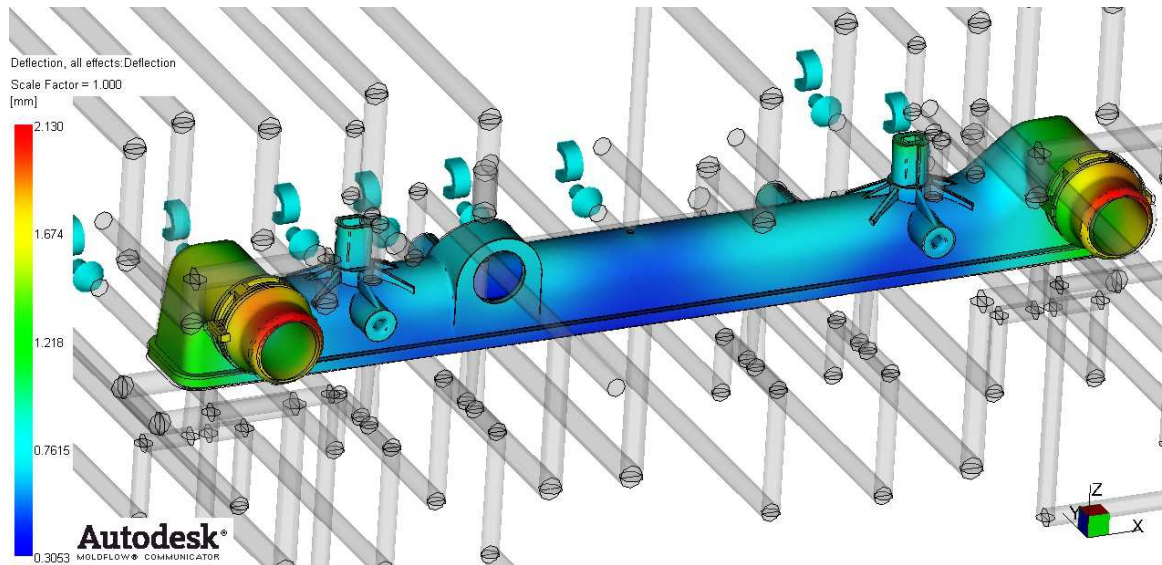
Obr. 79 Čas potřebný na ochlazení dílu na vyhazovací teplotu

9.3 Deformace

Deformace výrobku jsou důležité z pohledu funkčnosti výrobku, jeho vzhledu a životnosti.

9.3.1 Celková deformace (Deflection, all effects : Deflection)

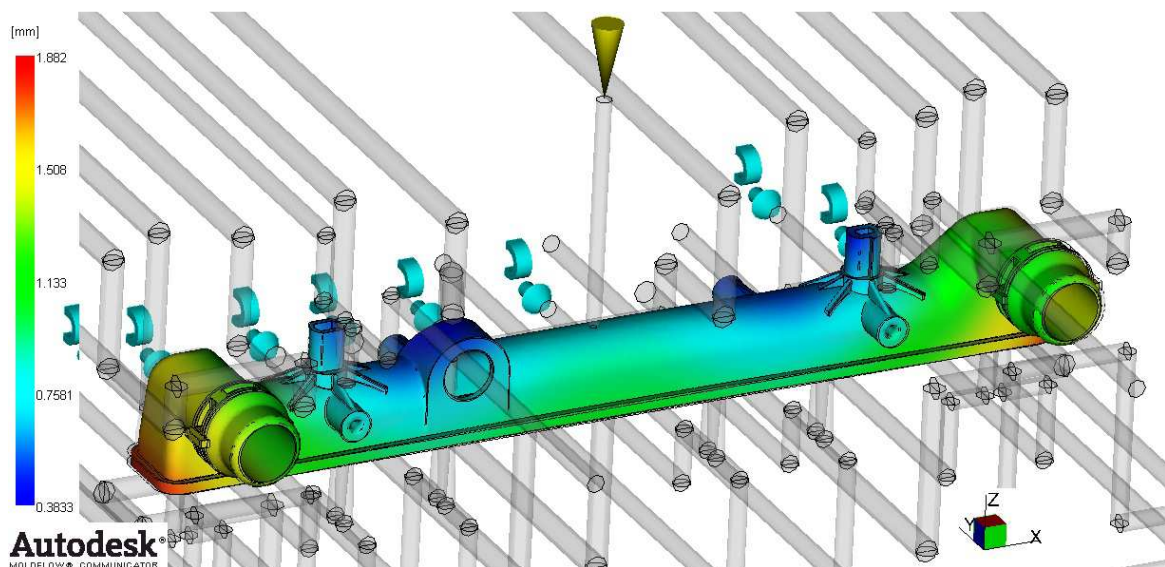
Tato analýza ukazuje celkové deformace od všech působících vlivů (největší vliv má smrštění). Zobrazená hodnota celkového smrštění je 2,130 mm, a to v místech označených červenou barvou. O přibližně tuto hodnotu byla zvětšena dutina formy, při jejíž konstrukci se počítalo se smrštěním zvoleného materiálu. Dalšího zlepšení by se dalo dosáhnout úpravami chlazení v této oblasti, nebo změnou nastavení dotlaku.



