

Konstrukce vstřikovací formy

Bc. Adam Podaný

Diplomová práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Adam Podaný**
Osobní číslo: **T16254**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce vstříkovací formy**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Nakreslete 3D model zadaného dílu
3. Navrhněte 3D sestava vstříkovací formy pro výrobu zadaného dílu
4. Návrh ověřte pomocí simulace

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle zadání vedoucího DP.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Michal Staněk, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2018

Termín odevzdání diplomové práce:

18. května 2018

Ve Zlíně dne 11. května 2018



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



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

Příjmení a jméno: Podaný Adam

Obor: KTZ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 13.5.2018


.....

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 nevydělčně 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 nahlédnutí 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).

¹⁴ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

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

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro plastový díl. Plastovým dílem je spodní kryt (vana) od notebooku. Součástí diplomové práce je využití CAE softwaru Autodesk Moldflow pro analýzu reologických vlastností polymerních tavenin.

Práce se skládá z praktické a teoretické části, která obsahuje popsání problematiky technologie vstřikování a zásady konstrukce vstřikovacích forem.

V praktické části je popsána modelace zadaného výrobku, postup při konstrukci vstřikovací formy, analýza reologických vlastností zvoleného materiálu pro daný výrobek a výkresová dokumentace. Konstrukce je provedena pomocí programu Catia V5R19 s využitím normálii od firmy HASCO.

Klíčová slova: Technologie vstřikování, vstřikovací forma, 3D model, sestava, simulace vstřikování.

ABSTRACT

Master thesis deals with the construction of injection mold for plastic part. The plastic part is a laptop shell. In this thesis modern CAE software Autodesk Moldflow is used for analysis rheological characteristics of polymers.

Master thesis is divided into practical and theoretical part, which contains of description of injection molding technology, the problem of injection molding and principles, which should be kept.

In practical part of master thesis there is described modeling of plastic part, mould construction schedule, analysis of rheological characteristics for certain polymer and drawing assembly. The program Catia V5R19 and the normalized device of company Hasco are used during the construction.

Keywords: Injection molding technology, 3D model, assembly, injection simulation.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Michalu Staňkovi, PhD, za odborné vedení, poskytnuté rady, za čas a pozornost, kterou mi ochotně věnoval při vypracování této diplomové práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomová práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně, 20. 05. 2018

.....

Podpis

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ	13
1.1 FONTÁNOVÝ TOK	13
1.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	14
1.3 PRŮBĚH TLAKU BĚHEM VSTŘIKOVACÍHO CYKLU - PV _T DIAGRAM.....	15
1.4 VÍCE-KOMPONENTNÍ VSTŘIKOVÁNÍ.....	16
1.5 VSTŘIKOVÁNÍ STRUKTURNÍCH PĚN.....	16
2 VSTŘIKOVACÍ STROJ	17
2.1 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	17
2.2 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	18
2.3 STROJNÍ ČASY.....	19
2.3.1 Otevírací a uzavírací čas formy.....	19
2.3.2 Čas plnění.....	19
2.3.3 Dotlak.....	20
2.3.4 Čas chlazení	20
3 KONSTRUKCE FORMY	21
3.1 RÁM FORMY	21
3.1.1 Popis jednotlivých desek formy	21
3.1.2 Vyhazovací desky a vyhazovače.....	23
3.1.3 Středící prvky	24
3.1.4 Vodící prvky.....	25
3.2 DĚLÍCÍ ROVINA	26
3.3 VTOKOVÁ SOUSTAVA	27
3.3.1 Rozdíly mezi SVS a VVS	27
3.3.2 Vyhřívaná vtoková soustava	27
3.3.3 Horký rozvodný blok	28
3.3.4 Vyhřívané trysky	28
3.3.5 Studený vtokový systém	29
3.3.6 Uspořádání vtoků podle násobnosti formy	30
3.3.7 Tvar vtokových kanálků.....	31
3.3.8 Rozměry vtokových kanálků.....	31
3.3.9 Vliv tvaru a umístění vtokového ústí na kvalitu	31
3.3.10 Přidržovač vtoku	33
3.3.11 Zásady pro umístění vtokového ústí	33
3.4 TEMPERACE FOREM.....	34
3.4.1 Úkol temperace	34
3.4.2 Aktivní x Pasivní temperace	34
3.4.3 Rez.....	35
3.4.4 Čištění a vysoušení temperačních okruhů.....	36
3.4.5 Obecné zásady při volbě temperačního okruhu	37
3.4.6 Součásti temperačního systému	37
3.5 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	38
3.5.1 Vyhazovací kolíky	38

3.5.2	Šikmé vyhazovače.....	39
3.5.3	Vyhazovací desky a kroužky	39
3.5.4	Poškození formy jako důsledek špatné konstrukce.....	39
3.5.5	Absence vratných kolíků.....	39
3.6	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	40
3.6.1	Různorodost v tloušťce	41
3.6.2	Více vtokových ústí.....	41
3.6.3	Vakuové odvzdušnění	41
3.7	VADY NA VÝSTŘIKU V JEJICH ODSTRANĚNÍ	41
3.7.1	Přetoky, otřepy	41
3.7.2	Neúplné výstřiky	42
3.7.3	Studené spoje	42
3.7.4	Propadliny, lunkry a zvlnění povrchu	42
3.7.5	Volný proud taveniny / Meandrový tok	42
3.7.6	Stopy po vyhazovačích	43
3.7.7	Deformace výrobku při vyhazování	43
II	PRAKTICKÁ ČÁST	44
4	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	45
5	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	46
5.1	MATERIÁL VÝROBKU	46
6	ZVOLENÝ VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	47
6.1	ZÁKLADNÍ PARAMETRY STROJE.....	47
7	KONTROLA ZVOLENÉHO VSTŘIKOVACÍHO STROJE	48
8	KONTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	50
8.1	DĚLÍCÍ ROVINA A NÁSOBNOST FORMY	50
8.2	TVAROVÉ VLOŽKY	51
8.3	BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ.....	51
8.4	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	55
8.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	57
8.5.1	Pasivní temperace.....	57
8.5.2	Aktivní temperace	58
8.6	LEVÁ A PRAVÁ STRANA FORMY	60
8.7	VTKOVÝ SYSTÉM	61
8.8	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	62
8.9	RÁM FORMY	62
8.10	MANIPULACE S FORMOU	63
8.10.1	Závěsné oko	63
8.10.2	Břemenový magnet	64
8.11	DALŠÍ NEZBYTNÉ KOMPONENTY FORMY	65
8.11.1	Vnitřní středící zámky	65
8.11.2	Jistící zámky.....	65
8.11.3	Identifikace formy.....	66
9	TOKOVÁ ANALÝZA	67

9.1	TVORBA A ANALÝZA STATISTIKY SÍTĚ.....	67
9.2	VHODNOST UMÍSTĚNÍ VTOKU (GATING SUITABILITY)	68
9.3	PROCESNÍ PARAMETRY ANALÝZY	69
9.4	VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ DAT ANALÝZY	72
9.4.1	Čas plnění (Fill time)	72
9.4.2	Vstřikovací tlak a bod přepnutí na dotlak (Pressure at V/P switchover)	73
9.4.3	Čas potřebný na dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)	75
9.4.4	Vzduchové kapsy (Air traps)	76
9.4.5	Uzavírací síla (Clamp force)	78
9.4.6	Plnění jednotlivými vtoky (Grow from)	79
9.4.7	Studené spoje (Weld lines).....	80
9.4.8	Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature)	82
9.4.9	Tlak v temperačním okruhu (Circuit pressure)	83
9.4.10	Celková deformace od všech efektů (Deflection all effects).....	83
10	NÁKLADY NA VÝROBU DÍLU.....	85
10.1	KALKULACE CENY VÝROBKU	86
	DISKUZE VÝSLEDKŮ	88
	ZÁVĚR	90
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	91
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	94
	SEZNAM OBRÁZKŮ	95
	SEZNAM TABULEK.....	98
	SEZNAM PŘÍLOH.....	99

ÚVOD

Využití polymerů začalo v 50. letech 20. století. V té době málokdo předpokládal, že za dalších 70 let se počet, různorodost typů a kvalita výrobků z těchto materiálů až tak dramaticky zvýší, respektive zlepší. Počet, typy a využití polymerů roste se stále zvyšujícími nároky na kvalitu výrobků, jednoduchost výroby a finanční náklady. Jejich počet roste také díky objevení nových typů plastů, které stále více nahrazují staré materiály jako ocel, dřevo aj. Hlavní devízou polymerů jsou mechanické, chemické vlastnosti, životnost, recyklovatelnost a hlavně cena, která je v dnešní době klíčová.

Technologie vstřikování je díky svým technologickým vlastnostem největším producentem nejrůznějších plastových výrobků v dnešní konzumní společnosti. Tyto výrobky můžeme vidět v leteckém, elektrotechnickém, potravinářském, lékařském, automobilovém průmyslu a jiných odvětvích. Samotná technologie vstřikování na několik desítek let doznala obrovského pokroku a větší specializace. Mezi tyto specializace patří více-komponentní vstřikování, při kterém je výrobek ze dvou a více typů materiálů, GIT nebo WIT vstřikování, při kterých vstřikujeme duté díly, vstřikování sendvičů nebo vstřikování lehčených plastů a pěn atd.

Cílem diplomové práce je navrhnutí vstřikovací formy pro spodní kryt od notebooku nspecifikované značky. Modelování bude probíhat v programu Catia V5R19. V dnešní době je k dispozici spousta pomocných softwarů, díky kterým je možno analyzovat proces vstřikování a najít možné oblasti, které je nutné optimalizovat, ještě předtím, než dojde k samotné výrobě dané formy a tím k ušetření peněz. V této diplomové práci bude využit také program Autodesk Moldflow, který nabízí tokové analýzy, efektivitu chlazení a předpověď smrštění vlivem teplotních spádů.

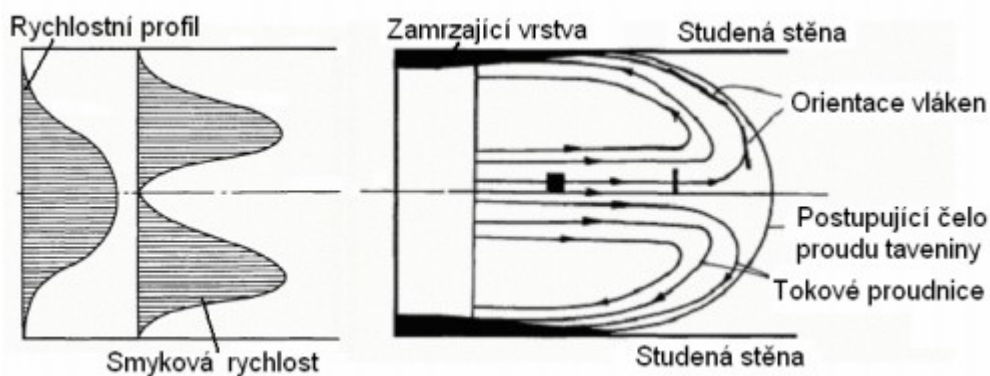
Vtokový systém bude variován dvěma způsoby. Vtokový systém bude v 1. variantě vyhřívaný s dvěma vtokovými ústí. Druhá varianta je obdobná té první, ale vtokový systém bude studený. Cílem této práce je zjistit, který typ vtokového systému bude ekonomicky výhodnější při dané délce životnosti projektu (1,5 mil. vyrobených kusů). A také od jakého výrobního množství je vhodné použít vyhřívaný vtokový systém.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ

Vstřikování je cyklický způsob výroby, při kterém je roztavená polymerní tavenina pomocí tlaku dopravena do dutiny formy. Ve formě se ochladí na vyhazovací teplotu a ochlazený výrobek je následně pomocí vyhazovačů vyhozen z dutiny formy. Tento způsob výroby je vhodný pro velkosériové výroby, např. automobilový průmysl, hardwarové komponenty v oblasti IT, elektrotechnice atd.

1.1 Fontánový tok



Obr. 1. Fontánový tok [6]

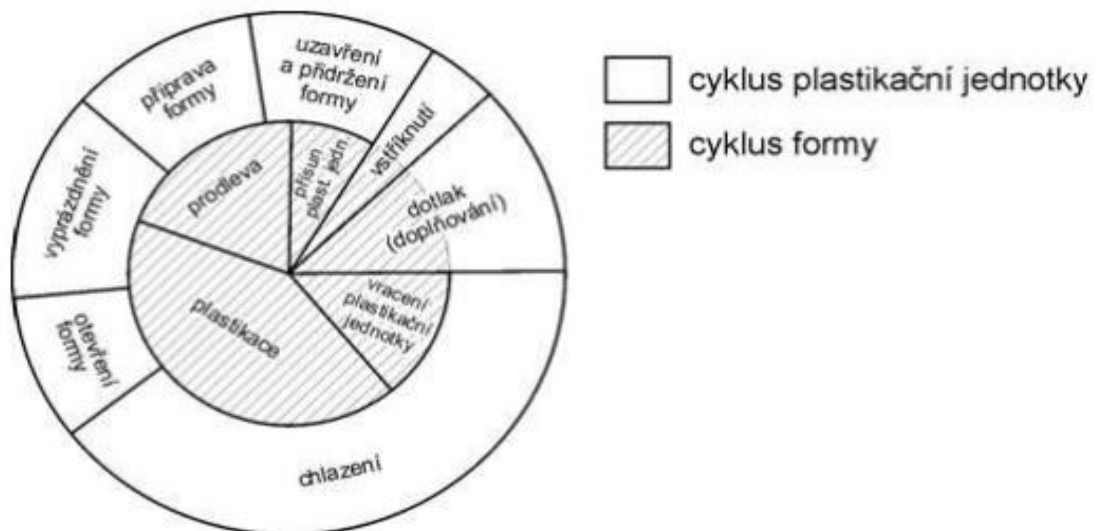
K plnění dutiny formy dochází pomocí "valení" taveniny. Jedná se o laminární proudění, které se v oblasti pseudoplastických látek nazývá "Fontánový tok". Vstřikuje-li se výrobek plněný skelnými vlákny, tak fontánový tok zaujímá velký vliv na orientaci těchto vláken a tedy na vlastnosti vstřikovaného výrobku. [1] [2] [5] [6]

Největší hodnota rychlosti smykové deformace je v tzv. "Inflexním bodě", který je vzdálen v jedné třetině délky od stěny tokové domény.

1.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus tvoří následující kroky:

- uzavírání formy,
- vstříknutí,
- dotlak,
- chlazení a plastikace,
- otevření formy a vyhození výrobku,
- příprava na další cyklus

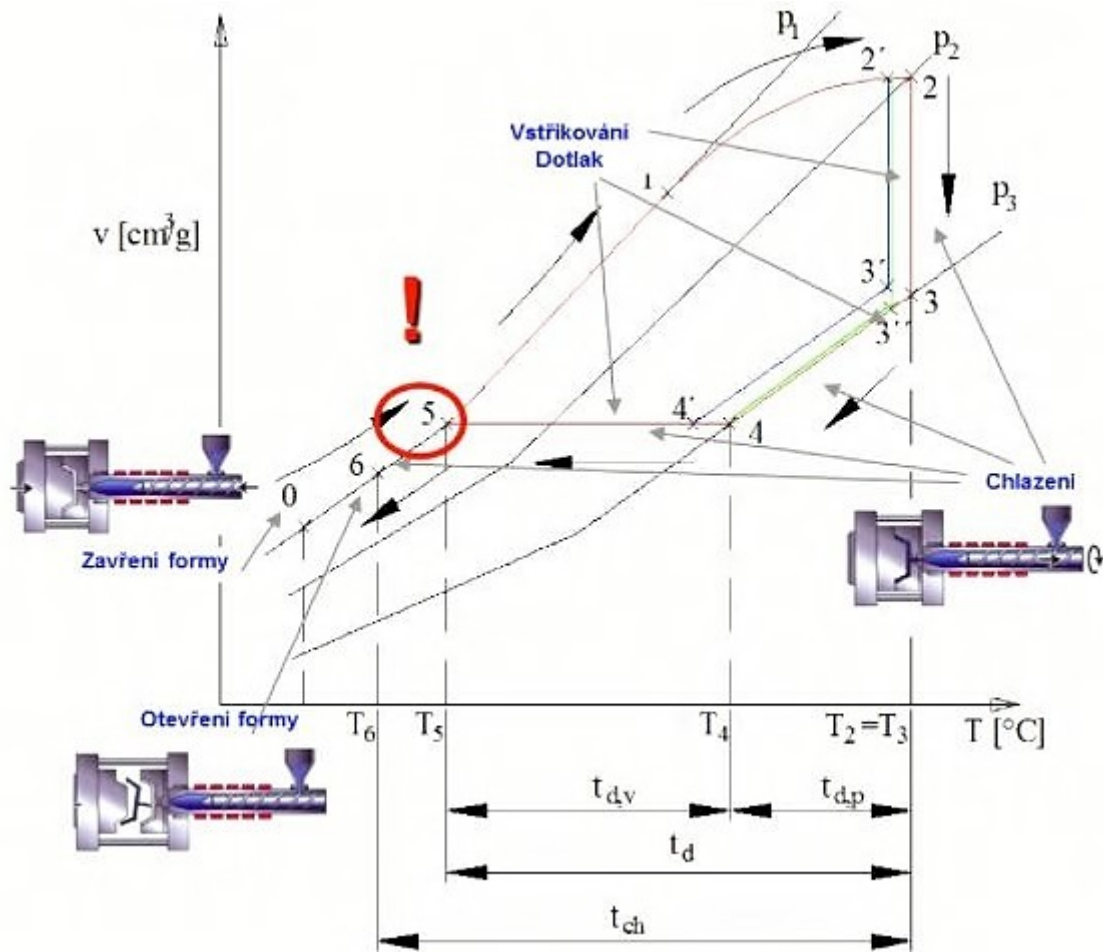


Obr. 2. Schéma vstřikovacího cyklu [4]

Aby bylo docíleno největší produkce je potřeba jednotlivé časové úseky optimalizovat tak, aby byly co nejkratší, ale zároveň byly splněny kritéria jednotlivých úseků. Celková délka vstřikovacího cyklu je dána součtem jednotlivých časových úseků daných operací.

