

Návrh vstřikovací formy pro výrobek z termoplastu

Bc. Tomáš Kadrnka

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Kadrnka**
Osobní číslo: **T14786**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh vstřikovací formy pro výrobek z termoplastu.**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární studie na dané téma.
2. Vyhotovení 3D modelu zadaného výrobku.
3. Provedení návrhu konstrukce vstřikovací formy pro zadaný výrobek.
4. Ověření návrhu pomocí tokových analýz.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího DP.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Bednařík, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

8. ledna 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2016

Ve Zlině dne 26. ledna 2016



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



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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek 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 užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 20.5.2016



.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem vstřikovací formy pro výrobek z termoplastu. Výrobek slouží jako rámeček zrcátka automobilové sluneční clony. Teoretická část pojednává o polymerech, vstřikovacím procesu, vstřikovacích strojích a zabývá se konstrukčním řešením vstřikovacích forem. V praktické části je popsána konstrukce formy pro zadaný výrobek, která je provedena pomocí programu Catia V5R19 a obsahuje též výkresovou dokumentaci. Součástí praktické části je analýza vstřikovacího procesu pomocí programu Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Klíčová slova: vstřikovací forma, vstřikovací stroj, Catia V5, simulace, polymer

ABSTRACT

The Master Thesis deals with a construction proposal of an injection mold for a thermoplastic product. The product is the mirror frame of an automobile sun visor. The theoretical part deals with polymers, an injection molding process, injection molding machines and deals with a construction solution of an injection mold. The construction proposal of the sun visor frame is described in the practical part. The proposal was performed with Catia V5R19 and contains drawings. The injection process was simulated in Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Keywords: injection mold, injection molding machine, Catia V5, simulation, polymer

Tímto bych velmi rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Martinu Bednařkovi Ph.D. za jeho odborné vedení, cenné rady při zpracování práce, čas a ochotu.

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

Ve Zlíně 20.5.2016



podpis studenta

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 POLYMERY	13
2 VSTŘIKOVACÍ PROCES	14
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	14
2.2 POPIS A VLIV JEDNOTLIVÝCH ČASŮ VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	15
2.2.1 Strojní doby	16
2.2.2 Doba vstřikování	16
2.2.3 Doba dotlaku	17
2.2.4 Doba plastikace	17
2.2.5 Doba chlazení	18
2.3 POUŽITÍ POLYMERŮ PRO VSTŘIKOVÁNÍ.....	18
2.3.1 Reaktoplasty	19
2.3.2 Termoplast.....	20
2.3.3 Elastomery.....	20
3 VSTŘIKOVACÍ STROJ	22
3.1 PLASTIKAČNÍ JEDNOTKA	23
3.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	24
3.2.1 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka	25
3.2.2 Hydraulický uzavírací systém	26
3.2.3 Kombinované uzavírací systémy	27
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA	28
4.1 PRAVIDLA NÁVRHU KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	28
4.1.1 Smrštění výstřiku	29
4.2 STUDENÝ VTOKOVÝ SYSTÉM.....	29
4.2.1 Vtokový kanál	30
4.2.2 Rozváděcí kanál	31
4.2.3 Vtokové ústí	32
4.2.4 Zásady při návrhu vtokové soustavy.....	37
4.3 VYHAZOVÁNÍ VÝSTŘIKŮ	38
4.3.1 Mechanické vyhazování.....	39
4.3.2 Vzduchové vyhazování	40
4.4 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	40
4.4.1 Vliv technologických parametrů vstřikování na odvzdušnění	41
4.4.2 Určení místa pro odvzdušnění.....	41
4.5 CHLAZENÍ A TEMPERACE VSTŘIKOVACÍCH FOREM	41
4.5.1 Obecné zásady volby temperačních kanálů	43
4.5.2 Využití technologie DMLS	44
4.6 MATERIÁLY VYUŽÍVANÉ PRO KONSTRUKCI FOREM	46
4.6.1 Druhy ocelí používané pro výrobu forem a jejich vlastnosti	46
4.6.2 Neželezné kovy a jejich slitiny	47
5 ZÁSADY PŘI NÁVRHU VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	49

5.1	VLIV NA JAKOST PLASTOVÝCH VÝROBKŮ.....	49
5.2	POŽADAVKY KLADENÉ NA KONSTRUKCI VÝROBKŮ	50
5.2.1	Tloušťka stěny a celková konstrukce součástí	50
5.2.2	Zaoblení hran, rohů a koutů	51
5.2.3	Úkosy a podkosy	51
5.2.4	Žebra	51
5.2.5	Otvory a drážky	52
5.2.6	Rýhování, okraje, obruby a velké rovinné plochy	52
5.2.7	Závity na plastových dílech	52
5.2.8	Zálisky a vložky z kovových materiálů	52
5.2.9	Nápisy a značky	53
II	PRAKTICKÁ ČÁST	54
6	CÍL DOPLOMOVÉ PRÁCE	55
7	POUŽITÉ PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ.....	56
7.1	CATIA V5R19	56
7.2	NORMÁLIE HASCO	56
7.3	AUTODESK MOLDFLOW SYNERGY 2016	56
8	MODEL A MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU.....	57
8.1	MODEL VÝROBKU	57
8.2	VSTŘIKOVANÝ MATERIÁL	57
9	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	59
10	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	60
10.1	NÁSOBNOST VSTŘIKOVACÍ FORMY	60
10.2	URČENÍ DĚLÍCÍ ROVINY	61
10.3	TVÁRNÍK, TVÁRNICE, TVAROVÉ ČELISTI.....	62
10.4	RÁM, DESKY A VODÍCÍ PRVKY	64
10.5	VTOKOVÝ SYSTÉM	64
10.6	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	65
10.7	TEMPERAČNÍ SOUSTAVA	66
10.7.1	Temperační systém tvárníku	66
10.7.2	Temperační systém tvárnice.....	67
10.7.3	Temperační systém posuvných čelistí.....	67
10.8	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	67
10.9	TRANSPORTNÍ SYSTÉM	68
11	SIMULACE VSTŘIKOVÁNÍ V PROGRAMU AUTODESK MOLDFLOW SYNERGY 2016.....	70

11.1	VYTVORENÍ SÍTĚ A JEJÍ NASTAVENÍ	70
11.2	ANALÝZA VHODNÉ POLOHY VTOKU (GATING SUITABILITY).....	71
11.3	VTOKOVÝ A TEMPERAČNÍ SYSTÉM	72
11.4	FIKTIVNÍ VSTŘIKOVACÍ FORMA	74
11.5	TEMPERAČNÍ MEDIUM	75
11.6	NASTAVENÍ ANALÝZY, VOLBA PARAMETRŮ A OKRAJOVÝCH PODMÍNEK	75
11.7	ANALÝZA PLNĚNÍ A POPIS PROBLÉMŮ	77
11.7.1	Indikátor odporu taveniny (Flow resistance indicator)	77
11.7.2	Čas plnění (Fill time)	78
11.7.3	Čas k dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)	79
11.7.4	Průběh tlaku během vstřikování (Pressure at injection location).....	80
11.7.5	Vzduchové bubliny (Air traps).....	81
11.8	ANALÝZA TEMPERAČNÍHO SYSTÉMU	82
11.8.1	Teplota temperačního media (Circuit coolant temperature)	82
11.8.2	Reynoldsovo číslo (Circuitreynoldsnumber)	83
11.8.3	Účinnost odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency)	84
11.9	ANALÝZA SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE	84
11.9.1	Velikost vzniklé deformace výrobku (Deflection, all effects: Deflection).....	84
11.9.2	Velikost vzniklé deformace smrštění výrobku (Deflection, differential shrinkage: Deflection)	86
	DISKUSE VÝSLEDKŮ	87
	ZÁVĚR	88
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	89
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	90
	SEZNAM OBRÁZKŮ	92
	SEZNAM TABULEK.....	95
	SEZNAM PŘÍLOH.....	96

ÚVOD

Polymerní výrobky tvoří nezbytnou součást technických zařízení, která jsou používána v mnoha odvětvích průmyslu a jako předměty každodenního používání. Díky svým mechanickým a fyzikálním vlastnostem je jejich využití velice všestranné. Nahrazují tradiční původní materiály (sklo, kovy, dřevo) tam, kde je potřeba snížit hmotnost, zvýšit pružnost, zjednodušit výrobní proces, snížit náklady na výrobu atd. K jednou z nejrozšířenějších technologií výroby polymerních výrobků patří vstřikování. Tento způsob výroby je specifický tím, že tavenina je pod vysokým tlakem a za určité teploty vstříknuta do dutiny formy, přičemž tato dutina udává výrobku tvar a rozměry. Touto technologií můžeme vyrábět velice složité tvarové dílce, které by jinou technologií nebylo možné vyrobit.

V teoretické části diplomové práce je popsáno rozdělení polymerů, technologie vstřikování, vstřikovací stroje a teorie návrhu vstřikovacích forem. V praktické části je popsán konstrukční návrh vstřikovací formy pro zadaný výrobek.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Mezi polymery patří přírodní či syntetické látky, které obsahují molekulu s mnohonásobně opakující se základní monomerní jednotkou připomínající články řetězu. Tato vlastnost umožňuje pestrou proměnlivost struktur a vlastností výsledných produktů. Syntetické polymery se začaly objevovat v polovině minulého století a jejich objevení umožnilo rozvoj plastikářského průmyslu, výroby syntetických vláken, gumárenství, nátěrových hmot, průmyslových folií, obalů a mnoha jiných oblastí výroby, mezi které patří i výroba kompozitních materiálů pro letecký a vojenský průmysl. Polymery hrály významnou roli při rozvoji průmyslu ve druhé polovině minulého století a v dnešní době tvoří významnou součást světové produkce výrobků všeho druhu.

Vznik polymerů je doprovázen chemickou reakcí nazývanou polymerace. Při reakci dochází ke spojení molekul nízkomolekulárních sloučenin a jejich mnohonásobnému opakování, tím vzniká makromolekulární látka (polymer).

2 VSTŘIKOVACÍ PROCES

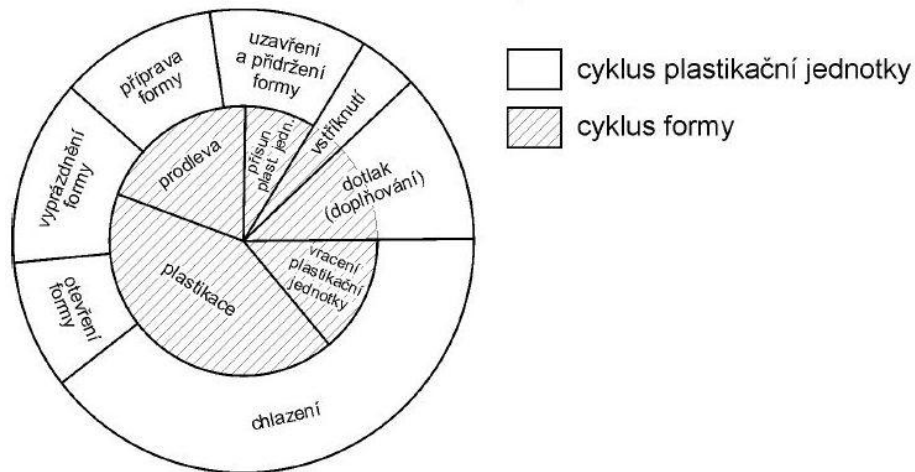
Vstřikování představuje nejrozšířenější způsob výroby požadovaných dílů z plastů. Vyznačuje se poměrně složitým procesem, na kterém se podílí polymer, vstřikovací stroj a forma. Tímto procesem jsou vyráběny konečné výrobky, případně polotovary či díly pro kompletní sestavy. Výhodou vstřikování je krátký čas cyklu, možnost vyrábět složité součásti při zachování rozměrové a tvarové přesnosti, velmi dobrou kvalitou povrchu a s vysokou reprodukovatelností fyzikálních a mechanických vlastností. Jedná se o proces cyklický a diskontinuální. Nespornou výhodou procesu vstřikování je možnost použití téměř všech druhů termoplastů a v omezené míře některé reaktoplasty a elastomery. V porovnání s ostatními metodami zpracování plastů, patří mezi nevýhody vysoké počáteční náklady, časová náročnost pro výrobu forem a potřeba využívat strojní zařízení, které je neúměrně velké v porovnání s vyráběným dílem [1].

Důležitými faktory jsou vlastnosti a kvalita použitého plastu, které mají významný vliv na konečnou aplikaci. Dalším významným faktorem je správná volba technologického procesu. Správná volba plastu může být degradována právě špatnou volbou technologického postupu, proto je nutné ho znát a v procesu výroby respektovat.

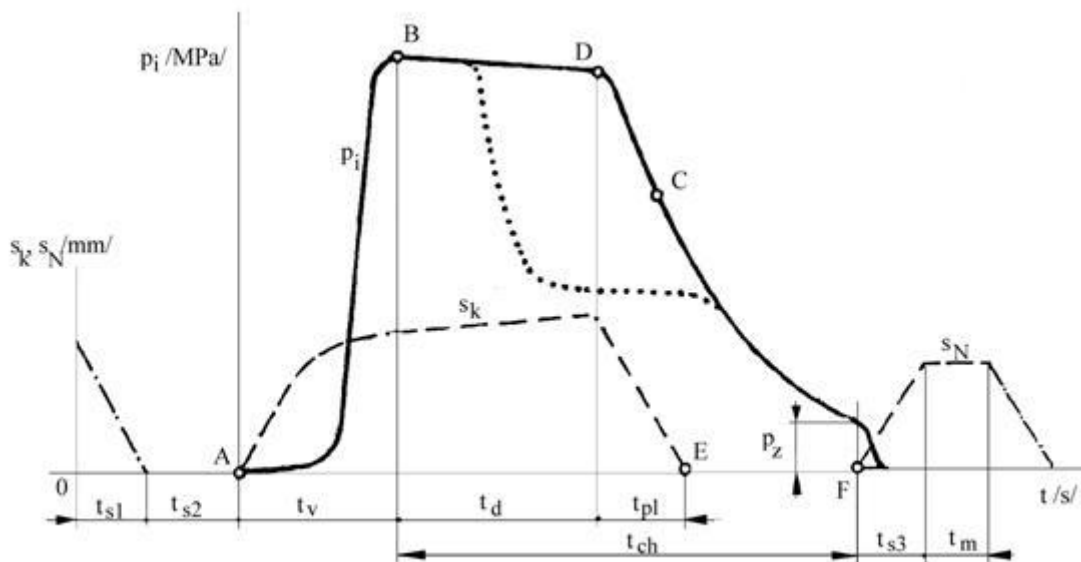
2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je složen ze dvou oblastí, ta první je vztažena k plastikační jednotce a druhá k formě (Obr. 1). Jedná se o sled přesně specifikovaných úkonů, o proces neizotermický, během kterého plast prochází teplotním cyklem. U vstřikovacího cyklu je nutné přesně definovat jeho počátek, kterým je impuls k uzavření formy.

Postup během vstřikovacího cyklu je následující: plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení se plast taví a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a zaujme její tvar. Následuje tlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a ochlazením ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý cyklus se opakuje [1].



Obr. 1. Vstříkovací cyklus formy a plastikační jednotky [2].



Obr. 2. Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během procesu vstříkovaní
 s_k – pohyb šneku, s_n – pohyb nástroje, t_{s1} - uzavření formy, t_{s2} - přisunutí vstříkova-
 vací jednotky, t_v - vstříknutí taveniny, t_d - dotlakt_{pl} - plastikace nové dávky, t_{ch} -
 chlazení, t_{s3} - otevření formy a vyhození dílu, t_m - manipulační doba [1].

2.2 Popis a vliv jednotlivých časů vstříkovacího cyklu

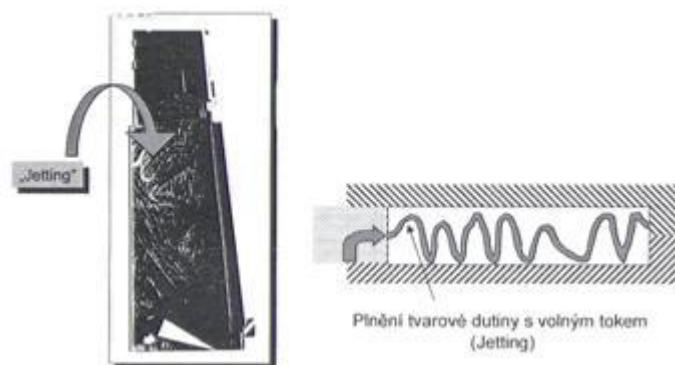
Úseky vstříkovacího cyklu jsou nastavitelné a mají různou dobu trvání. Jejich nastavení je závislé např. na geometrii výstřiku, použitým materiálem, velikostí a geometrií výstřiku a technologickými podmínkami vstříkovaní.

2.2.1 Strojní doby

Mezi strojní doby patří doba uzavření formy t_{s1} a doba potřebná k otevření formy a vyhození dílu t_{s3} . Strojní doby jsou ovlivněny rychlostí pohybu a dráhou, kterou musí forma urazit. Délka dráhy otevření formy je závislá na rozměru výstřiku v tomto směru a musí mít takovou hodnotu, aby došlo ke správnému vyjmutí/vyhození výstřiku z formy. V rámci zvýšení produktivity je snahou tyto časy snížit na minimum, toho je dosaženo volbou různých rychlostí posuvu formy. Těsně před spojením obou částí forem dojde ke zpomalení pohybu, aby bylo zajištěno měkké dosednutí stykových ploch a nedošlo k poškození formy vlivem nárazu. Při otevírání formy je počáteční rychlost vysoká, před dojezdem se však sníží pro pomalejší vyhození výstřiku z formy [1].

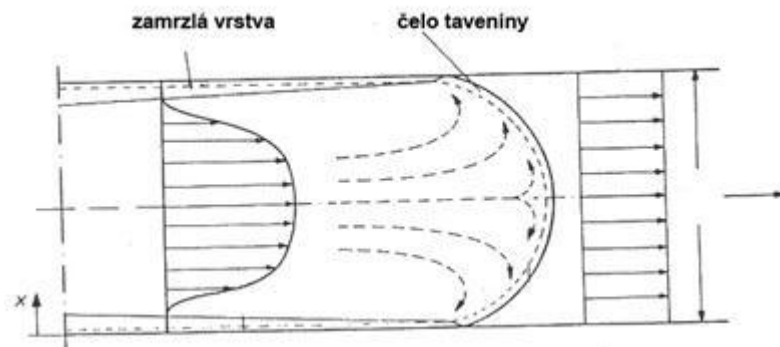
2.2.2 Doba vstřikování

Doba plnění dutiny formy patří mezi nejdůležitější část vstřikovacího cyklu, odvíjí se od rychlosti pohybu šneku, která je závislá na technologických podmínkách (teplotě taveniny T_{tav} a vstřikovacím tlaku p). Dalšími ovlivňujícími faktory jsou objem a geometrická tvar výstřiku, vtoková soustava a druh polymeru. Doba plnění dutiny formy se pohybuje v rozmezí zlomek sekund až několik sekund pro rozměrné výrobky o velkém objemu materiálu. Doba plnění formy by měla být co nejkratší z důvodu ochlazení taveniny při styku s funkční částí formy a snížen její tekutosti. To by mohlo způsobit nezaplnění některých částí dutiny formy a vyrobení nedostříknutého výrobku. Při plnění dutiny by nemělo docházet k volnému toku taveniny (Obr. 3) ale k postupnému tečení taveniny, nebo-li laminárnímu toku (Obr. 4). Jedná se o složitý mechanismus tuhnutí vrstev taveniny. Díky velkému rozdílu teploty taveniny a povrchu dutiny formy, dochází k okamžitému tuhnutí taveniny a tvorbě vrstvy nepohyblivé hmoty, která působí zároveň jako tepelná izolace [1].



Obr. 3. Plnění volným tokem [1].

Uvnitř taveniny se vytvoří plastické jádro s nízkou viskozitou, umožňující další průtok taveniny do dutiny formy. S přihlédnutím ke zvyšování viskozity směrem ke stěně formy, dochází k nárůstu rychlosti plastického jádra a k zakřivení čela. Ve směru ke stěně formy dochází k poklesu tlaku.



Obr. 4. Laminární tok taveniny plastů [1].

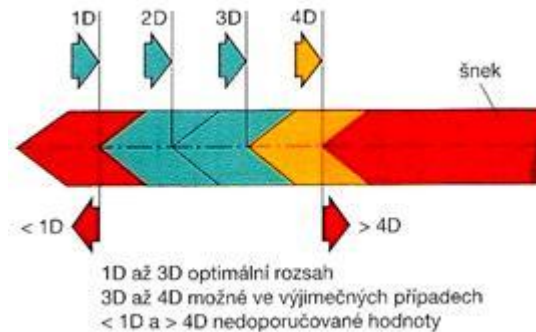
2.2.3 Doba dotlaku

Fáze dotlaku následuje bezprostředně po fázi plnění dutiny formy. Dochází při něm k dodávání materiálu do formy a kompenzaci smrštění polymeru během chladnutí. Zabráni se tím vzniku propadlin a staženin. Jedná se o proces stlačování hmoty, během kterého prudce stoupne tlak a klesne rychlost. V případě, že by tlak zůstal na původní hodnotě, došlo by ke vzniku tlakové špičky, zvětšení rozměrů a hmotnosti výstřiku. Následné namáhání formy by mohlo vést k pružnému prohnutí formy, tzv. dýchnutí. Tomuto jevu se zabrání včasným přepnutím na dotlak a snížením vstřikovacího tlaku. Přepnutí na dotlak se může řídit podle dráhy šneku, tlaku ve formě či hydraulice, nebo podle vstřikovacího času. Doba působení dotlaku je závislá na průřezu vtokového kanálu a zpravidla trvá od několika až desítky sekund. Dotlak může být aplikován pouze do té doby, než dojde k úplnému zatuhnutí vtokového systému. Moderní stroje umožňují optimalizaci dotlaku, v první fázi je tlak vyšší a využívá se vysoké tekutosti taveniny. V konečné fázi dojde ke snížení tlaku a omezení orientace v okolí toku [1].

2.2.4 Doba plastikace

Doba potřebná k zplastikování nové dávky plastu, jejímu rovnoměrnému zhomogenizování, smíchání s případnou příměsí a vytvoření vstřikovací dávky před čelem šneku, tzv. polštáře. Velikost musí být taková, aby došlo k úplnému zaplnění tvarové dutiny, vtokového systému a kompenzaci změny objemu, která je způsobena smrštěním materiálu. Posunem

šneku vzad dochází ke snižování činné délky šneku, a proto musí být zvyšován zpětný tlak. Roztavení granulátu je z jedné třetiny zajištěno teplem dodaným z elektrického odporového topení a ze dvou třetin zajištěno třením hmoty procesem hnětení [1].



Obr. 5. Možné dávkovací dráhy u vstřikovacích strojů [1].

2.2.5 Doba chlazení

Jedná se o časově nejdélejší část vstřikovacího cyklu, který v případě tenkostěnných výrobků trvá od několika sekund do několika minut v případě výrobků tlustostěnných. Určujícím kritériem je tloušťka stěny výstřiku, ale také druh plastu, teplota taveniny, teplota formy a teplota výstřiku v čase vyjmutí z formy. Snahou je dobu chlazení zkrátit na minimum, toho je dosaženo účinným chlazením částí dutiny formy v místech, kde hmota chladne nejpomaleji. Chlazení je zahájeno již během vstřikovací fáze, pokračuje ve fázi dotlaku a končí fází vyhození výstřiku z formy. Během ochlazování výstřiku dochází ke značným změnám stavových veličin (tlaku, měrného objemu a teploty) které ovlivňují strukturu, tj. orientaci, krystalizaci, vnitřní pnutí, kvalitu povrchu a lesk [1].

2.3 Použití polymerů pro vstřikování

Syntetické polymery jsou tvořeny makromolekulami, jenž vznikají opakovaným spojováním jednotky meru. Tato jednotka je odvozena od výchozí molekuly – monomeru. Spojením dvou a více základních jednotek a opakováním merů, vznikají řetězce zvané kopolymery. Základní chemické a fyzikálně-chemické vlastnosti meru jsou určeny druhem atomů a jejich spojením chemickými vazbami. Různě dlouhé řetězce obsažené v polymeru charakterizují polymer pomocí distribuční křivky molekulárních hmotností.

S rostoucí střední molární hmotností polymeru rostou jeho mechanické vlastnosti a zároveň se zvyšuje viskozita jeho taveniny při dané teplotě, tj. zhoršuje se jeho tekutost a tedy i zpracovatelnost [3].

2.3.1 Reaktoplasty

Reaktoplasty, dříve nazývané termosety, jsou polymerní materiály, které v první fázi zahřívání měknou a umožňují své tváření po omezenou dobu. Postupným zahříváním a zvyšováním teploty dochází k chemické reakci tzv. vytvrzování. Jedná se o proces, při kterém dochází k prostorovému zesíťování struktury a na výrobek může být přihlíženo jako na jednu makromolekulu. Proces ochlazování reaktoplastů probíhá mimo formu z důvodu časové a energetické náročnosti při opětovném ohřívání formy na vytvrzovací teplotu. Zesíťování je nevratný děj a takto vytvrzený plast již nelze opětovně roztavit či rozpustit. Ohříváním již zesíťovaného reaktoplastu dojde k degradaci hmoty [3].

Epoxidové pryskyřice – díky svým dobrým chemickým a fyzikálním vlastnostem, našly široké využití zejména ve strojírenství. Mezi tyto vlastnosti patří výborná adheze ke keramice, sklu a kovům. Tyto vlastnosti jsou zachovány v širokém rozsahu teplot. V oblasti kompozitních materiálů jsou využívány jako matrice. Díky svým izolačním schopnostem a odolnosti vůči tepelnému namáhání, našly své uplatnění v elektronice. Před vytvrzením mají epoxidy podobu viskózní kapaliny [3].

Fenolytické pryskyřice – rozdělují se podle látek, ze kterých vznikají na fenolové, krezolové a xylenové pryskyřice. Jako vytvrzující činidlo je využíváno teplo. Výhodou těchto polymerů je vysoká odolnost vůči vysokým teplotám a nehořlavost. Své uplatnění najdou ve strojírenském průmyslu jako součást lisovacích hmot.



Obr. 6. Panelová objímka Ba15d vyrobená z reaktoplastu [4].

2.3.2 Termoplast

Termoplast patří mezi polymerní materiál, jenž po zahřívání přechází z tuhého stavu do stavu vysoce viskózní newtonovské kapaliny. Tato vlastnost umožňuje jeho snadné zpracování různými technologiemi. Při ochlazení semikrystalických plastů pod teplotou tání T_m dochází k přechodu do tuhé fáze. U amorfních plastů je tato hodnota dána teplotou viskózního toku T_f . U termoplastu ve srovnání s reaktoplasty nedochází ke změně chemické struktury, ale pouze k fyzikálnímu procesu. Ten umožňuje proces měknutí a tuhnutí opakovat. Do skupiny termoplastů patří většina používaných plastů jako polyamid (PA), polystyren (PS), polyetylen (PE), polypropylen (PP) atd. [3].



Obr. 7. Přepážky vyrobené z termoplastu [5].

2.3.3 Elastomery

Elastomery patří mezi polymery disponující viskózními a elastickými vlastnostmi, mluvíme tedy o viskoelastických vlastnostech. Vyznačují se nízkým Youngovým modulem a vysokým prodloužením v porovnání s ostatními materiály. Proces výroby je podobný, jako u reaktoplastů. V první fázi je elastomer zahříván dochází k jeho měknutí. Je však nutné zabránit jeho předčasné vulkanizaci. Další fází je samotný proces tváření materiálu, který udá výrobku požadovaný tvar. V předposlední fázi dochází k prostorovému zesíťování struktury. Tento proces se nazývá vulkanizace. V případě elastomerů na bázi reaktoplastů, se jedná o proces chemický a je nevratný. U elastomerů na bázi termoplastů dochází pouze k fyzikálnímu ději a tento proces je opakovatelný [3].



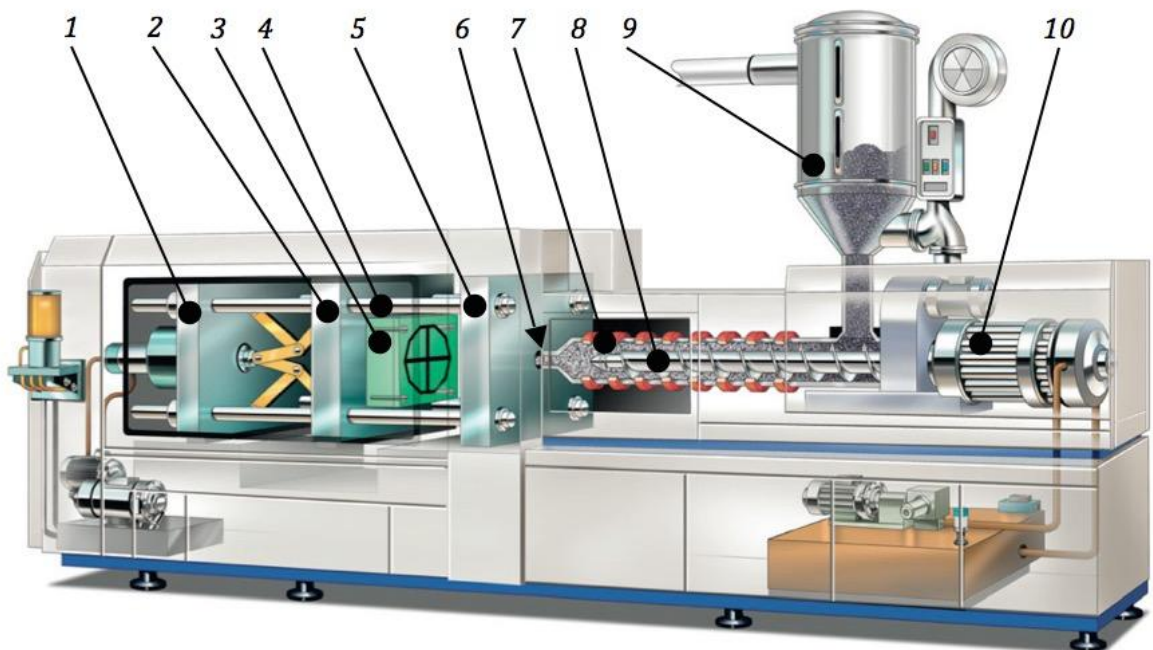
Obr. 8. Výrobky z technické pryže pro automobilový průmysl [6].