Obr. 80 Celkové deformace výrobku

9.3.2 Deformace vlivem smrštění (Deflection, differential shrinkage : Deflection)

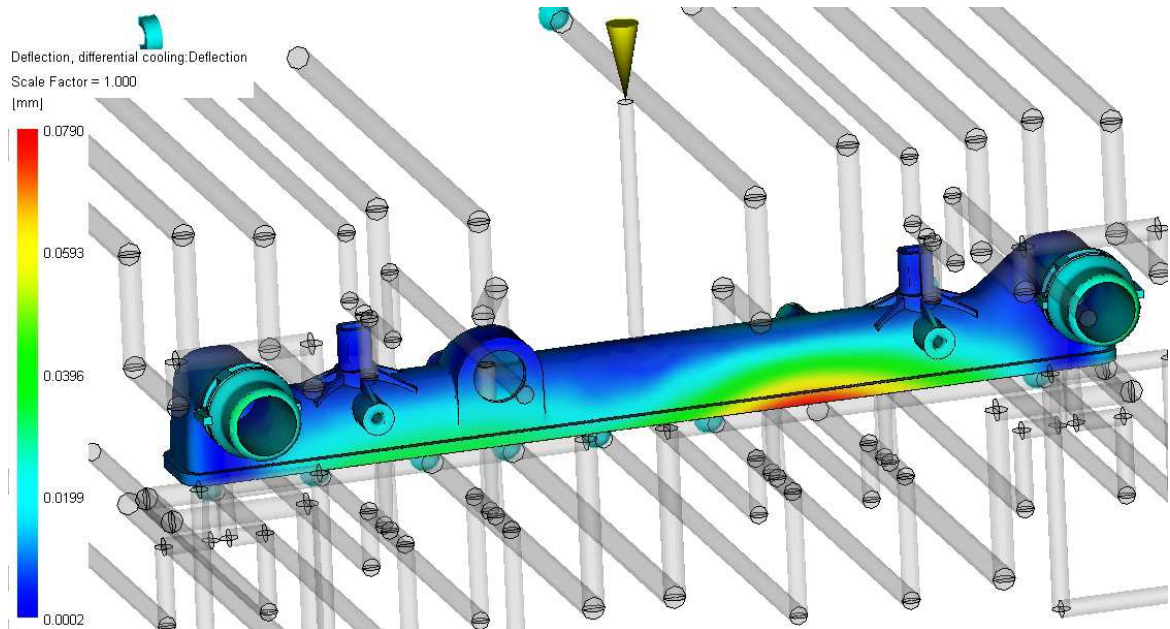
Velikost smrštění je daná druhem polymeru. U každého polymeru vlivem ochlazení dochází ke smrštění. U zadaného výrobku je celková deformace ovlivněna nejvíce smrštěním. Velikost smrštění lze ovlivnit velikostí dotlaku a změnou teploty, popřípadě použitím jiného polymeru.



Obr. 81 Smrštění

9.3.3 Deformace vlivem chlazení (Deflection, differential cooling: deflection)

Analýza zobrazuje deformace vlivem účinků teploty. Max. hodnota této deformace je 0,079 mm.