Ze schématu vstřikovacího cyklu lze vidět, že po uzavření formy je polymerní tavenina vstříknutá do formy danou rychlostí. Po vstříknutí následuje dotlak, který skončí při částečném ochlazení taveniny. Potom odjede vstřikovací jednotka od formy a začne plastikace nové dávky polymerní taveniny pro další vstříknutí. Následně se otevře vstřikovací forma a ochlazený výstřik se vyhodí z dutiny formy. Následně se celý cyklus opakuje. [1] [3] [15]

1.3 Průběh tlaku během vstřikovacího cyklu - pvT diagram



Obr. 3. Schéma pvT diagramu [11]

Začátek vstřikování v diagramu pvT je v bodě 2. Z bodu 2, který leží na křivce p_2 prudce narůstá tlak, který je vyvolán osovým/axiálním posunutím šneku. Maximální hodnoty tlak dosáhne v bodě 3, který leží na křivce p_3 . Vstřikovací rychlost klesne, když je dutina vstřikovací formy zaplněna polymerní taveninou. Přepnutí na dotlak nastává, když je hodnota tlaku nejvyšší. Dotlak je dvou krocích. Křivka p_3 mezi body 3 a 4 představuje izobarický dotlak. Při dosažení bodu 4 se z izobarického dotlaku stává dotlak izochorický.

V diagramu je zásadní bod 5, který ovlivňuje vlastnosti a kvalitu výrobku (rozměry, smrštění atd.). V ideálním případě z hlediska kvality výrobku, by bylo žádoucí, aby všechny výrobky měli stavové veličiny odpovídající bodu 5. Mezi body 5 a 6 nedochází k dotlaku a zároveň končí chlazení ve formě. V bodě 6 se forma otevře a výrobek se chladí mimo formu na teplotu okolního prostředí.

1.4 Více-komponentní vstřikování

Při více-komponentním vstřikování je forma složena ze dvou nebo více různých tvárnic a tvárníků, které jsou plněny ze dvou nebo více vstřikovacích jednotek, které obsahují odlišné materiály. Tyto materiály se mohou od sebe lišit jak barvou, tak vlastnostmi. Typickým příkladem tohoto vstřikování jsou zubní kartáčky, držáky nástrojů apod.

V praxi to u dvou-komponentního vstřikování funguje tak, že se forma uzavře, materiál se dopraví do první dutiny mezi tvárníkem a tvárnicí. Následně se forma otevře a pohyblivá část formy se pootočí vertikálně o 180°. Dojde k uzavření formy a následnému vyplnění druhé dutiny mezi tvárníkem a tvárnicí. [1] [13]



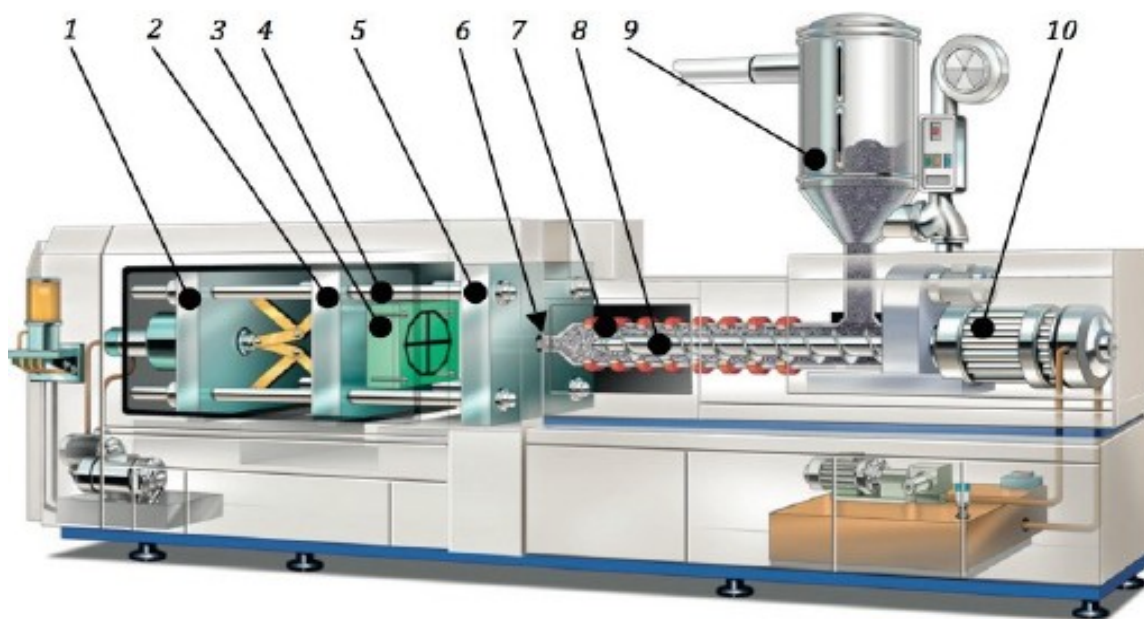
Obr. 4. Vstřikovací forma pro více-komponentní vstřikování [26]

1.5 Vstřikování strukturních pěn

Obdobný proces jako u vstřikování termoplastů. Zde je navíc přidáváno nadouvadlo, které se mění během procesu na plyn. Následně je dutina formy vyplněna touto směsí, jejíž objem roste (expanduje) vlivem plynu. Vyrábí se výrobku s minimální tloušťkou 5 mm z důvodu správného zpěnění materiálu [1]

2 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroje jsou děleny dle uzavíracího a vstřikovacího mechanismu na hydraulické, mechanické a poháněné servomotory. Moderní stroje používají servomotory, zatímco stroje starší konstrukce využívají převážně hydraulické obvody. Nové vstřikovací stroje se servomotory umožňují daleko lepší nastavení procesních parametrů. [1] [17] [19]

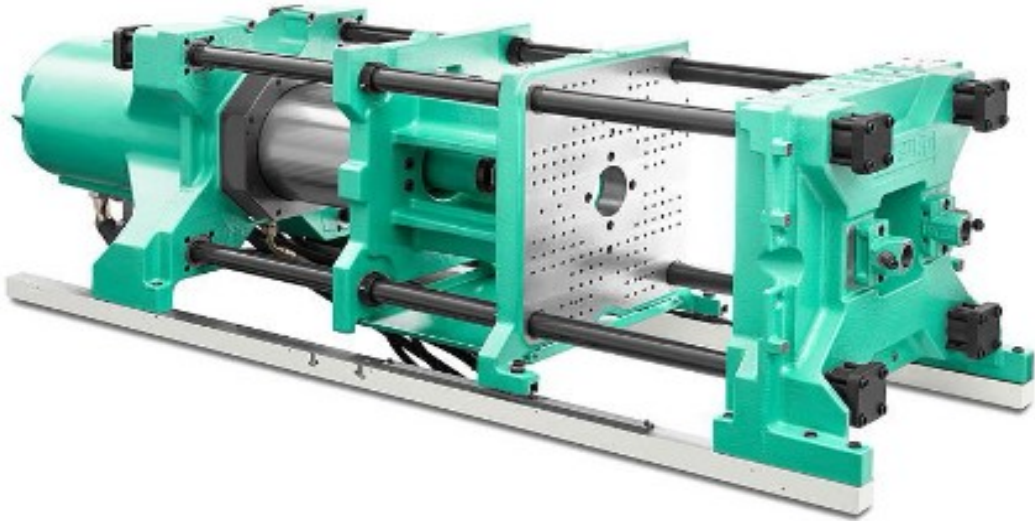


Obr. 5. Schéma vstřikovacího stroje [10]

1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky, 5 – pevná upínací deska, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky, 7 – tavicí komora, 8 – šnek, 9 – násypka, 10 – pohonná jednotka šneku

2.1 Uzavírací jednotka

Účelem uzavírací jednotky je zavírat a otevírat vstřikovací formu (nejlépe co nejrychleji), tak jak je to vyžadováno v průběhu vstřikovacího cyklu. Při uzavření formy je důležité, aby uzavírací jednotka vyvinula takovou uzavírací sílu, která zajistí, aby se forma během vstřikovacího cyklu neotevřela v dělicí rovině nebo aby nedošlo ke vzájemnému posunutí desek formy. [1] [13]



Obr. 6. Uzavírací jednotka [9]

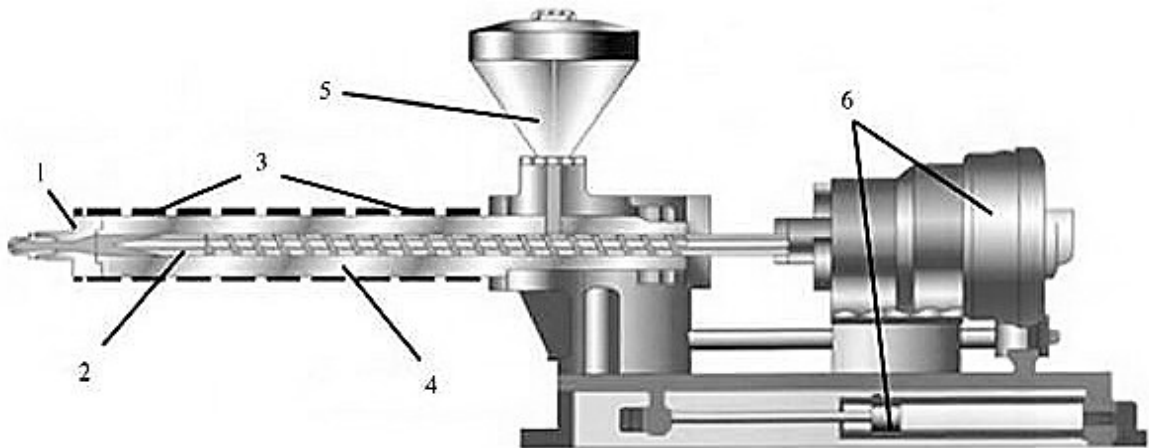
2.2 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotky jsou převážně šnekové stroje, které ohřívají materiál ve formě granulátu na požadovanou pracovní teplotu. Teplotu je nutno udržovat na konstantní hodnotě, protože přímo ovlivňuje viskozitu, průběh tlaku ve formě, dobu ochlazování a orientaci makromolekul. Ohřev je realizován pomocí topných těles a disipace. [1] [15]

Posuv granulátu od násypky po výstup je realizován pomocí tření mezi šnekem, granulátem a stěnou tavicí komory a otáčejícím se šnekem. Při plastikaci se šnek pohybuje vzad a zároveň se otáčí kolem své osy. Granulát, který padá mezi závity šneku se tak dopravuje směrem k trysce a mezitím se taví, homogenizuje a hněte. [1] [15]

Topení obklopující pracovní válec je většinou složeno ze tří nebo více topných zón, které poskytují dostatečné a rovnoměrné ohřátí, které je žádané při spuštění stroje, ale také tam, kde by nedocházelo k dostatečnému ohřátí materiálu jen pomocí mechanické práce samotného šneku.

Vstřikovací jednotka vstřikuje materiál (pomocí tlaku) do dutiny formy. Hodnota potřebného tlaku na zaplnění formy vysoce závisí na tloušťce vstřikovaného výrobku. Tlustostěnné výrobky nevyžadují tak vysokou hodnotu vstřikovacího tlaku (50-100 MPa). Naopak hodnota tlaku pro tenkostěnné výrobky může být i dvojnásobná pro úplné zaplnění formy před tím, než polymerní tavenina ztuhne.[1]



Obr. 7. Vstřikovací jednotka [11]

1 - tryska, 2 - šnek, 3 - topné elementy, 4 - tavící komora, 5 - násypka, 6 - pohon

2.3 Strojní časy

2.3.1 Otevírací a uzavírací čas formy

Je důležité si uvědomit, že jak čas potřebný pro otevření a zavření formy je svým způsobem ztracený čas, tedy čím delší tyto doby jsou, tím je produktivita nižší. Zároveň větší produktivity lze dosáhnout také tím, že v průběhu otevírání formy může začít vyhazování výrobků. Nicméně v některých případech je nevyhnutelné, aby došlo nejdříve k úplnému otevření formy a poté k vyhození výrobků. [1]

2.3.2 Čas plnění

Čas plnění ovlivňují 3 faktory: vstřikovací stroj, tvarová složitost výrobku a zvoleného materiálu.

Čas plnění a stroj

Čím rychleji dokáže stroj vstříknout požadované množství polymeru, tím je čas plnění je kratší. Vstřikovací stroje jsou hodnoceny podle objemu vstříknutého Polystyrenu za sekundu. [1]

Čas plnění a tvarová složitost výrobku

Plnění závisí na [1]:

- tlakovém spádu,
- násobnosti formy,
- tvarové složitosti výrobku.

2.3.3 Dotlak

Polymerní tavenina se smršťuje ihned po vstříknutí tam, kde je v kontaktu se studenou stěnou tvárnice nebo tvárníku. Negativním jevem smrštění je tzv. propadlina. Lze vidět hlavně u tlustostěnných výrobků. Pomocí dotlaku se docílí rozměrová a tvarová přesnost. K popisu tohoto problému je důležité znát termodynamické charakteristiky polymerních látek (měrné teplo, tepelná vodivost, teplotní vodivost a tzv. pvT chování). Cílem dotlaku je udržet hodnotu tlaku na určité hodnotě ve vtokovém ústí, aby se kompenzovalo smrštění a bylo zajištěno úplné zaplnění formy. V důsledku tuhnutí ztrácí tavenina svůj objem a proto je dotlak důležitý z pohledu úplného zaplnění formy. [1] [7] [12] [15]

2.3.4 Čas chlazení

Začátek chlazení nastává již při vstříkování a pokračuje v průběhu dotlaku. Fáze chlazení ovlivňuje vnitřní pnutí, strukturu a další faktory. Některé souvisí s designem výrobku nepřímo, jako zdroj chladícího média, zatímco některé přímo závisí na designu a konstrukci formy. Fáze chladnutí ve formě je ukončena v momentě, kdy se otevře forma a vyhodí se výstřík. [1] [15]

3 KONSTRUKCE FORMY

3.1 Rám formy

Rám formy je možno chápat jako celek složený z desek, vodících a spojovacích příslušenství, které jsou vzájemně propojeny a tvoří tak funkční mechanismus. Celý rám může být rozšířen a další funkční celky, a díky nim tak tvoří kompletní formu s požadující funkcí. Rám formy je rozdělen na pohyblivou a nepohyblivou stranu, která je ukotvena na stranu vstřikovacího stroje. [17] [18] [19]

Další funkční požadavky na rám jsou [19]:

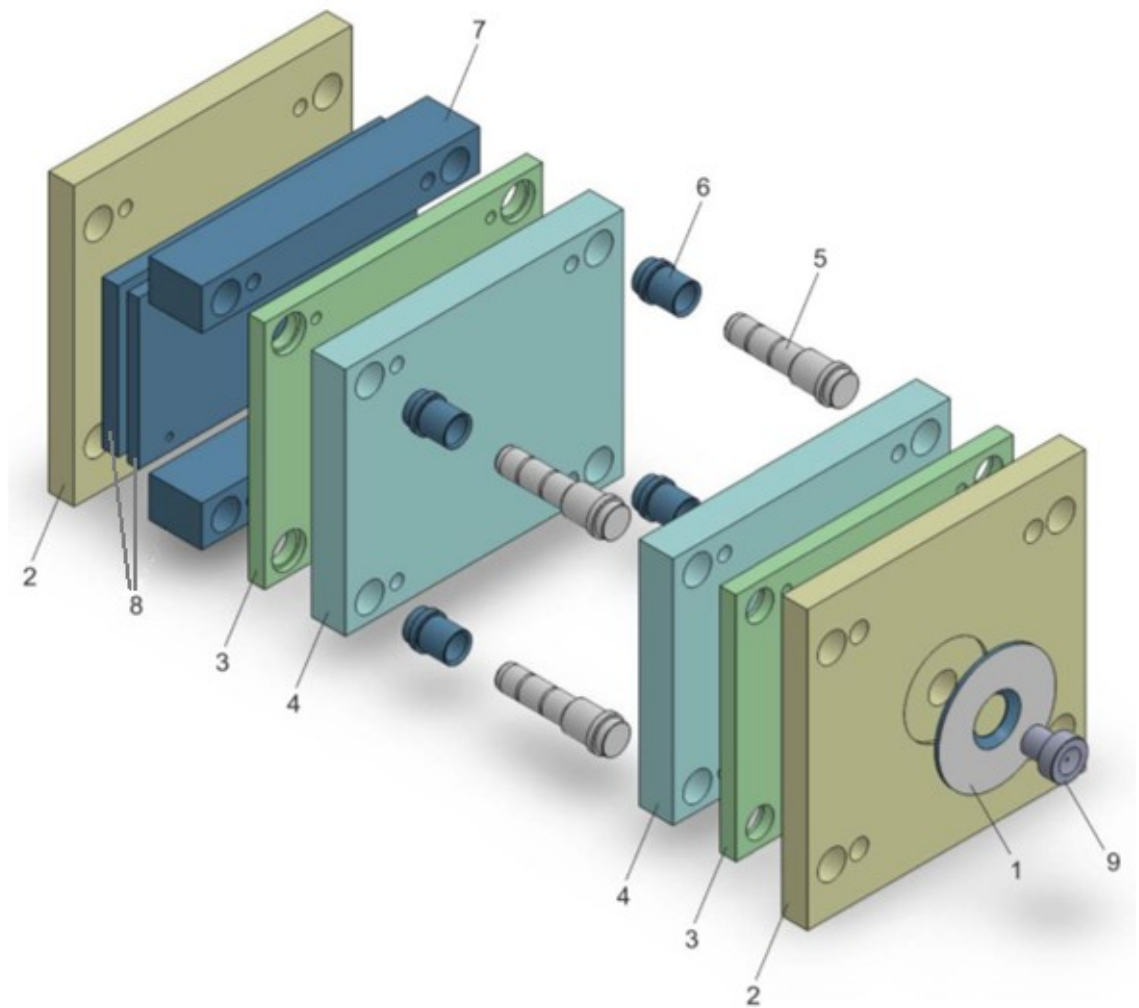
- zajistit přesnou polohu na vstřikovacím stroji,
- co nejlepší a bezpečnější upnutí na stoji,
- co nejdokonalejší vedení pohyblivých dílů formy,
- snadné upnutí tvarových vložek ostatních funkčních dílů,
- jednoduché umístění temperačního a vyhazovacího systému při zajištěné funkčnosti.