3 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj tvoří hlavní článek vstřikovacího procesu. U moderních strojů bývá vstřikovací proces plně automatizován za účelem zvýšení efektivity, dosažení požadované jakosti a objemu výroby. V současné době jsou vyráběny stroje různého konstrukčního provedení, stupňů řízení, umožňující snadnou a rychlou změnu procesních parametrů. Výhodou technologie je vhodnost použití ve velkosériové a hromadné výrobě. Výrobci umožňují dle přání zákazníka vybavit vstřikovací stroj doplňkovým zařízením, jako jsou manipulační roboti, temperační zařízení, sušička granulátu a jiné [7].

Vstřikovací stroj je složen z těchto hlavních částí:

- plastikační jednotka
- uzavírací jednotka
- řízení s regulací



Obr. 9. Vstřikovací stroj

1 - uzavírací jednotka, 2 - pohyblivá upínací deska, 3 - pohyblivá část vstřikovací formy, 4 - vodící sloupky vstřikolisu, 5 - pevná upínací deska vstřikolisu, 6 - čelo špičky vstřikovací trysky vstřikolisu, 7 - tavící komora, 8 - šnek, 9 - násyпка, 10 - pohonná jednotka [7].

Při výběru vstřikovacího stroje zohledňujeme tyto požadavky:

- dostatečná vstřikovací kapacita
- dostatečná uzavírací a přidržovací síla
- vysoká tuhost konstrukce
- zajištění vyhovujícího tlaku, rychlosti a časování během procesu vstřikování
- vhodné uspořádání vstřikovacího stroje

Prvním důležitým kritériem je kapacita vstřikovací jednotky. Množství taveniny pro jeden cyklus musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky. Využití se pohybuje do 90 %. Tato hodnota nesmí být překročena pro případ, že by bylo nutné dorovnávat úbytek objemu, který je způsobený teplotním smrštěním polymeru. Proces dorovnání objemu nazýváme dotlak.

Druhým důležitým kritériem je uzavírací síla, která musí být vyšší, než je síla vyvolaná tlakem taveniny na dutinu formy.

Vstřikovací stroj musí také splňovat konstrukční požadavky formy, mezi které patří:

- dostatečné rozměry mezi sloupky, tyto rozměry musí být vyšší s ohledem na velikost formy
- vhodné rozměry upínacích ploch pevné a pohyblivé upínací desky
- vhodná velikost dosedací trysky a středících otvorů
- vhodné umístění upínacích šroubů a uzavření/otevření vstřikovacího stroje s ohledem na stavební výšku formy

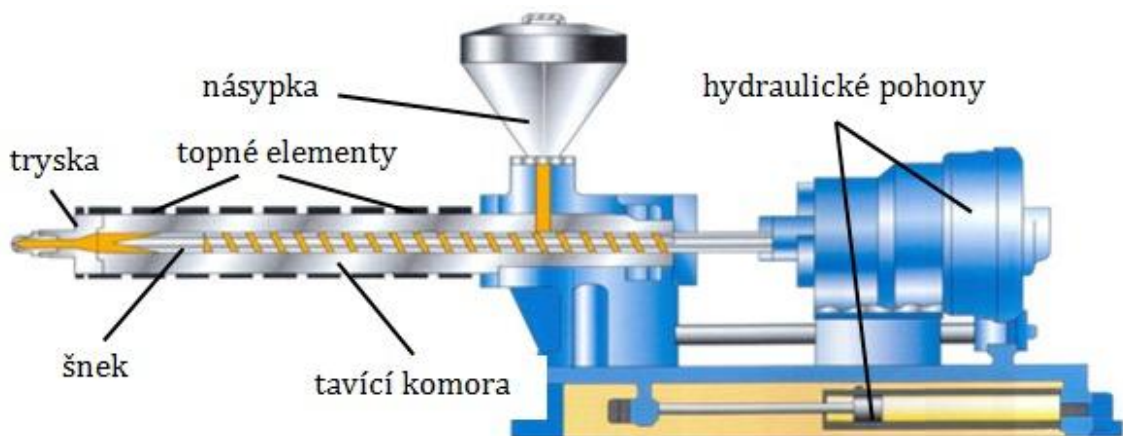
3.1 Plastikační jednotka

Tvoří důležitou součást vstřikovacího stroje. Jejím úkolem je roztavení granulátu, příprava a přeprava taveniny do dutiny formy dle požadovaných procesních parametrů. Celkové množství vstříknuté taveniny v jednom vstřikovacím cyklu musí být menší, než je kapacita samotné vstřikovací jednotky na jeden zdvih. Toto množství představuje maximálně 90 % kapacity jednotky. V tomto množství je zahrnuta rezerva potřebná pro doplnění úbytku objemu taveniny z důvodu teplotního smrštění, které je způsobeno chladnutím taveniny po vstřikovací fázi. Za optimální rezervu je považováno 80 %.

Do plastikační jednotky je plast ve formě granulátu dopravován prostřednictvím násypky. Pokud to podmínky a použitý polymer vyžadují, projde granulát sušičkou a poté je dopra-

ven do násypky. Granulát je z násypky odebírán šnekem a posouván vstupním pásmem do kompresního a výstupního pásma. Během tohoto procesu je granulát plastikován, homogénizován a dochází k jeho hromadění před čelem šneku, který koná rotační pohyb a je současně posouván do zadní polohy. Otáčky a posuv šneku je možné libovolně regulovat.

K roztavení granulátu v tavné komoře slouží elektrické odporové topení, které je obvykle rozděleno do tří pásem (vstupní, střední a pásmo u trysky). Tryska je vytápěna samostatně a její kulové zakončení zajišťuje přesné usazení do sedla vtokové vložky formy. Pro jejich správnou funkci spojení musí být zajištěna souosost, menší průměr otvoru a poloměr trysky [9].



Obr. 10. Plastikační jednotka [9].

3.2 Uzavírací jednotka

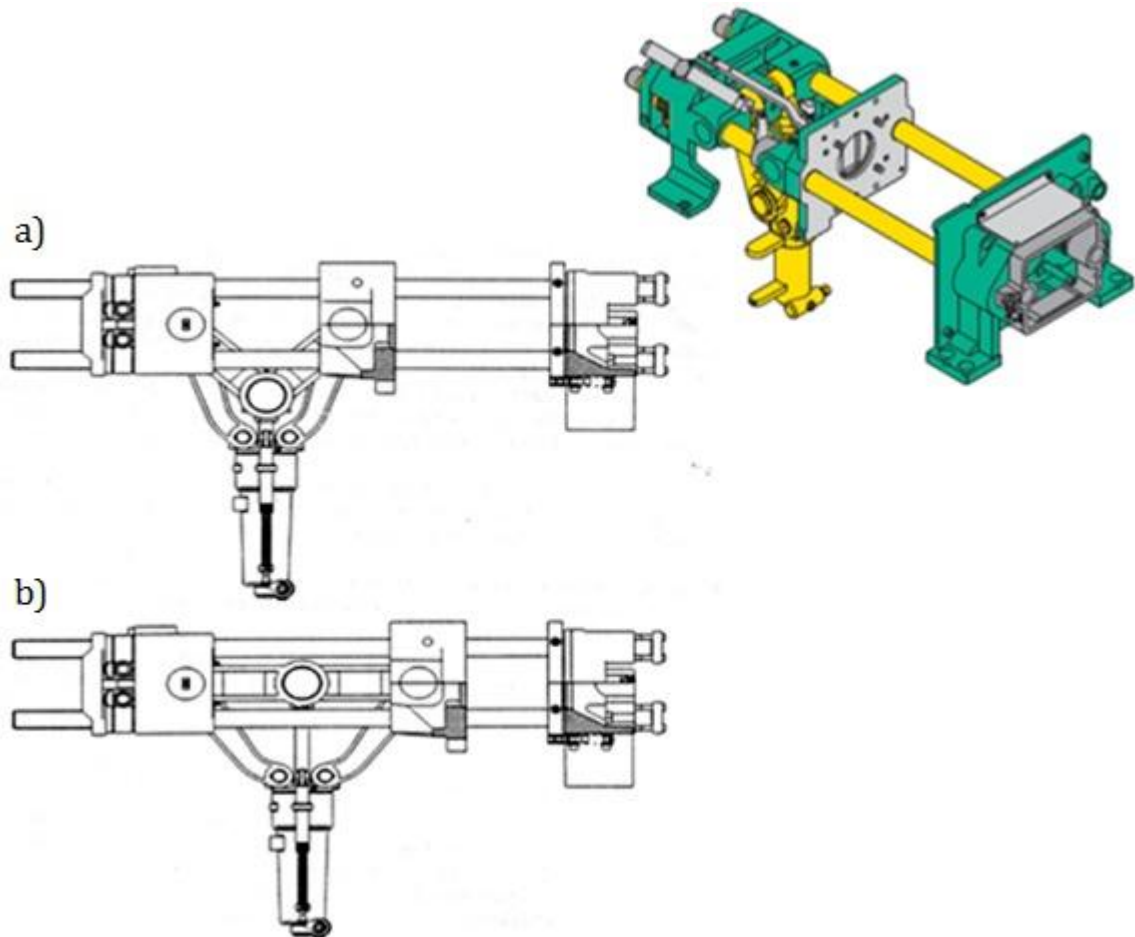
Uzavírací jednotka slouží pro upnutí, zavírání a otevírání vstřikovací formy. Je tvořena několika samostatnými prvky a mechanismy. Jejím úkolem je vyvození takové síly, aby během vstřiknutí polymeru nedošlo k otevření formy. Sílu, kterou uzavírací jednotka vyvíjí, můžeme rozdělit na přisouvací sílu F_p (s vyšší rychlostí posuvu) a uzavírací sílu F_u , která je několikanásobně vyšší, aby se zabránilo otevření formy během vstřikování. Moderní stroje umožňují programovat rychlost a sílu uzavírání. Vhodné nastavení těchto parametrů šetří strojní čas a spotřebovanou elektrickou energii [10].

Uzavírací jednotka je složena z těchto základních částí:

- vodící desky (stroje sloupové konstrukce)
- pevná a pohyblivá upínací deska
- mechanismus pohybu desek a jeho pohon
- mechanismus pro uzamčení formy

3.2.1 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka

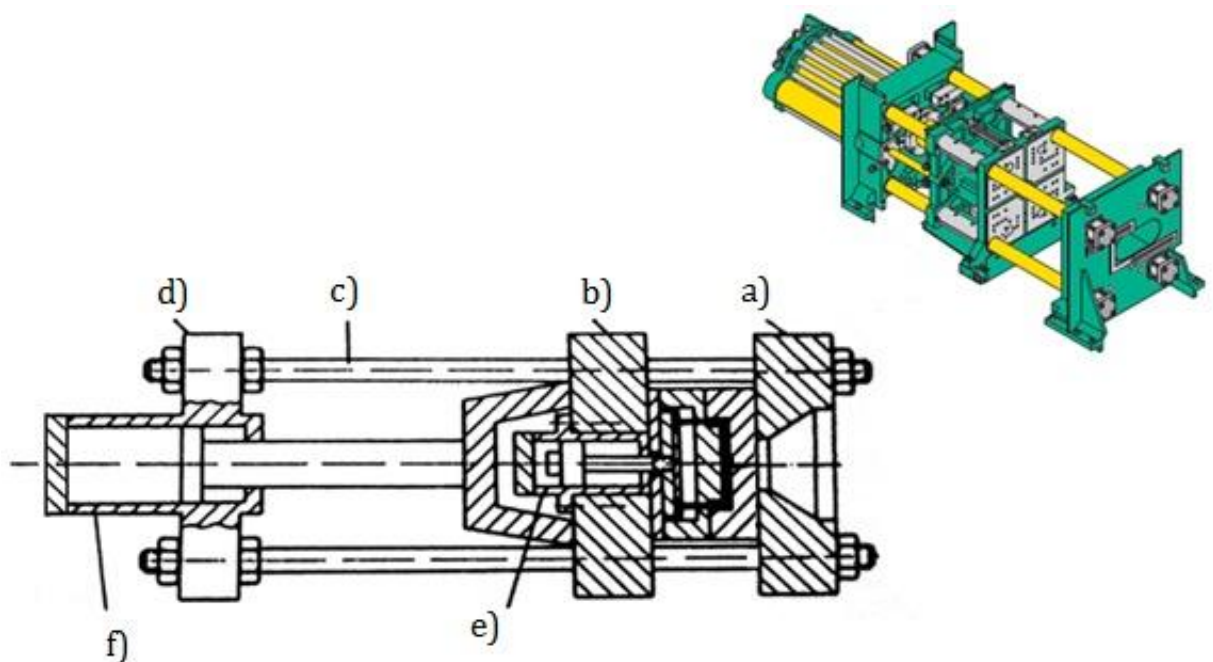
Tato jednotka využívá principu kloubových mechanismů a hydraulického válce a patří k efektivním způsobům uzavírání formy. Výhodou je dobrá regulovatelnost rychlosti pohybů a v porovnání s hydraulickým systémem menší spotřebou energie a oleje a relativně úsporná konstrukce. Na obr. 12 je znázorněn jednoduchý kloubový mechanismus, který je nejčastěji používán u malých vstřikovacích strojů do 500 kN. U vstřikovacích strojů s vyšší uzavírací silou (1000 - 50 000 kN) jsou používány více-bodové kloubové mechanismy. Kloubové mechanismy jsou charakteristické ideálními rychlostními profily, rozjezd formy je pomalý, následován velkým zrychlením a ukončen pomalým dojezdem formy k její pevné části. Tím je zajištěno plynulé uzavření formy, která je tímto chráněna proti nabourání [10].



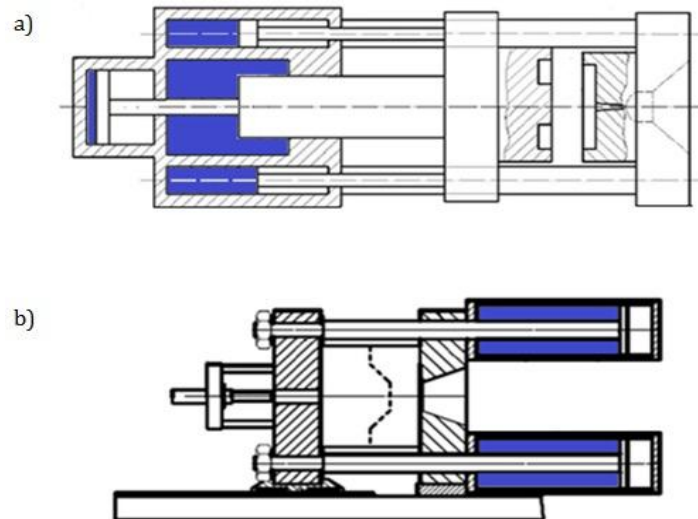
Obr. 11. Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka kloubového provedení, (A) otevřená, (B) uzavřená [10].

3.2.2 Hydraulický uzavírací systém

Hlavním prvkem hydraulického uzavíracího systému je hydraulický válec, který je ve většině případů umístěn symetricky v ose systému a bývá přímo napojen na pohyblivou upínací desku (Obr. 12). K vyvození uzavírací síly může být využito celé pracovní dráhy pístu. U větších strojů a požadavku pro zvýšení rychlosti a rovnoměrnějšího rozložení síly, bývá k pohybu využíván jeden centrální píst a menší, symetricky rozmístěné podpůrné písty. Tyto písty jsou přímo napojeny na hydraulickou soustavu. Za účelem zvýšení tlaku mohou být písty napojeny na multiplikátor. Rozmístění centrálního pístu a podpůrných pístů je zobrazeno na (Obr. 13). Pístnice těchto čtyř válců slouží zároveň i jako vodící tyče. Pro fixaci pohyblivé části formy, je využíván systém mechanických zámků. Výhodou hydraulického systému je vyvození velké uzavírací síly, dosažení velkých rychlostí pohybů v celé pracovní dráze pístu, lepší opakovatelnost pohybů a přesnost dodržení požadovaného rychlostního profilu. Nevýhodou hydraulických jednotek je vyšší obsah hydraulického oleje, požadavek větší síly v hydraulickém systému a nižší hodnota maximální rychlosti oproti hydraulicko-mechanickým jednotkám [10].



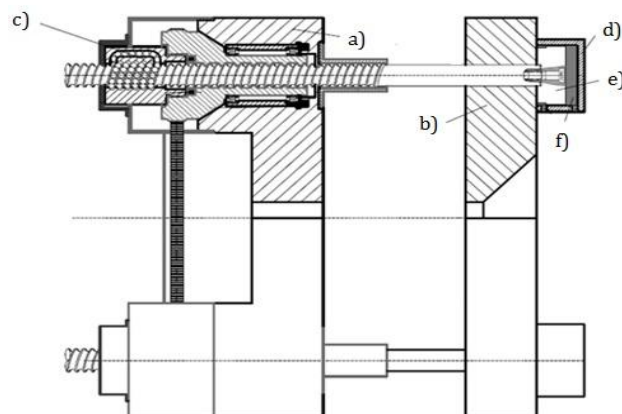
Obr. 12. Hydraulická uzavírací jednotka, (a) pevná část formy, (b) pohyblivá část formy, (c) vodící tyče, (d) rám stroje, (e) hydraulický vyhazovač, (f) hydraulický válec pro ovládnutí pohyblivé části formy [10].



Obr. 13. Možné rozmístění hydraulických pístů v uzavírací jednotce (a) na straně pohyblivé upínací desky, (b) na straně pevné upínací desky [10].

3.2.3 Kombinované uzavírací systémy

Tento systém byl vyvinut za účelem využití výhod obou systémů a maximálního zefektivnění operací vykonávaných uzavírací jednotkou. Kloubový mechanismus zajišťuje hlavní posuvy pohyblivé upínací desky. Pro vyvození a udržení uzamykací síly slouží hydraulický válec v kombinaci s mechanickým zajištěním. Výhodou tohoto systému jsou velmi rychlé pohyby posuvné upínací desky a vyvození uzavírací síly na velké dráze. Schéma kombinovaného uzavíracího systému je znázorněno na (Obr. 14.), (a) pohyblivá část formy, (b) pevná část formy, (c) kuličkový šroub, (d) lineární hydraulický pohon, (e) píst, (f) hydraulická kapalina [10].



Obr. 14. Schéma kombinovaného uzavíracího systému, [10].

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Úkolem formy je vytvořit z taveniny po jejím ochlazení výsledný tvar výrobku a zachování požadovaných mechanických a fyzikálních vlastností. Forma musí splňovat tyto požadavky:

- technické, které zaručují správnou funkci formy, která musí vyrobít požadovaný počet součástí v náležité kvalitě a přesnosti. Má také splňovat podmínku snadné manipulace i obsluhy při výrobě součástí
- ekonomické, které se vyznačují nízkou pořizovací cenou, snadnou a rychlou výrobou dílů při vysoké produktivitě práce a vysokým využitím plasty
- společensko-estetické, které umožňují vytvářet vhodné prostředí při bezpečné práci. Vyžadují dodržení všech bezpečnostních zásad při konstrukci, výrobě i provozu formy [11].

4.1 Pravidla návrhu konstrukce vstřikovací formy

Výkres vyráběné součásti spolu s konstrukčním návrhem a dalšími doplňujícími údaji, jsou podkladem pro konstruktéra forem. Vlastní konstrukce má pak následující postup:

- posouzení výkresu součásti z hlediska tvaru, rozměrů a tvářecích podmínek. Je třeba znovu zkontrolovat rozměry, jejich tolerance, rozdíly v tloušťce stěn s ohledem na propadliny a lunkry. Nezanedbat ani úpravy ostrých hran a rohů, které vyvolávají velké pnutí a obtížné plnění dutiny.
- určení, případně upřesnění dělicí roviny součásti a způsob zaformování s ohledem na funkci a vzhled. Respektovat také směr a velikost potřebných úkosů. Zaformování musí odpovídat vhodnému umístění ústí vtoků a vyhazování z dutiny formy.
- dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání ve formě. Volba vhodného typu vtokového systému, velikost průřezů, tvaru a délky hlavního a rozváděcího kanálu i ústí vtoku.
- stanovení koncepce vyhazovacího a temperačního systému i odvodu dutiny formy.
- návrh rámu formy s ohledem na danou typizaci, počet i rozmístění dutin, systém vyhazování i temperace formy.
- vhodné uspořádání středění a upínání formy na stroj s ohledem na využití dostupných prostředků. To všechno v rámci bezpečnosti práce.

- zkontrolovat funkčních parametrů formy, hmotnost výstřiku, jeho průmětnou plochu, vstřikovací a uzavírací tlak a další faktory s ohledem na doporučený stroj

Celá koncepce konstrukce vstřikovací formy musí směřovat k možné a snadné výrobní technologii dle stanovených požadavků. Je vhodné s objednavatelem návrh formy konzultovat. U externích zákazníků předložit objednateli případné návrhy a doplňky výkresu součásti i návrhu konstrukčního řešení formy ke schválení [11].

4.1.1 Smrštění výstřiku

Představuje důležitý parametr při konstrukci formy, jedná se rozdíl mezi rozměrem dutiny a skutečným rozměrem výrobku. Hodnota je udávána v % a závisí zejména na teplotní roztažnosti materiálu. Z časového hlediska můžeme smrštění rozdělit do dvou fází. První fází představuje provozní smrštění, které tvoří 90 % smrštění výrobku a je stanoveno po 24 hodinách po výrobě součásti. Druhou fází je dodatečné smrštění probíhající dlouhou dobu od výroby a jeho průběh je závislý na typu polymeru.

Smrštění nemusí probíhat ve všech směrech stejně. Mezi ovlivňující faktory patří směr proudění taveniny, orientace makromolekul semikrystalických plastů, použití nesymetrického plniva, tvarem výstřiku, technologií vstřikování a vstřikovací forma (vtoková a chladičící soustava).

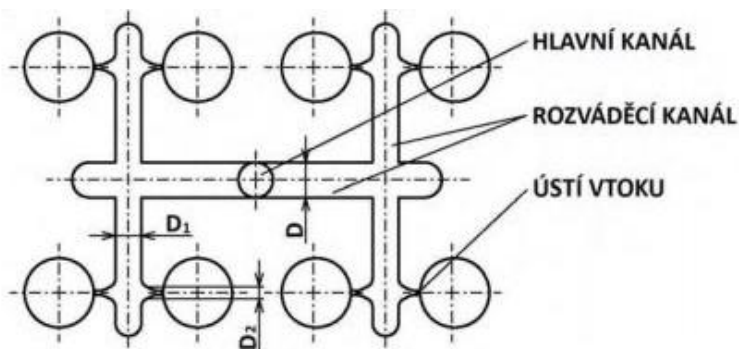
Ke smrštění je nutné přihlédnout při návrhu dutiny formy. Aby byly splněny požadované rozměry a tolerance, musí být dutina formy zvětšena o příslušnou hodnotu smrštění výrobku.

4.2 Studený vtokový systém

Vtokový systém formy zajišťuje při vstřiku vedení proudu roztaveného plastu od vstřikovacího stroje do tvářecí dutiny formy. Naplnění dutiny termicky homogenní taveninou má proběhnout v nejkratším možném čase a s minimálními odpory [11].

Vtoková soustava se skládá z těchto částí:

- vtokový kanál
- rozváděcí kanál
- vtokové ústí

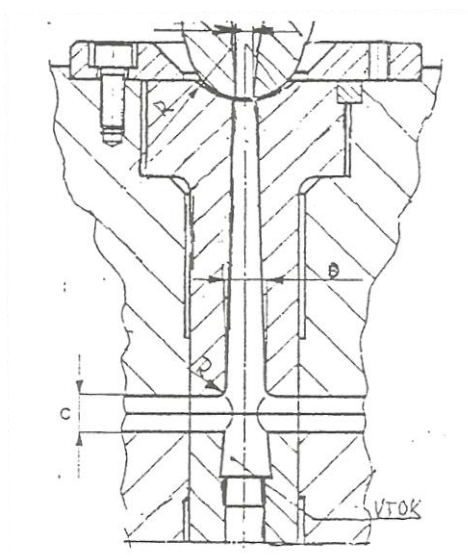


Obr. 15. Části vtokového systému [13].

4.2.1 Vtokový kanál

Nejvíce používaným typem je vtok ve tvaru kužele vytvořený uvnitř vtokové vložky. Vtoková vložka je velmi tepelně a mechanicky namáhána. Je vyráběna z pevné, houževnaté a ořezuvzdorné oceli s následným tepelným zpracováním (na tvrdost 58 HRC). Tomuto požadavku vyhovují oceli třídy 19, např. 19 435, 19 581, 19 572.

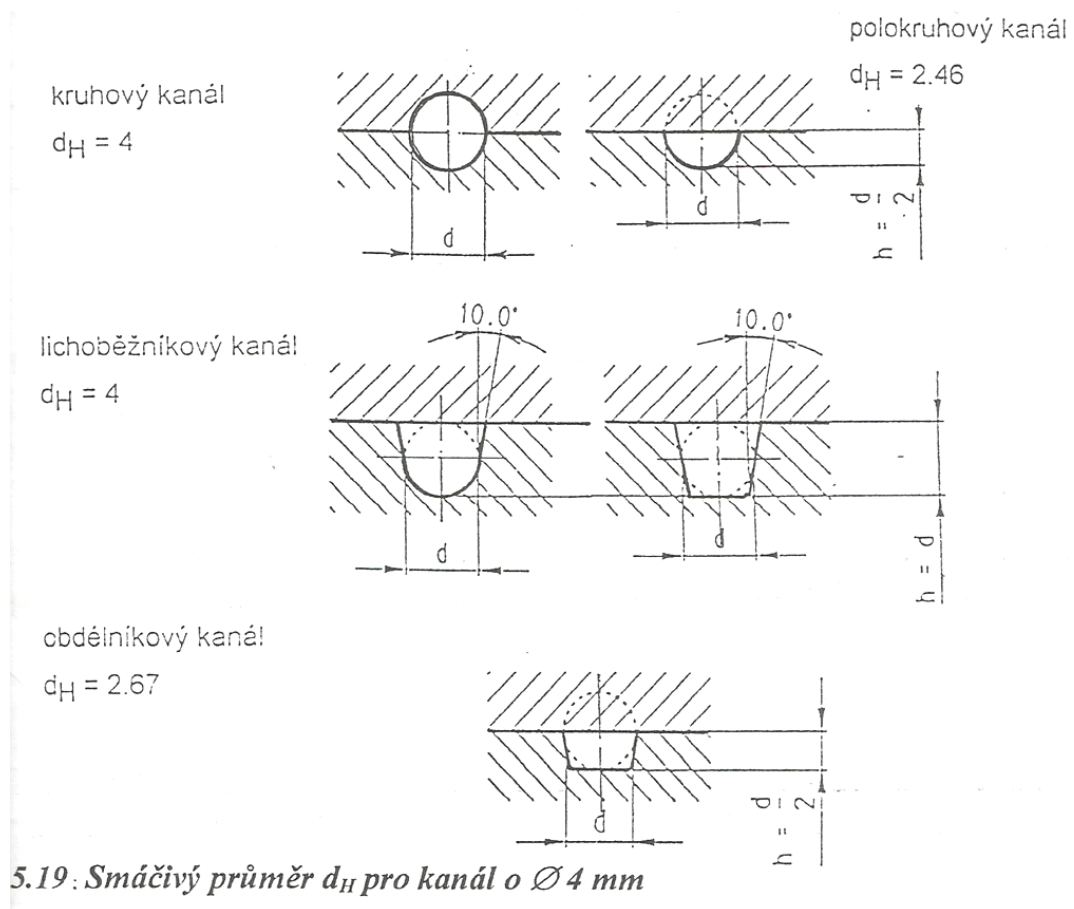
Průměr vtokového kanálu na straně trysky stroje je min. o 0,5 až 1 mm větší, než je průměr otvoru trysky vstříkacího stroje. Na opačné straně největší průměr kanálu má být větší min. o 1,5 mm, než je největší tloušťka výstřiku, nebo stejný se šířkou rozváděcího kanálu. Vnitřní povrch vtokového kanálu je leštěný na drsnost 0,5 Ra, s minimálním úkošem $1,5^\circ$ a ostrou hranou vyústění otvoru v místě napojení trysky [11].



Obr. 16. Vtokový kanál s tryskou stroje a přídržovačem vtoku [11].