Obr. 82 Deformace vlivem chlazení

10 SHRNU TÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem práce bylo vytvoření konstrukčního návrhu vstřikovací formy pro zadaný výrobek a CAE analýza tohoto výrobku v programu Autodesk Moldflow.

Prvním krokem bylo vymodelování zadaného výrobku v programu Catia V5 R18. Zvolený materiál výrobku je PA 66 s 30% skelných vláken. Dle hodnoty smrštění tohoto materiálu byl zvětšen model výrobku, který byl použit pro vytvoření dutiny formy.

Pro konstrukci vstřikovací formy bylo použito normalizovaných dílů firmy HASCO. Tyto díly jsou vyráběny v přesných tolerancích a usnadňují výrobu formy, zvyšují její přesnost a snižují cenu.

Forma je koncipována jako jednonásobná s horkým vtokovým systémem. Vyhřívaná tryska firmy HASCO vede polymerní taveninu až do dutiny formy. Takto zvolený vtokový systém nezanechává vtokový zbytek.

Tvarové části formy, vložky pevné a pohyblivé strany, mají negativní tvar obrobku zvětšený o hodnotu smrštění materiálu. Tento tvar doplňují posuvné tvarové kostky a jádra, která jsou uchycena na pohyblivé straně formy a jsou odformována při jejím otevření. K odformování bylo použito šesti hydraulických válců, které umožňují časový posun mezi vysunutím jednotlivých tvarových kostek pomocí hydraulického ovládání.

Obě strany formy jsou opatřeny izolačními deskami, jenž zabraňují přenosu tepla na rám vstřikovacího stroje a umožňují udržení stabilního teplotního pole formy. Jelikož použitý materiál je termoplast, nebylo zapotřebí používat více izolačních desek po celém rámu formy.

Odformování výrobku z dutiny formy je realizováno dvanácti válcovými vyhazovači s čelem upraveným tak, aby svým tvarem doplňovalo tvarovou vložku pohyblivé strany formy. Každý vyhazovač je opatřen aretační plochou pro zajištění proti pootočení. Vyhazovače jsou ukotveny v kotevní vyhazovací desce, která je vedena pomocí čtyř vodičích kolíků. Vyhazovací desky jsou spojeny s vyhazovací tyčí.

Temparační kanály jsou vytvořeny vrtanými otvory na obou stranách formy. Aby bylo temperační médium vedeno správnou cestou, jsou kanály opatřeny ucpávkami. Temperačním médiem je voda zahřátá na teplotu 70°C.

Odvzdušnění formy je provedeno přes vůli vodičích prvků, vyhazovačů, tvarových kostek. Velké množství vzduchu je odvedeno dělicí rovinou. V případě, kdy při vzorkování

dojde k poškození výstřiku vlivem špatného odvodu vzduchu, je nutné v daných místech vytvořit odvodušňovací kanály.

Rám formy má velikost 580 mm X 700 mm a mezi vodící sloupky vstřikovacího stroje se vejde i s připevněnými hydraulickými válci. Pohyblivá strana formy je vůči pevné straně formy vystředěna pomocí čtyř středících zámků HASCO. Vedení pohyblivé strany formy probíhá pomocí středících čepů ve středících pouzdech. Jednotlivé strany formy jsou sešroubovány pomocí šroubů.

Forma je pro manipulaci vybavena dvěma transportními můstky. Pro spojení formy během manipulace je doplněna o zámkové prvky, které jí drží pohromadě. Pro zamezení pohybu vyhadzovacího systému během manipulace s formou je k vyhadzovacím deskám přišroubován distanční element, který drží vyhadzovací systém v základní poloze.

Při dokončení základního konceptu vstřikovací formy v programu Catia V5 R18 byla pro navržený temperační a vtokový systém vytvořena analýza toku v programu Autodesk Moldflow.

Po naimportování modelu zjednodušeného pro zrychlení výpočtu (odstraněny menší rádiusy a tvary) byla vytvořena 2D síť se zvolenou velikostí elementu. Tuto síť bylo nutné opravit tak, aby svou kvalitou vyhovovala všem parametrům dle statistiky sítě (žádné otevřené elementy, žádné překřížené elementy, aj.). Následovalo nadefinování vtokového a temperačního systému, volba typu analýzy, materiálu, vstřikovacího stroje, procesních parametrů a vytvoření rámu formy.