Rámy jednotlivých forem jsou od sebe odlišné v závislosti na velikosti a tvaru vstřikovaného dílu. Na skládání rámu formy se často používají normálie (standardizované díly) od specializovaných výrobců, například Hasco nebo Meusburger. [18]

3.1.1 Popis jednotlivých desek formy

Upínací desky:

- **Pevná upínací deska** je upnuta pomocí šroubů na pevné části vstřikovacího stroje. Na této desce je upevněn středící kroužek pro vystředění formy a vstřikovací jednotky. Mezi středícím kroužkem a kotevní deskou teče tavenina a tok je ukončen v dělicí rovině. Tato deska je společně s opěrnou a tvarovou deskou vystředěna pomocí vodících sloupků.
- **Pohyblivá upínací deska** je stejně jako pevná kotevní deska upnutá pomocí šroubů. Tato deska obsahuje otvor, který vede vyhazovací mechanismus



Obr. 8. Rám vstřikovací formy [17]

1 - středící kroužek, 2 - upínací desky, 3 - opěrné desky, 4 - tvarové desky, 5 - vodící sloupky, 6 - vodící pouzdra, 7 - rozpěrná deska, 8 - desky vyhazovačů, 9 - vtoková vložka

Tvarové desky:

Tvarová deska - Tvárnice je umístěna na nepohyblivé straně a prochází jí vtok a možno také složky bočního odformování. U menší a jednodušších forem je možné vynechat opěrnou desku a vodící sloupky jsou právě v této desce.

Tvarová deska - Tvárník je umístěna na pohyblivé straně a prochází jí vyhazovače, které vyhodí výrobek z formy. Do tvarové desky jsou zapuštěny vodící pouzdra, do kterých vodící čepy pevné části formy zajíždí.

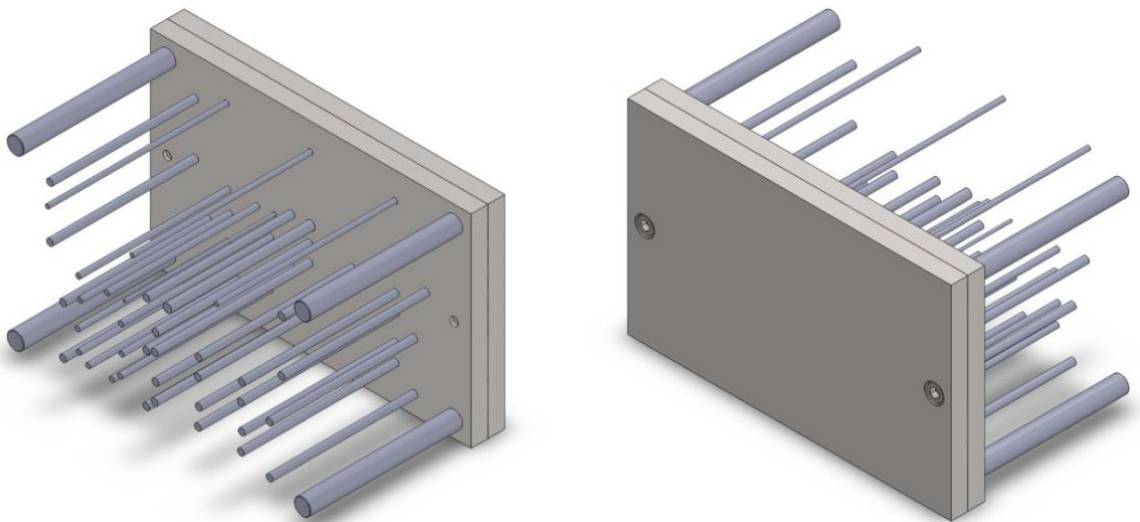
Rozpěrné desky se vyskytují zpravidla v pohyblivé části formy. Vytvářejí ve formě prostor k pohybu desek vyhazovacího systému, zvětšují stavební výšku, aby bylo možno dosáhnout minimálního rozměru pro upnutí na daný stroj, zmenšují odvod tepla v důsledku menších styčných ploch mezi funkční a upínací částí. U forem velkých rozměrů je nutné, umístit mezi rozpěrné desky opěrné sloupky, aby nedošlo k deformaci tvárníků. [17] [18] [19]

3.1.2 Vyhazovací desky a vyhazovače

Vyhazovací desky slouží k upnutí, vedení a ovládání vyhazovačů při dopředném a zpětném pohybu. Nejčastější složení vyhazovacích desek je z desky kotevní a opěrné.

Pomocí vyhazovačů dochází k vyjmutí výrobku z formy. Lze je využít jako součást tvárníků. Vyhazovačů je několik typů o různých délkách, průměrech a tvarů. Průměr a tvar je ovlivněn velikostí výrobku, danou styčnou plochou, na kterou vyhazovač dosedá. Jsou upevněny ve vyhazovací desce v pohyblivé straně vstříkovací formy.

U tvarově složitých forem však jejich umístění může být i v nepohyblivé straně a jejich pohyb je vyvolán pomocí pneumatického, elektrického, nebo hydraulického systému. [17] [19]



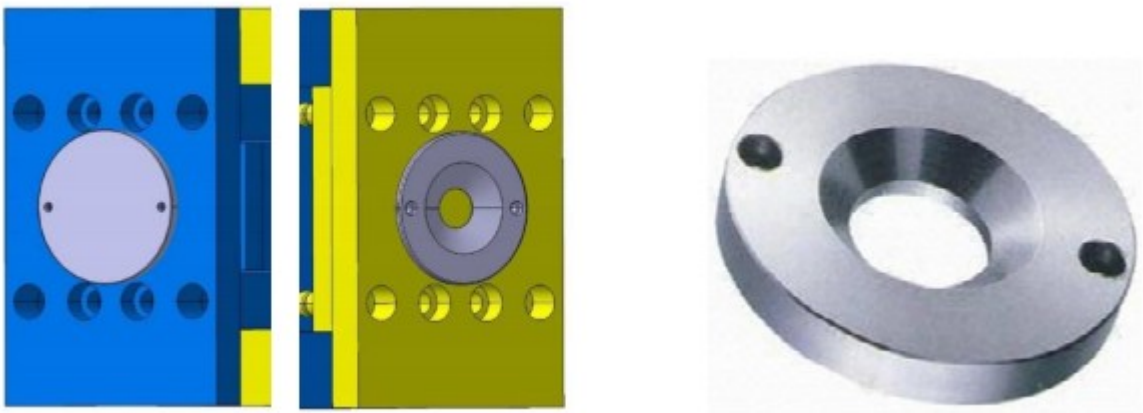
Obr. 9. Vyhazovacího systému [17]

3.1.3 Středící prvky

Jako středící a vodící prvky se nejčastěji používají normalizované díly. Středící prvky zajišťují správné ustavení formy ve stroji a přesné sesazení pohyblivé a nepohyblivé části. Vodící prvky umožňují přesný pohyb pohyblivých částí formy při otevírání a zavírání formy. [18]

Středící kroužky

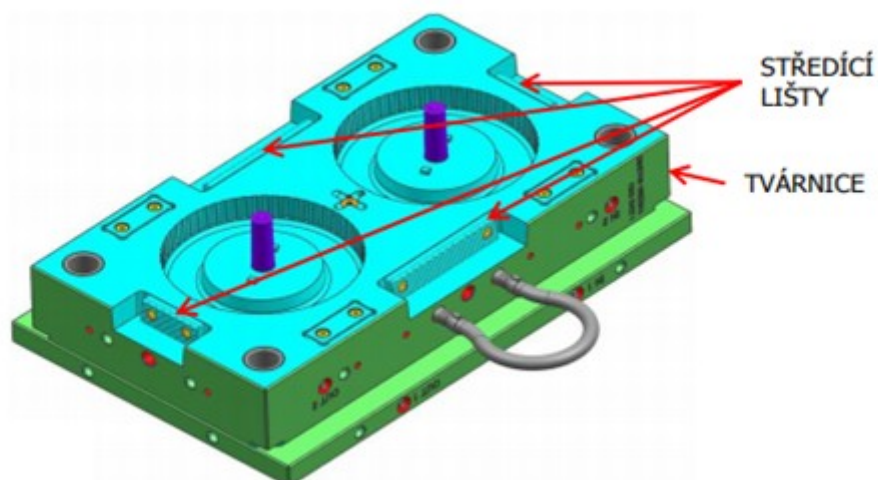
Slouží k navedení trysky stroje k vtokové vložce. Jsou na pevné straně i na pohyblivé straně formy.



Obr. 10. Umístění středícího kroužku [18]

Středící lišty

Používají se pro přesné sesazení pohyblivé a nepohyblivé části formy, při zavírání formy ve stroji.



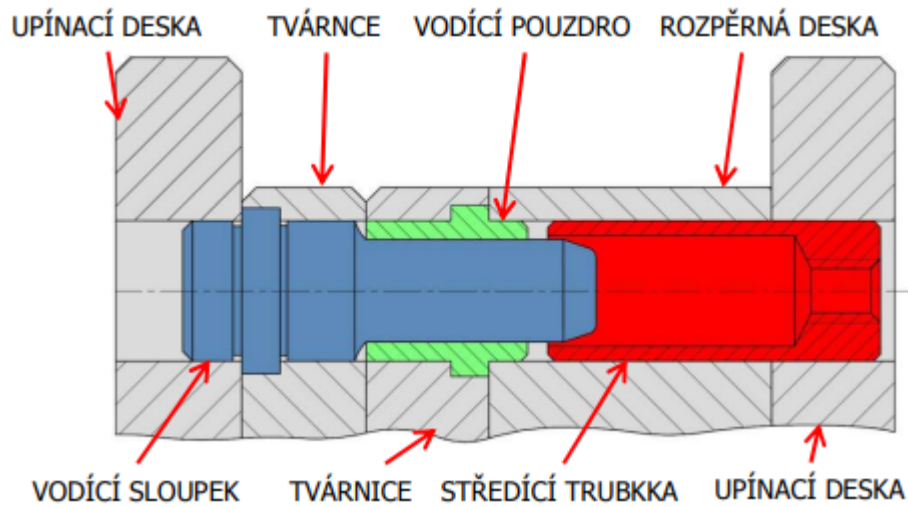
Obr. 11. Umístění středících lišt na tvárnici [18]

Středící zámky

Mají obdobnou funkci jako středící lišty, ale jsou namontovány ve vnitřku formy. Tvoří je dvě části, které svým vzájemným tvarem a rozměry zapadají do sebe, a tak zajišťují přesné ustavení pohyblivé části formy vůči nepohyblivé.

Středící trubky

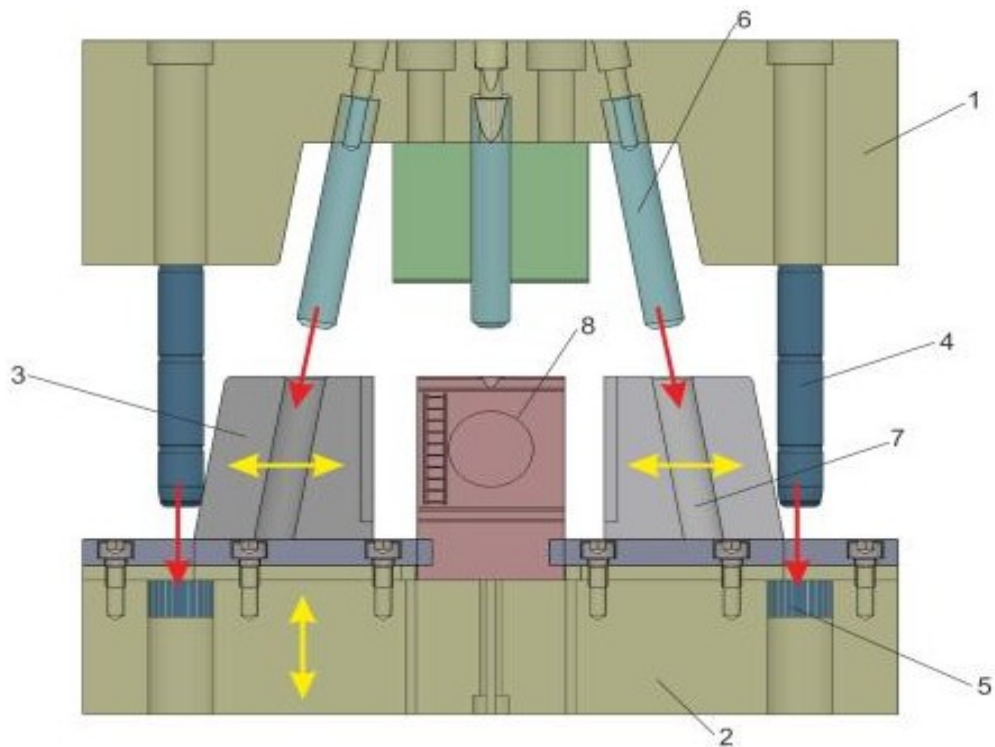
Pomocí středících trubek je možno docílit vystředění rozpěrných desek vůči, upínacím deskám. Vodicí sloupky při zavírání formy zajíždějí do vodicích pouzder. [18] [19]



Obr. 12. Řez středících a vodicích částí [18]

3.1.4 Vodicí prvky

Vodicí prvky umožňují přesný pohyb pohyblivých částí formy při otevírání a zavírání formy. Na obr. 13 lze vidět, že prostřednictvím vodicích sloupků (4) a pouzder (5) se zajistí vedení a vystředění protilehlých částí formy. U výrobků, jejichž forma obsahuje boční odformování zajišťují plynulý pohyb posuvných čelistí (5). Při pohybu pohyblivé strany formy se kolíky pohybují v otvorech (7) pohyblivých vložek (3). Kolíky a otvory pro tyto kolíky jsou pod určitým úhlem od osy pohybu formy odkloněny. Tak vzniká posuvný mechanismus, který odsunuje a přisunuje pohyblivé vložky (3) směrem od jádra nebo k jádru formy (8). [17] [18]



Obr. 13. Schematické zobrazení vodících prvků formy [17]

3.2 Dělicí rovina

Volba dělicí roviny je velice důležitý faktor k dodržení tvaru, rozměrů a ekonomii výroby. Její tvar může být šikmý, různě tvarovaný a v případech s bočními pohyblivými tvarovými čelistmi se tvoří hlavní a vedlejší dělicí plochy.

Nároky na dělicí rovinu jsou:

- snadné vyjmutí výrobku z formy, snadno vyrobitelná a musí dobře lícovat,
- stopa po dělicí rovině nesmí snižovat estetickou hodnotu,
- musí splňovat požadavky na přesnou výrobu, směr úkosů a sousost výrobku, pokud je v obou polovinách formy. [23]

3.3 Vtoková soustava

Vtoková soustava zajišťuje dopravu polymerní taveniny z plastikační komory do dutiny formy v co nejkratším časovém horizontu. Musí být zajištěno stejnoměrné plnění, snadné oddělení od výrobku a snadné vyhození vtokového zbytku. Vtokové ústí by mělo být navrženo, aby se umožnila maximální doba působení dotlaku k vyrovnání objemového smrštění, jak je uvedeno v kapitole 2.3.3 Dotlak. Vtok by měl být umístěn do nejtlustšího místa výrobku. Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin, jejich rozmístění a konstrukčního provedení výstřiku. [13] [17] [20]

3.3.1 Rozdíly mezi SVS a VVS

Výhody studených systémů:

- levnější a jednodušší provedení formy než vyhřívané soustavy,
- komponenty jsou standardizované díly, není potřeba energetické připojení,
- jednoduché konstrukce u vícenásobných forem.

Nevýhody studených systémů:

- větší spotřeba plastu v důsledku vtokových zbytků,
- potřeba zajistit oddělování a přidržování vtokových zbytků. [22]

3.3.2 Vyhřívaná vtoková soustava

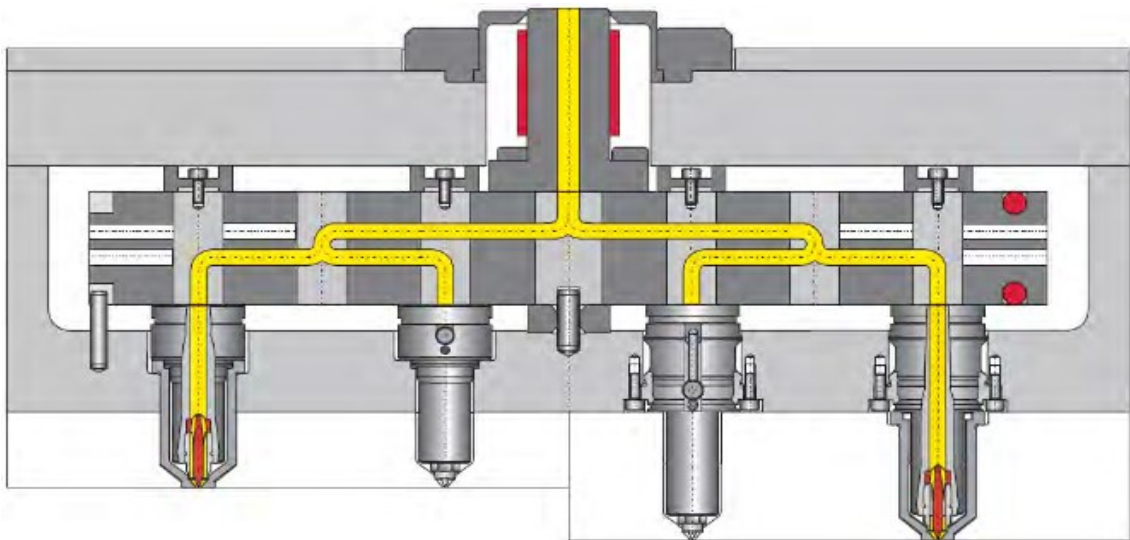
V dnešní době mají VVS čím dál větší využití. Mezi hlavní výhody patří automatizace výroby, velkosériová výroba, zkrácení výrobního cyklu, eliminace odpadu atd. I přes několik výhod jsou zde i některé negativní jevy, jako je vyšší cena formy, větší nároky na odbornost dané firmy a personálu, nepraktické při malosériové výrobě, zajištění regulátorů a snímačů.