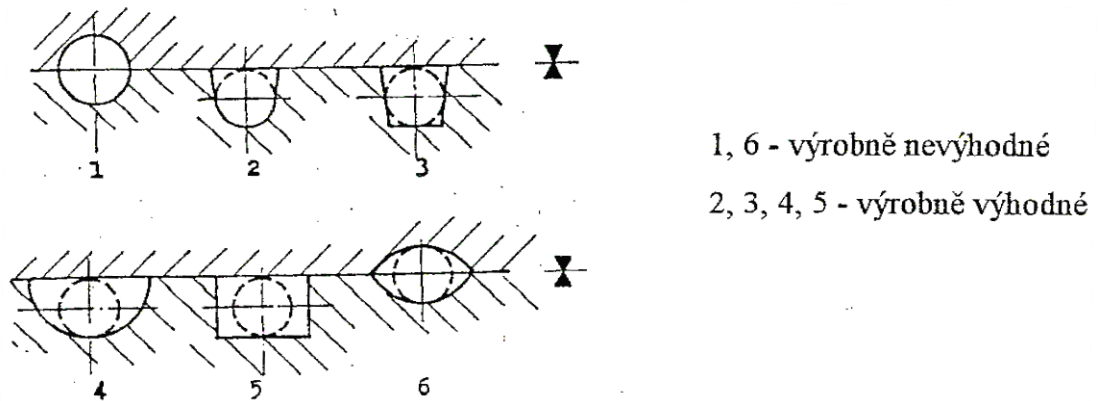
4.2.2 Rozváděcí kanál

Úkolem rozváděcího kanálů je spojení vtokového kanálů s ústím vtoku do dutiny formy. Jejich délkové rozměry jsou dány typem formy a násobností. Při návrhu průřezů rozváděcích kanálů je přihlédnuto k charakteru výstřiku, tloušťce stěn, době dotlaku, reologických vlastnostech taveniny atd. Vzhledem ke složitosti výpočtů a stanovení rozměrů rozvodných kanálů, je využíváno empirických vztahů. Různé tvary průřezů kanálů se odvozují od základního kruhového průřezu pomocí přepočtu na smáčivý průměr (Obr 17.).



Obr. 17. Příklad určení smáčivého průměru d_H pro kanál o průměru 4 mm [11].

Průřez rozváděcích kanálů by měl být dostatečně velký, aby po vyplnění tvářecí dutiny byla tavenina dostatečně plastická a bylo tím umožněno působení dotlaku. Vtokový kanál by si měl zachovat minimální povrch a největší možný průřez. Důležité je také přihlédnout k výrobním možnostem (Obr. 18.).



Obr. 18. Obecné zásady volby vtokového systému - průřezy vtokových kanálů [11].

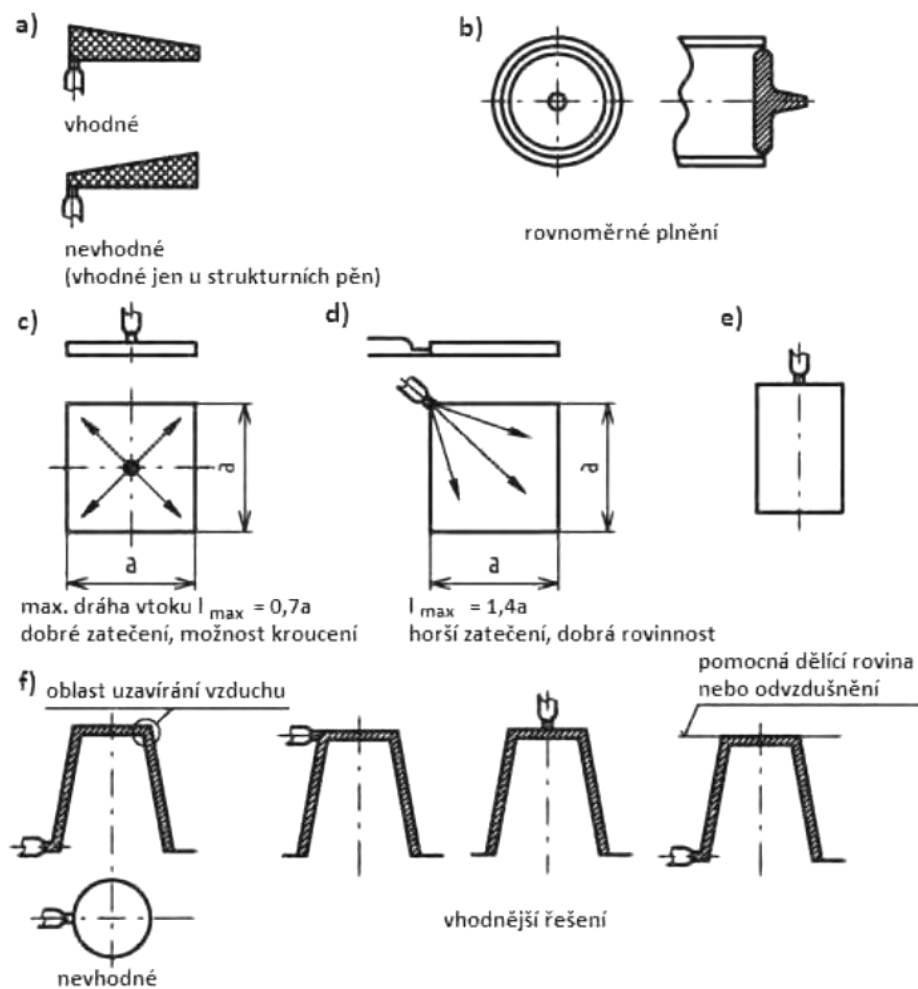
4.2.3 Vtokové ústí

Průměr vtokového ústí se volí co nejmenší dle charakteristiky výstřiku. Vtokové ústí je vytvořeno zúžením rozváděcího kanálu a jen ve zcela výjimečných případech bývá nezúžené. Zúžením se dosáhne zvýšení klesající teploty taveniny před vstříknutím do tvarové dutiny a musí být takové, aby bylo dosaženo úplného zaplnění dutiny.

Při návrhu vtokového ústí je třeba respektovat následující zásady:

- při plnění výstřiku z jedné strany, by mělo být čelo taveniny přímkové. Toho je dosaženo filmového vtoku, případně použitím bočních nebo tunelových vtoků
- u obdélníkového tvaru výstřiku se umístí ústí do kratší hrany [11]

Správné umístění vtokového ústí má značný vliv na vzhled a kvalitu výstřiku. Příklady vhodného i nevhodného umístění jsou znázorněny na (Obr. 19.).



Obr. 19. Obecné zásady volby vtokového systému - průřezy vtokových kanálů [13].

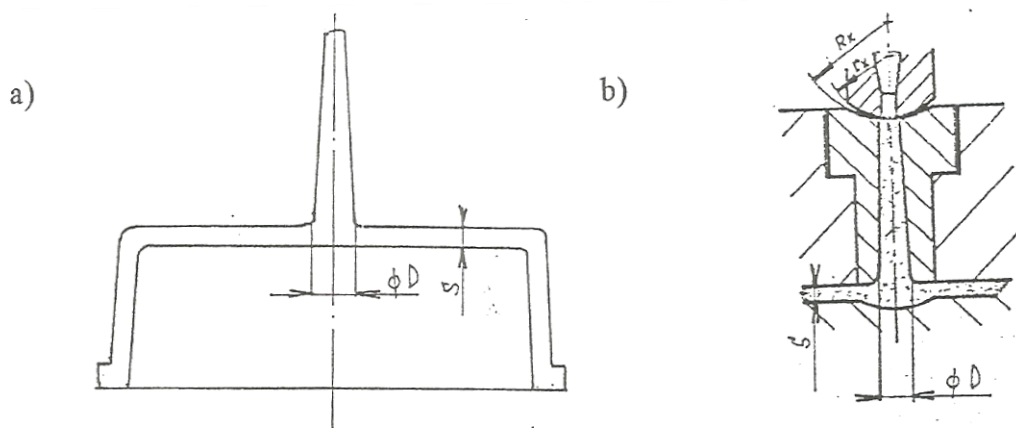
Vtokové ústí bývá umístěno:

- do nejtlustšího místa výstřiku. Tavenina má téci vždy z místa většího průřezu do míst s menším průřezem
- do geometrického středu dutiny tak, aby tavenina zatékala do všech míst rovnoměrně
- u výstřiku s žebry má tavenina proudit ve směru jejich orientace
- mimo místa velkého namáhání nebo opticky činných ploch výstřiku
- s ohledem na možnost úniku vzduchu z tvarové dutiny
- s ohledem na zamezení volného toku taveniny a tím turbulentního plnění dutiny [11]

Mezi základní typy vtokových ústí patří:

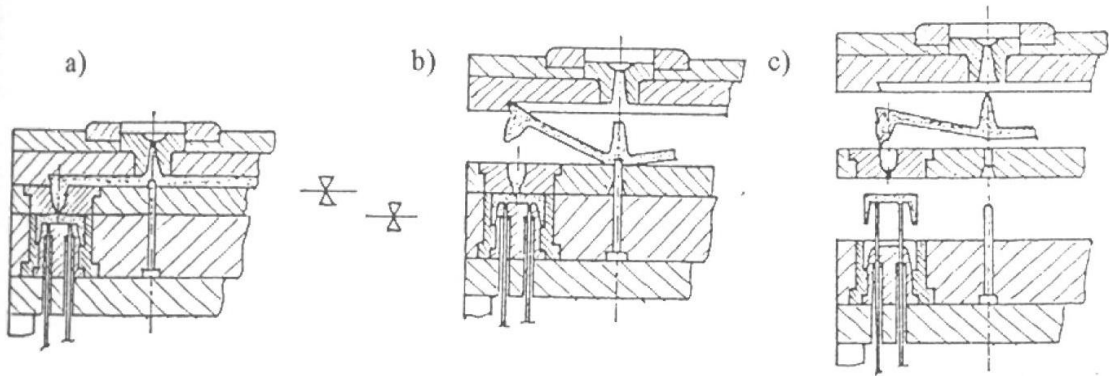
- plný kuželový
- standardní boční
- bodový
- kotoučový
- deštníkový
- štěrbinový
- mečový
- kruhový
- tunelový

Plný kuželový vtok-slouží k přímé dopravě taveniny z vtokové vložky do dutiny formy. Je používán zejména pro jednonásobné formy se symetricky uloženou dutinou a tlustostěnné výrobky. Působení dotlaku je velmi účinné, jelikož vtok zatuhne jako poslední. Technologickou a estetickou nevýhodou plného kuželového vtoku je nutnost jeho odstranění z výrobku. Řez plným kuželovým vtokem je znázorněn na (Obr. 20.).



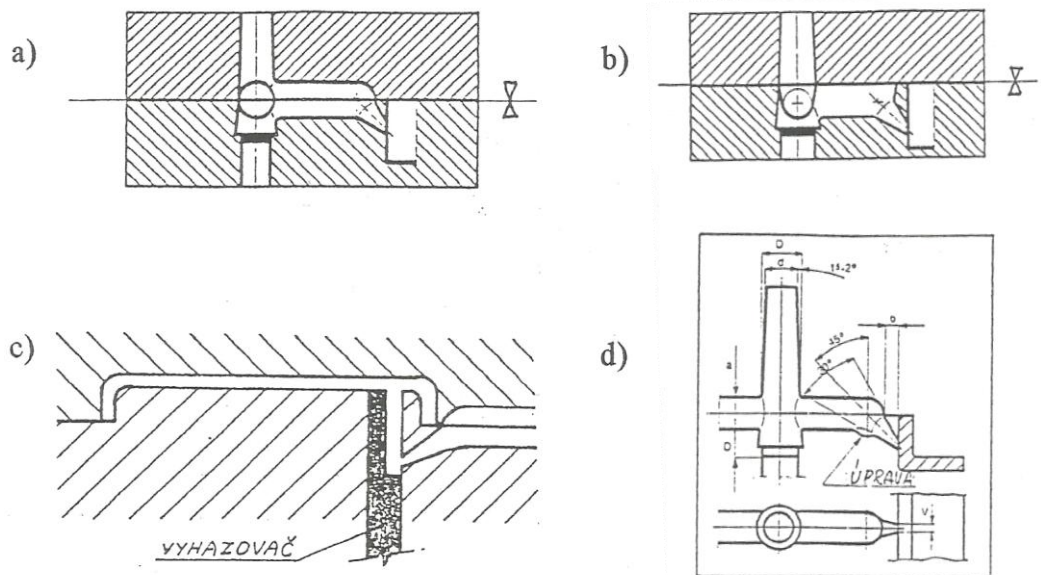
Obr. 20. Plný kuželový vtok, a) výstřík s plným kuželovým vtokem, b) čoučkovité vybrání v dutině výstříku [11].

Bodový vtok - je nejznámější typ zúženého vtokového ústí kruhového průřezu, který leží mimo nebo i v dělicí rovině. Může vycházet přímo z vtokového kanálu, z předkomůrky nebo z rozváděcích kanálů. Vyžaduje systém třídeskových forem (Obr. 21.). U tohoto typu musí být zajištěno, aby nejprve došlo k odtržení vtokového ústí a teprve potom k otevření formy v dělicí rovině s tvarovou dutinou [11].



Obr. 21. Způsob vyhazování vtoku a výstříku u třídeskové formy, a) po vstříku, b) utržení vtoku, c) vyhození vtoku a výstříku [11].

Tunelový vtok - je specifický tím, že vtokový zbytek leží ves stejné dělicí rovině jako výstřík a bývá umístěn v pohyblivé i pevné části formy. Díky tomu není nutné konstruovat formu s více s několika dělicími rovinami. Pro snadné odformování je důležitá existence hrany oddělující zatuhnutý vtokový systém od výstříku. K oddělení vtokového zbytku dochází při otevírání formy nebo při vyhození výstříku. Vtoková soustava tunelového vtoku musí obsahovat také přidržovat vtoku s příslušným vyhazovačem. Příklady provedení tunelového vtoku jsou znázorněny na (Obr. 22.).



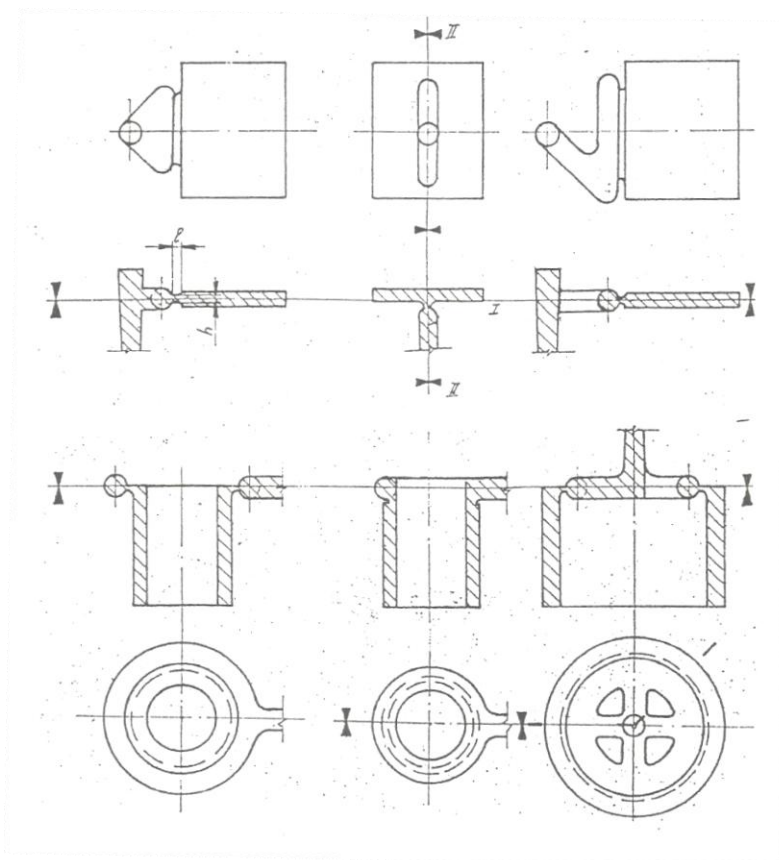
Obr. 22. Tunelový vtok, a) rozváděcí kanál v obou polovinách formy, b) rozváděcí kanál i dutina v jedné polovině formy, c) zaústění do nálitku, d) zlepšená úprava [11].

Filmový vtok -je nejpoužívanější ze skupiny bočních vtokových ústí hlavně k plnění kruhových a trubicových dutin s vyššími požadavky na kvalitu. K nim se ještě řadí vtoky diskové, prstencové, deštníkové a další (Obr. 23.) [11].

Od filmového vtoku se vyžaduje:

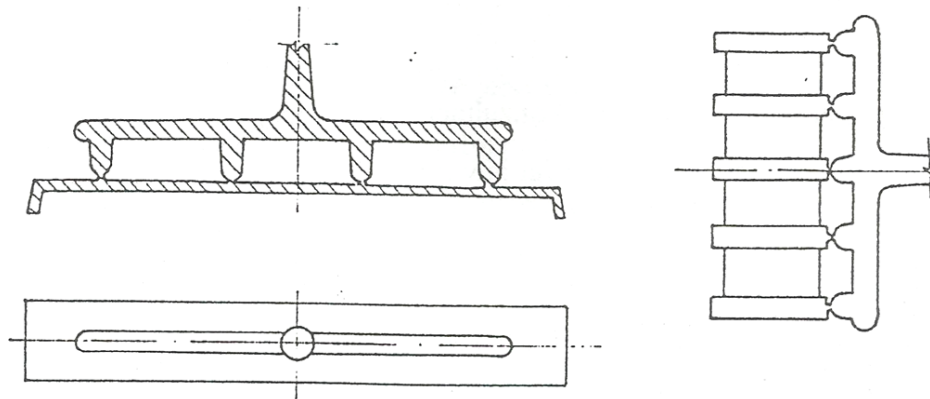
- dodržení rovinnosti, přímosti, přesnosti tvaru výstřiku
- malé vnitřní pnutí
- odstranění studených spojů
- vyvážení tlaku, kterým proudící tavenina působí na jádra nebo zálisky
- zmenšení rychlosti taveniny vstupující do dutiny formy
- zmenšení odporu vtokového systému [11]

Rozvedení taveniny do jednotlivých míst vtokového ústí není rovnoměrné. Tlak klesá s rostoucí vzdáleností od rozváděcího kanálu. To se řeší proměnnou tloušťkou ústí nebo rozváděcího kanálu (i jinými úpravami) [11].



Obr. 23. Různá uspořádání filmového vtoku [11].

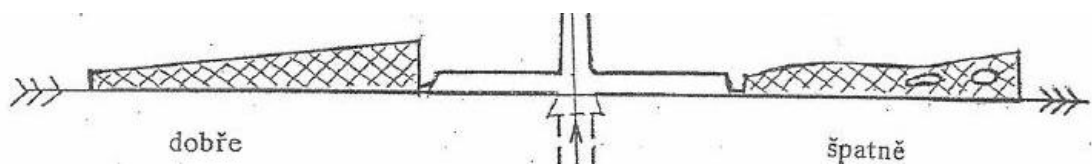
Vícenásobný vtok - je využíván tehdy, pokud tvarová dutina či jiný důvod neumožňuje správné naplnění dutiny jedním vtokem. Při návrhu vtokového ústí je nutné zohlednit množství studených spojů zejména u mechanicky namáhaných výrobků. Použití více vtokových míst má vliv na vznik vzduchových kapes a s tím spojené riziko znehodnocení povrchu výrobku.



Obr. 24. Příklad použití vícenásobného vtoku [11].

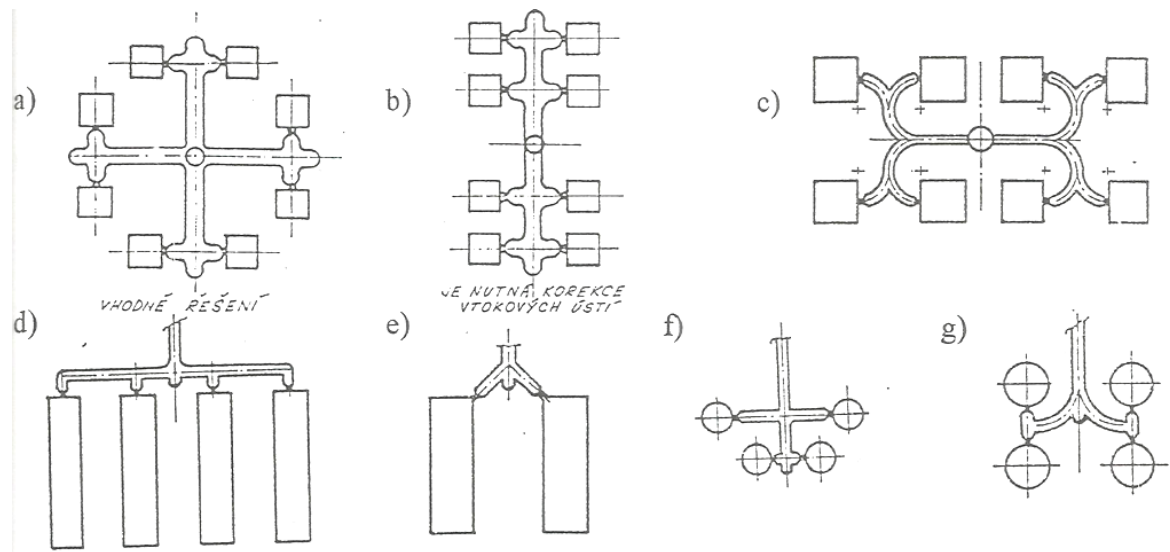
4.2.4 Zásady při návrhu vtokové soustavy

Základním požadavkem pro uspořádání je dodržení tzv. kuželového principu (Obr. 25.). Vtok by měl být pokud možno směřován do nejtlustšího místa (stěny) výlisku, a to jak u termoplastů, tak i u reaktoplastů. Po vstřikování s nadouvadlem do nejslabšího místa výlisku [12].



Obr. 25. Kuželový princip [12].

Zajištění stejně dlouhé dráhy toku ke všem tvářecím dutinám kvůli zajištění rovnovážného plnění. Průřez vtoku, jeho počet a vyústění do dutiny ovlivňují velikost vnitřního pnutí a existenci míst s nižší pevností. Ta je způsobena setkáním čel částečně ochlazené taveniny a její následné zatuhnutí. Účelem je tedy zajištění naplnění dutiny jedním vtokem a tím snížením počtu studených spojů.



Obr. 26. Obecné zásady volby vtokového systému (a, c, e, f, g - vhodné řešení), (b, d - nutná korekce vtokového ústí [11]).

Mezi další zásady při návrhu vtokového systému patří:

- u vícenásobných forem volit odstupňování průřezů kanálů pro zachování stejné rychlosti taveniny
- zaoblení veškerých ostrých hran minimálně na hodnotu $R = 1 \text{ mm}$
- pro snadné odformování stanovit úkosovitost všech vtoků
- povrch vtokového systému leštit ve směru vyjímání výrobku s doporučenou hodnotou drsnosti $0,2 \text{ Ra}$
- pokud to situace dovoluje, zachytit čelo proudící taveniny prodloužením rozváděcího kanálu. Tím je zabráněno průniku chladnějšího čela taveniny do dutiny formy minimalizace povrchových vad
- vyloučit místa, kde dochází k velkému hromadění materiálu
- volit nejlépe kuželový vtokový kanál umístěný ve vtokové vložce

4.3 Vyhazování výstřiků

Vyhazování výstřiků z formy je činnost, kdy se z dutiny nebo z tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí zhotovený výstřík. K tomu slouží vyhazovací zařízení, které doplňuje formu a svojí funkcí má zajišťovat automatický výrobní cyklus [14].

Má dvě fáze:

- dopředný pohyb, vlastní vyhazování

- zpětný pohyb, návrat vyhazovacího systému do původní polohy

Základní podmínkou dobrého vyhazování výstřiku je hladký povrch a úkosovitost jejich stěn ve směru vyhazování. Úkoso-
st nemají být menší než 30°. Vyhazovací systém musí výstřik vysouvat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho přičení, a tím ke vzniku trvalých deformací, nebo k jinému poškození. Umístění vyhazovačů, jejich tvar a rozložení může být velmi rozmanité. Může se jich využít k vytváření funkční dutiny nebo jako část tvárníku. U hlubokých tvarů je třeba počítat s jejich zavzdušněním [14].

Při kontaktu vyhazovacího kolíku zůstane na výstřiku stopa. Pokud je tato stopa nežádoucí je nutné umístit vyhazovač na tu část výstřiku, kde ničemu nevadí. V případě studeného vtoku bývá společně s výstřikem vyhazován i vtokový zbytek.

Pohyb vyhazovacího systému je vyvíjen:

- při otevírání, pomocí axiálně seřiditelného narážecího kolíku, který je opřen o tra-
verzu vstřikovacího stroje
- prostřednictvím pneumatického, nebo hydraulického zařízení, vhodné pro šetrný
způsob vyhazování
- jednoduchým ručním mechanismem, vhodný pro přípravky a zkoušení forem

Zpětná síla je zajišťována:

- kombinací pružiny a jiného systému
- pomocí vratného kolíku
- hydraulické, mechanické či vzduchové zařízení

Potřebná vyhazovací síla je závislá na velikosti smrštění polymeru, tvarové složitosti vý-
střiku, jakosti povrchu a technologických podmínkách. Velikost vyhazovací síly je stano-
vena podle tlaku mezi povrchem dutiny formy a výstřikem, který je způsoben smrštění
polymeru.

4.3.1 Mechanické vyhazování

Je nejrozšířenějším vyhazovacím systémem. Používá se všude tam, kde je to jen možné. Jeho konstrukce má různá provedení, která představují:

- vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků
- vyhazování pomocí stírací desky nebo trubkových vyhazovačů
- šikmé vyhazování

- postupné vyhazování
- speciální vyhazování [21]

Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků - tento systém je výrobně jednoduchý se zaručenou funkčností. Je vhodný pro umístění vyhazovače, který působí ve směru vyhození proti ploše výstřiku. Kolík vyhazovače musí být umístěn tak, aby se opíral o stěnu nebo žebro výstřiku a nedocházelo k jejich borcení a trvalé deformaci. Počet vyhazovacích kolíků je vhodné volit co nejmenší, jelikož velké množství vyhazovacích kolíků ztěžuje návrh a výrobu temperačních kanálů.

Vyhazovací kolíky jsou základním prvkem mechanického vyhazování. Mají být dostatečně tuhé a snadno vyrobitelné. Jsou obvykle válcové. Mohou však mít jakýkoli jiný tvar. Ve formě jsou uloženy v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/j6 podle požadované funkce a tekutosti plastu [14].

Vyhazování stírací deskou - představuje stahování výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu. Vzhledem k velké styčné ploše, nezanechává na výstřiku stopy po vyhazování. Jeho deformace pak jsou minimální a stírací síla velká. Používá se především u tenkostěnných výstřiků, kde je nebezpečí jejich deformace, nebo u rozměrných, které vyžadují velkou vyhazovací sílu. Stírání je vhodné jen tehdy, dosedá-li výstřik na stírací desku v rovině, nebo plocha výstřiku je mírně zakřivena [14].

4.3.2 Vzduchové vyhazování

Tento systém je vhodný pro vyhazování větších tenkostěnných výstřiků, např. nádob. Vzduchovým vyhazováním se zabrání deformacím výstřiků a jedná se o méně častý způsob. Během vyhazování je stlačený vzduch zaváděn mezi výstřik a líc formy. Tím je umožněno rovnoměrného uložení výstřiku od tvárníku, vyloučení nerovnoměrného zatížení a stop po vyhazovačích. Vzduch je přiváděn přes talířový nebo jehlový ventil. Řízení je zajištěno mechanismem formy nebo samotným vstřikovacím strojem.

4.4 Odvzdušnění forem

Odvzdušnění tvarových dutin forem zdánlivě nepatří k dominantním problémům při navrhování forem. Jeho důležitost obvykle vyplyne až při zkoušení hotového nástroje, kdy odvzdušnění může být příčinou nekvalitního vzhledu výstřiku, nebo jeho nízkých mechanic-

kých vlastností. Odvzdušnění lze někdy zhotovit snadno, jindy je však jeho vyřešení obtížné [14].

4.4.1 Vliv technologických parametrů vstřikování na odvzdušnění

Dutina formy je před vstřikováním naplněna vzduchem. Při jejím plnění taveninou je třeba zajistit únik vzduchu a případných zplodin. Čím je větší rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušnění tvarové dutiny [14].

Vstřikovací rychlost má významný vliv na optimální kvalitu výstřiku. Velmi častým jevem při rychlém stlačení vzduchu je tzv. Dieselův efekt. Vlivem vysokého tlaku vzduchu dochází k prudkému ohřátí vzduchu (až několik stovek stupňů celsia) a následnému spálení povrchu výstřiku, kde k tomuto jevu došlo.

Při vstřikování do dutiny formy je tavenina podrobena protitlaku stlačeného vzduchu, jehož velikost je závislá na odvzdušnění. S nižší teplotou, nedostatečným tlakem a rychlosti plnění, může dojít u výstřiku s tenčími stěnami k soustředění vzduchu na protilehlé straně od vtoku. Jestliže vzduch neunikne vlivem protitlaku, způsobí vznik nedotečených míst. U výstřiků s většími tloušťkami stěn může vzduch, který nebyl z dutiny vytlačen, vniknout do taveniny a způsobit vznik bublin

4.4.2 Určení místa pro odvzdušnění

Volba místa pro odvzdušnění ve formě je někdy zřejmá z tvaru výstřiku, jindy však je jen obtížně zjistitelná. Je třeba se řídit úvahou, jakým způsobem a směry naplní proudy taveniny dutinu. To závisí na umístění vtoku, tloušťce stěn a na kvalitativních podmínkách [14].

Správné místo pro umístění odvzdušnění se vytipuje ze zkušeností konstruktéra formy, nebo až po její výrobě a vyzkoušení. Ve druhém případě musí být při konstrukci postupováno tak, aby byla dodatečná výroba odvzdušnění realizovatelná. Správné umístění může být určeno přes spálené, nebo nedotečené místo na výstřiku.