Z výsledků tokové analýzy je vidět, že úpravou některých parametrů by bylo možné docílit jiných výsledků - například změnou doby dotlaku, změnou velikosti dotlaku atd. Avšak parametry je možné upravovat při samotném vzorkování, podle vzhledu a chování výsledného výstřiku.

Výsledky jednotlivých typů analýz jsou popsány v kapitolách věnujících se této problematice.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vytvoření konstrukčního návrhu vstříkovací formy pro zadaný výrobek, kterým je součást chladicí soustavy automobilu.

Teoretická část diplomové práce obsahuje popis základního rozdělení polymerních materiálů, teorii vstříkování, základy konstrukce výstřiku a konstrukce forem pro vstříkování polymerních materiálů.

V praktické části byl vymodelován 3D model zadaného výrobku, 3D sestava vstříkovací formy, výkres sestavy doplněný o kusovník. Dále zde byla zhotovena analýza toku polymerní taveniny dutinou formy v programu Autodesk Moldflow.

Při konstrukčním návrhu formy bylo největším problémem zvolení a návrh postupu odformování výrobku z dutiny formy. Tento postup byl vyřešen použitím hydraulických válců, u kterých lze snadno nastavit velikost zdvihu, zpoždění a rychlost. Pro pohyb jednodušších tvarových kostek s jádry bylo použito posuvných kostek pohybujících se po šikmých čepech upnutých v pevné straně formy. Temperace byla zhotovena na obou stranách formy pomocí vrtaných kanálů. Pro temperování tvárníku bylo použito obtokových můstků, které dovedou temperační médium blíže okraji.

Následujícím krokem bylo zhotovení analýzy toku pro navržený temperační a vtokový systém v programu Autodesk Moldflow. Výsledky analýzy byly posléze popsány v diplomové práci.

K návrhu vstříkovací formy byl v programu Catia V5 R18 vytvořen 2D řez sestavou formy s pozicemi jednotlivých dílů, k němuž je zpracován kusovník. Tímto bylo splněno zadání diplomové práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů : vstřikování termoplastů*. Díl 1. 2. upr. vyd. Brno : Uniplast, 1999. 133s.
- [2] Dostupné online z www : [www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm]
- [3] Dostupné online z www : [www.kubousek.cz/cz/page/vstrikovaci-lisy/rada-cx-350-6500-kn-]
- [4] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů : vstřikování termoplastů*. Díl 2. 1. vyd. Brno : Uniplast, 1999. 214 s.
- [5] KULHÁNEK, Jan. *Formy pro tváření plastických hmot*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 220 s.
- [6] Dostupné online z www: [ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf]
- [7] Dostupné online z www :[www.spra.org.uk/news/201103/3d-forming-process-plastics-injection-moulding]
- [8] Dostupné online z www : [www.fortell.cz/editor/filestore/Image/vstrikovani_plastu/plastove_dily08.jpg]
- [9] Dostupné online z www : [www.plastics-molding.com/Silver_Streaks.htm]
- [10] Dostupné online z www: [www.jansvoboda.cz/nove-samostatne-trysky-s-jednoduchym-topenim]
- [11] Dostupné online z www :[www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c9/vtokova%20soustava.pdf]
- [12] Dostupné online z www: [www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady.html]
- [13] Dostupné online z www: [www.kubousek.cz/images/image/Regloplas/300L.jpg]
- [14] Katalog HASCO
- [15] CATIA FORUM. Dostupné online z www: [www.catia-forum.cz]
- [16] MENGES, Georg. *How to make injection molds*. 3rd ed. Munich: Hanser Publishers, 2001, ISBN 34-462-1256-6, 612 s.
- [17] REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, 2002, ISBN 34-462-1659-6. 688 s.