Dnešní VVS obsahují vyhřívané trysky, kterými se docílí minimální tlakový a teplotní úbytek a optimální toky polymerní taveniny. Princip spočívá v tom, že v celé délce vtoku zůstává tavenina v plastickém stavu. Díky tomu je možno využít bodový vtok s velmi malým průřezem v místě vstupu do dutiny formy. [13] [17] [23]

U VVS je žádoucí, aby na povrchu vtokového ústí bylo zahroubení, a to z důvodu případného malého vtokového zbytku, který by mohl přečnívat přes jeho úroveň. [23]

3.3.3 Horký rozvodný blok

Slouží k rozvodu taveniny do tvarových dutin u vícenásobných forem. Jejich tvar a uspořádání je různorodé a závisí na násobnosti formy. Rozváděcí blok je ocelový, uložen mezi upínací a tvarovou deskou v pevné části formy. Rozvodné kanálky v těchto blocích nesmí mít nikde ostré hrany a přechody. Zároveň nesmí obsahovat tzv. mrtvá místa. Musí být tepelně izolován od ostatních částí formy. Je nejčastěji vytápěn zvenku elektrickým odporovým topením nebo topnými patronami s vytápěním zevnitř. Pro zvýšení tuhosti formy je rozvodný blok ve formě upevněn pomocí přitlačných kroužků a je zajištěn proti pootočení.

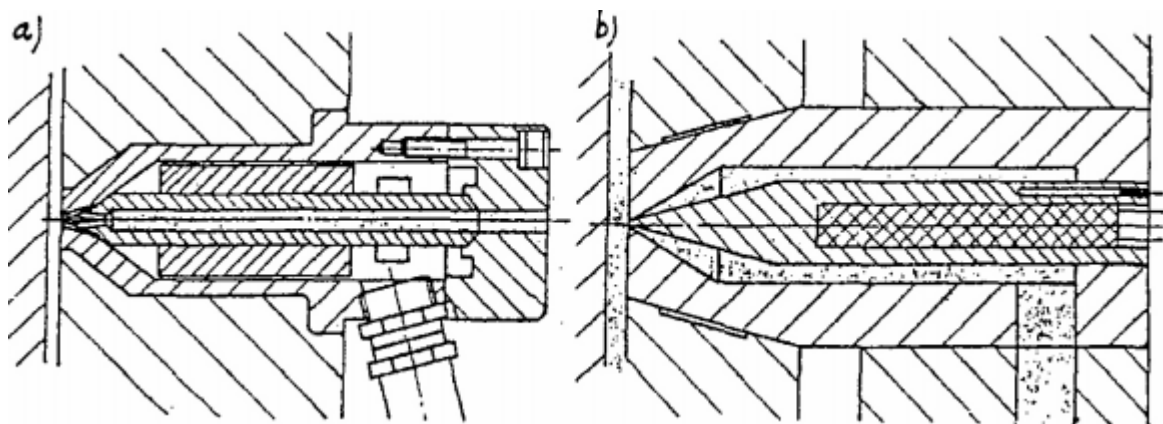


Obr. 14. Horký rozvodný blok [17]

3.3.4 Vyhříváné trysky

Jejich konstrukce umožňuje spojit vstřikovací stroj a dutinu formy při teplotní stabilizaci. Pomáhají zlepšit technologické podmínky vstřikování. Vyhříváné trysky si ve většině případů firma koupí u specializovaných firem s dlouholetou tradicí výroby a se širokým sortimentem. Vyhříváné trysky obsahují uzavírací jehlu, která při vstřikování odjede od výstupu z trysky (ústí vtoku) a dochází k vstříknutí polymerní taveniny do dutiny formy. [13] [23]

Vytápěné trysky se dělí na trysky s vnitřním (a) a vnějším (b) vytápěním



Obr. 15. Vyhřívaná tryska s vnitřním a vnějším vytápěním [23]

Ovládání uzavírací jehly

Uzavírací jehlu lze ovládat dvěma způsoby. Buď pomocí pružiny, která se vlivem vstříkovacího tlaku posune do zadní polohy a dochází k otevření ústí vtoku a dochází k procesu plnění. Při poklesu tlaku se vtok uzavře zpětným pohybem pružiny a plnění již neprobíhá. Další možností ovládání je pomocí páky, která využívá pneumatický nebo hydraulický systém. [20] [23]

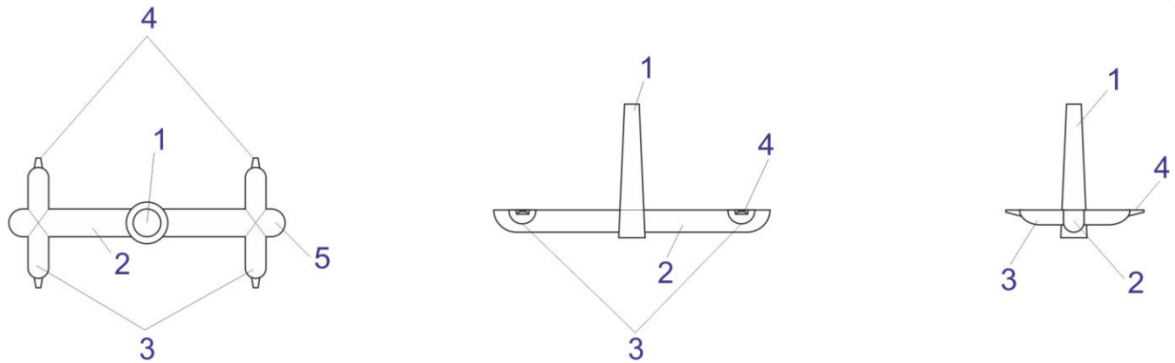


Obr. 16. Pákou ovládaná uzavírací jehla s pneumatickým válcem [20]

3.3.5 Studený vtokový systém

Na rozdíl od VVS, kde tavenina je do dutiny formy vstříknuta pomocí trysky, při dané nastavené vstříkovací teplotě. U studeného vtokového systému je tavenina vstříknuta pomocí vstříkovací jednotky stroje do hlavního vtokového kanálu (vtoková vložka), následně je rozváděna v rozváděcích kanálcích a poté se přes vtokové ústí materiál dopravuje do dutiny formy.

V důsledku pohybu taveniny přes všechny tyto složky studeného vtokového systému se teplota polymerní taveniny snižuje. Při vstupu taveniny do vtokového systému nejrychleji chladne na stěnách. Výsledkem je vznik vrstvy, která slouží jako izolant a tavenina proudí jejím horkým jádrem.



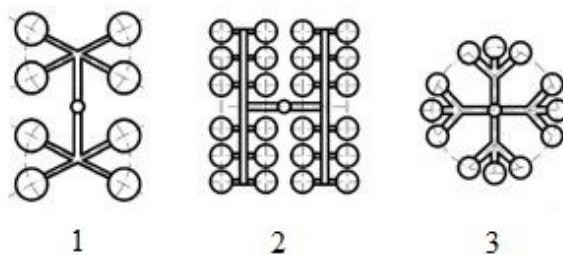
Obr. 17. Jednotlivé složky studeného vtokového systému [17]

1 - vtokový kužel, 2 - hlavní kanál, 3 - rozváděcí kanál, 4 - vtokové ústí, 5 - jímka

Při tomto typu vtokového systému je důležité opatřit rozváděcí kanálky tzv. jímkou čela taveniny (5). Tato jímka slouží k zachytávání chladnější části taveniny, která by mohla způsobit potíže při plnění.

3.3.6 Uspořádání vtoků podle násobnosti formy

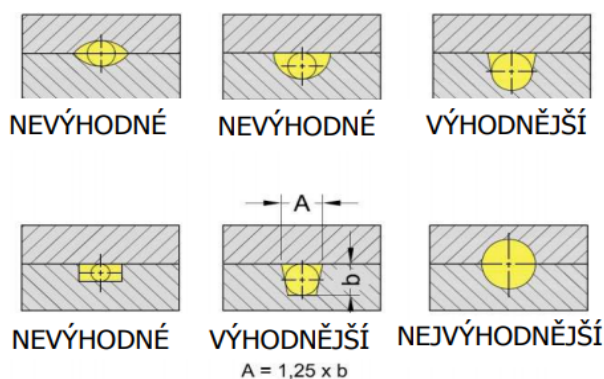
U více násobných forem je důležité, aby se všechny dutiny formy plnily současně. Nejpoužívanějším rozmístěním je do kříže nebo do hvězdice. Je-li nemožné z nějakých důvodů mít toto uspořádání, kde je délka kanálků ke všem dutinám stejná, tak je potřeba provést korekci. Tato korekce spočívá ve změně šířky a hloubky vtokových kanálků. Na dalším obrázku je pozice jedna, která reprezentuje vtokový systém se stejnou délkou. Pozice 2 je uspořádání, které vyžaduje korekci a pozice 3 vykresluje symetricky upořádané vtokové ústí, které nepotřebuje korekci [17] [23] [24]



Obr. 18. Uspořádání vtoků podle násobnosti [24]

3.3.7 Tvar vtokových kanálků

Délka vtokových kanálků by měla být co nejkratší, aby se omezilo zbytečným materiálovým ztrátám, ale zároveň musí být dostatečně dlouhá, aby byly splněny další požadavky. Průřez vtokového kanálu by měl mít takový tvar, aby byla zajištěna co nejmenší tlaková a teplotní ztráta. Poměr průtočného průřezu ke smáčenému povrchu by měl být co největší. Čím je hodnota větší, tím je geometrický průřez výhodnější. Co se týče geometrie, tak nejvýhodnější je kruhový průřez. Avšak tento typ vyžaduje vysokou přesnou výroby. [1] [22] [23]



Obr. 19. Vhodnost dle náročnosti výroby [22]

3.3.8 Rozměry vtokových kanálků

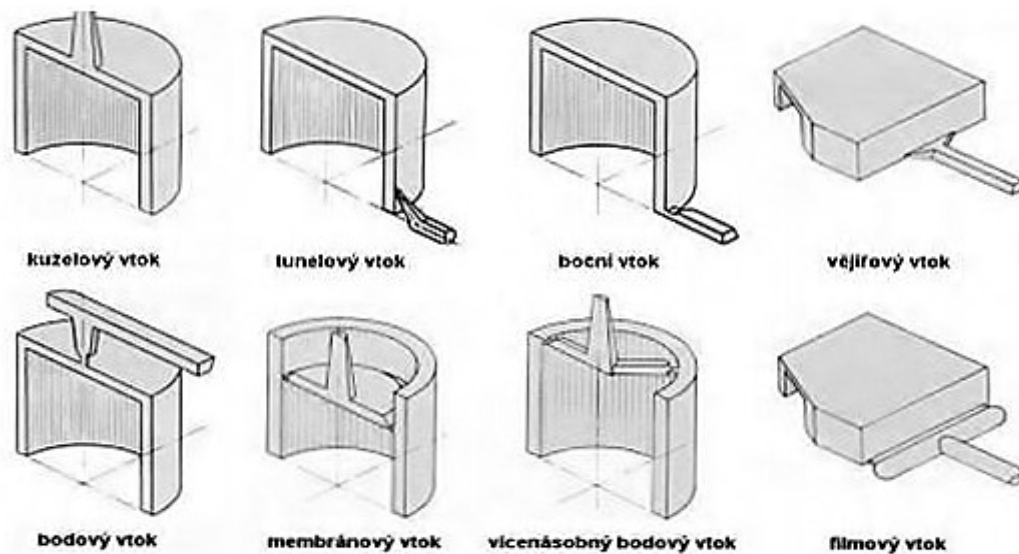
Velikost rozměrů určuje několik faktorů jako, tloušťka stěn výrobku, doba dotlaku, vstřikovací tlak, tepelné a reologické vlastnosti materiálu (viskozita, tepelná vodivost). Protože stanovení těchto parametrů a jejich vazeb mezi sebou je těžko vyhodnotit, tak se rozměry vtokových kanálků stanovují pomocí empirických vztahů. [23]

Tab. 1. Základní průměr kanálu - d

Průměr - d[mm]	5.5	6	6.5	7	7.5	8	9	10
Objem dílce [cm ³]	5	5-8	8-12	12-20	20-30	30-50	60-80	80-120

3.3.9 Vliv tvaru a umístění vtokového ústí na kvalitu

Tvar a umístění vtoku je důležitý faktor ovlivňující proudění materiálu formou, tvorbu studených spojů, orientaci makromolekul a plniv. Dále ovlivňuje rozměrovou přesnost, vznik propadlin a povrchový lesk (tokové čáry, lesk). Dutina formy by měla být plněna co nejrychleji a s co nejmenší tlakovou a teplotní ztrátou a pokud možno všude stejně rychle.



Obr. 20. Základní druhy vtokových ústí [20]

Plný kuželový vtok - Malá tlaková ztráta. Pro rozměrné a tlustostěnné výrobky a všechny typy materiálů. Pracné odstranění od výstřiku a vždy zanechává stopu na výstřiku.

Bodový vtok - Tento typ vtokového ústí se samočinně odtrhne od dutiny formy, když se forma otevírá. Pro tenkostěnné výrobky a pro méně viskózní materiály. Omezuje vznik tokových čar.

Tunelový vtok - Zvláštní typ bodového vtoku. Ústí vede pod řeznou hranou tvárníku. Kanál se zužuje a vychází z konce rozváděcího kanálu do dutiny formy, tak že navazuje těsně pod dělicí rovinou.

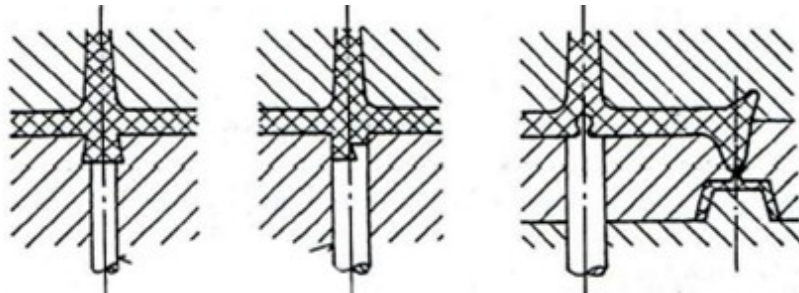
Membránový vtok - Pro výrobu kruhových, dutých výrobků, kde tavenina obtéká okolo tvarového jádra.

Boční vtok - Nahrazuje třídeskové formy, tak že tvarová a vtoková soustava je zaformována v dělicí rovině. Při otevření formy nedochází k odstřížení zbytku od výstřiku a je nutno ho oddělit manuálně.

Filmový vtok - Pro plošné výrobky, u kterých je kladen velký důraz na kvalitu. Pro materiály plněné skelnými vlákny. [13] [15] [20]

3.3.10 Přidržovač vtoku

Používá se pro přidržení vtokového zbytku a jeho vytažení z vtokové vložky. Díky přidržovači zůstává vtokový zbytek na pohyblivé části formy, což umožňuje následné vyhození z formy. Přidržovač vtoku tvoří záměrně vyrobený podkos, může být vyroben i na upraveném vyhazovači proti hlavnímu vtokovému kanálu. Díky tvaru drží při otevření formy ztuhlý plast na správné části formy a je poté vyhozen vyhazovačem. [22] [23]



Obr. 21. Typy provedení přidržovačů [23]

3.3.11 Zásady pro umístění vtokového ústí

1. Vtokové ústí umístit tak, aby tavenina vstupovala do nejtlustšího místa výrobku, aby dotlak byl co nejefektivnější a eliminovalo se vzniku propadlin.
2. Vyvarovat se tzv. volnému toku taveniny do dutiny. Výsledkem je vzhledová vada. Řešením překážka za ústím, která rozvede taveninu do všech směrů dutiny formy.
3. Nevstříkovat do míst na výrobku, která plní funkční část a jsou tedy v těchto místech namáhány. Výsledkem je výstřik, který v daných místech má největší koncentraci pnutí a mohlo by dojít ke zničení výrobku.
4. Stopa po vstříknutí nesmí být na pohledové straně nebo nesmí snižovat estetickou hodnotu.
5. U výrobků obsahující žebra musí tavenina téct ve směru těchto žeber.
6. Brát ohled na odvzdušnění formy. [13] [23]

3.4 Temperace forem

Temperace slouží k tomu, aby v průběhu vstřikování byly teplotní podmínky optimální. Proto se forma ještě před zavedení do procesu vstřikování zahřeje na požadovanou pracovní teplotu. Po zahřátí na pracovní teplotu formy může začít proces vstřikování a od té doby se forma naopak chladí. Vstup a výstup chladícího média je zajištěno pomocí hadic vedoucí ze zásobníku.

Při řešení temperačních okruhů je třeba dbát na rozložení vyhazovačů ve formě. Vrtané kanály jsou nejméně náročně, co se týče výroby. Otvory vrtů na bočních stranách desek jsou utěsněny ucpávkami z kovu nebo gumy.

Pro některé formy se může temperační systém vynechat. Ale toto vynechání se provádí pouze u malosériové výroby, kde celková produkce je několik desítek až stovek výrobků.