4.5 Chlazení a temperace vstřikovacích forem

Účelem temperačního systému pro temperaci vstřikovacích forem je zajištění vysoké re-produkovatelnosti ohřevu a odvodu tepla z a do formy pro dosažení požadované kvality

výrobku, tedy optimalizaci doby cyklu s ohledem na jakostní požadavky, tvarovou a rozměrovou přesnost, jakost povrchu a jiné.

Temperace tedy ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Při každém vstřiku se forma ohřívá. Každý další výstřik je třeba vyrobit zase při stanovené teplotě. Proto je nutné toto přebytečné teplo během pracovního cyklu odvést temperační soustavou formy [14].

Temperaci můžeme rozdělit na dvě základní metody:

- metoda průběžná médium protéká temperačními kanály po celou dobu provozu)
- neprůběžné metody (pulzní chlazení ATS, jenž využívá dva samostatné vodní okruhy o rozdílné teplotě vody)

U pulzního chlazení je nutné mít k dispozici dostatečně výkonný a efektivní chladicí okruh s úpravnou chladicí vody, případně s rekuperací tepla, které bylo získáno z chladicího systému a zejména dostatečné množství výkonných temperačních přístrojů. V tomto případě je možno u jedné formy pracovat s různými teplotami jejich chladicích okruhů za účelem příznivého ovlivnění jakosti výrobku.

Dokonalejší způsob chlazení a temperace klade též vyšší nároky na návrh formy. Z hlediska konstrukce výstřiku (tloušťky stěn, tvarové prvky jako rohy, žebra, přepážky) a z hlediska konstrukce samotné formy (průměry kanálků, vzdálenosti jejich os mezi sebou a vzdálenosti od stěn formy.

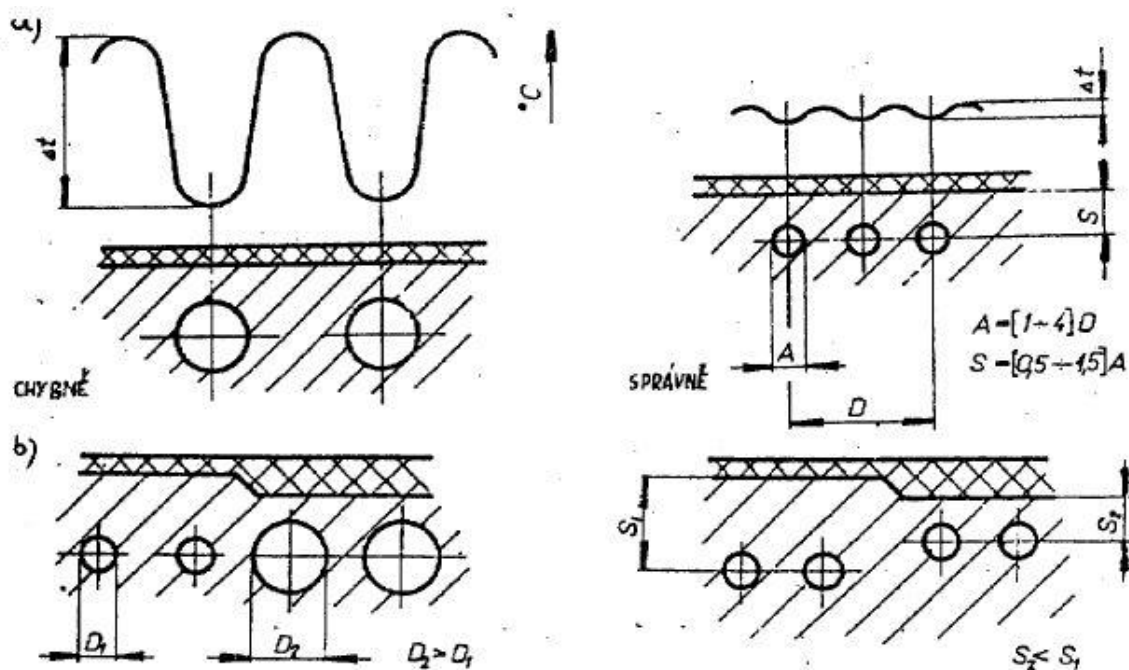
Za účelem dokonalého temperování je temperační systém rozdělen na maximální možné množství okruhů, které jsou zapojeny do sběrného systému. Tyto okruhy jsou zapojeny paralelně co znamená, že voda vstupuje do všech okruhů ve stejném okamžiku a o stejné teplotě. Také je možno používat několik temperačních přístrojů a dosáhnout tak různých teplot

Sběrný systém může být konstruován jako jednoduchý umožňující jen paralelní zapojení. Nebo konstrukčně složitější a vybavené různými typy regulačních prvků, které umožní regulaci množství průtoku temperační vody a její rozdělení dle teploty pro několik okruhů.

Během konstrukce formy je samozřejmostí použití materiálů, které mají vysokou tepelnou vodivost za účelem dostatečného odvodu tepla z těchto částí formy.

4.5.1 Obecné zásady volby temperačních kanálů

Rozměry a rozmístění temperačních kanálů a dutin, se volí s ohledem na celkové řešení formy. Vzdálenost kanálu od funkční dutiny má být optimální. Je třeba dbát na dostatečnou pevnost a tuhost stěny funkční dutiny. Povrch temperačních kanálů slouží jako přestupová plocha pro teplo přestupující z formy do temperačního media, nebo opačně. Je lepší použít větší počet menších kanálů s malými roztečemi, než naopak, jak je znázorněno na (Obr. 27.)



Obr. 27. Vliv rozmístění temperačních kanálů, a) vliv rozmístění kanálků na průběh teploty povrchu tvárnice, b) chlazení vylisku o různé tloušťce stěny [13].

Průřez kanálu je volen podle druhu polymeru, velikosti rámu formy a výstřiku. Nejčastěji je používán kruhový průřez.

Při volbě temperačního systému je třeba dodržovat tato pravidla:

- kanály umístit v optimální vzdálenosti od tvarové dutiny formy při zachování její dostatečné tuhosti
- kanály umístit a dimenzovat tak, aby teplo bylo intenzivně odváděno z míst, kde je forma ve styku s proudem vstříkované taveniny
- průtok chladicí kapaliny regulovat tak, aby při chlazení proudila od nejteplejšího k nejchladnějšímu místu formy, u ohřívání naopak
- průřez kanálů volit z výrobních důvodů kruhový, je však možné volit i jiný průřez

- kanály mají procházet celistvým materiálem formy
- po cestě temperačního media se nemají vytvářet mrtvé kouty
- průměr kanálů nemá být menší než 6 mm z důvodu zvýšeného rizika usazování nečistot [14]

Typy a vlastnosti používaných temperačních medií jsou uvedeny v (Tab. 1).

Tab. 1. Temperační media jejich vlastnosti.

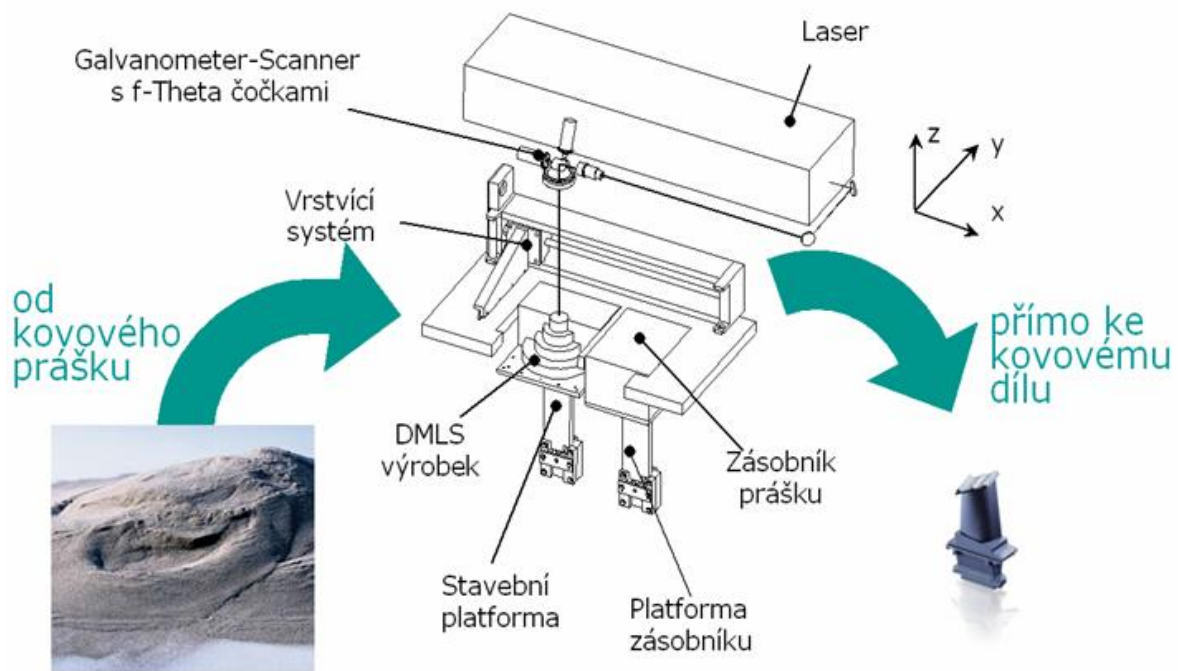
typ	výhody	nevýhody
voda	vysoký přestup tepla, ekologická nezávadnost, nízká viskozita a cena	použitelné do 90°C, vznik koroze, usazování kamene
oleje	možnost temperace nad 100°C	zhoršený přestup tepla
glykoly	omezení koroze a ucpávání systému	stárnutí, znečišťování prostředí

4.5.2 Využití technologie DMLS

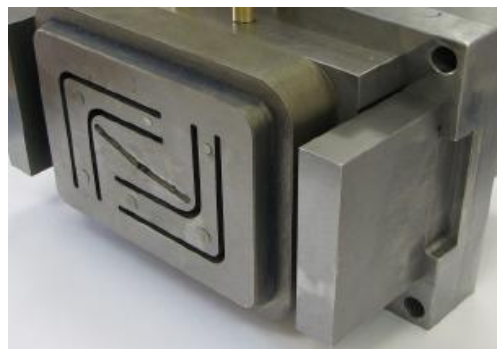
Technologie DMLS (Direct Metal Laser Sintering) je používána pro výrobu kanálků o malých průměrech. U toho způsobu chlazení je však nutností použití temperační vody o vhodném složení, u které nedochází při teplotách nad 60°C k vysrážení vodního kamene. To může způsobit ucpávání kanálků a značné snížení efektivity chlazení. Této technologii se využívá u výroby konformního chlazení.

Při návrhu formy je využíváno matematické simulace, které umožňují před výrobou formy lépe optimalizovat její parametry, které významně ovlivňují jakost. Během této simulace se vyhodnocují deformace a díky tomu se odhalí případné nesprávně navržené části konstrukce formy.

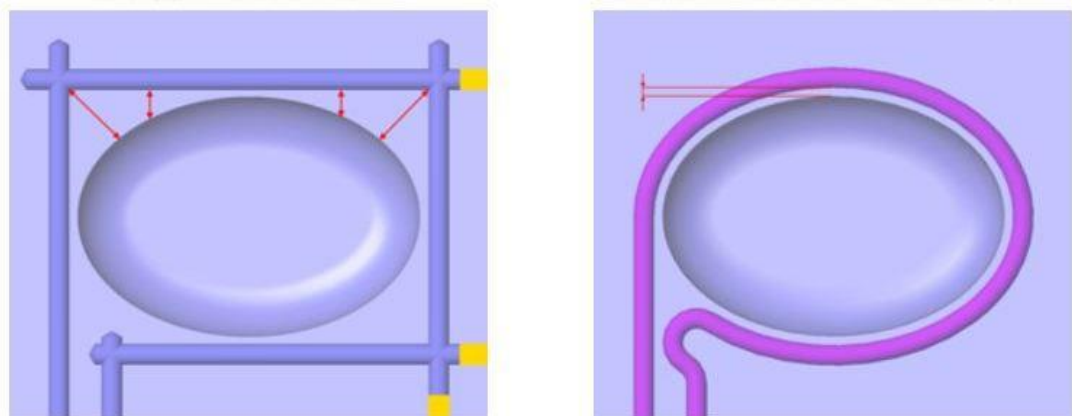
Pro zajištění kvality vstřiku a zdokonalení řízení procesu vstřikování, je využíváno tepelné monitorování procesu pomocí technologie IR Thermo Control (infračervené bezdotykové termokamery). Tato technologie umožňuje okamžitou detekci tepelných chyb.



Obr. 28. Schéma technologie DMLS [8].



Obr. 29. Sériová forma s konformním chlazením [8].



Obr. 30. Srovnání vrtaného chladičského okruhu (vlevo) a inovativního konformního chlazení (vpravo) [8].

4.6 Materiály využívané pro konstrukci forem

Formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiků se od nich vyžaduje dosažení požadované kvality, životnosti a nízkých pořizovacích nákladů. Výběr materiálu je ovlivněn druhem vstřikovaného plastu, přesností a jakostí výstřiku, podmínkami vstřikování a vstřikovacím strojem [14].

Používané materiály musejí splňovat provozní požadavky v optimální míře. Mezi tyto materiály patří univerzální typy s širokými užitnými vlastnostmi.

Mezi tyto druhy materiálů patří:

- oceli požadovaných jakostí
- slitiny neželezných kovů (Al, Cu...)
- ostatní kovové i nekovové materiály (tepelné nevodivé a izolační)

Oceli jsou daleko nejvýznačnějším druhem používaných materiálu na výrobu forem. Svou pevností a dalšími mechanickými vlastnostmi se dají jen obtížně nahradit [14].

4.6.1 Druhy ocelí používané pro výrobu forem a jejich vlastnosti

Výběr vhodných ocelí je předepsán normou ČSN 228806 a návrhem její změny ON 228804. V konkrétním případě je druh oceli určen podle funkce formy. Pro předpoklad dostatečné životnosti a funkčnosti, je účelná konstrukce, dostatečné rozměry, způsob výroby a tepelné zpracování, správné zacházení a údržba. Kvalita povrchu formy musí být taková, aby bylo zajištěno snadné vyjímání, za tímto účelem je povrch vyleštěn.

Na materiál forem jsou kladeny tyto požadavky:

- dostatečná mechanická pevnost
- dobrá obrobiteľnosť
- dobrá leštiteľnosť a obrusiteľnosť
- zvýšená odolnosť proti oděru
- odolnosť proti korozi a chemickým vlivům plastu
- vyhovující kalitelnost a prokalitelnost [14]

Tab. 2. Oceli vhodné pro konstrukci forem.

použití	nástrojové oceli	nástrojové a konstrukční oceli	tvrdost [HRc]
tvárník, tvárnice, vložky a jádra	19191, 19312, 19452, 19550, 19665	12010, 14220, 14340, 15340, 17029, 19015	55-57
vtokové vložky	19312, 19452, 19581	14340, 15340, 19486	56-58
vyhazovače, trny	19191, 19312, 19732		55-57
vodící sloupky, kolíky a pouzdra	19083, 19191, 19314, 19486, 19487	14220, 19486, 19487	60-62
desky rámu a objímky	15260, 19083, 19550	11373, 11600, 12060	50-54
dorazy	19083, 19312, 19550	12060	50-54
opěrné desky		12050, 12060, 12061	50-54
pružiny šroubové a listové		12090, 12093, 13180	43-48
součásti pro tváření závitů	19312, 19452, 19732		
kotevní desky	19487, 19 520	11500, 11600	
rozpěrky, dorazy, desky, šroubení		11373, 11375, 11500, 11700, 12050, 12060	

4.6.2 Neželezné kovy a jejich slitiny

Vzhledem ke svým specifickým vlastnostem, najdou tyto materiály své využití u některých částí vstříkovacích forem. V některých fyzikálních vlastnostech předčí i železné kovy. Patří sem zejména slitiny mědi a slitiny hliníku.

Vlastnosti neželezných kovů:

- velmi dobrá tepelná vodivost
- dobrá chemická odolnost
- dobré kluzné vlastnosti [14]

Slitiny mědi se nejčastěji používají pro konstrukci funkčních částí formy za účelem výrazného zkrácení chladicího cyklu (20 až 50 %). Dále pro díly vtoku, součásti chlazení a izolací. Nevýhodou slitiny mědi je jejich horší opracování elektroerosivními metodami a snížena životnost formy z důvodu nižší pevnosti materiálu.

Pro tyto účely se používají následující Cu slitiny: CuSiNi, CuAlFeMn, CuAlFeNi

Slitiny hliníku mají své speciální použití tam, kde není vyžadována vysoká pevnost materiálu. Patří sem např. formy pro strukturní pěny, kde je nezbytný intenzivní chladicí účinek, antikorozi a chemická odolnost.

Mezi používané nejčastěji Al slitiny patří: 424203.6, 424331, 424382

5 ZÁSADY PŘI NÁVRHU VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

Konstrukční návrh součásti z plastu se řídí zcela jinými zásadami, než u součástí kovových. Při její výrobě musí konstruktér zvažovat, co všechno se během vstřikování dílu plastu bude dít. Pro realizaci plastových součástí jsou dány určité meze konstrukčních tvarů a jejich vlastnosti, které by se neměly přeskočit, jinak vzniknou při výrobě problémy. Všeobecně platí, že čím jednodušší je součást, tím výhodnější jsou její pevnostní podmínky, snadnější dodržení rozměrů, lacinější výroba a jednodušší výroba výstřiků [11].

5.1 Vliv na jakost plastových výrobků

Součásti z plastů nelze vyrobit v takové jakosti jako kovové. To proto, že na ně působí množství různých činitelů, které ovlivňují. Jsou to materiál, výrobní technologie s optimalizací svých parametrů, forma a její kvalita. Jejich vlivem se pak vyrobí výstřik jen určité kvality, do které se počítá přesnost výstřiku, jakost jeho povrchu a užité vlastnosti [11].

Hlavní činitelé, kteří ovlivňují jakost:

- smrštění při zpracování, které se pro daný plast uvádí v určitém rozmezí. Záleží tedy na druhu plastu, konstrukci součásti i na technologii vstřikování. Smrštěním je ovlivněna především přesnost výrobku
- dodatečné smrštění bývá několikanásobně menší, než smrštění při ochlazení ve formě. Probíhá delší dobu (týdny až měsíce). Příčinou je pozvolné uvolňování vnitřního pnutí, vzniklého při vstřikování a časově závislé struktury
- tečení (krip) vznikne při větším a dlouhodobějším silovém zatížení součásti. Projeví se plastickou deformací. U semikrystalických plastů je větší, než u amorfních
- teplotní roztažnost je přibližně o řád větší, než u kovů. Je však změnou vratnou
- navlhnutím se mění rozměry podle sorbce vody z okolního prostředí. Při vysušení se rozměry opět zmenší [11]

Rozměry součásti patří k hlavním ukazatelům jakosti. Jsou stanoveny podle potřebné funkce výrobku a s přihlédnutím na vlastnosti plastu. Přesnost je vhodné dávat takovou, aby byla přiměřená a zbytečně nezvyšovala náklady související s výrobou formy a dodržením požadovaných tolerancí. Přesnost tolerovaných rozměrů je stanovena dle normy ČSN 014265, pro netolerované rozměry platí norma ČSN 640006.

Důležitým znakem jakosti je také kvalita povrchu součásti. Povrch součásti může být upraven dezénem, vhodným zbarvením apod. Případně mohou být součásti matné,

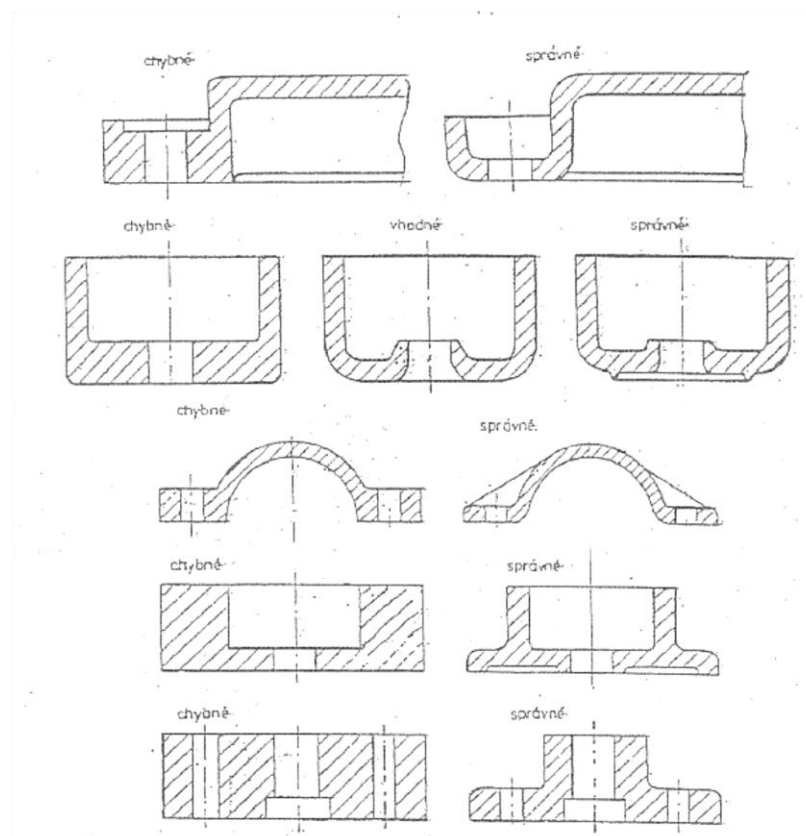
transparentní, s různou hladkostí a leskem povrchu. Jakost povrchu je primárně ovlivněna povrchem dutiny formy.

5.2 Požadavky kladené na konstrukci výrobků

K základním podkladům pro konstrukci formy slouží výkres vyráběné součásti. Její tvar má být řešen nejen z funkčního a ekonomického hlediska, ale musí se přihlídnout i k způsobu její výroby. Součást z plastu má splňovat pravidla a směrnice pro její zaformování, které obsahují normy ČSN 640008 A ČSN 640031 [11].

5.2.1 Tloušťka stěny a celková konstrukce součásti

Tloušťka stěny je závislá na dráze toku plastu. V úzké dutině dochází k rychlému ochlazení a tuhnutí. Naopak, tlusté stěny vyžadují delší dobu ochlazování. Vlivem rozdílných tlouštěk stěn dochází k nerovnoměrnému tuhnutí, jehož příčinou vznik vnitřního pnutí, propadlin, lunkrů a různých povrchových vad.



Obr. 31. Lisotechnické úpravy tlouštěk stěn [13].

5.2.2 Zaoblení hran, rohů a koutů

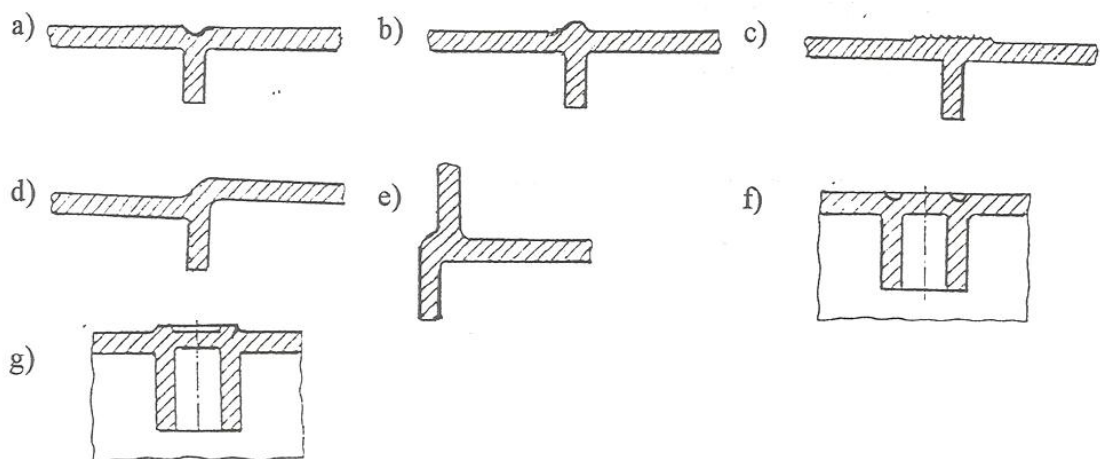
Zaoblením se usnadní tok taveniny, zabrání se koncentraci napětí v těchto místech a sníží se i opotřebení formy, protože přechody s ostrými hranami vyžadují vyšší vstřikovací tlaky. Rázová houževnatost součásti se tím zvýší až o 50 % [11].

5.2.3 Úkosy a podkosy

Jedná se o plochy výstřiku, které jsou skloněny k dělicí rovině pod úhlem. Úkosy usnadňují vyjímání a podkosy zabraňují vyjímání výrobku z dutiny formy. Volba jejich velikosti je závislá na požadované funkci, elasticitě plastu, povrchu stěn formy a především smrštění plastu. Uspořádání se rozděluje na vnitřní a vnější. Použití podkosů, vyjma těch technologických, není vhodné, jelikož komplikují konstrukci formy.

5.2.4 Žebra

Žebra se dělí podle účinku, který plní na součásti, případně v dutině formy. Technická žebra zabezpečují pevnost a tuhost součásti. Technologická zase umožňují optimální plnění dutiny formy, nebo brání zborcení stěn, případně odstraňují předpokládaný vznik povrchových vad. Někdy se volí žebra i tak, aby zlepšila vzhled výrobku. Vhodné konstrukce žebek a způsoby odstranění závad na výstřiku jsou znázorněny na (Obr. 32.).



Obr. 32. a), f) -závady;b), c), d), e), g) - konstrukční způsoby odstranění závad [11].

5.2.5 Otvory a drážky

Je doporučena volba takových drážek a otvorů, které by při výrobě činily nejmenší potíže. Důležitá je jejich poloha vůči dělicí rovině vzhledem k zaformování. Ke zhotovení drážek a otvorů, které jsou kolmé na dělicí rovinu, se používají čelisti, nebo výsuvná jádra. Drážky a otvory ve směru zaformování jsou jednoduché na výrobu a jsou vytvářeny pomocí pevných kolíků a trnů, jejichž průměr by neměl klesnout pod 1 mm. Slepé díry by měly mít maximální hloubku pětinasobnou vůči svému průměru. Průchozí díry, jejichž trn je opřen z obou stran, mohou být podstatně delší. Při větším počtu děr je nutné brát ohled na jejich rozteče, aby nedošlo k popraskání stěn mezi nimi, a také na místa studených spojů. Studené spoje mají za následek snížení pevnosti materiálu v daném místě. Vyhýbáme se také kuželovým zahloubení pro hlavy šroubů kvůli nevhodnému rozložení tlaku na namáhanou plastovou součást [11].

5.2.6 Rýhování, okraje, obruby a velké rovinné plochy

Rýhování, používané u různých držáků a ovládacích prvků, má být lehce zaformovatelné. Křížové rýhování činí při vyhazování velké potíže. Proto se používá podélného rýhování s různým osazením a kuželovými stěnami. Okraje a obruby umístěné v dělicí rovině se často vyztužují. Velké rovinné plochy nejsou vhodné a je třeba je členit, nebo patřit žebry. U rotačních tvarů se zhotoví s konkávním nebo konvexním klenutím [11].

5.2.7 Závity na plastových dílech

Vnější závity jsou vyráběny ve formě pomocí dělených čelistí a jsou bez komplikací odformovatelné. Nedělené, nejčastěji vnitřní závity, je nutné z formy vytáčet. Jde o pracný a složitý způsob výroby pomocí trnů, které se před vyhozením výstřiku z formy vyšroubují mimo formu za pomoci vytáčecích mechanismů. Je doporučeno, aby začátek závitu nezačínal na okraji součásti, jelikož hrozí ulomení jeho ostré části. Začátek závitu má být zaoblen a umístěn ve vhodné vzdálenosti od okraje. Menší průměry závitů s jemným stoupáním je vhodné zhotovit dodatečně po vyrobení součásti do předem připravených otvorů.

5.2.8 Zálisky a vložky z kovových materiálů

Úkolem zálisků a vložek z kovových materiálů, je zpevnění součásti, zajištění rozměrové stability, vyztužení a realizace spojení s ostatními díly. Zajišťují se proti otáčení a vytažení tvarováním, zápichy různého provedení. Technologie zastříknutí kovových zálisků má však některé nevýhody. Jsou problémy s automatizací výroby, i pracnost je větší. Vzniká

napětí v plastu z důvodu vyššího koeficientu teplotní roztažnosti plastu oproti kovovým dílcům. To vyvolává nebezpečí vzniku trhlin. Z tohoto důvodu musí být kolem zálisku dostatečná tloušťka stěny z plastu, a také zálisek nesmí ležet blízko okraje. Nebezpečí vzniku trhlin se předchází předehřevem zálisku, úpravou jeho tvaru, zvětšením tloušťky stěn kolem něho, volbou plastu s nižším smrštěním a bez sklonu k vnitřnímu pnutí [11].

5.2.9 Nápisy a značky

Ve většině případů jsou zhotoveny přímo ve formě pomocí nejrůznějších způsobů. K výrobně nejjednodušším patří vystouplé nápisy a značka, ale ty patří k účelově nejméně vhodným. Dalším způsobem zhotovení značky je její zapuštění, které však představuje náročnější výrobu formy. Nejvhodnějším způsobem je kombinace vystouplého místa a zahloubení, které nepřesahuje nad povrch.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍL DOPLOMOVÉ PRÁCE

Hlavním cílem diplomové práce je navrhnout formu pro malosériovou výrobu rámečku zrcátka automobilové sluneční clony. Při návrhu byla využita dostupná literatura, 3D software a zkušenosti při konstrukci forem podobných součástí. Forma bude vymodelována s použitím programu CATIA V5R19. Z modelu byl vyhotoven 2D výkres sestavení s příslušnými pohledy, řezy a pozicemi modelových součástí. K vytvoření normalizovaných prvků bude použito normálií z katalogu HASCO.