- [18] BEAUMONT, J. P., NAGEL, R. L., SHERMAN, R. *Successful injection molding: process, design, and simulation*. Munich: Hanser Publishers, 2002, ISBN 1-56990-291-7. 362 s.
- [19] BRUMMEL, Michal. *Rozměrově přesné výrobky z plastů*. 1. vyd. Praha: VÚNM, 1977. 278 s.
- [20] TOMIS, František, HELŠTÝN, Josef, KAŇOVSKÝ, Jiří. *Formy a přípravky*. Brno : VUT, 1979. 278 s.
- [21] DYM, Joseph B. . *Injection molds and molding : A practical Manual* . New York : Van Nostrand Reinhold, 1979, ISBN 0-442-22223-8, 400 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

T_g	Teplota skelného přechodu.
%	Procento.
mm	Milimetr.
ABS	Akrylonitril-butadien-styren.
SAN	Styren-akrylonitril.
PC	Polykarbonát.
PMMA	Polymethylmetakrylát.
PS	Polystyren.
PVC	Polyvinylchlorid.
PA	Polyamid.
PE	Polyethylen.
PP	Polypropylen.
ČSN	Česká technická norma.
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci.
T_{tav}	Teplota taveniny.
t_{s1}	Strojní čas 1.
t_{s2}	Strojní čas 2.
t_{s3}	Strojní čas 3.
F_p	Síla přisouvací.
F_u	Síla uzavírací.
MPa	Megapascal.
°C	Stupeň Celsiův.
kN	Kilo Newton.
1/s	Reciproká sekunda.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Průběh vstřikovacího cyklu</i>	16
<i>Obr. 2 Fontánový tok [7]</i>	18
<i>Obr. 3 Vstřikovací stroj Krauss Maffei řady CX [3]</i>	19
<i>Obr. 4 Šneková vstřikovací jednotka [2]</i>	20
<i>Obr. 5 Schéma hydraulické uzavírací jednotky [2]</i>	21
<i>Obr. 6 Příklad výrobku z polymeru - součást chladiče motoru automobilu [8]</i>	22
<i>Obr. 7 Konstrukce výstřiku - a) špatné, b) správné [1]</i>	23
<i>Obr. 8 Různá uspořádání žeber [1]</i>	25
<i>Obr. 9 Způsoby korekce propadlin u žeber na výstřiku [1]</i>	25
<i>Obr. 10 Zakótované rozměry k tab. 3 [1]</i>	25
<i>Obr. 11 Rozměry k tab. 5 [1]</i>	27
<i>Obr. 12 Rýhování - a) nevhodné, ostatní vhodné [1]</i>	27
<i>Obr. 13 Příklad vyztužení okrajů [1]</i>	28
<i>Obr. 14 Příklad konkávního zaoblení rovinných ploch [1]</i>	28
<i>Obr. 15 Přerušovaný závit na plastovém výstřiku [1]</i>	29
<i>Obr. 16 Typy zajištění zálsků proti pootočení [1]</i>	30
<i>Obr. 17 Způsoby vytvoření nápisů a značek [1]</i>	30
<i>Obr. 18 Příklad deformace výstřiku [12]</i>	31
<i>Obr. 19 Stříbrné pruhy na výrobku [9]</i>	32
<i>Obr. 20 Ukázka přetoku na výstřiku [12]</i>	33
<i>Obr. 21 Nedotečený výstřik [2]</i>	33
<i>Obr. 22 Symetrické rozložení vtokových soustav u vícenásobných forem [11]</i>	37
<i>Obr. 23 Vyhřívání tryska [10]</i>	38
<i>Obr. 24 Příklad horkých rozvodných bloků firmy HASCO [14]</i>	38
<i>Obr. 25 Válcový vyhazovací kolík</i>	39
<i>Obr. 26 Ploché vyhazovací kolík</i>	39
<i>Obr. 27 Odformování výrobku vyhazovacími kolíky [4]</i>	40
<i>Obr. 28 Stírací deska (kroužek) [4]</i>	40
<i>Obr. 29 Trubkové vyhazovače [4]</i>	41
<i>Obr. 30 Příklad odvzdušnění dutiny formy [6]</i>	43
<i>Obr. 31 Pohledy na obě strany navržené vstřikovací formy</i>	46
<i>Obr. 32 Model výrobku v programu CATIA V5R18</i>	47