3.4.1 Úkol temperace

Temperace formy zajišťuje rovnoměrné chlazení výstřiku, aby nedošlo ke kroucení výstřiku, k optickým defektům v důsledku rozdílného smrštění v místech výrobku. Další funkcí je zkrátit co nejvíce výrobní cyklus a tím zvýšit produktivitu. Ovšem toto zkrácení nesmí ovlivnit finální vlastnosti výrobku. [17] [19]

3.4.2 Aktivní x Pasivní temperace

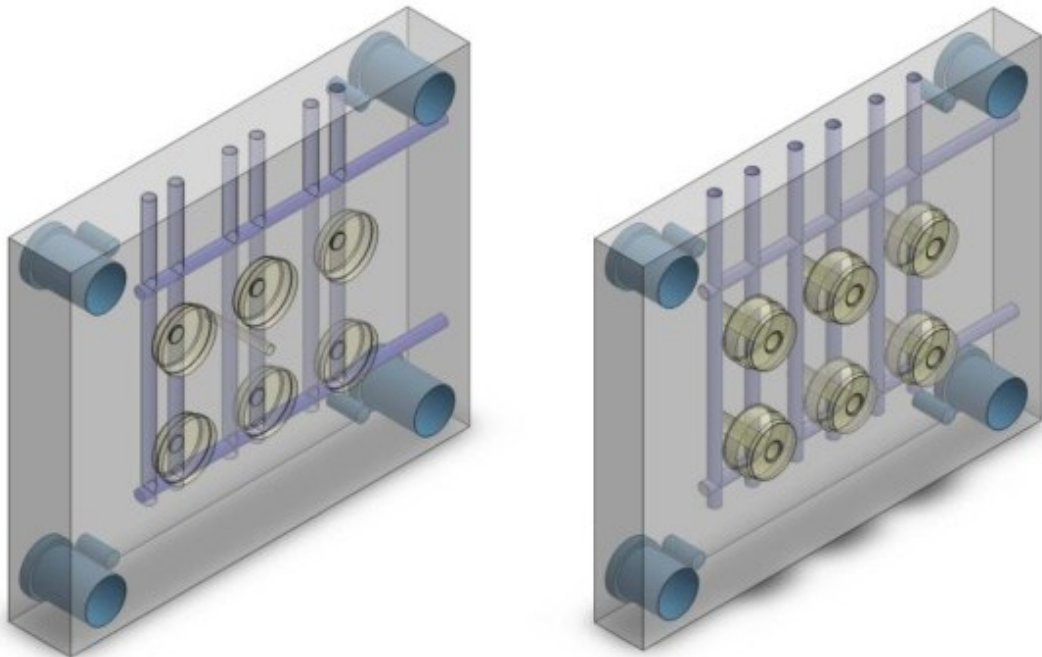
Pasivní temperace:

Pasivní temperací se rozumí tepelně vodivé a izolační materiály. Pro špatně dostupná místa ve formě se využívá tepelně vodivé materiály. Většinou zaujímají malou plochu, avšak musí dobře odvádět teplo z dutiny formy, a proto musí mít dobrou tepelnou vodivost. Mezi materiály, které se pro tyto účely často využívají, jsou slitiny mědi nebo hliníku. Izolační materiály se využívají tam, kde je nutné, aby teplo neodcházelo vlivem vedení tepla a sálání. Typickým představitelem těchto částí jsou izolační desky, které izolují upínací desky, boky forem na tvárníku a tvárnici aj. [25]

Aktivní temperace:

Aktivní temperace je přímé odvádění nebo dodávání tepla do formy pomocí média. Jako médium se nejčastěji využívá voda nebo olej případně vzduch. Temperují se obě tvarové vložky (tvárník, tvárnice). Ve formě jsou vrtané, případně frézované chladicí kanály, ve kterých při procesu vstřikování proudí temperační médium. Pokud jsou tyto kanály frézované je důležité tyto kanály těsnit nebo do připravených otvorů vložit trubky z dobře vodivých materiálů. [25]

V dnešní době se pro zajištění dobrého odvodu tepla využívá několik softwarů, díky kterým je možno nasimulovat proces chlazení výrobku. Temperační systém by měl být navržen tak, aby teplotní spád "vstup-výstup" nebyl větší než 4°C u amorfních termoplastů. [25]



Obr. 22. Temperační okruh pro daný plastový výrobek [17]

3.4.3 Rez

Rez je reakcí oxidování oceli. Rez negativně ovlivňuje vnější a vnitřní plochy vstřikovací formy. Dobrou prevencí je dbání na vstřikovací formy v době, kdy nejsou v provozu. To znamená, že po každém vyjmutí ze vstřikovacího stroje, by se měly všechny plochy dutiny utřít do sucha a posprejovat korozivzdorným olejem. [1]

Dále se rez může vyskytovat v temperačních okruzích, a tím snižuje plochu, přes kterou je odváděno teplo z dutiny formy. Tento problém se může vyřešit tím, že se pro vstřikovací

formu použije nerez ocel, za předpokladu, že je zákazník ochoten zaplatit o něco více kvůli použití tohoto materiálu. [1]

3.4.4 Čištění a vysoušení temperačních okruhů

Pro odstranění jakýkoliv nečistot, které snižují odvod tepla, se v praxi používají například magnetické odlučovače nečistot a různé vysoušeče. Tyto složky zajistí, aby nedocházelo k tvorbě rzi a usazování vodního kamene v temperačním okruhu, a tím se docílí delší životnosti formy. [1] [25] [26]



Obr. 23. Čistící CDC jednotka a vysoušecí SWAP ventil [26]

CDC čistící jednotka pracuje na bázi aktivního rozpuštění vodního kamene. Tato jednotka má 2 nádoby. Jedna nádoba je pro kapaliny s rozpouštědlem a druhá nádoba je pro pasivní lázeň. Odstraňování se provádí pomocí proudění rozpouštědla v temperačních okruzích a následně pasivní kapalina ruší rozpouštěcí účinky rozpouštědla, které mohlo zůstat v některých místech a dojde k neporušení materiálu, ze kterého je forma vyrobena. SWAP ventil přivádí do formy vzduch, aby vytlačil kapalinu z temperačního okruhu a došlo tím pádem k vysušení. [26]

Vliv parametrů chlazení na kvalitu výstřiku [27]:

- čím delší ochlazování výstřiku ve formě, tím je u semikrystalických polymerů větší obsah krystalického podílu a větší velikost sférolitů,
- s rostoucím podílem krystalického podílu roste smrštění, tuhost a pevnost, klesá tažnost a houževnatost,
- u amorfních polymerů má velký vliv teplota formy na povrchový lesk výrobku - roste-li teplota formy, tak roste i lesk výrobku,
- u semikrystalických polymerů teplota formy velký význam nemá na lesk výrobku.

3.4.5 Obecné zásady při volbě temperačního okruhu

Aby bylo docíleno, co neoptimálnějšího odvodu tepla je třeba dodržovat následující pravidla:

- temperační kanály musí být v optimální vzdálenosti, aby bylo co nejintenzivněji odváděno teplo z dutiny formy při zachování tuhosti formy,
- médium musí proudit od nejteplejšího místa výrobku k nejchladnějšímu
- rozmístění kanálů je ovlivněno tvarem a složitostí výrobku,
- kanály by měly procházet celistvým materiálem desky, v případě že to není možné tak stykové plochy utěsnit,
- průměr kanálů by neměl být menší jak 6 mm, jinak hrozí ucpání vlivem nečistot (vodní kámen, rez), při použití menších průměrů je třeba využít chemicky upravené média,
- v zásadě použít více kanálů s menším průměrem a vzdáleností od stěny, než méně kanálů o větším průměru a vzdáleností od stěny. [19]

3.4.6 Součásti temperačního systému

Médium, jež je zvoleno pro temperování se musí dopravit do formy a z formy se musí dopravit zpátky do temperační jednotky. Při tomto okruhu prochází přes několik standardizovaných součástek a řadou dalších příslušenství. Například k přívodu média z temperační jednotky do okruhu se využívají hadice z materiálu jako PVC, pryže NBR nebo hadice s kovovým opletem. Dále formy obsahují rychlospojky pro rychlé a snadné upnutí hadic k formě, nátrubky, hadicové spony, ucpávky aj. [25]



Obr. 24. Normalizované součásti temperačního systému [25]

3.5 Vyhazovací systém

Je to složení komponentů, které slouží pro správné a bezporuchové vyhození výstřiku a případně vtokového zbytku při použití SVS. Je složen z kotevní, opěrné desky, dorazů, vyhazovačů, zařízení pro připevnění k vyhazovacímu mechanismu lisu, vratných kolíků a vodících sloupků.

Vyhazovací systém pracuje ve dvou krocích:

- dopředný pohyb, kdy dochází k vyhazování výstřiku,
- zpětný pohyb, kdy dochází k návratu vyhazovacího systému do původní polohy.

U automaticky řízených vyhazovacích systémů je důležité, aby bylo docíleno správného vyhození výrobku v každém vstřikovacím cyklu. Při nesprávném složení a funkčnosti vyhazovacího systému může dojít k nevhodnému vyhození výrobku jako je např. přetrhnutí výrobku, přílišné ohnutí výrobku aj.

Vyhazovat výrobky lze vyhazovat pomocí:

- vyhazovacích kolíků,
- stírací desky nebo kroužku,
- speciálních způsobů (vytáčení formy),
- ručně (u prototypů jednotlivých forem).

3.5.1 Vyhazovací kolíky

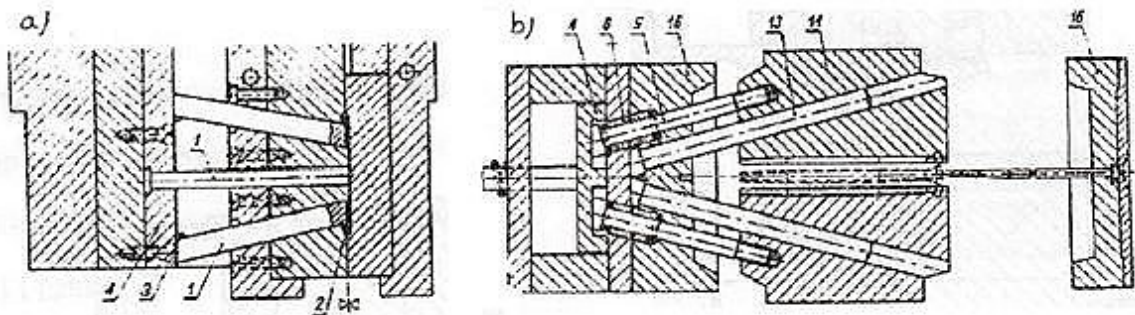
Nejjednodušší, nejlevnější a nejčastější způsob vyhození výrobku a zároveň funkčně zaručený. Musí být dostatečně tuhé a snadno vyrobitelné a nesmí docházet k jejich ohnutí při vyhození výrobku. Ve formě bývají nejčastěji uloženy v tolerancích H7/g6, H7/h6 nebo H7/j6 podle typu plastu a dané funkce. Vůle v uložení zároveň slouží jako pasivní odvzdušnění, více v kapitole 3.6 Odvzdušnění formy.

Umístění vyhazovacích kolíků

Vyhazovač se má opírat o stěnu, či žebro výrobku, ale nesmí dojít k deformaci daného výstřiku. Orientace výrobku v dutině by měla být taková, aby vyhazovače nesnižovali estetickou hodnotu výrobku. [17] [19] [28]

3.5.2 Šikmé vyhazovače

Jak už z názvu vyplývá, tak šikmé vyhazovače nejsou orientovány kolmo na plochu daného výrobku, ale jsou k ní uloženy pod určitým úhlem. Slouží k vyhození výstřiku s vnitřním nebo vnějším zápichem nebo s úkosem. Vyhazovače při otevření formy zároveň vyhazují a zároveň svým šikmým pohybem uvolňují zvětšenou nebo zmenšenou část z výstřiku. Zápich nebo úkos je vytvarován buď na daných vyhazovačích, nebo jsou dané vyhazovače spojeny s pohyblivými částmi formy, které plní tuto funkci.



Obr. 25. Použití šikmých vyhazovačů

3.5.3 Vyhazovací desky a kroužky

Stírací desky nebo kroužky vyhazují výstřik z formy tak, že se daný výrobek stáhne z tvárníku po celém jeho obvodě. Použití je v případech, kde běžné vyhazovací kolíky nejsou schopny bezpečně a kvalitně vyhodit výrobek z dutiny formy. Typickými případy jsou tenkostěnné výrobky, které by se mohly snadno deformovat, nebo tlustostěnné výstřiky u kterých je potřeba vyvolat velkou vyhazovací sílu.

3.5.4 Poškození formy jako důsledek špatné konstrukce

Poškození formy nastává tehdy, když je forma nesprávně designovaná, respektive špatně konstruovaná. To může vést k takovému poškození, které se již nadále stává nevratné a pro daný výrobek se musí vyrobit nová forma. Dalším nepříjemnost je pootočení válcového vyhazovače po své ose, který je ve styku se šikmou stěnou výrobku.

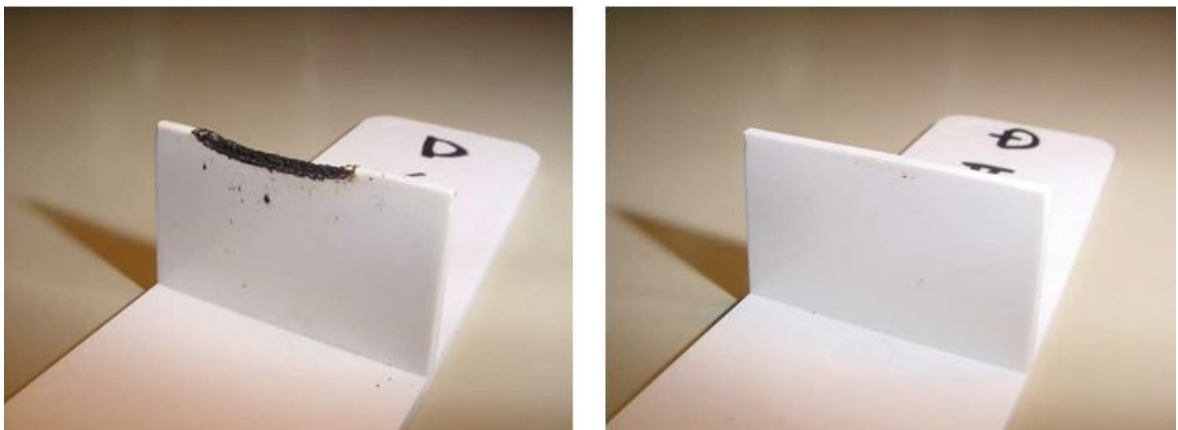
3.5.5 Absence vratných kolíků

Jsou to běžné válcové vyhazovače, které ovšem nemají funkci vyhazovačů. Při zavírání formy hrozí kolize mezi vyhazovači a vnitřními plochami dutiny formy. Tím by došlo k deformaci těchto ploch a ke změně tvaru výstřiku. Aby se kolizi předešlo, tak se používají tyto vratné kolíky, které chrání formu před nárazem vyhazovačů. [1] [17] [19]

3.6 Odvzdušnění formy

Během vstřikování dochází k tomu, že tavenina postupně zaplňuje dutinu formy, a přebytečný vzduch nemá kam uniknout. Čím je více vzduch stlačován, tak dochází k rychlému narůstání jeho teploty, až překročí dovolenou teplotu, což vede k následujícím nežádoucím jevům:

- část taveniny, jež je ve styku s tímto vzduchem, je spálena a výrobek je tím zničen,
- nedojde k 100 % zaplnění formy, jelikož vzduch nemá kudy uniknout.



Obr. 26. Výsledek špatného odvzdušnění a správného odvzdušnění [14]

Aby byla omezena tvorba těchto nechtěných jevů, je žádoucí, aby vstřikovací forma obsahovala odvody vzduchu. V některých případech k odvodu vzduchu dochází pomocí vůlí mezi vyhazovači a deskami. V zásadě platí, že čím je rychlost plnění větší, tím musí být odvzdušnění účinnější.

Odvzdušnění je často řešeno až po provedení prvních zkoušek formy. Nejvíce kritické místa jsou ty, tak se tavenina dostává jako poslední nebo tam, kde dochází ke spojování proudů taveniny. Potíže s odvzdušněním jsou také často odstraněny v průběhu životnosti formy vlivem opotřebení. Při provozu formy vznikají větší vůle mezi nepohybujícími se a pohybujícími se součástmi formy (vyhazovače). [1] [13]

3.6.1 Různorodost v tloušťce

Polymerní tavenina lépe teče v širokých částech formy, než v úzkých a může se stát, že proud taveniny v širokých bude téct rychleji, než v částech úzkých. Ať, ze zkušeností nebo pomocí softwarů lze stanovit, kde dojde ke spojení dvou nebo více různě rychlých proudů taveniny. V těchto potenciálních místech je nutné provést odvzdušnění.

3.6.2 Více vtokových ústí

U více vtokových ústí dochází k tomu, že jednotlivé vtokové ústí produkují samostatný proud taveniny. Při postupném zaplňování dutiny formy dochází k tomu, že přebytečný vzduch se obklopí proudy tavenin. Pokud v těchto místech nebude odvzdušnění, zvyšuje se opět riziko vzniku nechtěných jevů.

3.6.3 Vakuové odvzdušnění

Nejúčinnější odvzdušnění, při kterém je vzduch z dutiny formy odsán ještě před tím, než se polymerní tavenina vstříkne. Systém vyžaduje dobré utěsnění dutiny v dělicí rovině. Na konec toku taveniny se umístí speciální ventil, který je přes pružinu držen v otevřené poloze a vzduch může uniknout. Tento ventil se později uzavře tlakem taveniny. [1] [13]

3.7 Vady na výstřiku v jejich odstranění

3.7.1 Přetoky, otřepy

Příčina

Nedokonalé uzavření formy vlivem nepřesností v dělicí rovině. Malý uzavírací síla stroje. Znečištění, poškození, opotřebení dělicích rovin a lícovaných dílů, předimenzované odvzdušnění.