Výsledný návrh vstřikovacího procesu a bude simulován v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016.

7 POUŽITÉ PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

7.1 Catia V5R19

Jedná se o CAx software, který byl vyvinut společností Dassaut Systèmes. Computer Aided Three Dimensional Interactive Application - ve zkratce CATIA, je víceúčelový, integrovaný systém počítačového návrhu. Tento program je silně zastoupen zejména v automobilovém průmyslu pro široké možnosti při tvorbě ploch, ale své uplatnění najde i při návrhu vstřikovacích forem, simulaci namáhání součástí či obrábění.

7.2 Normálie HASCO

Katalog rakouské společnosti HASCO AUSTRIA GmbH nabízí rozsáhlé množství normalizovaných - standardizovaných součástí pro stavbu forem a nástrojů. Katalog obsahuje 3D i 2D dokumentaci součástí, jako jsou šrouby, podložky, vyhazovače, desky, vodící čepy a pouzdra, ale i vtokové soustavy a celé konstrukční skupiny. Data je možné exportovat do několika nabízených formátů a umístit do modelové sestavy či výkresu.

7.3 Autodesk Moldflow Synergy 2016

Pro simulace procesu vstřikování byl vybrán program Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Produkt společnosti Autodesk slouží jako nástroj digitálního prototypování k tvorbě a simulaci, vyhodnocení a optimalizaci vstřikovacího procesu. Výhodou tohoto programu je jeho přehlednost, velké možnosti v nastavení parametrů a uživatelsky příjemné prostředí programu. Produkt společnosti Autodesk je široce využíván v různých odvětvích průmyslu, zejména v automobilovém, spotřební elektronika a všude tam, kde jsou vyráběny výrobky z polymerů a je požadována optimalizace vstřikovacího procesu a snížení výrobních nákladů.

8 MODEL A MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU

8.1 Model výrobku

Model výrobku byl vymodelován v programu Catia V5R19. Pro zjednodušení a zkrácení výpočtu však byly smazány radiusy menší než 1 mm. Model byl následně uložen do formátu *.stp a použit pro analýzu v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016.



Obr. 33. Model výrobku v prostředí programu Catia V5R19.

8.2 Vstřikovaný materiál

Materiál byl volen podle požadavků zákazníka tak, aby splňoval standardy požadované kvality povrchu, životnosti, odolnosti proti UV záření, zdravotní nezávadnosti a mechanických vlastností. Byl vybrán materiál PC/ASA, konkrétně Bayblend W90 XG od firmy Bayer Material Science.

Tab. 3. Vlastnosti materiálu Bayblend W90 XG.

Bayblend W90 XG	
typ materiálu	PC/ASA
obchodní název	Bayblend W90 XG
výrobce	Bayer Material Science
doporučená teplota formy	70 [°C]
doporučená teplota taveniny	260 [°C]
doporučená teplota při vyhazování	112 [°C]
modul pružnosti	2830 [MPa]
maximální velikost smykového napětí	0.4 [MPa]
maximální velikost smykové deformace	50000 [s ⁻¹]
hustota	1138 [kg/m ³]
index toku taveniny při T = 260 [°C], m = 5 [kg]	38,7 [g/10 min]

9 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

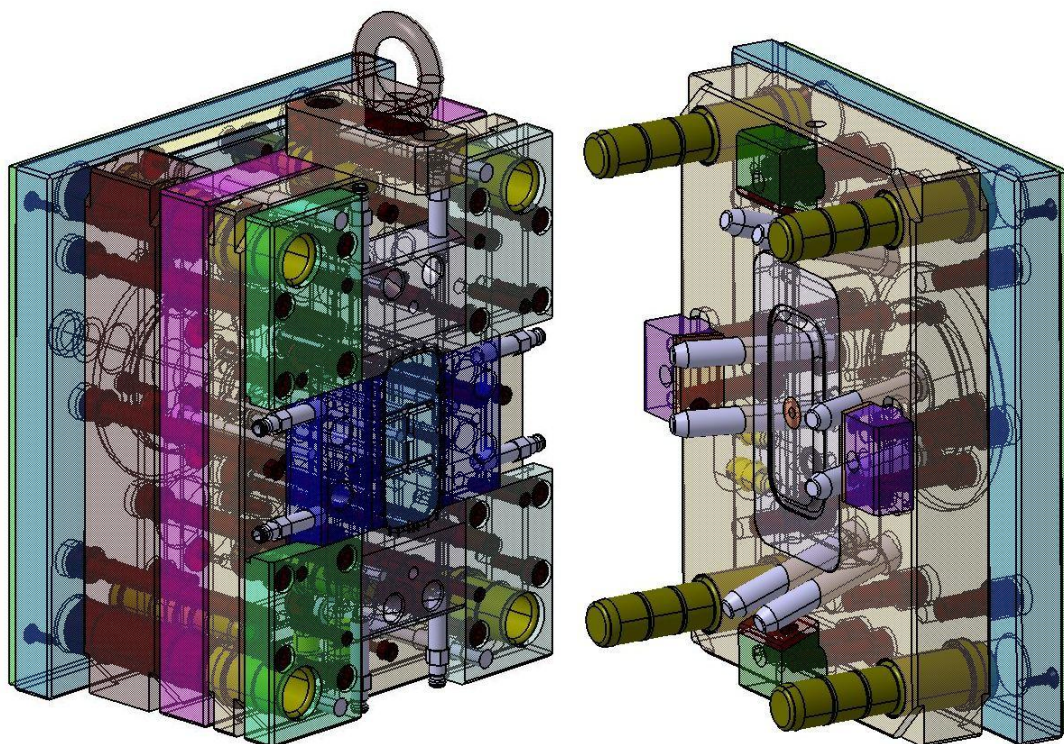
Forma bude provozována na vstřikovacím stroji Cadence-55-120 56, od výrobce Van Dorn Demag. Tento stroj patří do strojního vybavení firmy a byl zvolen s ohledem na své plastikační schopnosti. Požadavkem je, aby při vstřikovacím cyklu byla zcela zaplněna dutina formy a byla vyvozena potřebná velikost uzavírací síly s přihlédnutím ke vstřikovacím parametrům. V (Tab. 4.) jsou uvedeny parametry stroje a porovnány vztahy mezi formou a vstřikovaným strojem.

Tab. 4. Parametry stroje Cadence-55-120 56.

parametry vstřikovacího stroje Cadence-55-120 56	velikost
velikost stroje (šířka mezi vodícími sloupky)	370 [mm]
šířka formy	270 [mm]
uzavírací síla	51 [tun]
max. vstřikovaný objem za sekundu	278 [cm ³]
kalkulovaný vstřikovaný objem materiálu výrobku	5,6 [cm ³]
průměr šneku vstřikovací jednotky	30 [mm]

10 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Návrh konstrukce formy byl s přihlédnutím na složitost výrobku, požadavků zákazníka na kvalitu a finanční náročnost. Za tímto účelem bylo využito vhodných a dostupných konstrukčních materiálů. Snahou také bylo využít v co největší míře standardizovaných konstrukčních dílů společnosti HASCO za účelem snížení výrobních nákladů. Forma je tvořena pravou a levou částí, které obsahují rámy, upínací desky, izolační desky, středící kroužky, tvárník, tvárnice, tvarové čelisti, rozpěrné lišty, vodící lišty, dorazové lišty, vyhazovací tyč. Dále součásti vtokového systému, temperační soustavy, vyhazovacího systému, spojovacího materiálu a vodících prvků.



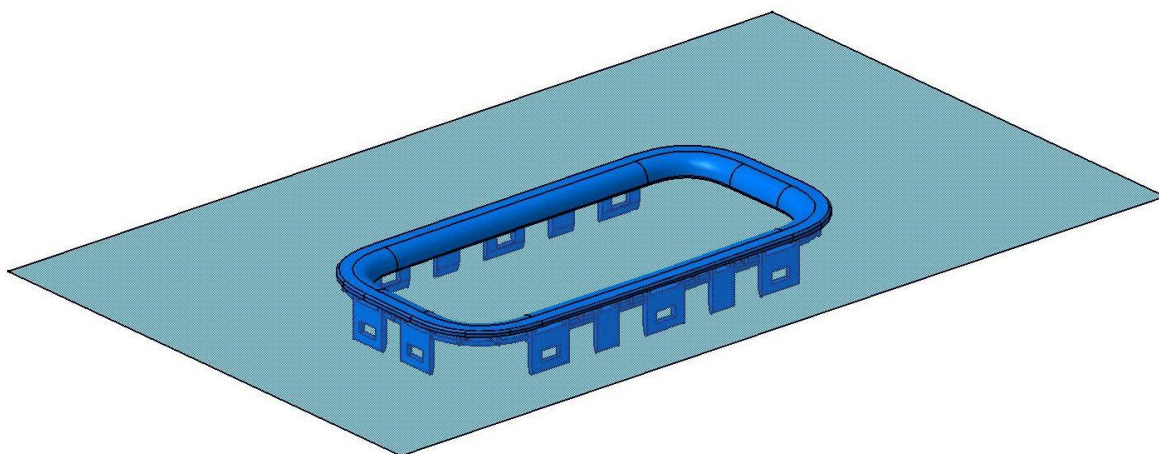
Obr. 34. Pohled na levou a pravou část formy.

10.1 Násobnost vstřikovací formy

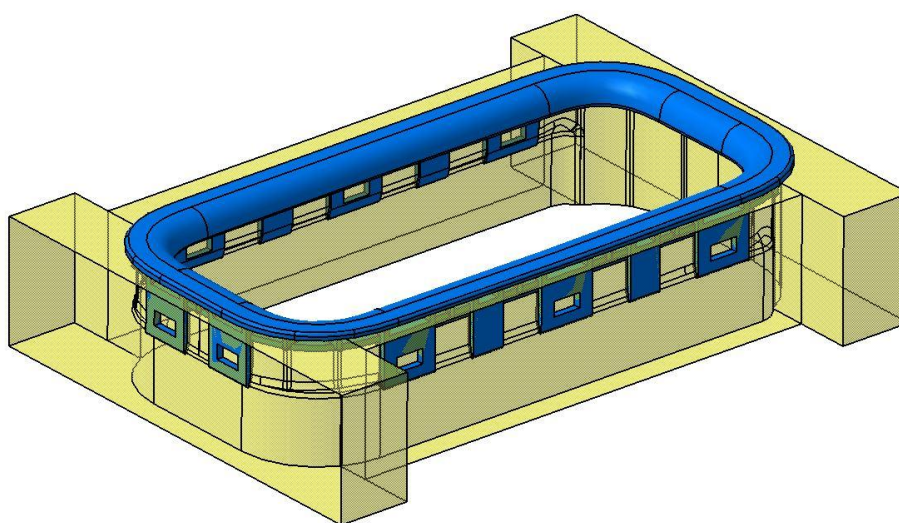
Navržený rámeček je univerzální a slouží pro montáž do levé i pravé sluneční clony. S přihlédnutím k malosériové výrobě, požadované jakosti výrobku, náročnosti konstrukce a výroby vícenásobných forem, byla zvolena forma jednonásobná.

10.2 Určení dělicí roviny

Správné určení dělicí roviny tvoří základní a důležitou část návrhu formy. Základním požadavkem kladeným na dělicí rovinu je snadná odformovatelnost výrobku a splnění požadavků na parametry a jakost výrobku. Základní dělicí rovina je zobrazena na (Obr. 35.), je vedena po hraně spodní poloviny výrobku a rozděluje formu na levou část (tvárník, tvarové čelisti) a pravou část tvořenou tvárnicí. Pomocné dělicí roviny představují plochy, které oddělují tvárník a tvarové čelisti. Tyto dělicí roviny byly vytvořeny využitím ploch na modelu výrobku a z nich odvozeny (Obr. 36.). Při odformování zůstane výrobek v levé části formy.



Obr. 35. Pohled na základní dělicí rovinu.

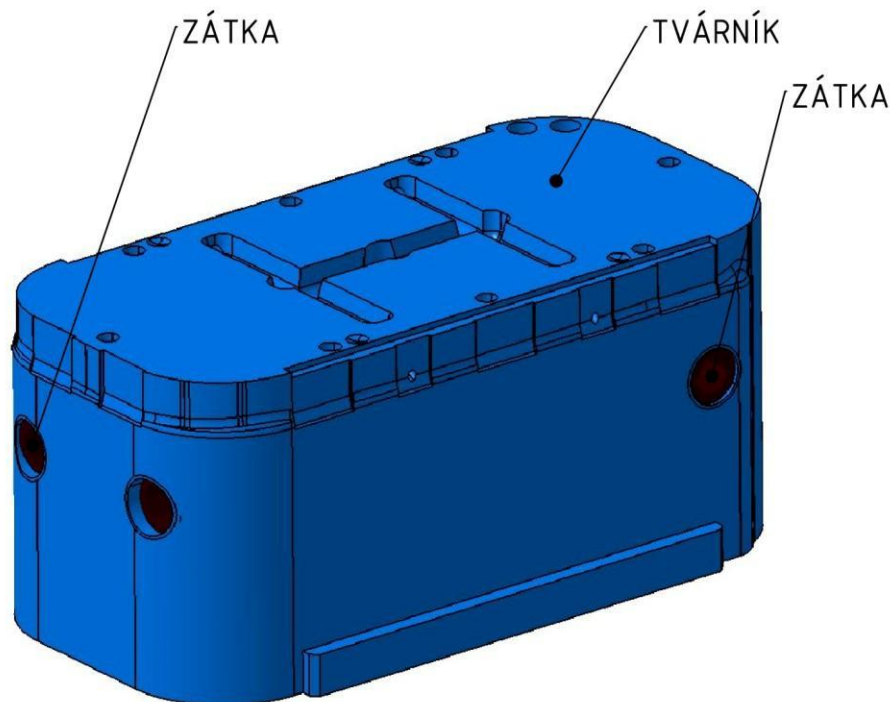


Obr. 36. Pohled na pomocné dělicí roviny.

10.3 Tvárník, tvárnice, tvarové čelisti

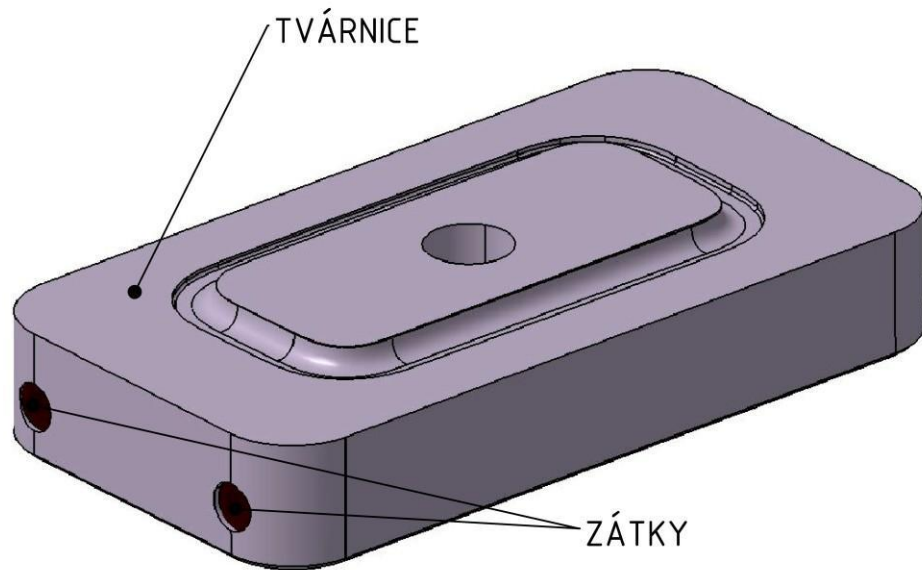
Tvarové části formy tvoří nejdůležitější část formy. Pro zvýšení životnosti jsou tyto díly vyrobeny z nástrojové oceli, cementovány a kaleny. Při modelování byla dutina formy zvětšena o smrštění materiálu výrobku, které činí 0,6 %.

V levé, tedy pohyblivé části formy je umístěn tvárník, který je zároveň v kontaktu s tvarovými čelistmi. Tvárník je usazen v rámu tvárnice a opěrné desce. Kanály v opěrné desce jsou napojeny na tvárník a přivádějí do něj temperační medium. Součástí tvárnice jsou zátky, které zaslepují otvory vzniklé při výrobě kanálů temperačního systému. Mezi opěrnou deskou a tvárníkem jsou vloženy těsnící kroužky, které zabraňují prosakování temperačního media.



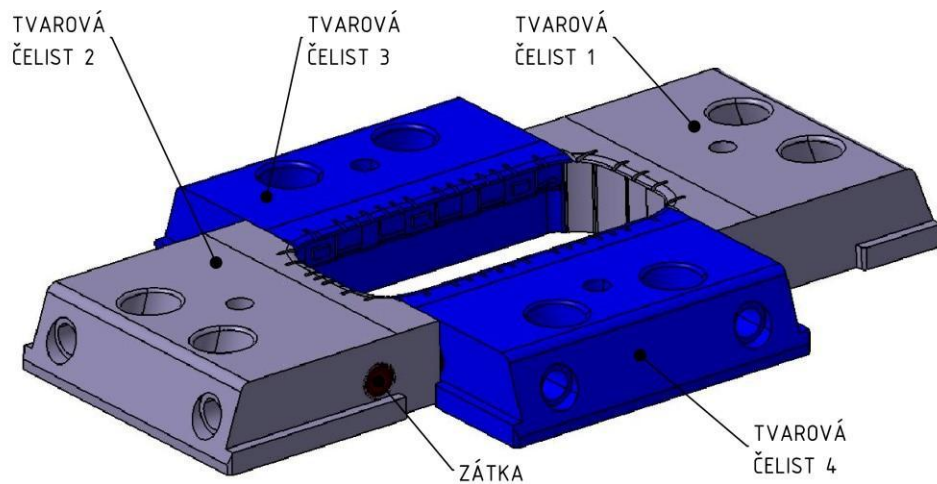
Obr. 37. Model tvárnice se zátkami temperačního systému.

Tvárnice je součástí pravé, nepohyblivé části formy a je umístěna v rámu tvárnice. Důležitou součástí tvárnice je dutina, která vytváří pohledovou část dílu a je na ni kladen na kvalitu povrchu. Únik temperačního media zabraňují zátky umístěné ve tvárnici a těsnící kroužky mezi rámem a tvárnici.



Obr. 38. Model tvárnice se zátkami temperačního systému.

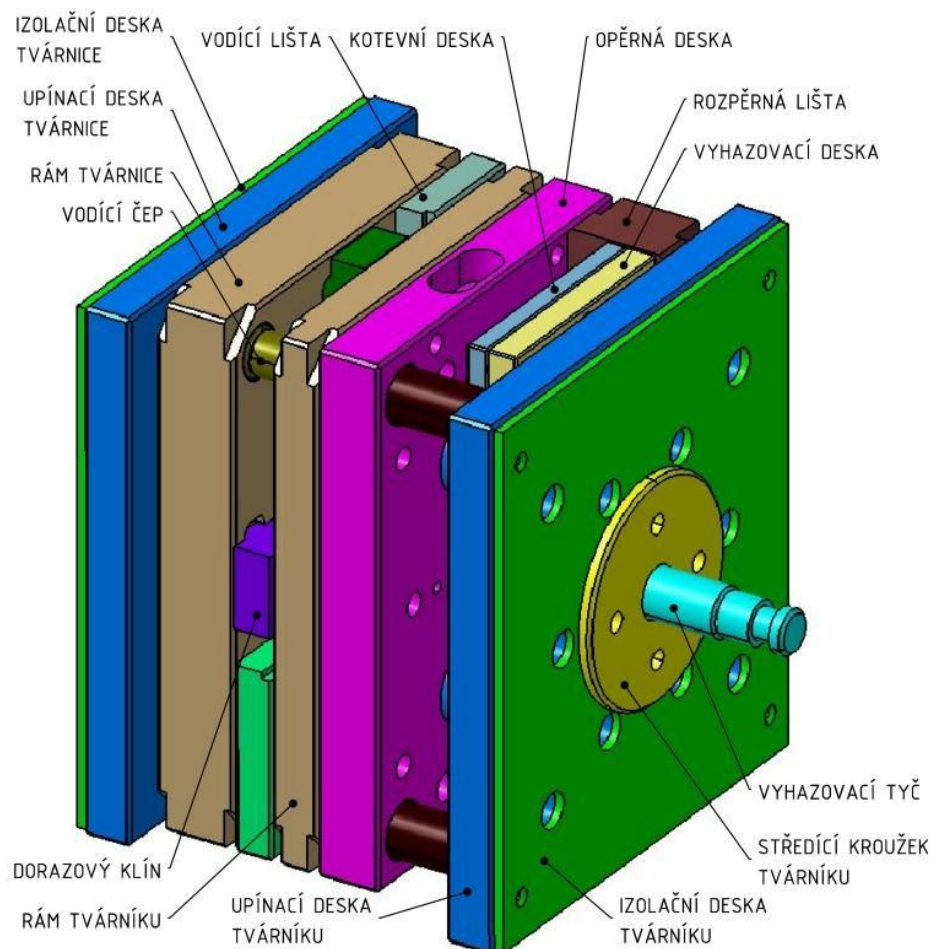
Zbylé části dutiny formy jsou tvořeny posuvnými čelistmi, které se nacházejí v levé, nepohyblivé části formy. Při otevírání formy, jsou tyto čelisti vysunuty ve směru od výrobku. Při uzavření formy pak vráceny do původní polohy. Pohyb je zajištěn šikmými kolíky. Každá z pohyblivých čelistí obsahuje temperační okruh a zátku.



Obr. 39. Modely posuvných čelistí se zátkami temperačního systému.

10.4 Rám, desky a vodící prvky

Při návrhu celkové konstrukce formy bylo vycházeno ze zkušeností s konstrukcí forem pro podobné výrobky, zohledněna byla také násobnost formy, v tomto případě pouze pro jeden díl. Základ formy tvoří upínací desky o rozměrech 296 x 268 mm, na kterých jsou namontovány spojovací a vodící prvky. Tvárníky a tvárnice jsou upevněny v rámech rámy tvárnice a tvárníku. V nepohyblivé části formy jsou uloženy vodící čepy, v levé části formy pak vodící pouzdra, která zajišťují přesný chod při otevírání a zavírání formy. Celkové rozměry formy činí 346 x 296 x 268 mm.

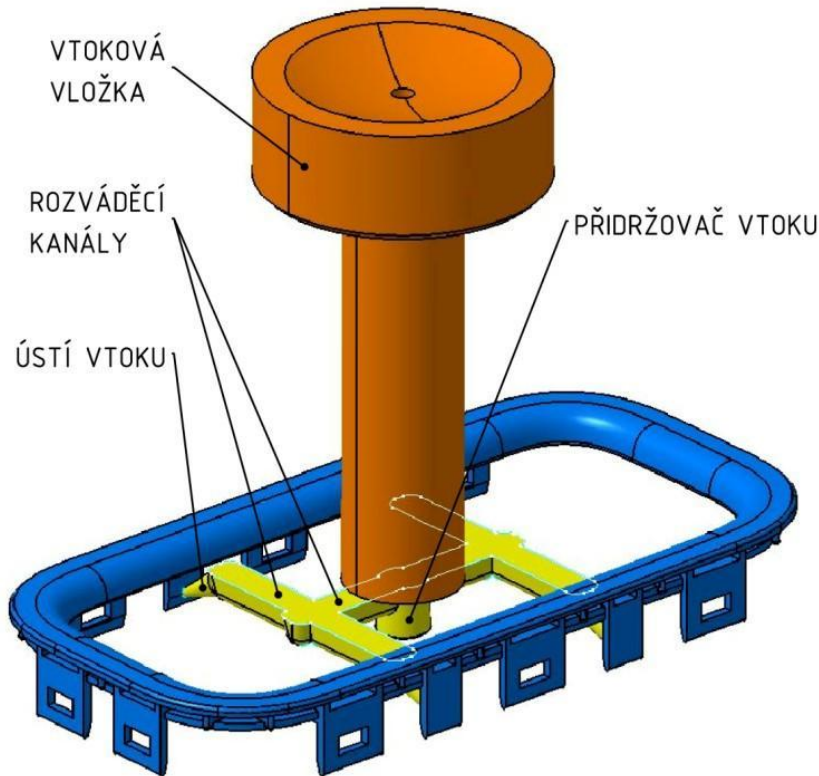


Obr. 40. Celkový pohled na desky formy a její vodící prvky.

10.5 Vtokový systém

Vtokový systém má za úkol zajistit dopravu taveniny do dutiny formy. Je na něj kladen požadavek na rychlé zaplnění dutiny s minimálním odporem a při vzniku malého množství odpadového materiálu. Pro můj výrobek byl volen studený vtokový systém, který je vý-

robně jednoduchý a méně nákladný, než horký vtokový systém. Jeho nevýhodou je vznik odpadového materiálu ze zbytků vtokového systému, který jsou zároveň s výrobkem vyhozeny z formy. Vzhledem k malosériové výrobě dílu mohou tuto nevýhodu přehlédnout. Oddělení vtokového zbytku proběhne při fázi vyhození výstřiku z dutiny formy.



Obr. 41. Studený vtokový systém a model výrobku.

10.6 Odvzdušnění formy

Vzduch uzavřený v dutině formy, je při jejím plnění stlačován. V případě, že vzduch zůstane v dutině a nemá možnost uniknout, může dojít ke vzniku povrchových vad. Mezi časté vady patří například tzv. Dieselův efekt, který je způsoben prudkým stlačením vzduchu, nárůstem teploty a spálením povrchu výstřiku v místě vzniku. Uzavřený vzduch může dále způsobit propadliny, nedostříknutá místa, či bubliny.

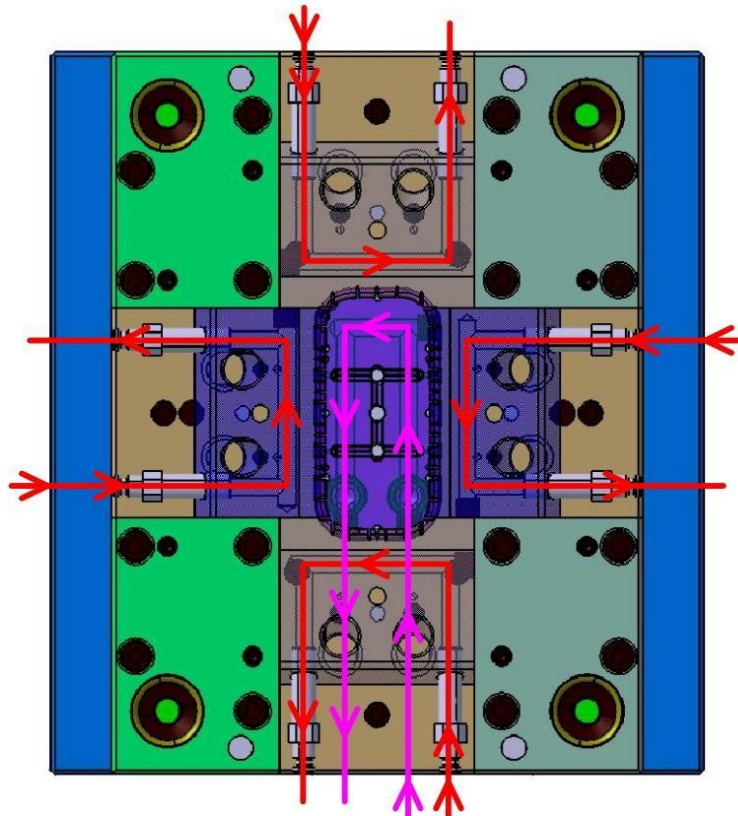
Odvzdušnění formy je realizováno prostřednictvím dělicích rovin a vyhazovacích kolíků. V případě, že by toto řešení bylo nedostatečné, bylo by přistoupeno k dodatečné instalaci odvzdušňovacího systému a potřebné úpravě formy.

10.7 Temperační soustava

Temperační soustava je složena z šesti samostatných okruhů. Jeden okruh pro tvárník, jeden okruh pro tvárnici a 4 okruhy pro tvarové čelisti. Jejím úkolem je optimalizace teploty formy v průběhu vstřikovacího cyklu pomocí změny teploty použitého temperačního media. Také je možné regulovat průtok. Jako temperační medium pro tuto formu slouží voda. Průměr všech kanálů je stejný a jeho hodnota činí 8 mm.