<i>Obr. 33 Model výrobku v programu CATIA V5R18</i>	47
<i>Obr. 34 Maximální rozměr výrobku ve směru osy X</i>	48
<i>Obr. 35 Maximální rozměry výrobku ve směru os Y a Z</i>	48
<i>Obr. 36 pvT diagram zvoleného materiálu z Autodesk Moldflow</i>	49
<i>Obr. 37 Pohled na složenou vstřikovací formu - render</i>	51
<i>Obr. 38 Pohled na složenou vstřikovací formu</i>	52
<i>Obr. 39 Schéma zaformování výrobku</i>	53
<i>Obr. 40 Pevná (pravá) strana vstřikovací formy - render</i>	54
<i>Obr. 41 Mezideska</i>	55
<i>Obr. 42 Kotevní deska pravé strany formy</i>	56
<i>Obr. 43 Tvarová vložka pravé strany</i>	57
<i>Obr. 44 Pohyblivá strana vstřikovací formy - render</i>	58
<i>Obr. 45 Pohled na pohyblivou stranu vstřikovací formy</i>	59
<i>Obr. 46 Tvarová vložka pohyblivé strany formy</i>	60
<i>Obr. 47 Kotevní deska pohyblivé strany formy</i>	61
<i>Obr. 48 Postup odformování hydraulickými válci</i>	62
<i>Obr. 49 Odformování tvarové kostky</i>	63
<i>Obr. 50 Odformování vnitřní kostky</i>	63
<i>Obr. 51 Vyhazovací sestava</i>	64
<i>Obr. 52 Zajištění vyhazovačů proti pootočení</i>	64
<i>Obr. 53 Nastavené parametry pro okruh pravé strany o průměru kanálu 10 mm</i>	65
<i>Obr. 54 Temperační systém</i>	65
<i>Obr. 55 Temperační přístroj [13]</i>	66
<i>Obr. 56 Trajektorie temperačního systému pohyblivé strany formy</i>	67
<i>Obr. 57 Trajektorie temperačního systému pevné strany formy</i>	67
<i>Obr. 58 Mesh statistics po úpravě sítě</i>	68
<i>Obr. 59 Oprava sítě a zobrazené "jehličky"</i>	69
<i>Obr. 60 Předpokládané umístění vtokového ústí</i>	70
<i>Obr. 61 Analýza umístění vtokového ústí</i>	70
<i>Obr. 62 Hodnota vhodnosti umístění vtokového ústí</i>	71
<i>Obr. 63 Pohled na celý temperační systém v programu Autodesk Moldflow</i>	72
<i>Obr. 64 Pohled na temperační systém</i>	72
<i>Obr. 65 Beam L/D Ratio Diagnostic temperačních kanálů pohyblivé strany formy</i>	73

<i>Obr. 66 Beam L/D Ratio Diagnostic temperačních kanálů pevné strany formy</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 67 Nastavení dotlaku v Autodesk Moldflow</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 68 Čas plnění.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 69 Teplota na čele taveniny.....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 70 Smykové napětí</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 71 Detail smykového napětí ve vtokovém ústí</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 72 Studené spoje</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 73 Tlak při přepnutí na dotlak.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 74 Uzavírací síla</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 75 Teplota média v temperačním okruhu</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 76 Objemový průtok</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 77 Průměrná teplota dílu</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 78 Detail nejpomaleji ochlazeného místa na výrobku.....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 79 Čas potřebný na ochlazení dílu na vyhazovací teplotu</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 80 Celkové deformace výrobku</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 81 Smrštění</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 82 Deformace vlivem chlazení</i>	<i>85</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Zaoblení hran a rohů [1]</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 2 Doporučené velikosti úkosů [1]</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 3 Maximální hloubka otvorů [1].....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 4 Tloušťky stěn u slepého otvoru [1].....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 5 Doporučené vzdálenosti otvorů a drážek [1].....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 6 Velikost otvorů pro závity [1]</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 7 Doporučené teploty pro dané materiály [6]</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 8 Doporučené procesní podmínky v programu Autodesk Moldflow</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 9 Parametry zvoleného vstřikovacího stroje</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 10 Procesní podmínky v Autodesk Moldflow.....</i>	<i>74</i>

SEZNAM PŘÍLOH

P I VÝKRES SESTAVY FORMY

P II KUSOVNÍK

P III DVD - obsahuje diplomovou práci ve formátu .pdf a .doc, dále výkresovou dokumentaci ve formátu .pdf, .CATDrawing.