Odstranění

Zvýšit uzavírací sílu stroje nebo zvolit jiný stroj s vyšší uzavírací silou. Proměřit formu kvůli nepřesnostem v dělicí rovině a závadu odstranit. Upravit odvzdušňovací kanálky s ohledem na viskozitu taveniny.

3.7.2 Neúplné výstřiky

Příčina

Poddimezovaná vtoková soustava, vícenásobné formy bez korekce rozváděcích kanálů.

Odstranění

Zvětšit vtoky, kanály a vtoková ústí. Provést korekci vtokových ústí nebo změnit vtokovou soustavu. Kontrola sousostí trysky s vtokovou vložkou.

3.7.3 Studené spoje

Příčina

Nevhodná poloha ústí vtoku, nevhodná vtoková soustava. Nedostatečně odvzdušnění v místě styku dvou nebo více proudů taveniny.

Odstranění

Změnit polohu ústí, změnit vtok, zvětšit odvzdušňovací kanály, zavést přetokovou jamku. Zvýšit teplotu taveniny a formy. Optimalizovat vstříkovací rychlost.

3.7.4 Propadliny, lunkry a zvlnění povrchu

Příčina

Vtoková soustava je poddimezovaná. Tokové dráhy jsou neúměrně dlouhé. Rozložení teploty dutiny formy je nepravidelné. Nesplnění technologických požadavků výrobku.

Odstranění

Zvětšit průřezy vtoků, zajistit více vtoků nebo použít horké trysky. Zkontrolovat temperační systém. Vyvarovat se hromadění materiálu změnou v tloušťce stěn.

3.7.5 Volný proud taveniny / Meandrový tok

Příčina

Nevhodná poloha vtoku a malé vtokové ústí.

Odstranění

Změnit polohu a vyústění vtoku (proti stěně), zvětšit vtokové ústí, do formy přidat narážecí kolík jako překážku, která rozvede taveninu do více směrů.

3.7.6 Stopy po vyhazovačích

Příčina

Plocha vyhazovačů je nedostatečná, příliš dlouhé vyhazovače, nedostatečné úkosy na tvarové dutině.

Odstranění

Provést konstrukční úpravu vyhazovacího systému a zvětšit úkosy ve směru vyhazování. Prodloužit dobu chlazení ve formě.

3.7.7 Deformace výrobku při vyhazování

Příčina

Díly formy nejsou rovné nebo nepasují do sebe, mají rozdílné úkosy, úhly nesouhlasí. Vyhazovače stejně jsou přesazené.

Odstranění

Zkontrolovat konstrukci formy a chyby odstranit. Dodržovat technologické požadavky na konstrukci plastového dílu.[27]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

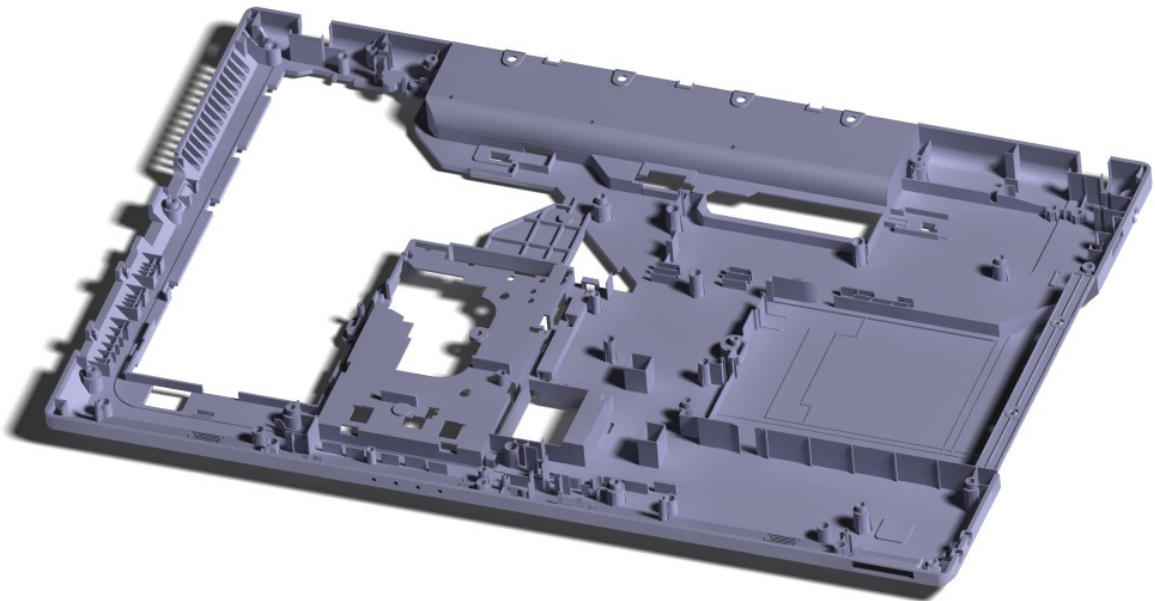
4 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zásady pro vypracování diplomové práce:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Nakreslit 3D model zadaného dílu.
3. Navrhnout 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu.
4. Návrh ověřte pomocí simulace.

5 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstříkovaným výrobkem je spodní kryt šasí (vana) od notebooku nespecifikované značky. Slouží jako ochrana pro hardwarové komponenty. Jsou zde kladeny nároky více na kvalitu povrchu vstříkovaného dílu než na samotnou funkčnost. Výrobek je rozměrově velký a plochého tvaru. Jeho základní rozměry jsou 412x273x21 mm. Celkové smrštění polymeru je cirká 0,7%.



Obr. 27. Vymodelovaný 3D výrobek

5.1 Materiál výrobku

Materiál je kompozit složen z PC a ABS s obsahem retardérů hoření. PC-ABS je jedním z nejvíce používaných průmyslových termoplastů v oborech jako je automobilový, elektrotechnický nebo v oboru domácích spotřebičů. Jeho velkou výhodou je poměr cena/výkon.

Tato směs vykazuje velice dobré vlastnosti jako pevnost, tuhost a odolnost proti nárazům, která je ještě lepší, než u samotného ABS nebo PC. Vysoká tepelná odolnost a rázová odolnost se pojí s dobrou zpracovatelností PC. [29]

Mezi hlavními vlastnostmi jsou:

- tepelná odolnost, vysoká tuhost,
- vysoká odolnost proti nárazům při nízkých teplotách,
- snadné zpracování,
- nízké smrštění a velká rozměrová přesnost.

6 ZVOLENÝ VSTŘIKOVACÍ STROJ

Pro danou vstřikovací formu byl vybrán stroj Arburg Allrounder 820A, který se vyznačuje velkou přesností výrobků.



Obr. 28. Arburg Allrounder 820 A [31]

6.1 Základní parametry stroje

Tab. 2. Vybrané parametry vstřikovacího stroje

Uzavírací jednotka		Forma
Uzavírací síla	4000 kN	3700 kN
Výška formy	250 - 750 mm	498 mm
Vzdálenost mezi sloupky	820 x 820 mm	796 x 696 mm
Max. vyhazovací síla	86	-
Max. vyhazovací zdvih	250 mm	67 mm
Průměr středícího kroužku	160 mm	160 mm
Vstřikovací jednotka		
Průměr šneku	55 mm	-
Zdvih šneku	240 mm	-
Objem vstřikované dávky	570 cm ³	310 cm ³
Vstřikovací tlak	238 MPa	89 MPa

7 KONTROLA ZVOLENÉHO VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Zda byl dobře navrhnut vstřikovací stroj, je třeba provést kontrolu. Tato kontrola se provádí dle těchto podmínek:

- nepřekročit max. uzavírací sílu stroje během vstřikovacího cyklu,
- hmotnost zdvihu dle pravidla 1D - 3D délky šneku,
- ověřit ostatní parametry jako rozměry a hmotnost formy,
- nesmí docházet ke kolizi mezi vodícími sloupky a uzavírací jednotkou.

AD. 1

Dle analýzy byla největší hodnota uzavírací síly 3700 kN. Maximální uzavírací síla stroje je 4000 kN. Z tohoto vyplývá, že forma je po celou dobu cyklu uzavřena a nedojde k jejímu otevření a tím ke znehodnocení výrobku.

AD. 2

Podle pravidla 1D - 3D by měla být hmotnost jednoho zdvihu v intervalu:

$$Zdvih_{MIN} = \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot 1D \right] \cdot \frac{\rho}{1000} = \left[\left(\frac{55}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 55 \right] \cdot \frac{1,2}{1000} \cong 156 \text{ g} \quad (1)$$

$$Zdvih_{MAX} = \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot 3D \right] \cdot \frac{\rho}{1000} = \left[\left(\frac{55}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot 3 \cdot 55 \right] \cdot \frac{1,2}{1000} \cong 470 \text{ g} \quad (2)$$

kde:

D - průměr šneku [mm]

ρ - hustota materiálu v tuhém stavu [g/cm³]

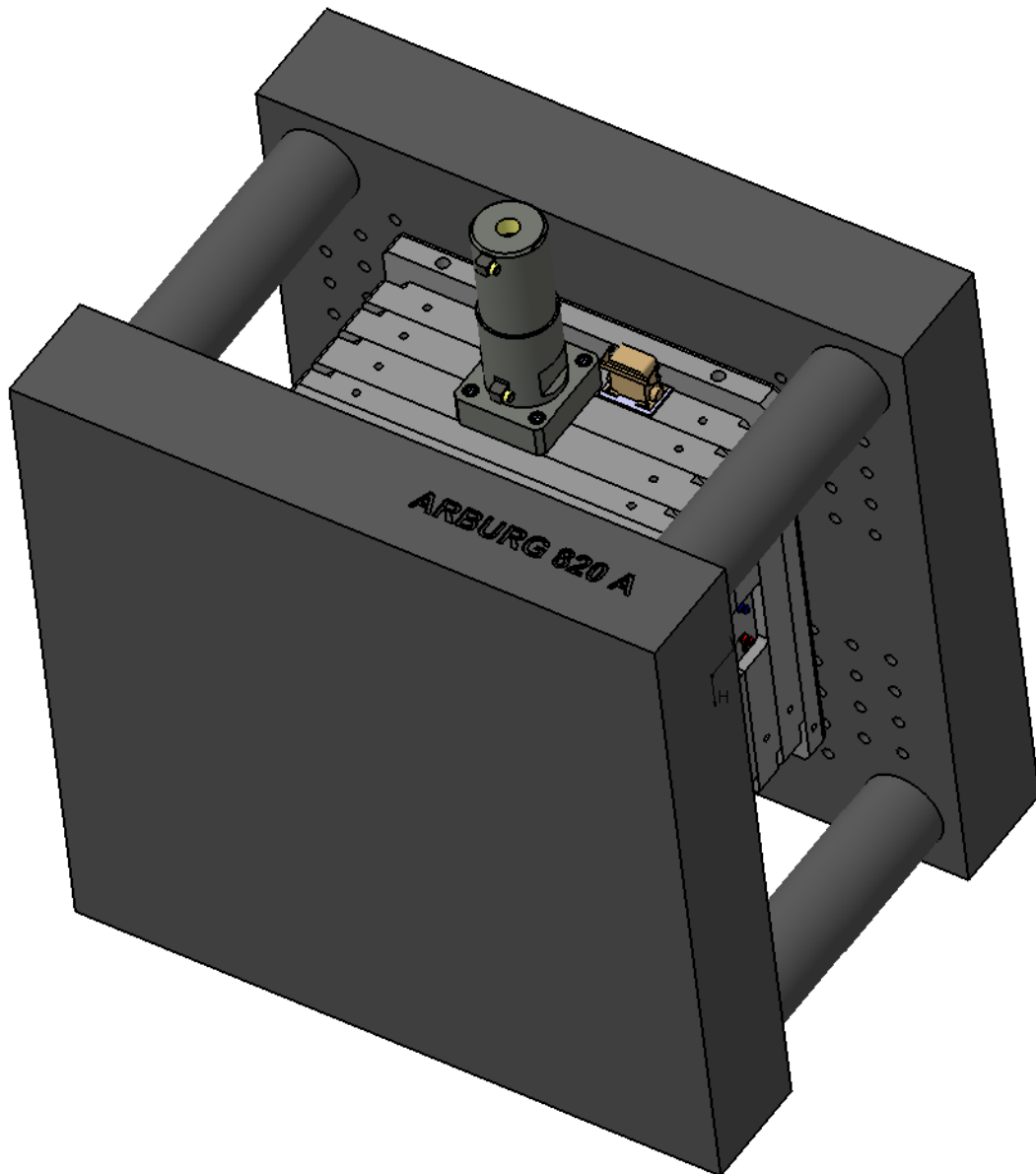
Hmotnost vstřikovaného dílu (zdvih) je 367 g, a to znamená, že i dle této zásady byl stroj zvolen dobře. Průměr šneku je tedy dle pravidla 1D - 3D v pořádku.

AD. 3

Rozměry vymodelované formy jsou 796 x 696 x 498 mm a její hmotnost je kolem 3300 kg. Maximální povolený rozměr je dle technického listu vstřikovacího stroje 820 mm a maximální hmotnost je 4000 kg. Tato podmínka byla taktéž splněna.

AD 4.

Dle následujícího obrázku lze vidět, že vstřikovací forma nikterak nekoliduje s vodícími sloupky vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 820 A.

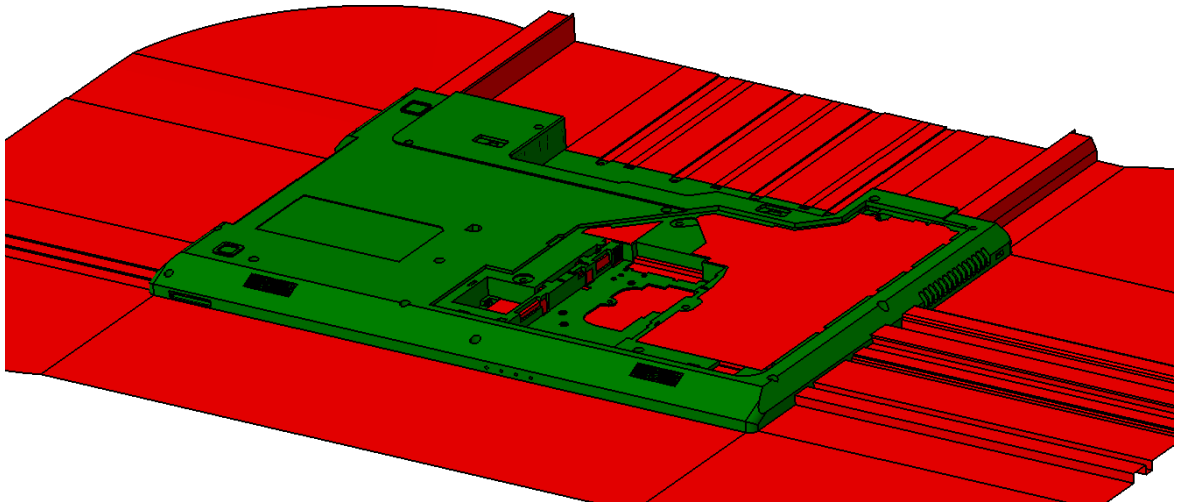


Obr. 29. Simulované nasazení vstřikovací formy na stroj

8 KONTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

8.1 Dělicí rovina a násobnost formy

Z důvodu tvarových částí na výrobku, které nejdou odformovat v rámci jedné dělicí roviny, je zde využito šest vedlejších dělicích rovin. Hlavní dělicí rovina byla navrhnutá tak, aby po otevření formy zůstal výstřik na pohyblivé straně formy.



Obr. 30. Hlavní dělicí rovina

Výrobek je rozměrově velký a tak forma byla navržena jako jednonásobná. To znamená, že po jednom vstřikovacím cyklu se vyrobí jeden výrobek. Kdyby byla zvolena vícenásobná forma, tak by mohlo dojít k tomu, že by už nešlo tuto formu upnout na daný vstřikovací stroj.

8.2 Tvarové vložky

Styčná plocha mezi tvárníkem a tvárnici tvoří hlavní dělící rovinu. Tvarové vložky jsou z materiálu 1.2343 a jsou kaleny na hodnotu 60 HRC pro dosažení větší povrchové tvrdosti kvůli častým nárazům během vstřikovacích cyklů. Boční plochy jak tvárníku a tvárnice jsou zkoseny o úhel 3° , aby bylo dosaženo lehčího vkládání a vytahování tvarových vložek do tvarových desek při montování a odmontování vstřikovací formy.



Obr. 31. Tvarové vložky

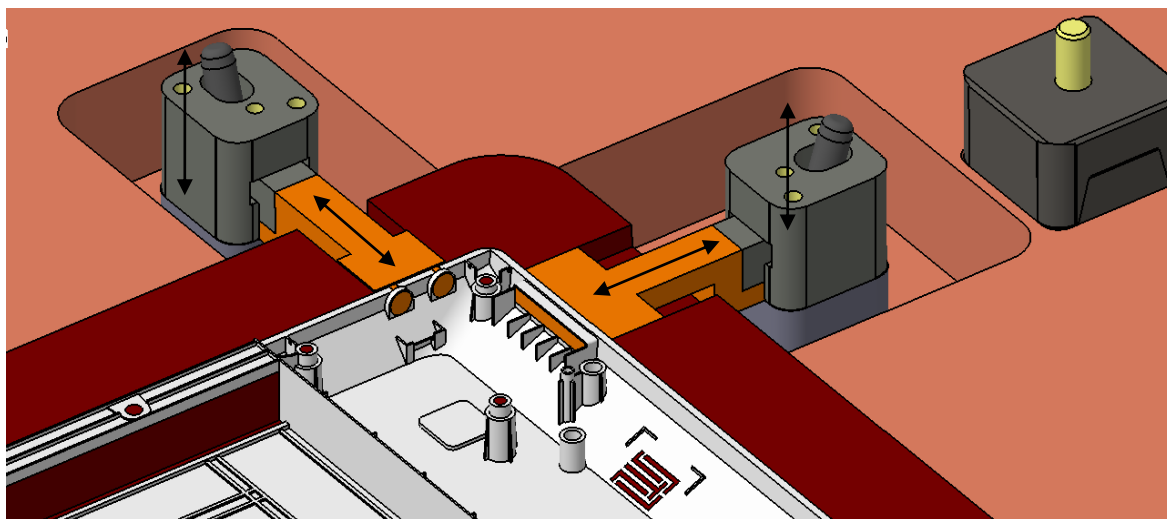
8.3 Boční odformování

Vstřikovací forma obsahuje celkově 6 pohyblivých čelistí. Díky těmto čelistem je možno zaformovat podkoso pro uložení baterie, pro odvětrávání, pro světelné diody, pro USB porty a pro SD kartu.