10.7.1 Temperační systém tvárníku

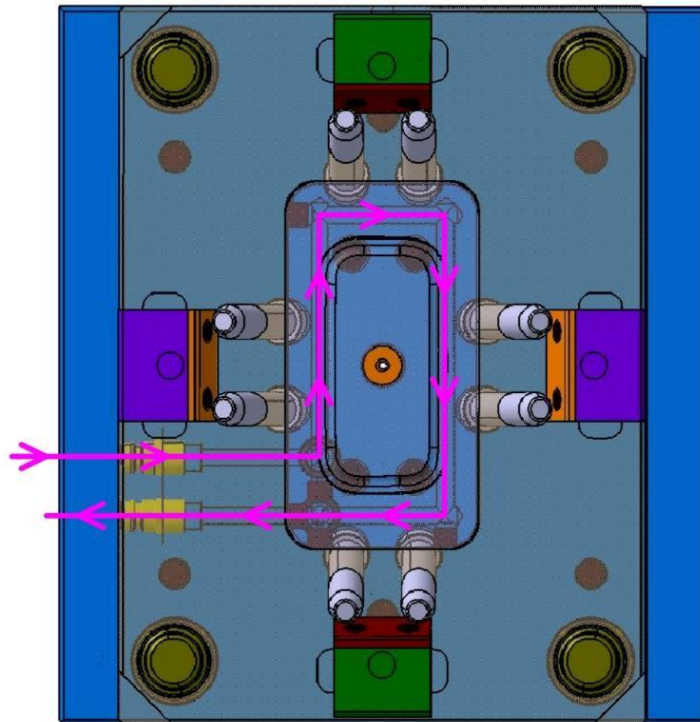
Temperační kanál pro tvárník je veden přes opěrnou desku a napojen na tvárník v jeho spodní části. V tomto napojení jsou umístěny těsnící kroužky, které zabraňují úniku temperačního media. Otvory, které vznikly výrobou temperačních kanálů, jsou zaslepeny pomocí zátek. Hadice pro vedení temperačního media jsou na vstupu a výstupu připojeny do přípojek HASCO, typ Z81-13- 14x1,5. Tyto přípojky jsou našroubovány v opěrné desce tvárníku.



Obr. 42. Trajektorie temperačního systému tvárníku a posuvných čelistí.

10.7.2 Temperační systém tvárnice

Přívod temperačního media je veden přes rám tvárnice a napojen na tvárnici v jeho spodní části. Utěsnění v tomto spojení zajišťují těsnící kroužky. Otvory vzniklé při výrobě temperačních kanálů jsou zaslepeny pomocí zátek v počtu 5 kusů. Spojení přívodní hadice a rámu tvárnice je realizováno pomocí přípojek HASCO, typ Z81-13- 14x1,5.



Obr. 43. Trajektorie temperačního systému tvárnice.

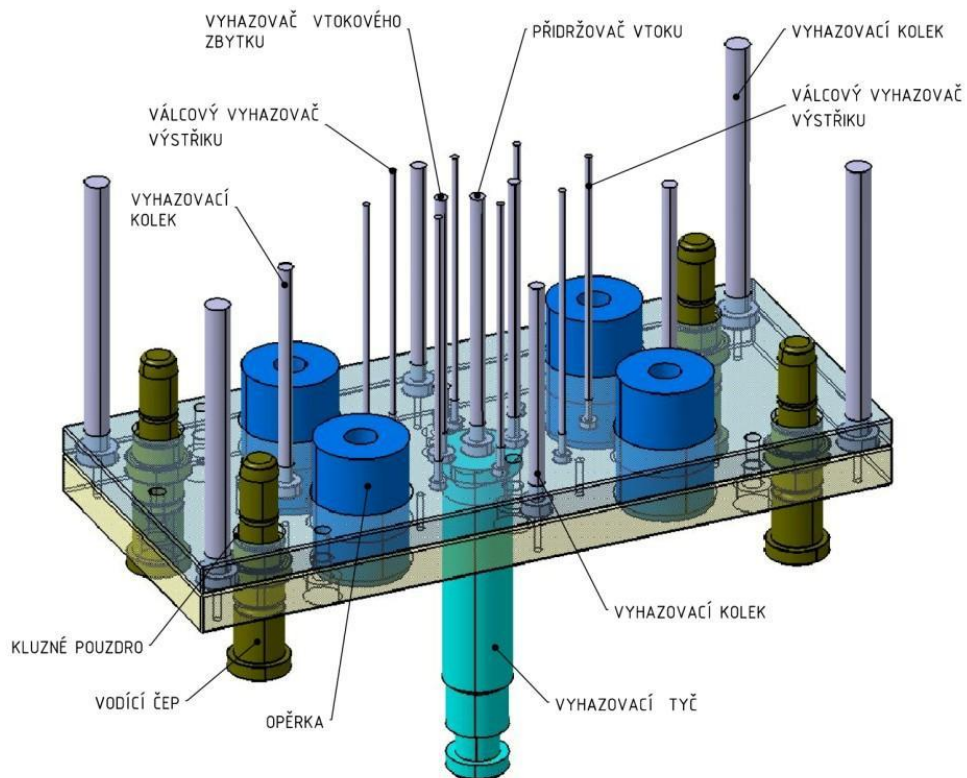
10.7.3 Temperační systém posuvných čelistí

Je znázorněn na (Obr. 42.) červenou barvou. Každá posuvná čelist má vlastní okruh a zátku zamezující úniku temperačního media. Přípojky HASCO typu Z90-9x120 spojují vstup a výstup s přívodní hadicí. Přípojky je nutné zkrátit na potřebné délky.

10.8 Vyhazovací systém

Po otevření formy zajišťuje vyhazovací systém vyhození výstřiku z dutiny levé části formy. Zároveň s výstřikem je vyhozen vtokový zbytek, který je přidržován v levé části formy pomocí přidržovače vtoku. Vyhození výstřiku probíhá tlačáním válcových vyhazovačů na vhodné (nepohledové) plochy výstřiku. Vtokový zbytek je odstraněn prostřednictvím vál-

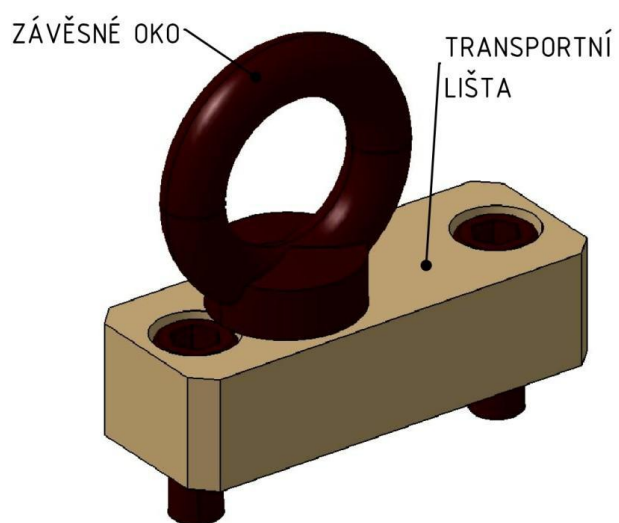
cového vyhazovače přidržovače vtoku a dvou dalších válcového vyhazovače, které tlačí na větve rozvodných kanálů. Válcové vyhazovače jsou ukotveny v kotevní desce a jejich kruhová čela opřena o vyhazovací desku. Přesný pohyb po trajektorii zajišťují vodící čepy a kluzná pouzdra. Úkolem vyhazovacích kolíků je zabránit poškození tvarových plochy dutiny pro, že by došlo k zaseknutí některého z válcových vyhazovačů. Délka těchto kolíků je větší, než je délka válcových vyhazovačů. Opěrky vymezují vzdálenost mezi opěrnou deskou a upínací deskou tvárníku. Vodící tyč slouží k posuvu celé sestavy.



Obr. 44. Vyhazovací systém a jeho části.

10.9 Transportní systém

Transportní systém slouží k zavěšení a manipulaci s formou. Zároveň zabraňuje otevření formy při jejím transportu. Systém je tvořen závěsným okem a transportní lištou. Tato sestava je pomocí šroubů uchycena do opěrné desky rámu a tvárnice. Jedná se o jednoduché a spolehlivé řešení (Obr. 45.).

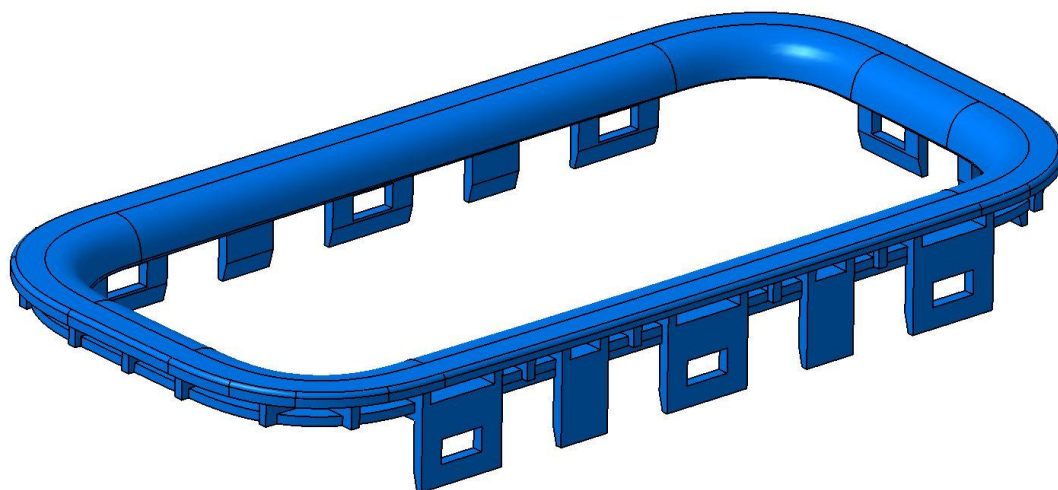


Obr. 45. Součásti transportního systému.

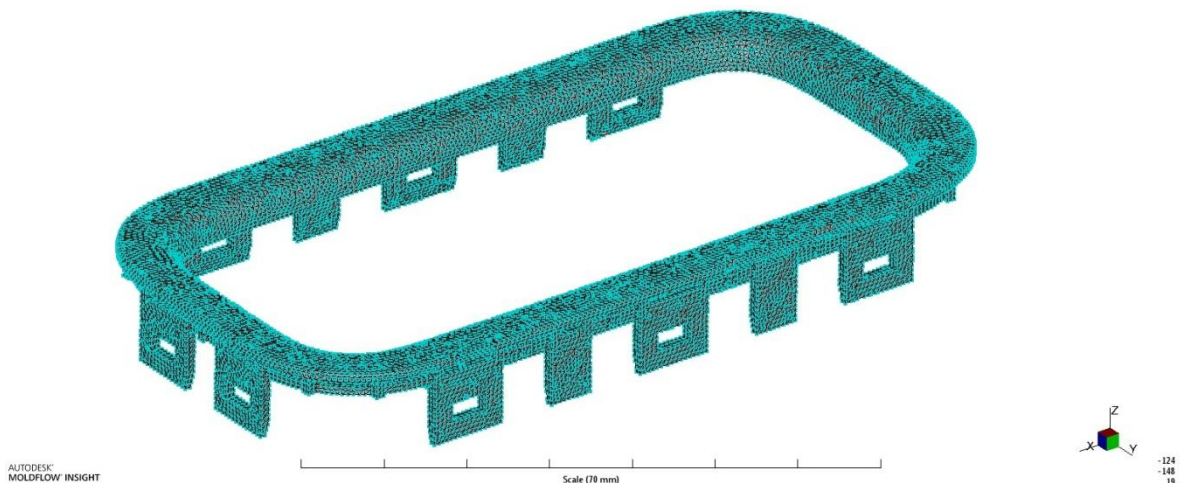
11 SIMULACE VSTŘIKOVÁNÍ V PROGRAMU AUTODESK MOLDFLOW SYNERGY 2016

11.1 Vytvoření sítě a její nastavení

Po vytvoření nového projektu v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016, byl vložen model a poté vybrána síť typu Dual Domain. V dalším kroku došlo k vytvoření sítě s nastavením velikost strany elementu na hodnotu 0,7. Hodnota byla zvolena s ohledem na rozměry výrobku tak, aby byla zajištěna shoda tvaru výrobku se sítí větší než 85 % (Match percentage). Vzniklá síť je složena z 59056 trojúhelníků. Pomocí funkce Aspect Ratio byla síť opravena, aby poměr stran trojúhelníků nepřesáhl hodnotu 5. Výsledná maximální hodnota činí 4,96 a průměrná 1,65. Na (Obr. 47.) je vyobrazena na modelu vzniklá síť. Posledním krokem byla diagnostika pro zjištění parametrů sítě (Obr. 48.). Z výsledků je patrné, že síť neobsahuje chyby, shoda (Match percentage) dosahuje hodnoty 88.8 a díky tomu je vhodná pro analýzu Cool + Fill + Pack + Warp. Důležitou částí analýzy byl výběr vhodného místa vtokového ústí. Za tímto účelem bude provedena analýza polohy vtokového ústí (Gate Location) a pomocí předlohy, tedy hotového výrobku, vybráno vhodné místo. Za účelem správného ustavení odpovídajícího skutečné formě, byl model pomocí funkce rotace (Rotation) otočen o 180 ° v osách X a Z.



Obr. 46. Upravený model vhodný pro vysíťování.



Obr. 47. Vysíťovaný a připravený model.

Triangles		

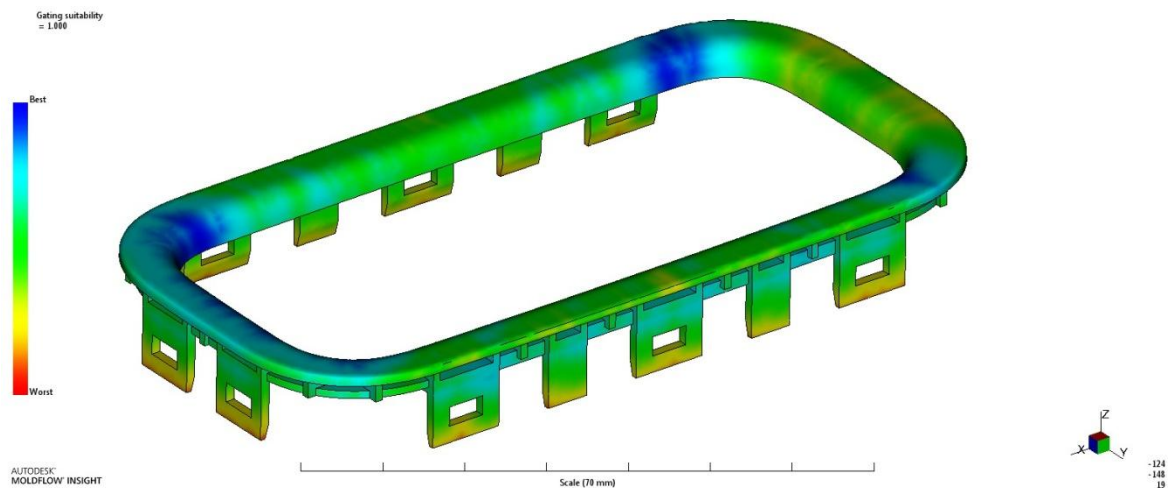
Entity counts:		
Triangles		59056
Connected nodes		29512
Connectivity regions		1
Invisible triangles		0
Area:		
(Mold blocks and cooling channels are not included)		
Surface Area:		97.5289 cm ²
Volume by element types:		
Triangle:		5.56734 cm ³
Aspect Ratio:		
Maximum	Average	Minimum
4.96	1.65	1.16
Edge details:		
Free edges		0
Manifold edges		88584
Non-manifold edges		0
Orientation details:		
Elements not oriented		0
Intersection details:		
Element intersections		0
Fully overlapping elements		0
Match percentage:		
Match percentage		88.8%
Reciprocal percentage		90.2%

Obr. 48. Výsledek diagnostiky sítě
(Aspect ratio <5).

11.2 Analýza vhodné polohy vtoku (Gating suitability)

Tato analýza graficky vyjadřuje místo, které se jeví jako nejvhodnější pro umístění vtokového ústí. Výsledky jsou zobrazeny na (Obr. 49.). Z obrázku vyplývá, že nejméně vhodné místo pro umístění vtokového ústí je vyjádřeno sytě červenou barvou. Naopak nejvhodnější místo pro umístění vtokového ústí je vyjádřeno sytě modrou barvou. Místa s nejvhodněj-

šším umístěním vtoku se vyskytují na pohledové části dílu, tato místa však nemohu použít. Vzhledem k rozměrům a tvaru součásti, bude vtokové ústí umístěno v oblasti bočních háčků. Při návrhu polohy vtoku jsem také vycházel z konstrukčního řešení forem pro výrobu jiných rámečků slunečních clon.



Obr. 49. Vhodné umístění vtoku podle analýzy Gating suitability.

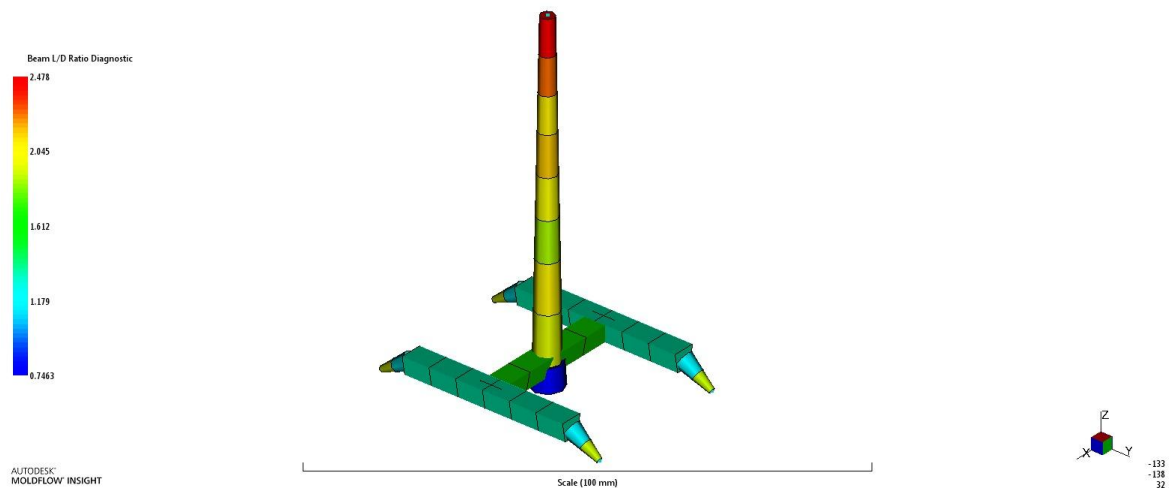
11.3 Vtokový a temperační systém

Byl volen takový vtokový systém, aby odpovídal doporučeným hodnotám a konstrukčním pravidlům při návrhu forem. Byla uvažována velikost formy, chování vstříkovaného materiálu a brán zřetel na zkušenosti při návrhu forem rámečků jiných slunečních clon. Dle zadání je celý vtokový systém řešen jako studený. Bylo tedy použito studené vtokové vložky, studeného rozvodového kanálu a studených rozvodových trysek. Trajektorie vtokového systému byla vytvořena v programu Catia V5R19 a uložena ve formátu *.igs. Vytvořená trajektorie byla spojena s modelem pomocí úsečky vytvořené mezi dvěma body. Tyto úsečky tvoří trajektorie pro studené vtokové trysky.

Pro výrobek byl zvolen vtokový systém s rozvodným kanálem ve tvaru písmene „H“ a čtyři studená vtoková ústí. Při návrhu byl brán zřetel na smysl plnění dutiny formy, směr toku taveniny uvnitř vtokové vložky odpovídá směru osy Z. Pro vhodnou pozici vtokového ústí bylo využito analýzy polohy vtoku (Gate location).

Následovalo nastavení daných vlastností pro jednotlivé úsečky trajektorie pomocí funkce Assign property, tedy volba vhodného typu a geometrie jednotlivých částí dle pravidel konstrukce vstříkovacích forem. Vzhledem k tomu, že celý vtokový systém studený, jsou rozvodné kanály, ve kterých dochází k pohybu taveniny, lichoběžníkového průřezu. Při-

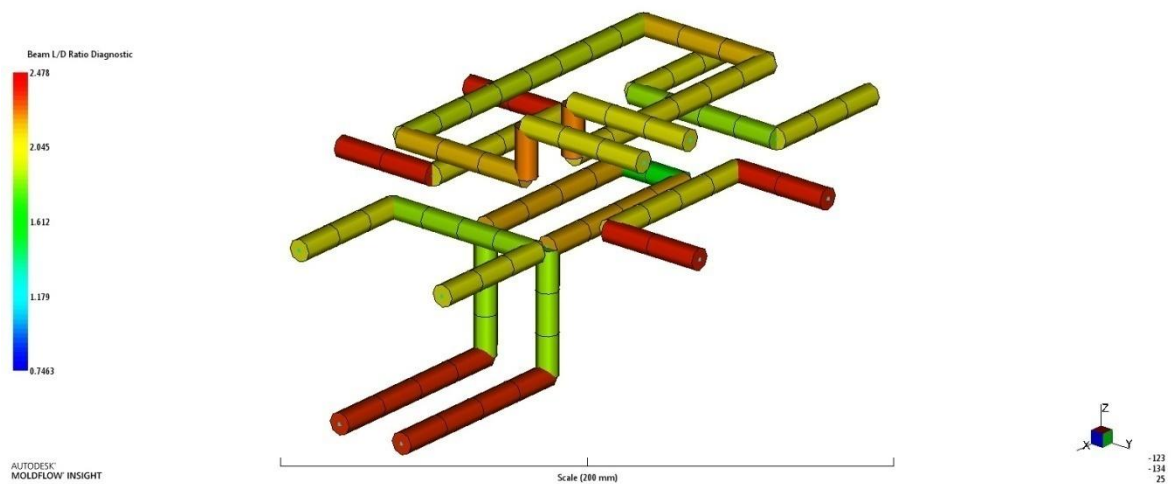
pravená geometrie byla v dalším kroku vysíťována válcovými elementy (beam). Následovala úprava vzniklých elementů pomocí diagnostiky elementů (Beam L/D ratio). Požadavkem bylo, aby největší hodnota nepřesáhla hodnotu 2,5 a nebyla nižší, než 1. Výsledek diagnostiky je zobrazen na (Obr. 50.). Posledním krokem bylo vložení pozice polohy vtoku, přesněji místo dotyku trysky plastikační jednotky a formy.



Obr. 50. Výsledky diagnostiky elementů poměru délky a průměru vtokového systému (Beam L/D ratio).

Po vytvoření elementů studené vtokové soustavy a nastavení jejích parametrů, byla vložena trajektorie temperačního systému. Této trajektorii byly zadány požadované vlastnosti pro jednotlivé úsečky pomocí funkce Assign property, tedy volby vhodného typu a geometrie jednotlivých částí dle pravidel konstrukce vstřikovacích forem. Při návrhu trajektorie temperačních kanálů byl brán zřetel na odvod tepla od součásti. Jedná se o konstrukčně a výrobně jednoduché řešení, které zajistí vhodné chlazení součásti. Poté bylo provedeno vysíťování a úprava jednotlivých elementů sítě dle požadavku $L/D = 2,5$. Výsledek diagnostiky elementů temperační soustavy je zobrazen na (Obr. 51.).

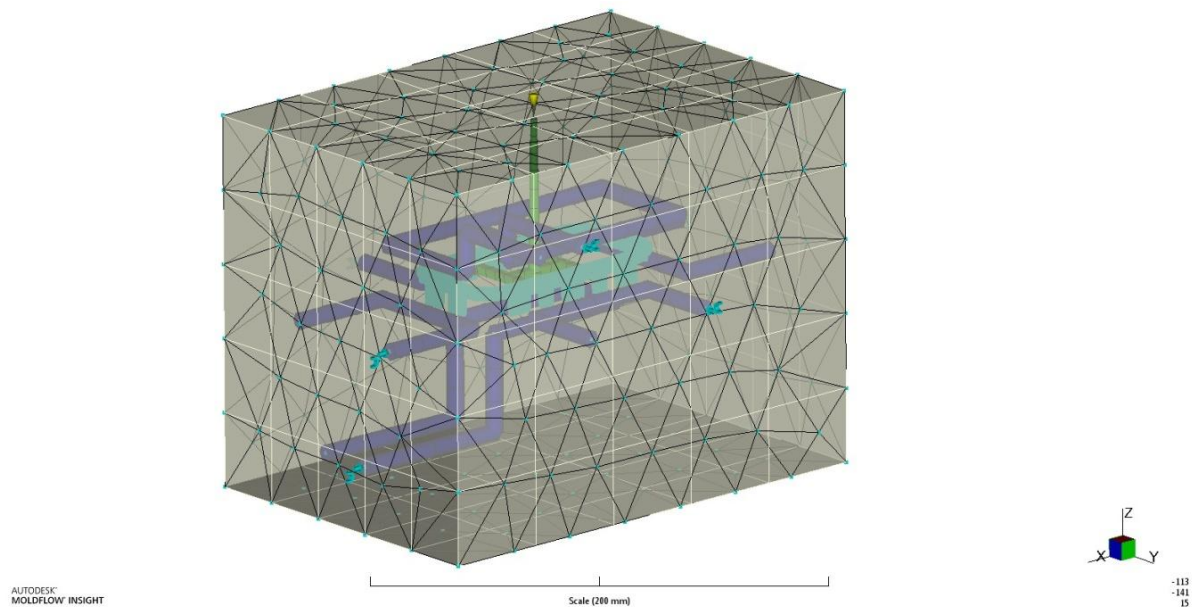
Díl bude chlazen v obou částech formy, ve tvárníku, tvárnici, a také ve všech čtyřech šíbrech. Temperační systém se tedy skládá z šesti částí (šesti kanálů). Trajektorie temperačního systému byly vytvořeny v programu Catia V5R19 a uloženy ve formátu *.igs.



Obr. 51. Výsledky diagnostiky elementů poměru délky a průměru temperačního systému celé formy (Beam L/D ratio).

11.4 Fiktivní vstřikovací forma

Fiktivní vstřikovací forma byla navržena s ohledem na reálnou formu vzhledem k obsaženým konstrukčním dílům (studená vtoková tryska, přívod temperačního media do temperačního systému atd.). Na (Obr. 52.) je celkový pohled na formu v prostředí programu.



Obr. 52. Celkový pohled na fiktivní formu a prvky temperačního a vtokového systému.

Tab. 5. Rozměry fiktivní vstřikovací formy.

popis rozměru	rozměry [mm]
délka (osa X)	225
šířka (osa Y)	155
výška (osa Z)	170

Rozměrové parametry navržené vstřikovací formy jsou uvedeny v (Tab. 5.). Jako materiál formy poslouží nastavená ocel P-20, která svými parametry odpovídá materiálu skutečné formy. Pro upínací desky, spojovací materiál a konstrukční části pro usazení formy je používána ocel třídy 11. Vodící prvky z neželezných kovů, izolační desky z teplo nevodivých materiálů. Důležitým kritériem je vhodná mechanická pevnost a obrobiteľnosť použitých konstrukčních materiálů. V místě kontaktu dutiny s taveninou musí být zajištěna adekvátní vlastnosti povrchu - leštitelnost, odolnost vůči korozi a otěru, odolnost a stálost rozměrů vzhledem k teplotnímu namáhání.

11.5 Temperační medium

V simulaci bylo k chlazení použito pouze vodní medium. Její výhodou je nízká cena, nízká viskozita a vysoký přestup tepla. Nevýhodou této temperační kapaliny možnost usazování vodního kamene na povrchu temperačních kanálů, její stárnutí a postupné znečišťování. To vyžaduje pravidelnou a důkladnou údržbu temperačního systému. Parametry chlazení jsou uvedeny v (Tab. 6.).

Tab. 6. Zvolené temperační medium a parametry chlazení.

medium	složení [%]	teplota [°C]	průtok [lit/min.]
voda	100	25	20

11.6 Nastavení analýzy, volba parametrů a okrajových podmínek

Parametry a okrajové podmínky byly zvoleny podle doporučení defaultního nastavení pro daný materiál, přesto došlo k malým změnám. Zvedla se teplota taveniny na hodnotu 265 °C z doporučeného intervalu 240 až 280 °C.

Nastavení procesních parametrů bylo provedeno pomocí položky Process settings wizard. V prvním kroku došlo k nastavení teploty taveniny na zmíněnou hodnotu 265 °C, době otevření formy 5 s. Celková doba vstřiku, dotlaku a času chlazení je volena automaticky.

Dále byla nastavena cílová kritéria pro vyhození součásti z formy, tedy teplota povrchu formy 70 °C, vyhazovací teplota 112 °C a procento zatuhlých vrstev je nastaveno na hodnotu 95 %.

Ve druhém kroku byly nastaveny hodnoty pro fázi plnění a dotlaku. Plnění bylo nastaveno na ovládání pomocí vstřikovacího času na hodnotu 0.4 s a přepnutí na dotlak bylo nastaveno podle procentuálního objemového zaplnění dutiny formy na 99 %. Fáze dotlaku je kontrolována podle relativního plnicího tlaku a působí po dobu 10 s.

Poslední záložka nastavování procesních podmínek obsahuje volbu vstřikovacího stroje a nastavení hodnoty plnění dle zdvihu v závislosti na rychlosti šneku a rychlosti šneku v závislosti na čase. Dále byly nastaveny iterační kroky. Nastavený materiál formy zůstal nezměněn na ocel P-20. Poslední krok obsahuje nastavení možnosti sledovat teplotní roztažnost vstřikovací formy (consider mold thermal expansion) a potvrzení rohových efektů (consider corner effects). Ve finální fázi nastavení analýzy bylo vyplnění fiktivních rozměrů a polohy vstřikovací formy vzhledem ke vstupu/výstupu temperační soustavy a trysky vtokového systému. Závěrečným krokem bylo zjištění statistiky sítě (Obr. 53.). Na defaultní hodnotě byla ponechána výpočtová matice analýzy, z toho plyne automatické nastavení. Závěrečná statistika sítě zobrazuje počet regionů, které odpovídají počtu vložených systémů.

Triangles			

Entity counts:			
Triangles		59524	
Connected nodes		29748	
Connectivity regions		2	
Invisible triangles		0	
Area:			
(Mold blocks and cooling channels are not included)			
Surface Area:		97.5289	cm ²
Volume by element types:			
Triangle:		5.56734	cm ³
Aspect Ratio:			
Maximum	Average	Minimum	
4.96	1.65	1.16	
Edge details:			
Free edges		0	
Manifold edges		89286	
Non-manifold edges		0	
Orientation details:			
Elements not oriented		0	
Intersection details:			
Element intersections		0	
Fully overlapping elements		0	
Match percentage:			
Match percentage		88.8%	
Reciprocal percentage		90.2%	

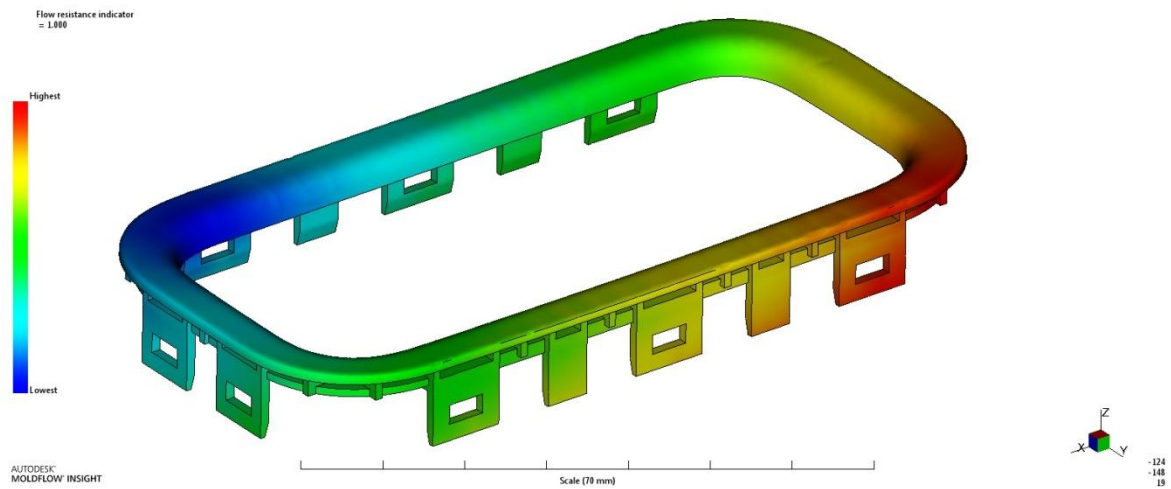
Obr. 53. Tabulka s konečnou statistikou sítě zahrnující všechny regiony.

11.7 Analýza plnění a popis problémů

Výsledky analýzy plnění a dotlaku fiktivní formy najdeme pod záložkou Flow. Najdeme zde informace o teplotě materiálu při toku, čase plnění dutiny formy, velikosti uzavírací síly, smykových napětích, délce toku vstřikovacího materiálu atd. V následné části bude popsáno a okomentováno 5 vybraných výsledků analýzy.

11.7.1 Indikátor odporu taveniny (Flow resistance indicator)

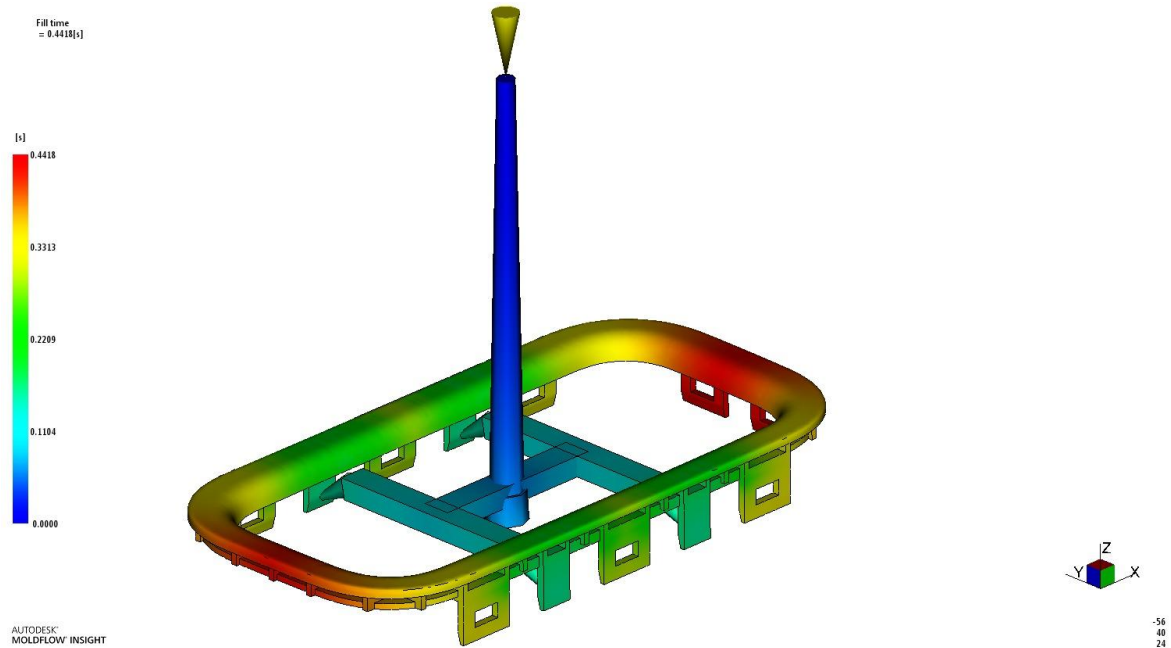
Tato analýza graficky vyjadřuje odpor proti tečení taveniny ve výrobku během plnění dutiny formy. Z obrázku vyplývá, že části výrobku zbarvené sytě červenou barvou, vykazují nejvyšší odpor proti toku taveniny. Tam, kde je sytě modrá barva je odpor proti toku taveniny nejmenší. Pomocí tohoto výsledku mohou předběžně určit místo a typ plnění tak, aby se vyhnul případným defektům při toku taveniny v dutině formy.



Obr. 54. Indikátor odporu taveniny.

11.7.2 Čas plnění (Fill time)

Vyjadřuje dobu, během které je dutina formy plněna taveninou. Tento výsledek přibližně určuje správnost nastavení analýza. Díky tomu se vyvarují případu, kdy bych měl nesprávně nadefinováno vtokové ústí. Výsledek též přibližně pojednává a nastavení procesu plnění pro vstřikovací stroj a zejména skutečnost, na kolik je plnění dutiny vstřikovacím materiálem vyváženo - požadavkem je, aby tavenina včas dorazila ke krajním místům dutiny ve stejný čas. Toto bylo v analýze splněno. Z výsledku je též patrné, že došlo k úplnému vyplnění dutiny formy taveninou. Pokud by k tomu nedošlo a projevilo by se nedotečení materiálu, příčina by mohla být ve špatně navrženém studeném vtokovém systému, nastavení vstřikovací jednotky, či nevhodně zvoleném vtokovém ústí.

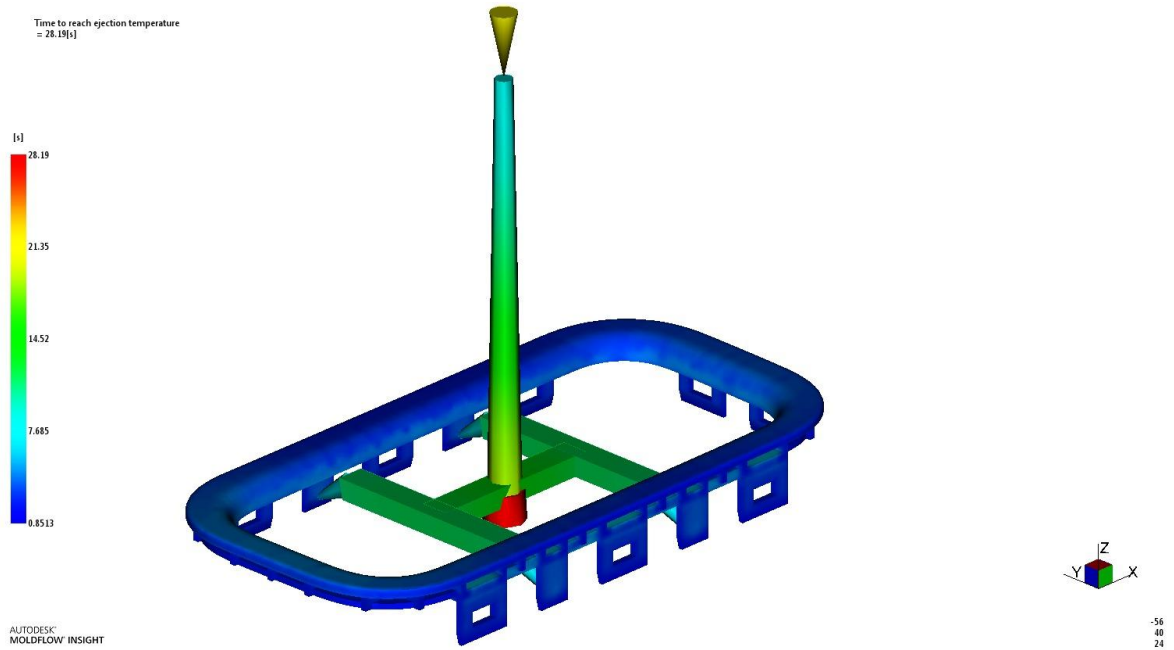


Obr. 55. Indikátor odporu taveniny.

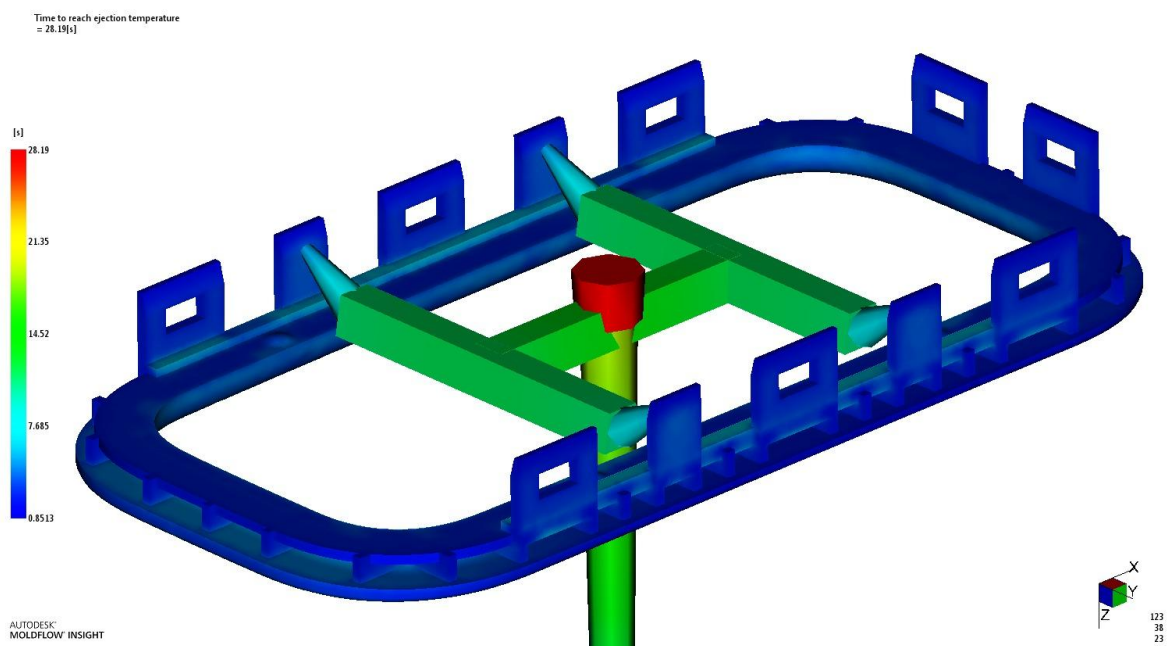
Z výsledku na (Obr. 55.) je patrné, že dutina formy byla zcela zaplněna v čase $t = 0,44$ s, mohu říci, že se jedná o vhodně navržený druh plnění.

11.7.3 Čas k dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

Z výsledku na (Obr. 56.) je patrné, za jak dlouho dosáhnou jednotlivé části výstřiku požadované vyhazovací teploty. Jak je možné vidět na (Obr. 57.), značná část dílu (modrá barva) dosáhne vyhazovací teploty již po několika sekundách. Některé oblasti vtokového systému, jako rozvodný kanál a přídržovač vtoku, zatuhnou až v čase okolo 15 s, respektive 28 s. Tento výsledek je důležitý pro vhodné umístění vyhazovačů vyhazovacího systému. Avšak musím brát v potaz procentuální zatuhnutí taveniny z hlediska samotného vyhození výrobku z formy.



Obr. 56. Čas k dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature).

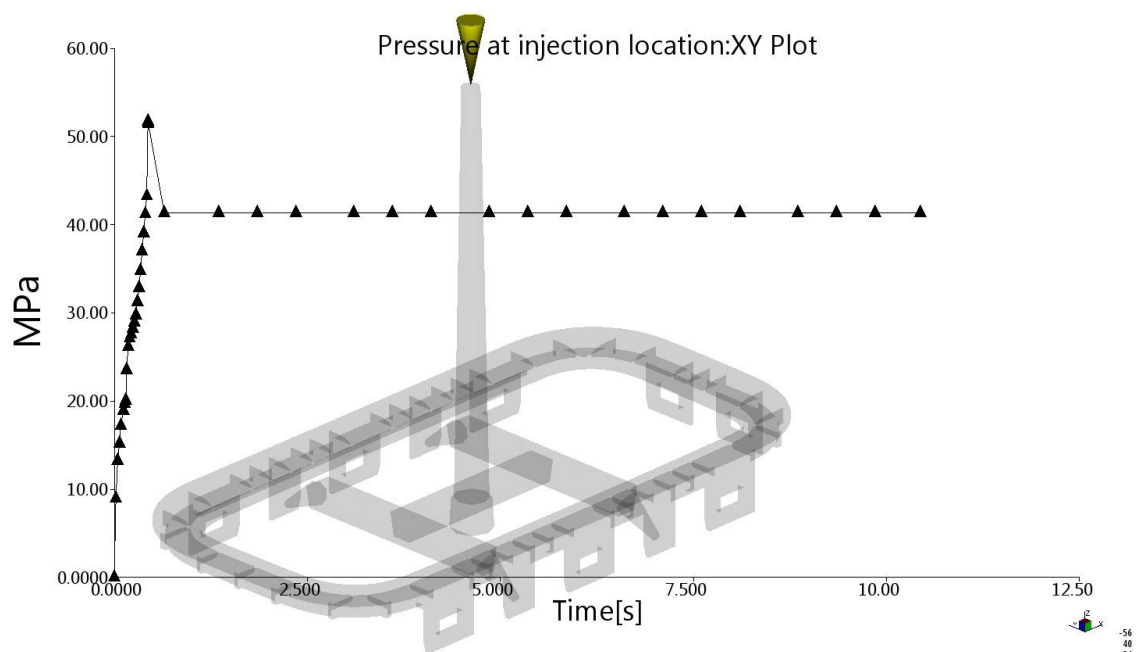


Obr. 57. Čas k dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature).

11.7.4 Průběh tlaku během vstřikování (Pressure at injection location)

Na (Obr. 58.) je vidět průběh tlaku během vstřikovacího cyklu v závislosti na čase. Nejvyšší hodnota je dosažena na konci plnění a má velikost $p = 53$ MPa. K přepnutí na dotlak dojde po zaplnění 99 % dutiny formy. Doba dotlaku je nastavena na $t = 10$ s, jeho velikost je konstantní a představuje 80 % maximálního vstřikovacího tlaku. Začátek grafu zobrazu-

je začátek vstřikování a začátek dotlaku je vymezen koncem plnění. Doba působení a velikost dotlaku patří k nejdůležitějším parametrům vstřikovacího procesu, jelikož významně ovlivňuje kvalitu výrobku (rozměrovou a tvarovou přesnost). V případě krátké fáze dotlaku může dojít ke snížení kvality a jakosti výrobku (tvorba propadlin a nerovností, lunkrů, bublin, nedotečení taveniny do všech míst dutiny formy). Pokud by byla fáze dotlaku příliš dlouhá, neměla by tavenina možnost zrelaxovat a kdyby byla hodnota dotlaku stejně velká, jako hodnota vstřikovacího tlaku, nedošlo by k vytvoření tlakové špičky a hrozila by případná deformace vstřikovací formy, či zvýšení hmotnosti výrobku, pozdější pnutí ve výrobku, přetoky atd. Též je nutné zvážit ekonomičnost procesu vstřikování.

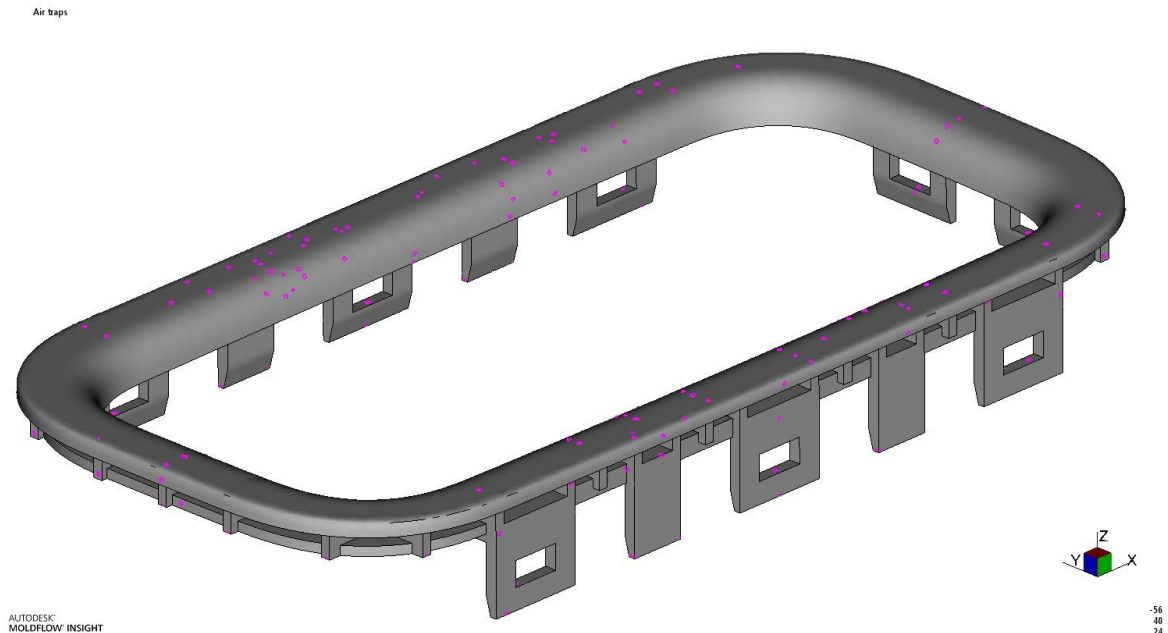


Obr. 58. Průběh tlaku během vstřikování (Pressure at injection location).

11.7.5 Vzduchové bubliny (Air traps)

Na (Obr. 59.) jsou fialovými tečkami znázorněna místa výskytu vzduchových bublin, které vznikají při plnění dutiny formy a představují poměrně složitý problém. Vzduchové kapsy vznikají během procesu plnění a jsou výsledkem spojení čela taveniny. Vzniklý jev se dá částečně eliminovat zkrácením doby plnění či větším počtem vtokových ústí (přidání další studené vtokové trysky), to by však vedlo k novému a kompletnímu návrhu vstřikovací formy. Další příčinou vzniku vzduchových bublin může být vzdušná vlhkost díky špatně vysušenému granulátu. Jednou z možností odstranění vzduchových bublin je tedy kontrola vysušení granulátu, a také zvýšení rychlosti vstřikování. V případě, že by bylo použito odvzdušnění, nemůže být toto umístěno na pohledových plochách výrobku. Toto řešení by

představovalo poměrně složitou konstrukční úpravu formy. Jak již bylo zmíněno, tento výsledek (Air traps) pouze predikuje možná místa vzniku vzduchových bublin.



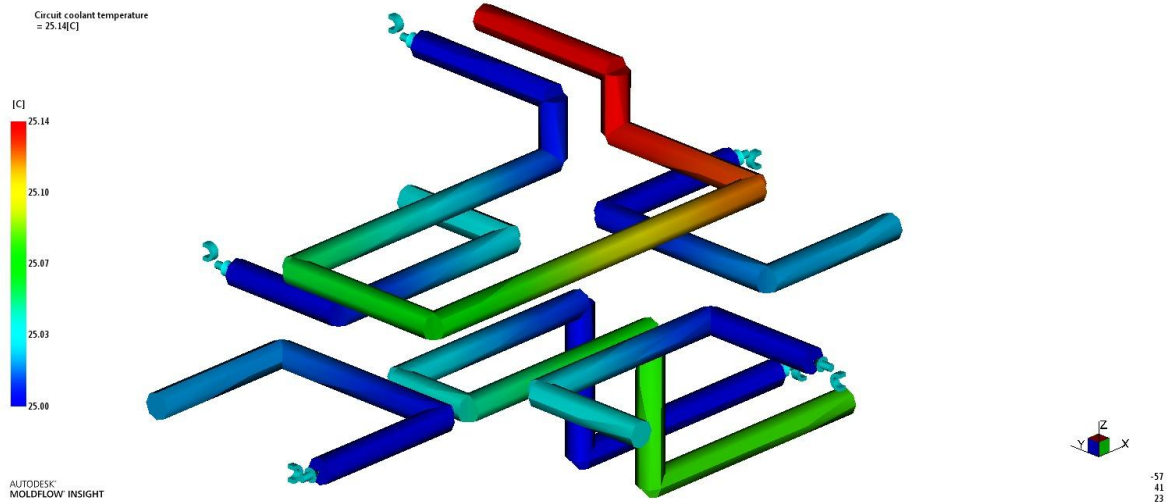
Obr. 59. Místa výskytu vzduchových bublin (Air traps).

11.8 Analýza temperačního systému

Výsledky analýzy temperačního systému fiktivní formy jsou umístěny pod záložkou Cool. Ve výsledcích najdeme informace o teplotních pochodech ve výrobku, formě, vtokovém systému a samotného temperačního systému. V následující části budou popsány 3 výsledky této analýzy.

11.8.1 Teplota temperačního media (Circuit coolant temperature)

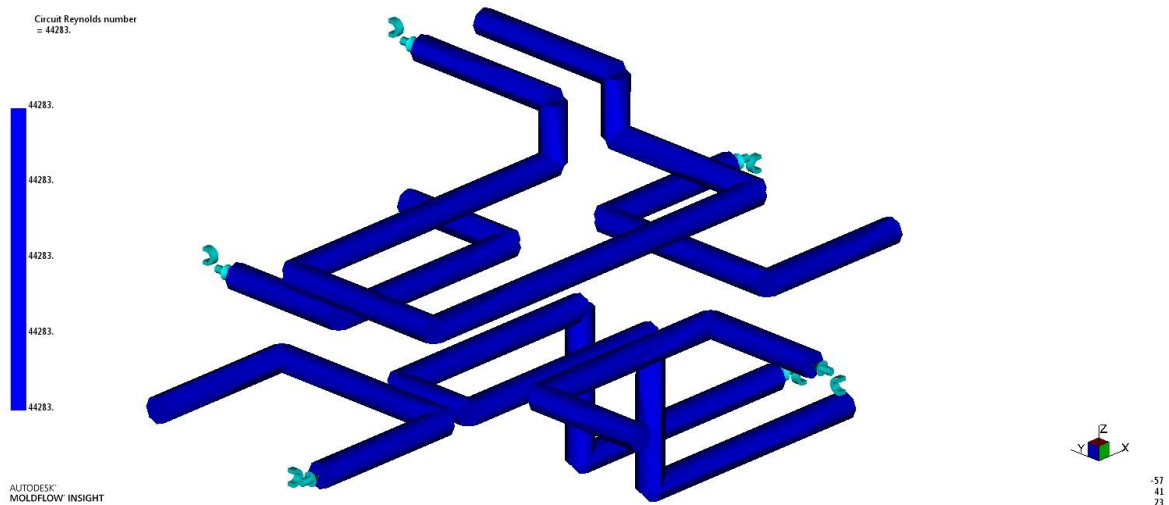
Výsledné hodnoty poskytují komplexní informace o teplotách temperačního media v temperačním systému vstřikovací formy. Podle konstrukčních zásad nesmí být rozdíl teploty na vstupu a výstupu temperačního media větší než 5 °C. V případě, že by k takovému jevu došlo, bylo by nutné změnit geometrii a rozměry temperačních kanálů, případně zvýšit průtok a snížit vstupní teplotu media. U navrženého temperačního systému je rozdíl teploty 0,14 °C a mohu tedy konstatovat, že je v souladu s pravidly konstrukce vstřikovacích forem.



Obr. 60. Průběh teploty temperačního media (Circuit coolant temperature).

11.8.2 Reynoldsovo číslo (Circuitreynoldsnumber)

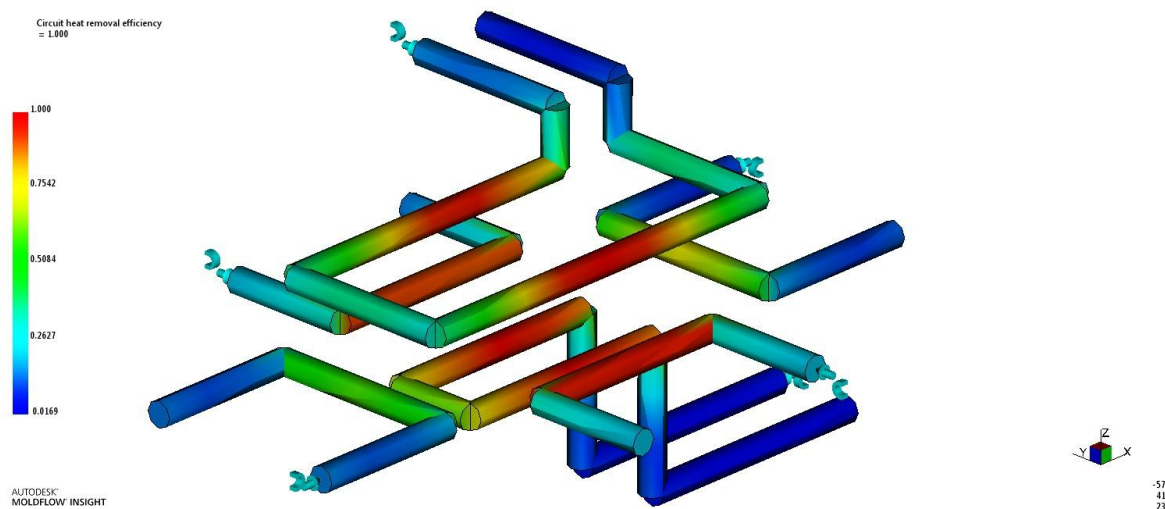
Aby byl zajištěn správný odvod tepla z formy, měla by hodnota Reynoldsova čísla ležet v oblasti turbulentního proudění. To znamená nad hodnotou $Re = 13\,000$. Reynoldsovo kritérium (číslo) vypovídá o chaotickém uspořádání proudnic proudícího media. Tato hodnota je závislá na fyzikálních vlastnostech temperačního media, geometrii a rozměrech kanálů a rychlosti proudícího media. Se zvyšující se hodnotou Reynoldsova čísla se zlepšují podmínky sdílení a odvodu tepla ve vstříkovací formě. Jak je z výsledku patrné, hodnota Reynoldsova čísla se nachází v oblasti vysokého turbulentního proudění, která je zajištěna vysokým tlakem, způsobeným vysokým průtokem temperačního media uvnitř kanálů temperačního systému. V kanálech temperačního systému je tedy vysoký vodní podíl na odvod tepla ze vstříkovací formy.



Obr. 61. Výsledná hodnota Reynoldsova čísla (Circuit reynolds number).

11.8.3 Účinnost odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency)

Výsledné hodnoty poukazují na účinnost odvodu tepla temperačních kanálů. Jak je z obr. 62.) patrné, nejvyšší účinnost je dosažena v místech, kde temperační kanály vedou co nejbližše chlazené součásti a dochází k největšímu odvodu tepla (syťá červená barva) a naopak tam, kde dochází k nejmenšímu odvodu, jsou místa zvýrazněna syťé modrou barvou. Dosažení vyšší účinnosti odvodu tepla některých částí temperační soustavy lze snížením teploty temperačního media. Avšak v tomto případě je účinnost chlazení dostačující.



Obr. 62. Účinnost odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency).