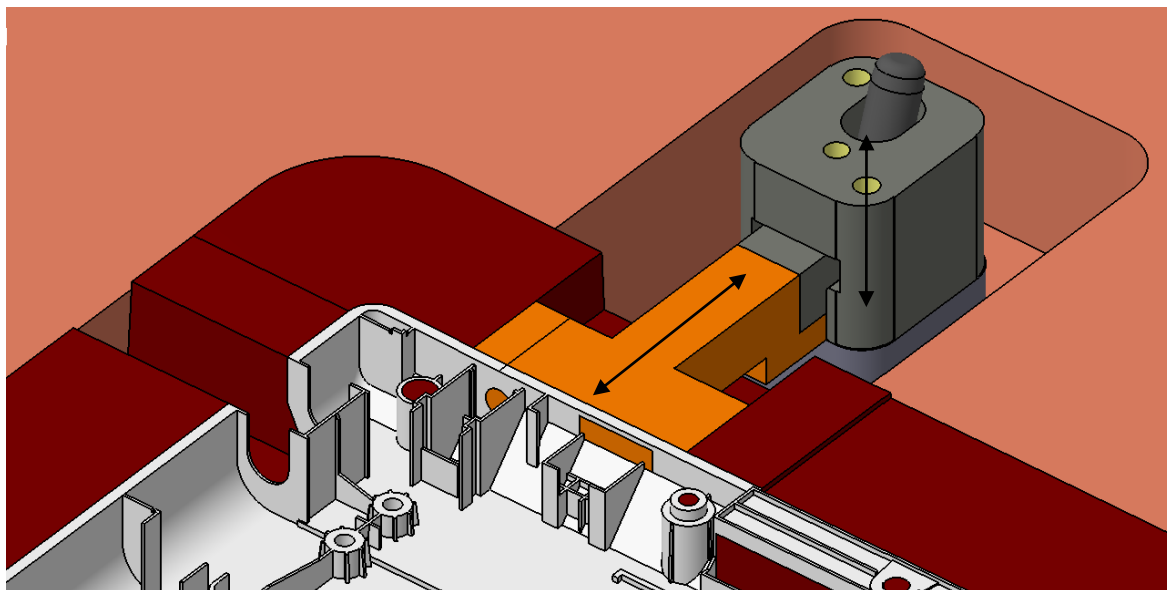
Pohyblivé tvarové vložky jsou z oceli 1.2311. Tyto části musí splňovat tvarovou a rozměrovou přesnost výrobku, zajistit bezproblémový chod při otevírání a zavírání formy, odolávat zvýšeným teplotám při vstřikování a zároveň by měly dobře odvádět teplo z dutiny formy.

Boční odformování bylo provedeno nejpoužívanějším způsobem, tj. pomocí šikmých kolíků. Avšak otvor pro umístění baterie, má příliš velký podkos nato, aby se zde použil šikmý kolík, a proto zde byl využit hydraulický válec (obr. 35), který je napojen na hydraulický obvod. Při využití hydraulických válců je třeba dbát na těsnost i při malých pohybech. Zároveň snímání polohy bočních tvarových vložek musí být velice přesné, aby se eliminovala nepřesnost výroby.

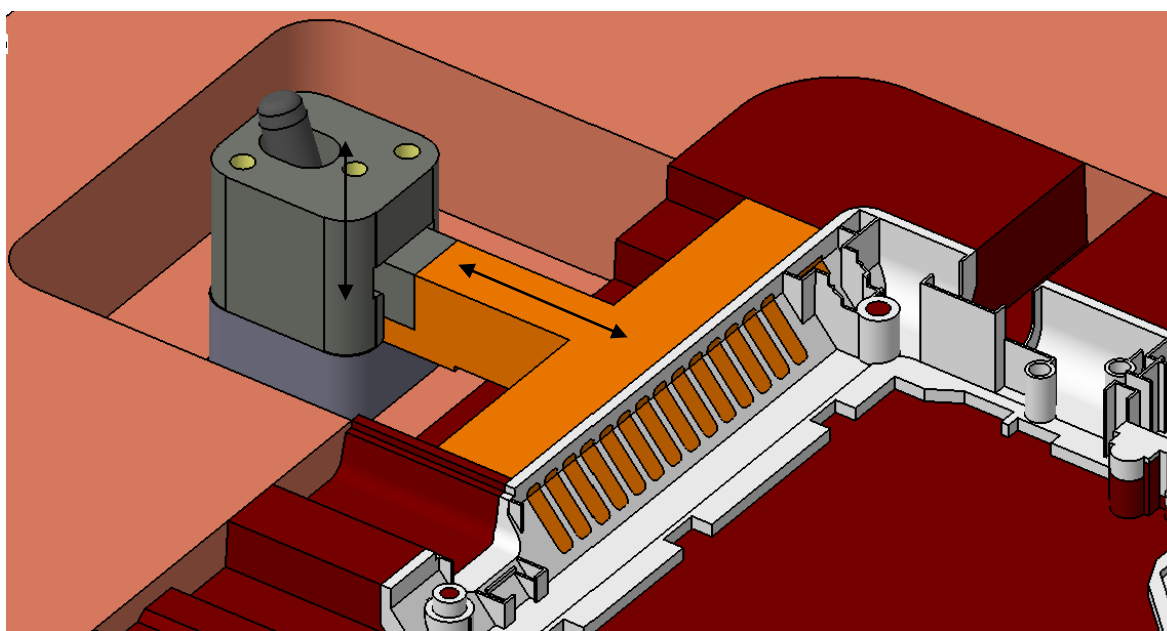
Šipky v následujících obrázcích naznačují směr pohybu bočních posuvných čelistí při otevírání a zavírání formy.



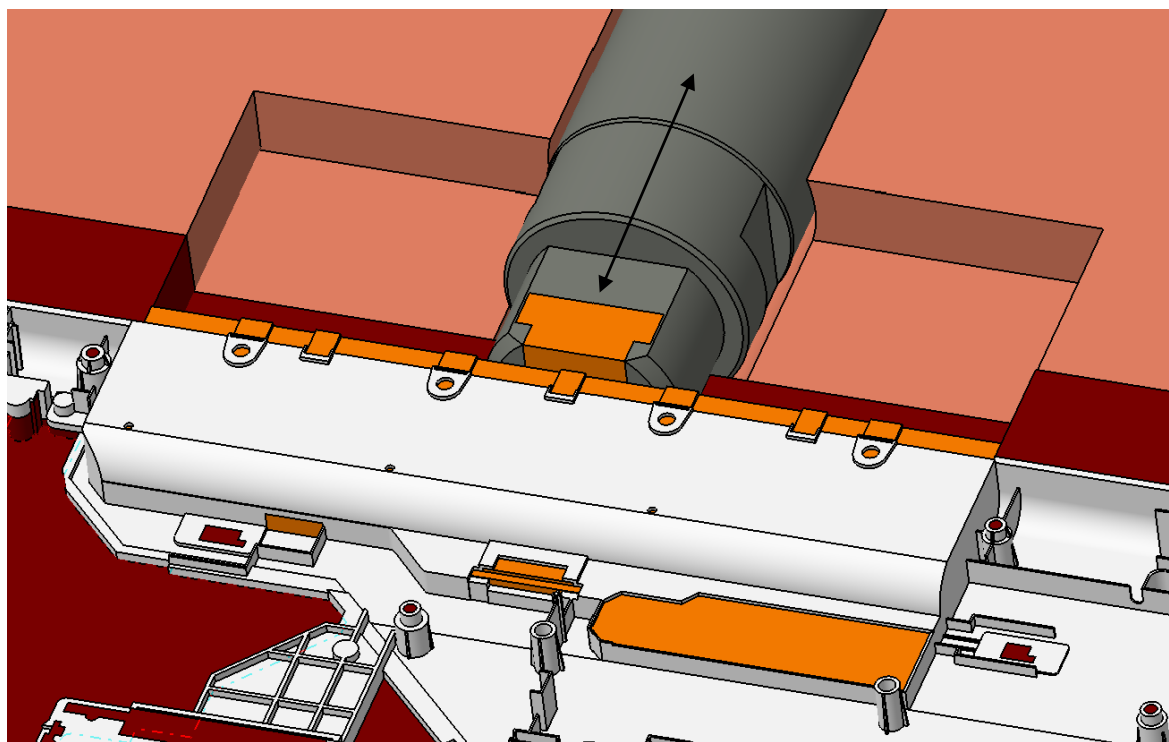
Obr. 32. Boční odformování pro SD kartu a porty pro sluchátka



Obr. 33. Boční odformování pro USB port a nabíječku



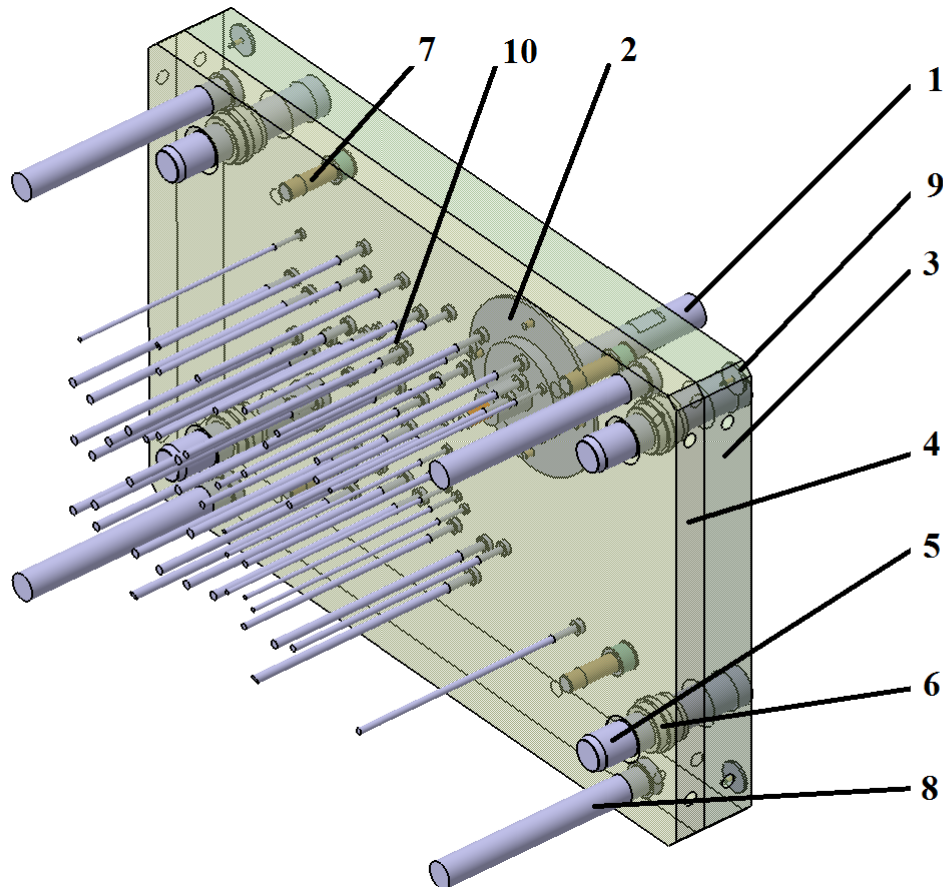
Obr. 34. Boční odformování pro odvětrávání



Obr. 35. Boční odformování pro baterii

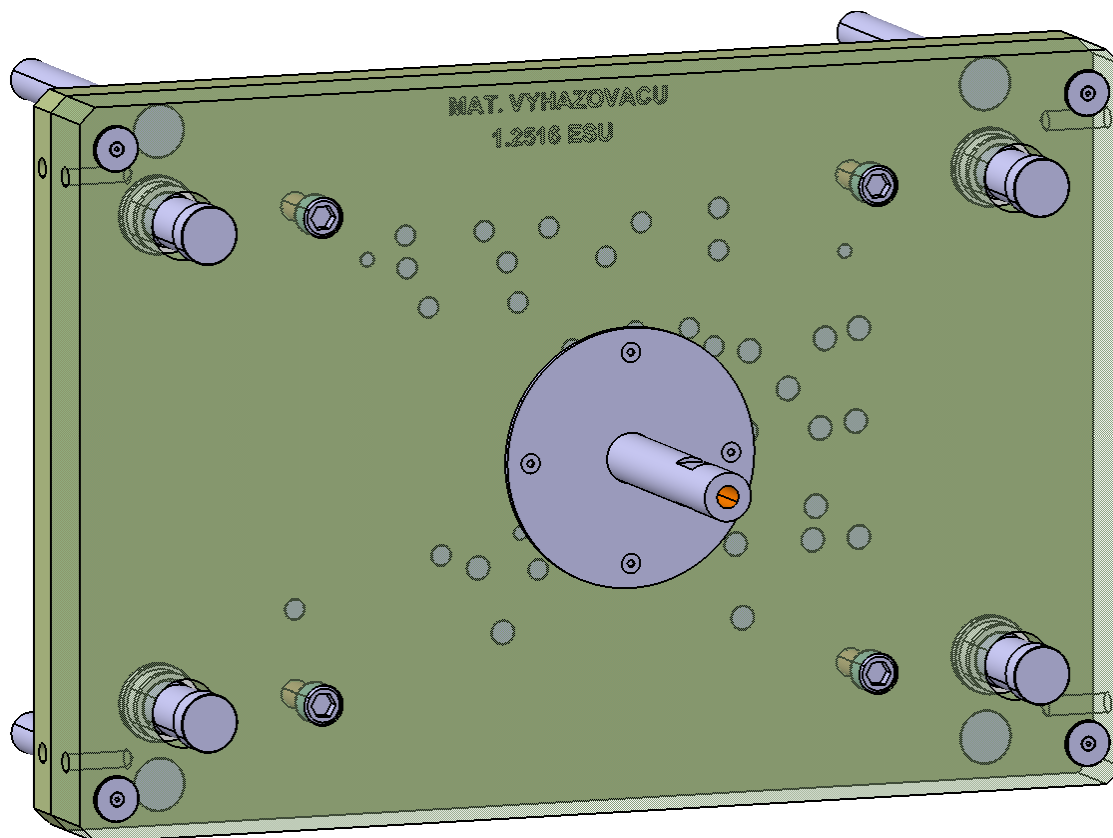
8.4 Vyhazovací systém

Celý vyhazovací systém je složen z kotevní a opěrné vyhazovací desky, stavěcího šroubu, táhla vyhazovačů, středícího kroužku, dosedek a samotných válcových vyhazovačů. Vyhození výrobku je zajištěno pomocí vyhazovacích kolíků rozvržených po celé ploše výrobku. Vyhazovací desky jsou vzájemně spojeny pomocí šroubů a jejich pohyb je zajištěn vodícími čepy a pouzdry. Součástí jsou i vratné kolíky, které slouží k ochraně tvarové dutiny při uzavírání formy. Výrobek je vyhazován třemi odlišnými průměry vyhazovačů a to 4, 6 a 8 mm. Vyhazovače jsou z materiálu 1.2516 a jejich materiál je označen do kotevní vyhazovací desky (obr. 37.). Vyhazovače jsou povrchově upraveny a to kalením na hodnotu 60 HRC, z důvodu delší trvanlivosti. K systému jsou přišroubovány dosedky, které mají za úkol při vrácení vyhazovacích desek zmírnit náraz.



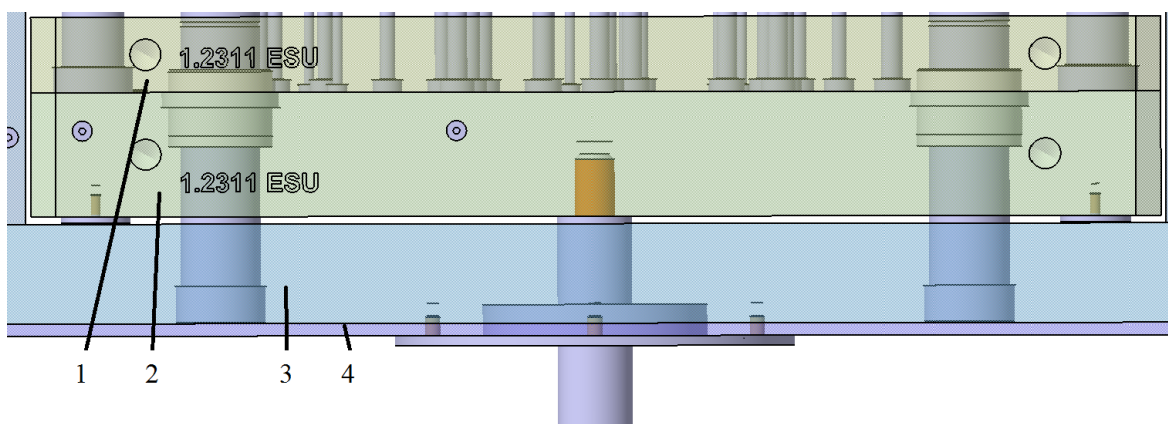
Obr. 36. Vyhazovací systém

1 - táhlo vyhazovačů, 2 - středící kroužek, 3 - opěrná vyhazovací deska, 4 - kotevní vyhazovací deska, 5 - vodící čep, 6 - vodící pouzdro, 7 - šroub, 8 - vratný kolík, 9 - dosedka, 10 - vyhazovač



Obr. 37. Označení materiálu vyhazovačů

Materiál vyhazovacích desek je 1.2311 a tyto desky jsou označeny touto normou.