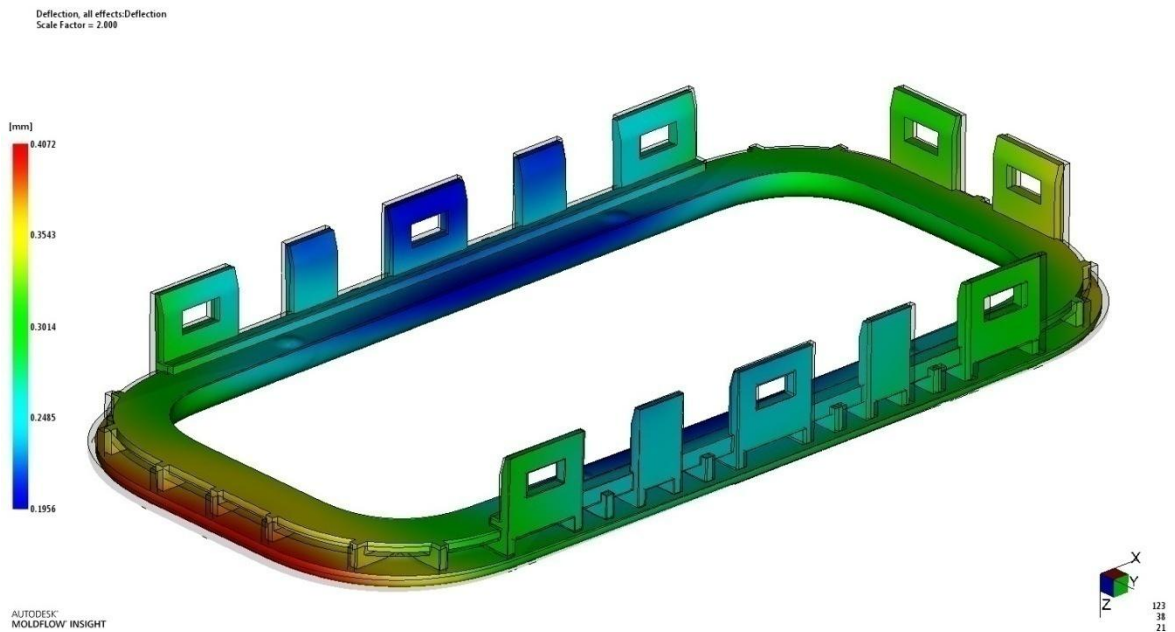
11.9 Analýza smrštění a deformace

Výsledky analýzy smrštění a deformací formy jsou umístěny pod záložkou Warp. Tato část analýzy obsahuje informace o smrštění jako změně objemu během procesu tuhnutí taveniny a deformací představující změnu tvaru při zachování stejného objemu výrobku. V následné části budou popsány a okomentovány 2 vybrané výsledky analýzy.

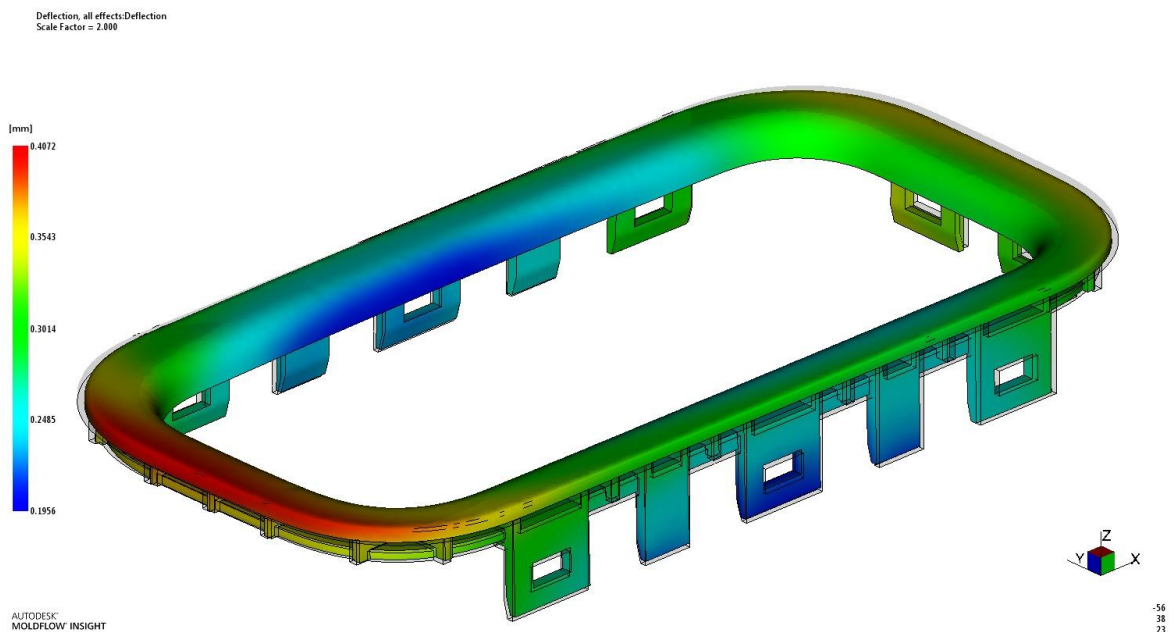
11.9.1 Velikost vzniklé deformace výrobku (Deflection, all effects: Deflection)

Výsledkem této části analýzy je celkový pohled na deformaci výrobku, která je způsobena všemi vlivy. K největším deformacím dochází na nejvzdálenějších místech od místa vtoku, jelikož k nim tavenina dotekla nejpozději. Jedním z důvodů vzniklé deformace, jejíž velikost činí přibližně 0,4 mm, může být nevhodně navržený temperační systém vstřikovací formy. Vzniklá deformace může být též způsobena příliš vysokou teplotou formy či špatně nastavenou fází dotlaku, dále geometrií výrobku a zejména procesními podmínkách vstří-

kovacího cyklu. Materiálové hledisko může představovat mnoho aspektů ovlivňující smrštění. Jedním z nich je druh vstřikovaného polymeru, případné přísady v polymeru - plniva atd. V tomto případě mohou pozorovat, že velikost smrštění výrobku není ve všech jeho částech stejná. Největší smrštění vzniklo v částech, které jsou nedáale od ústí vtoku (místa vybarvena sytě červenou barvou).



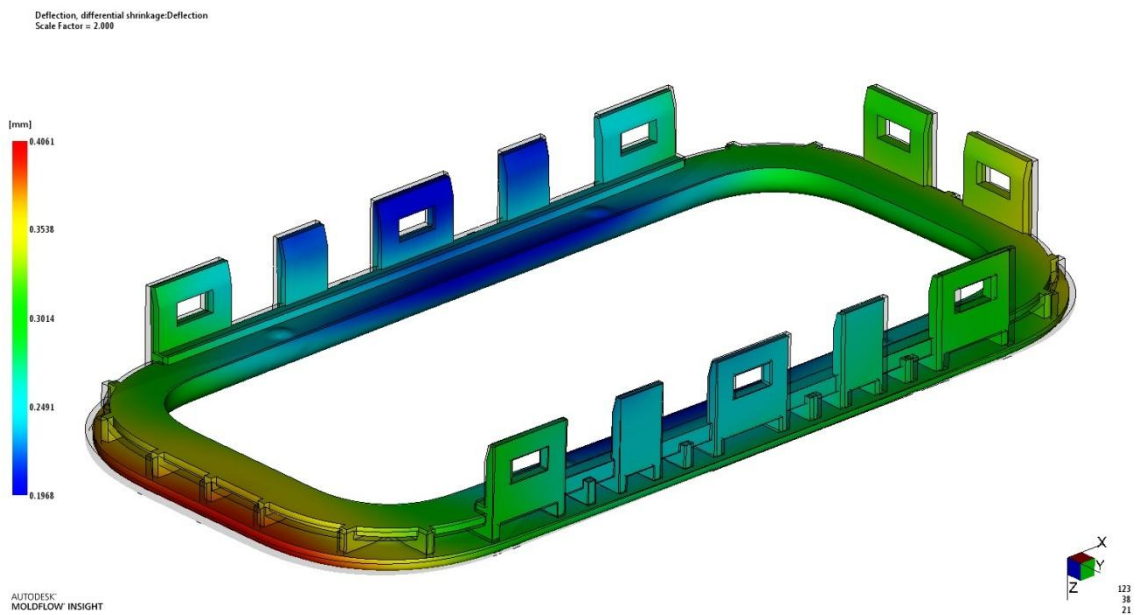
Obr. 63. Celková deformace smrštění výrobku (Deflection, all effects: Deflection).



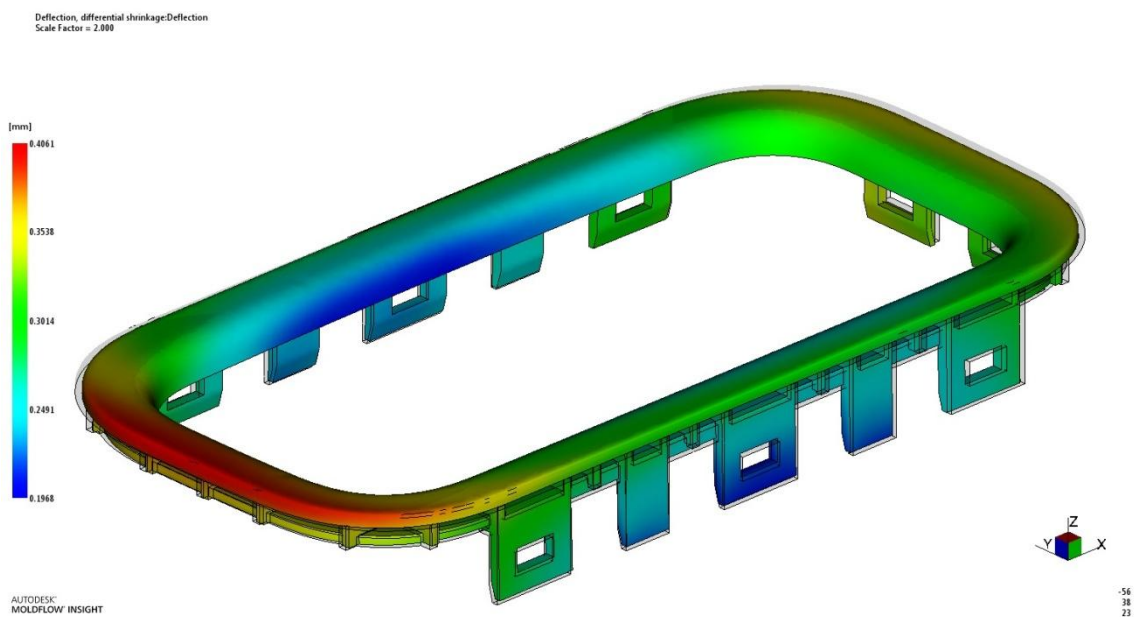
Obr. 64. Celková deformace smrštění výrobku (Deflection, all effects: Deflection).

11.9.2 Velikost vzniklé deformace smrštění výrobku (Deflection, differential shrinkage: Deflection)

Zobrazené výsledky (Obr. 65.) a (Obr. 66.) této části analýzy zabývající se smrštěním a deformací výrobku udávají velikost deformace vlivem smrštění. Jak je možno si povšimnout, tak nejvyšší hodnota deformace 0,4 mm se nachází v okrajových částech výrobku. Pokud bych chtěl eliminovat tuto deformaci, muselo by dojít úpravám, jednou z nich je zvýšení doby a velikosti dotlaku, případně snížení teploty vstřikovací formy.



Obr. 65. Velikost vzniklého smrštění (Deflection, differential shrinkage: Deflection).



Obr. 66. Velikost vzniklé deformace (Deflection, differential shrinkage: Deflection).

DISKUSE VÝSLEDKŮ

Hlavním smyslem této práce byl návrh vstřikovací formy pro výrobu rámečku zrcátka sluneční clony při dosažení příznivých výrobních nákladů a zachování jednoduchosti návrhu. Toho bylo dosaženo použitím mnoha standardizovaných dílů.

Forma je řešena jako dvoudesková se studeným vtokem. K tvorbě tvarových částí (dutiny formy) bylo využito ploch modelu na výrobky. Tyto plochy byly odečteny připraveného modelu tvárníku, tvárnice a posuvných čelistí. Model výrobku byl před odečtem ploch zvětšen o hodnotu smrštění, která činí 0,6 %. Vyrobený díl je konstrukčně navržen jako univerzální pro levou i pravou sluneční clonu.

Při výběru materiálu padla volba na termoplast Bayblend W90 XG. Tento materiál splňuje přísná kritéria kladená na materiály používané při výrobě dílů interiérů automobilů. Mezi tato kritéria patří odolnost proti UV záření, požadavek na vysokou kvalitu povrchu, dobré mechanické vlastnosti za teplot vyšších než 100 °C a zdravotní nezávadnost.

Pro provoz formy byl vybrán vstřikovací stroj Cadence-55-120 56, od výrobce Van Dorn Demag. Tento stroj splňuje technologické a rozměrové požadavky.

Vtokový kanál byl řešen jako studený, s vtokovou vložkou, třemi rozvodnými kanály, přídržovačem vtoku a čtyřmi vtokovými ústí.

Vyhození výstřiku z levé části vstřikovací formy je realizováno pomocí 8 vyhazovačů pro výrobek a 3 vyhazovačů pro vtokový zbytek. K odtržení vtokového zbytku od výrobku dojde v místě ústí vtokové trysky při samotném vyhození celé sestavy z dutiny formy. Válcové kolky zabraňují poškození tvarové dutiny v případě, že by nedošlo zasunutí válcových vyhazovačů. Při zasunutí prvků vyhazovací sestavy jsou dosedací plochy kolků opřeny o rám tvárnice.

Temperace formy je realizována temperačními kanály o průměru 8 mm a zhotovenými v tvárníku, tvárnici a posuvných čelistech. Jako temperační medium slouží obyčejná voda.

Odvzdušnění je zajištěno vůlí mezi tvarovými součástmi.

Z výsledků analýzy je patrné, že navržený vtokový systém vyhovuje požadavku na úplné zaplnění dutiny formy v požadovaném čase $t = 0,44$ s. Většina částí výstřiku bude připravena k vyhození do 15 s. Nejvyšší deformace vlivem smrštění má hodnotu 0,4 mm a nachází se v okrajových částech výrobku.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout vstřikovací formu pro rámeček zrcátka automobilové sluneční clony. Vstřikovací forma byla řešena jako jednodílná se studeným vtokovým systémem.

V teoretické části byla popsána teorie vstřikovacího procesu, vysvětlen princip funkce vstřikovacích strojů a popis jejich částí, zásady konstrukce vstřikovaných forem a seznam používaných materiálů. Poslední kapitola teoretické části obsahuje pravidla při návrhu vstřikovaných výrobků.

Praktická část se zabývá konstrukčním návrhem vstřikovací formy pro zadaný výrobek. Modelový návrh a výkresová dokumentace byly provedeny pomocí 3D softwaru Catia V5. Při návrhu byly využity poznatky a zkušenosti při konstrukci forem podobných výrobků. Jsou zde popsány části vstřikovací formy, mezi které patří tvárník, tvárnice, tvarové čelisti, vtokový systém, temperační soustava, vyhazovací a transportní systém. Poslední částí bylo provedení tokové analýzy v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016. Výsledkem analýzy je předpokládané tokové chování polymeru, vliv temperační soustavy a výsledné deformace výrobku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Vstřikování plastů [online]. [cit. 2016-2-22]. Dostupný z WWW <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm>
- [2] STOKLASA, K. *Zpracovatelské inženýrství - I*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007
- [3] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů*. [s. 1.]:[s.n.], 2009. 247 s.
- [4] Objímka Ba 15d [online]. [cit. 2016-2-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.iepa.cz/objimka-p4224>>
- [5] Pastor a syn, katalog produktů [online]. [cit. 2016-2-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.pastorasyn.cz/images/reference/01.jpg>>
- [6] Technická pryž, katalog produktů [online]. [cit. 2016-2-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.technickapryz.cz/fotogalerie.html>>
- [7] Princip technologie vstřikování plastů [online]. [cit. 2016-2-22]. Dostupný z WWW: <<https://publi.cz/books/179/01.html>>
- [8] Konformní chlazení [online]. [cit. 2016-2-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.innomia.cz/sluzby/konformni-chlizeni>>
- [9] Vstřikování, vstřikovací jednotka [online]. [cit. 2016-2-22]. Dostupný z WWW: <<https://publi.cz/books/181/03.html>>
- [10] Vstřikování, uzavírací jednotka [online]. [cit. 2016-2-22]. Dostupný z WWW: <<https://publi.cz/books/181/06.html>>
- [11] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. Díl - Vstřikování termoplastů*. 2. upr. Vyd. Brno: UNYPLAST, 1999. 133 s.
- [12] ŘEHULKA, Z. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. 2. 1. Vyd. Brno: SEKURON, 2013.
- [13] Krebs, J.; Sova, M. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. 5. aktualizované vydání. Praha: Verlag Dashöfer, 1999-2000. 1 CD-ROM. ISBN 80-86229-15-7.
- [14] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. Díl - Vstřikování termoplastů*. 1. upr. Vyd. Brno: UNYPLAST, 1999. 133 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

%	Procenta.
*.igs	Typ formátu 3D dat.
*.stp	Typ formátu 3D dat.
°C	Stupně Celsia.
2D	Dvou rozměrný prostor.
3D	Tří rozměrný prostor.
Al	Slitina hliníku.
CAD	Computer aided design.
CATIA	Computer Aided Three Dimensional Interactive Application.
Cu	Slitina mědi.
CuAlFeMn	Slitina mědi, hliníku, železa, manganu.
CuAlFeNi	Slitina mědi, hliníku, železa, niklu.
CuSiNi	Slitina mědi, křemíku, niklu.
ČSN	Česká technická norma.
DMLS	Direct Metal Laser Sintering.
F_p	Přisouvací síla.
F_u	Uzavírací síla.
g	Gram.
HRC	Tvrдость podle Rockwella.
IR	Infračervené záření.
kg	Kilogram.
m^3	Metr krychlový
min	Minuta.

mm	Milimetr.
MPa	Megapascal.
Obr.	Obrázek.
ON	Oborová norma.
p	Vstřikovací tlak.
PA	Polyamid.
PC	Polykarbonát.
PE	Polyetylen.
p _i	Plastikace nové dávky.
PP	Polypropylen.
PS	Polystyren.
Ra	Parametr drsnosti.
Re	Reynoldsovo číslo.
s	Sekunda.
s _k	Pohyb šneku.
s _n	Pohyb nástroje.
T _{av}	Teplota taveniny.
t _d	Doba působení dotlaku.
T _f	Teplota viskózního toku.
t _{ch}	Doba chlazení
t _m	Manipulační teplota.
T _m	Teplota tání.
t _{s1}	Doba uzavření formy.
t _{s2}	Doba přisunutí vstřikovací jednotky
t _{s3}	Doba otevření formy a vyhození dílu.
t _v	Doba vstříknutí taveniny.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Vstřikovací cyklus formy a plastikační jednotky [2].	15
Obr. 2. Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během procesu vstřikování s_k – pohyb šneku, s_n – pohyb nástroje, t_{s1} - uzavření formy, t_{s2} - přisunutí vstřikovací jednotky, t_v - vstříknutí taveniny, t_d - dotlakt _{pl} - plastikace nové dávky, t_{ch} - chlazení, t_{s3} - otevření formy a vyhození dílu, t_m - manipulační doba [1].	15
Obr. 3. Plnění volným tokem [1].	16
Obr. 4. Laminární tok taveniny plastů [1].	17
Obr. 5. Možné dávkovací dráhy u vstřikovacích strojů [1].	18
Obr. 6. Panelová objímka Ba15d vyrobená z reaktoplastu [4].	19
Obr. 7. Přepravky vyrobené z termoplastu [5].	20
Obr. 8. Výrobky z technické pryže pro automobilový průmysl [6].	21
Obr. 9. Vstřikovací stroj	22
Obr. 10. Plastikační jednotka [9].	24
Obr. 11. Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka kloubového provedení, (A) otevřená, (B) uzavřená [10].	25
Obr. 12. Hydraulická uzavírací jednotka, (a) pevná část formy, (b) pohyblivá část formy, (c) vodící tyče, (d) rám stroje, (e) hydraulický vyhazovač, (f) hydraulický válec pro ovládání pohyblivé části formy [10].	26
Obr. 13. Možné rozmístění hydraulických pístů v uzavírací jednotce (a) na straně pohyblivé upínací desky, (b) na straně pevné upínací desky [10].	27
Obr. 14. Schéma kombinovaného uzavíracího systému, [10].	27
Obr. 15. Části vtokového systému [13].	30
Obr. 16. Vtokový kanál s tryskou stroje a přidržovačem vtoku [11].	30
Obr. 17. Příklad určení smáčivého průměru d_H pro kanál o průměru 4 mm [11].	31
Obr. 18. Obecné zásady volby vtokového systému - průřezy vtokových kanálů [11].	32
Obr. 19. Obecné zásady volby vtokového systému - průřezy vtokových kanálů [13].	33
Obr. 20. Plný kuželový vtok, a) výstřík s plným kuželovým vtokem, b) čočkovité vybrání v dutině výstříku [11].	34
Obr. 21. Způsob vyhazování vtoku a výstříku u třídeskové formy, a) po vstřiku, b) utržení vtoku, c) vyhození vtoku a výstříku [11].	35

Obr. 22. Tunelový vtok, a) rozváděcí kanál v obou polovinách formy, b) rozváděcí kanál i dutina v jedné polovině formy, c) zaústění do nálitku, d) zlepšená úprava [11].	35
Obr. 23. Různá uspořádání filmového vtoku [11].	36
Obr. 24. Příklad použití vícenásobného vtoku [11].	37
Obr. 25. Kuželový princip [12].	37
Obr. 26. Obecné zásady volby vtokového systému (a, c, e, f, g - vhodné řešení), (b, d - nutná korekce vtokového ústí [11].	38
Obr. 27. Vliv rozmístění temperačních kanálů, a) vliv rozmístění kanálků na průběh teploty povrchu tvárnice, b) chlazení výlisku o různé tloušťce stěny [13].	43
Obr. 28. Schéma technologie DMLS [8].	45
Obr. 29. Sériová forma s konformním chlazením [8].	45
Obr. 30. Srovnání vrtaného chladicího okruhu (vlevo) a inovativního konformního chlazení (vpravo) [8].	45
Obr. 31. Lisotechnické úpravy tlouštěk stěn [13].	50
Obr. 32. a), f) -závady;b), c), d), e), g) - konstrukční způsoby odstranění závad [11].	51
Obr. 33. Model výrobku v prostředí programu Catia V5R19.	57
Obr. 34. Pohled na levou a pravou část formy.	60
Obr. 35. Pohled na základní dělicí rovinu.	61
Obr. 36. Pohled na pomocné dělicí roviny.	61
Obr. 37. Model tvárniku se zátkami temperačního systému.	62
Obr. 38. Model tvárnice se zátkami temperačního systému.	63
Obr. 39. Modely posuvných čelistí se zátkami temperačního systému.	63
Obr. 40. Celkový pohled na desky formy a její vodící prvky.	64
Obr. 41. Studený vtokový systém a model výrobku.	65
Obr. 42. Trajektorie temperačního systému tvárniku a posuvných čelistí.	66
Obr. 43. Trajektorie temperačního systému tvárnice.	67
Obr. 44. Vyhazovací systém a jeho části.	68
Obr. 45. Součásti transportního systému.	69
Obr. 46. Upravený model vhodný pro vysítování.	70
Obr. 47. Vysítovaný a připravený model.	71
Obr. 48. Výsledek diagnostiky sítě (Aspect ratio <5).	71
Obr. 49. Vhodné umístění vtoku podle analýzy Gating suitability.	72

<i>Obr. 50. Výsledky diagnostiky elementů poměru délky a průměru vtokového systému (Beam L/D ratio).</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 51. Výsledky diagnostiky elementů poměru délky a průměru temperačního systému celé formy (Beam L/D ratio).</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 52. Celkový pohled na fiktivní formu a prvky temperačního a vtokového systému.</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 53. Tabulka s konečnou statistikou sítě zahrnující všechny regiony.</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 54. Indikátor odporu taveniny.</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 55. Indikátor odporu taveniny.</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 56. Čas k dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature).</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 57. Čas k dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature).</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 58. Průběh tlaku během vstřikování (Pressure at injection location).</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 59. Místa výskytu vzduchových bublin (Air traps).</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 60. Průběh teploty temperačního media (Circuit coolant temperature).</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 61. Výsledná hodnota Reynoldsova čísla (Circuit reynolds number).</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 62. Účinnost odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency).</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 63. Celková deformace smrštění výrobku (Deflection, all effects: Deflection).</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 64. Celková deformace smrštění výrobku (Deflection, all effects: Deflection).</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 65. Velikost vzniklého smrštění (Deflection, differential shrinkage: Deflection).</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 66. Velikost vzniklé deformace (Deflection, differential shrinkage: Deflection).</i>	<i>86</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Temperační media jejich vlastnosti.</i>	44
<i>Tab. 2. Oceli vhodné pro konstrukci forem.</i>	47
<i>Tab. 3. Vlastnosti materiálu Bayblend W90 XG.</i>	58
<i>Tab. 4. Parametry stroje Cadence-55-120 56.</i>	59
<i>Tab. 5. Rozměry fiktivní vstřikovací formy.</i>	75
<i>Tab. 6. Zvolené temperační medium a parametry chlazení.</i>	75

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Materiálový list Bayblend W90 XG
- P II S-0820-01 CELKOVÁ SESTAVA
- P III S-0820-02 ŘEZY "A-A" A "B-B"
- P IV DVD - obsahující diplomovou práci ve formátu .pdf, data modelů formy ve formátu .stp, výkresovou dokumentaci ve formátu .pdf

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST BAYBLEND W90 XG



Bayblend® W90 XG

Standard grades / Non reinforced
ISO Shortname

PC+ASA-Blend; Vicat/B 120 temperature = 115°C; UV-stabilized; very good surface finish
ISO 1043 PC + ASA

Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
Rheological properties				
C Melt volume-flow rate	260 °C; 5 kg	cm ³ /10 min	ISO 1133	34
C Molding shrinkage, parallel	60x60x2 mm	%	ISO 294-4	0.5-0.7
C Molding shrinkage, normal	60x60x2 mm	%	ISO 294-4	0.5-0.7
Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)				
C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	2830
C Yield stress	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	65
C Yield strain	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	4
Stress at break	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	50
Strain at break	50 mm/min	%	b.a. ISO 527-1,-2	50
Flexural modulus	2 mm/min	MPa	ISO 178	2640
Flexural modulus	2 mm/min	MPa	b.a. ISO 178	100
Flexural strain at flexural strength	2 mm/min	%	ISO 178	5
Flexural stress at 3.5 % strain	2 mm/min	MPa	ISO 178	85
Izod notched impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 180-A	14
Izod notched impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 180-A	7
C Puncture maximum force	23 °C	N	ISO 6603-2	4800
C Puncture maximum force	-30 °C	N	ISO 6603-2	4250
C Puncture energy	23 °C	J	ISO 6603-2	45
C Puncture energy	-30 °C	J	ISO 6603-2	20
Thermal properties				
C Temperature of deflection under load	1.80 MPa	°C	ISO 75-1,-2	93
C Temperature of deflection under load	0.45 MPa	°C	ISO 75-1,-2	112
C Vicat softening temperature	50 N, 50 °C/h	°C	ISO 306	113
Vicat softening temperature	50 N, 120 °C/h	°C	ISO 306	115
C Coefficient of linear thermal expansion, parallel	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.7
C Coefficient of linear thermal expansion, transverse	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.7
Other properties (23 °C)				
C Density		kg/m ³	ISO 1183-1	1138
Processing conditions for test specimens				
C Injection molding-Melt temperature		°C	ISO 294	260
C Injection molding-Mold temperature		°C	ISO 294	70-75
C Injection molding-Injection velocity		mm/s	ISO 294	240

C These property characteristics are taken from the CAMPUS plastics data bank and are based on the international catalogue of basic data for plastics according to ISO 10350.

Impact properties: N = non-break, P = partial break, C = complete break

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST BAYBLEND W90 XG



Bayblend® W90 XG

Disclaimer

Information Impact properties

Impact properties: N – non-break, P – partial break, C – complete break

Typical value

These values are typical values only. Unless explicitly agreed in written form, they do not constitute a binding material specification or warranted values. Values may be affected by the design of the mold/die, the processing conditions and coloring/pigmentation of the product. Unless specified to the contrary, the property values given have been established on standardized test specimens at room temperature.

General

The manner in which you use and the purpose to which you put and utilize our products, technical assistance and information (whether verbal, written or by way of production evaluations), including any suggested formulations and recommendations, are beyond our control. Therefore, it is imperative that you test our products, technical assistance, information and recommendations to determine to your own satisfaction whether our products, technical assistance and information are suitable for your intended uses and applications. This application-specific analysis must at least include testing to determine suitability from a technical as well as health, safety, and environmental standpoint. Such testing has not necessarily been done by Covestro. Unless we otherwise agree in writing, all products are sold strictly pursuant to the terms of our standard conditions of sale which are available upon request. All information and technical assistance is given without warranty or guarantee and is subject to change without notice. It is expressly understood and agreed that you assume and hereby expressly release us from all liability, in tort, contract or otherwise, incurred in connection with the use of our products, technical assistance, and information. Any statement or recommendation not contained herein is unauthorized and shall not bind us. Nothing herein shall be construed as a recommendation to use any product in conflict with any claim of any patent relative to any material or its use. No license is implied or in fact granted under the claims of any patent. With respect to health, safety and environment precautions, the relevant Material Safety Data Sheets (MSDS) and product labels must be observed prior to working with our products.

Disclaimer Non Medical Grade

This product is not designated for the manufacture of a medical device or of intermediate products for medical devices (1). [This product is also not designated for Food Contact (2), including drinking water, or cosmetic applications. If the intended use of the product is for the manufacture of a medical device or of intermediate products for medical devices, for Food Contact products or cosmetic applications Covestro must be contacted in advance to provide its agreement to sell such product for such purpose.] Nonetheless, any determination as to whether a product is appropriate for use in a medical device or intermediate products for medical devices, for Food Contact products or cosmetic applications must be made solely by the purchaser of the product without relying upon any representations by Covestro. 1) Please see the "Guidance on Use of Covestro Products in a Medical Application" document. 2) As defined in Commission Regulation (EU) 1935/2004.

Covestro AG

Polycarbonates Business Unit

Kaiser-Wilhelm-Allee 60

51373 Leverkusen

Germany

plastics@covestro.com

www.plastics.covestro.com

Page 2 of 2 pages

Edition 11.01.2016

Bayblend®

ISO Datasheet