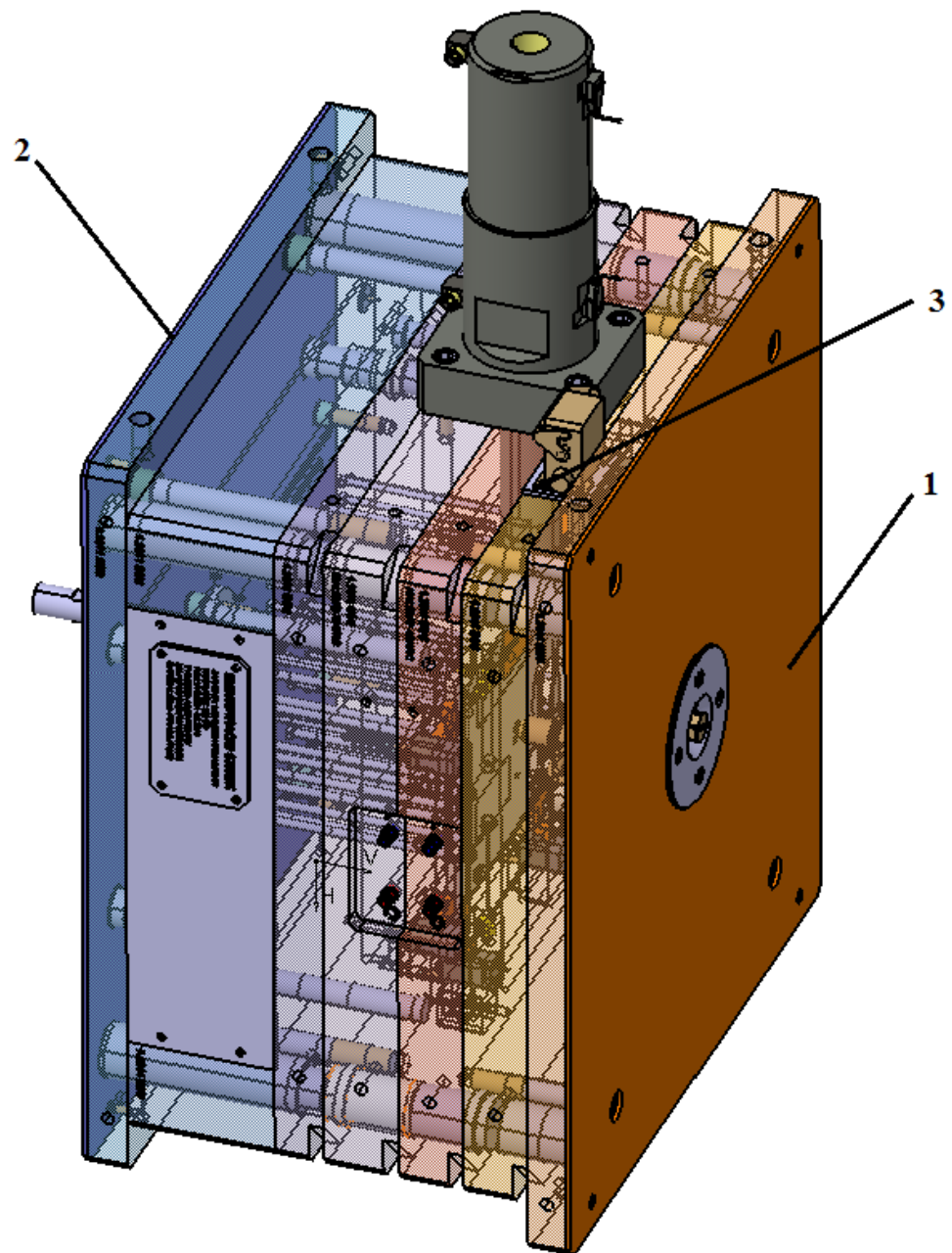
Obr. 38. Označení materiálu vyhazovacích desek

1 - kotevní vyhazovací deska, 2 - opěrná vyhazovací deska, 3 - upínací deska levá,
4 - izolační deska levá

8.5 Temperační systém

8.5.1 Pasivní temperace

Jak bylo již zmíněno, typickým příkladem pasivní temperace formy jsou izolační desky, které snižují odvod tepla ze vstřikovací formy. Zároveň je na formě umístěná izolační destička, která chrání zásuvku horkého bloku, aby nedošlo k přehřátí a ke zkratu elektronických součástí.



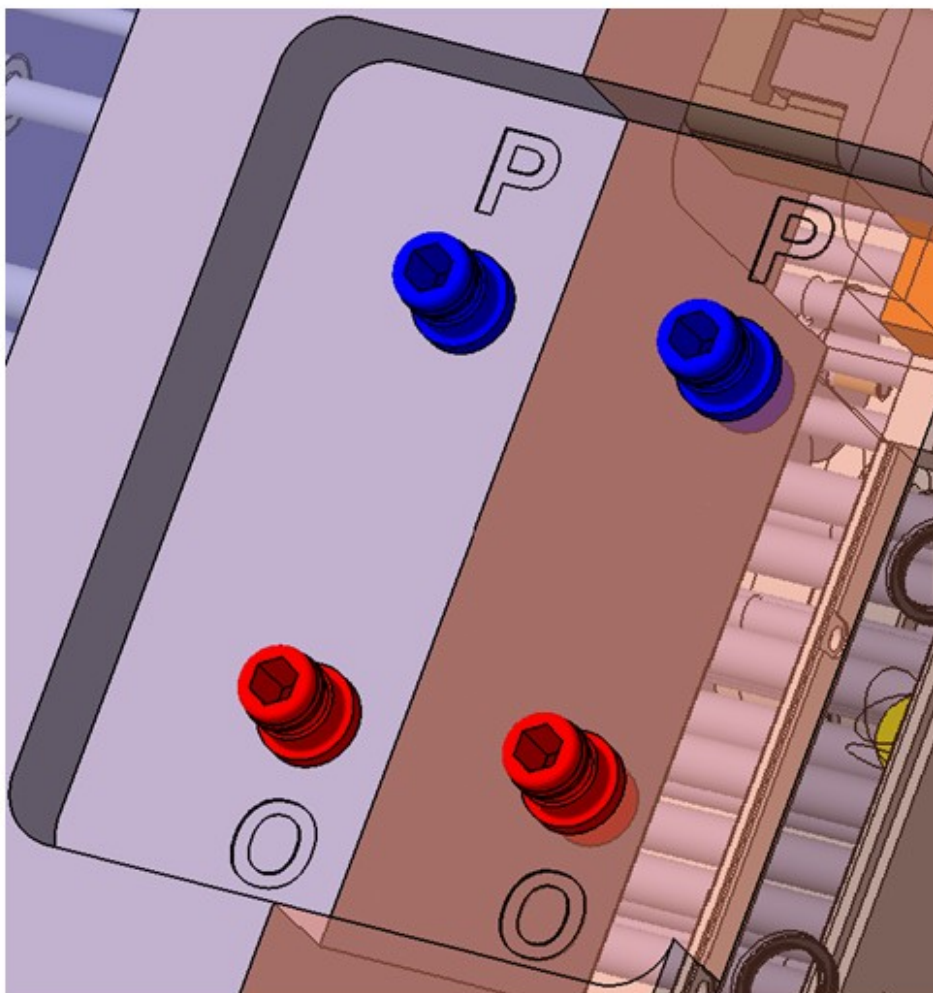
Obr. 39. Pasivní elementy temperace

1, 2 - izolační desky k upínacím deskám; 3 - izolační destička k zásuvce

8.5.2 Aktivní temperace

Dle literatury jsou kanálky vzdáleny 12 mm od nejbližší stěny výrobku. Průměr kanálů je také 12 mm. Celý systém je složen ze dvou okruhů. Jeden okruh chladí tvárník a druhý tvárnici, jak je vidět na následujících obrázcích (obr. 41 a obr. 42). Z bezpečnostních důvodů jsou rychlospojky zapuštěny do formy, aby nedocházelo k možným kolizím při manipulaci s formou.

Nad vstupem temperačního systému jsou desky označeny písmenem "P", představující přívod temperace. Naopak pod výstupem temperačního systému jsou označeny písmenem "O", představující odvod temperace. Zátky, rychlospojky a těsnící kroužky jsou nakupované díly dodávané firmou Hasco.

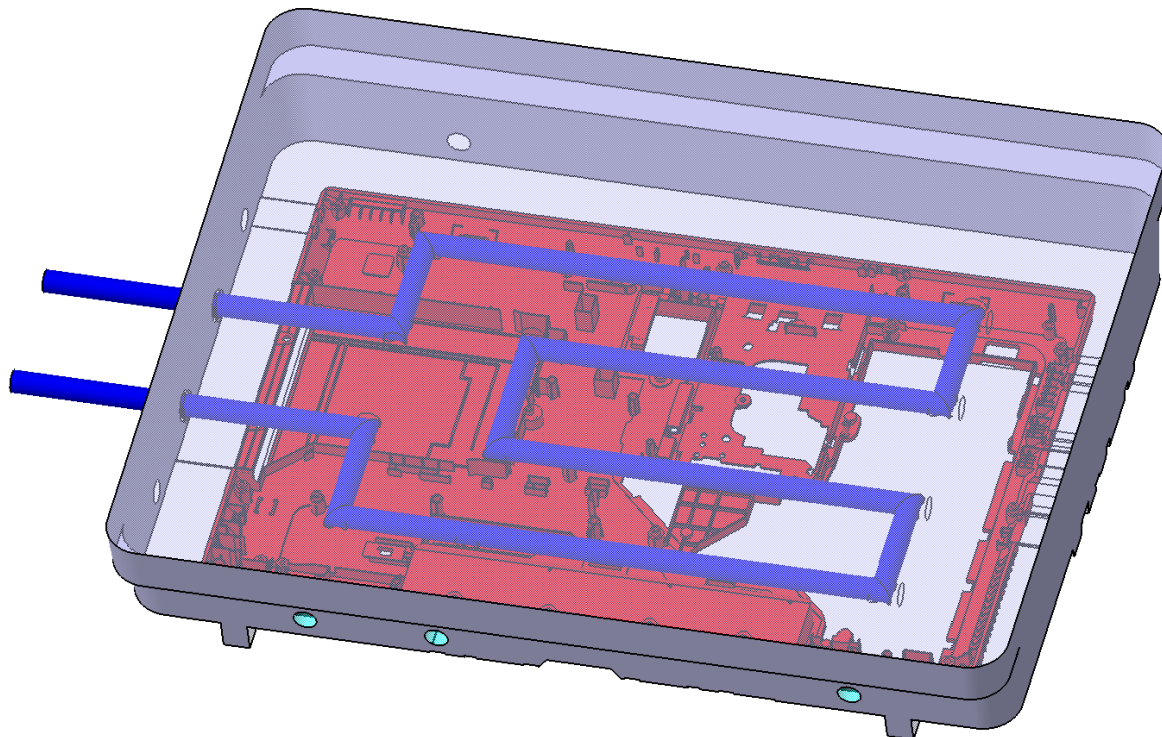


Obr. 40. Detail na označení přívodu a odvodu média

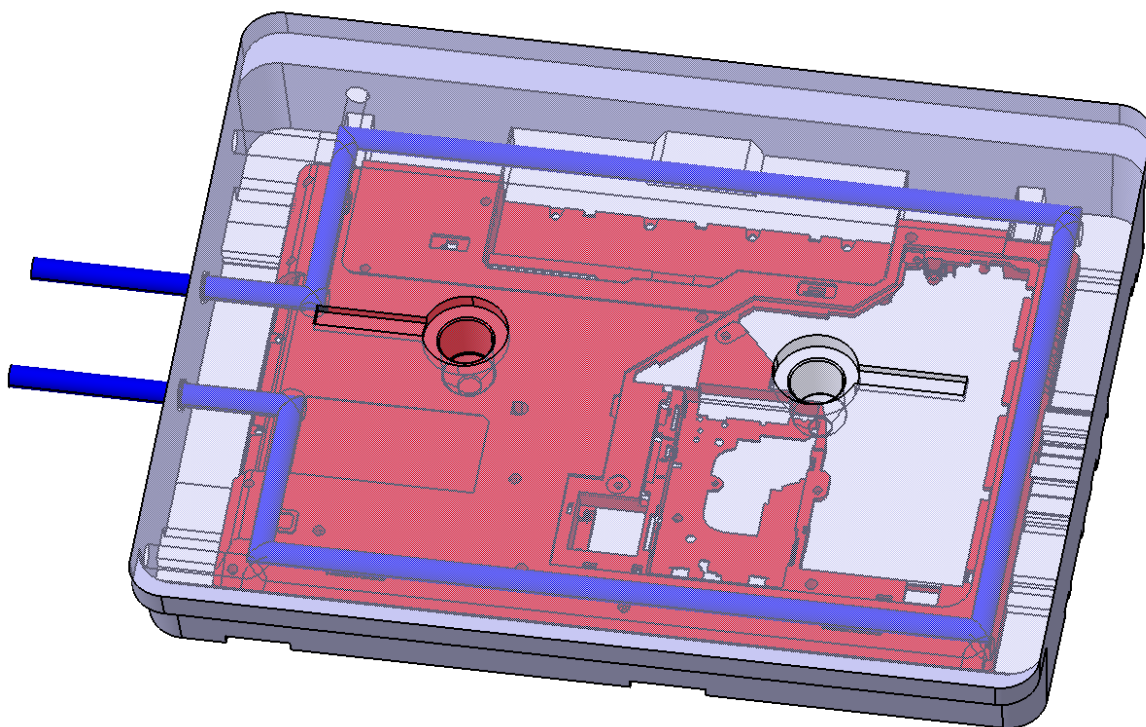
Desky jsou označeny písmeny "P" a "O" z bezpečnostních důvodů, aby při instalaci formy a přípravě na výrobní cykly nedošlo k přehození vstupu a výstupu a tím ke změnám parametrů chlazení.

Chlazení tvárnice a tvárníku

S ohledem na velký počet vyhazovačů a jejich rozmístění, byl zvolen tvarově jednoduchý temperační systém.

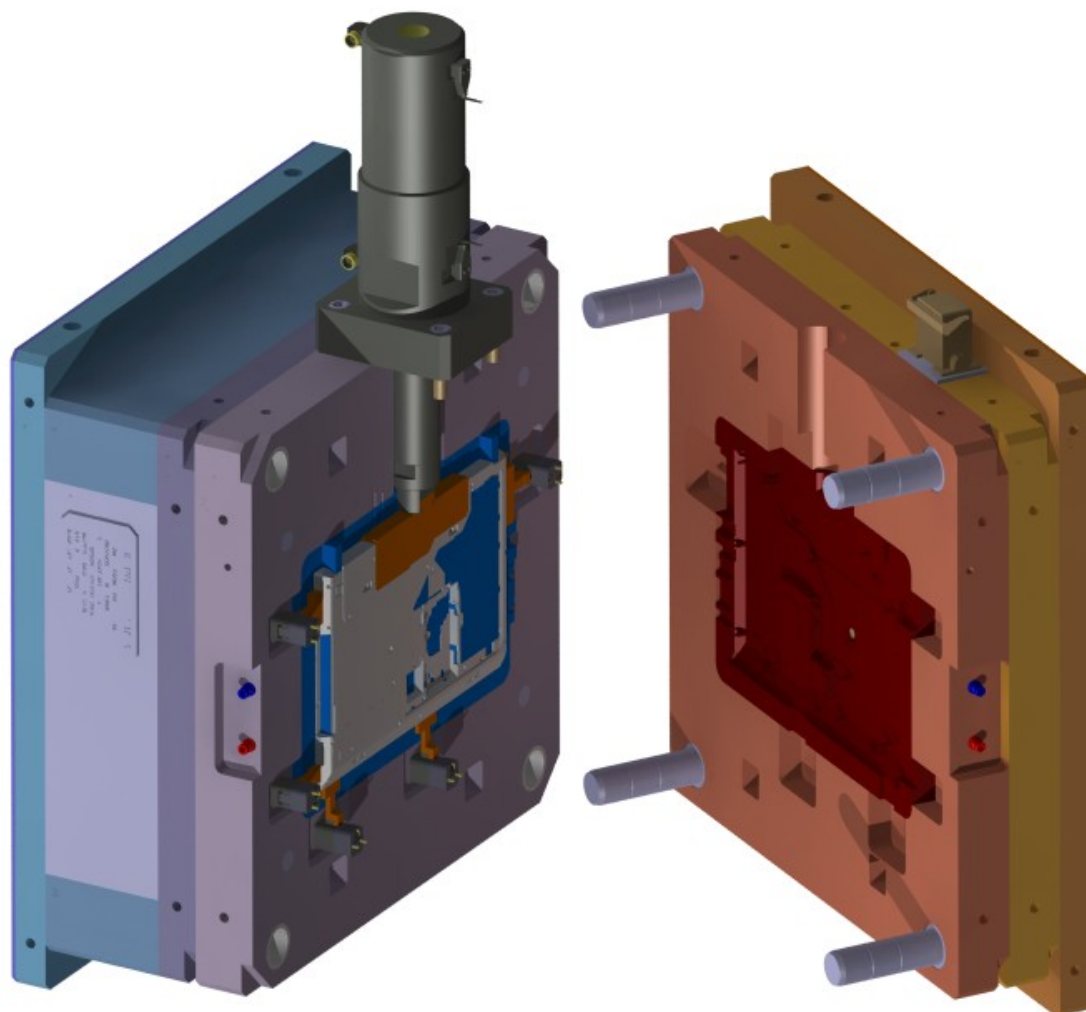


Obr. 41. Zobrazení chlazení tvárníku



Obr. 42. Zobrazení chlazení tvárnice

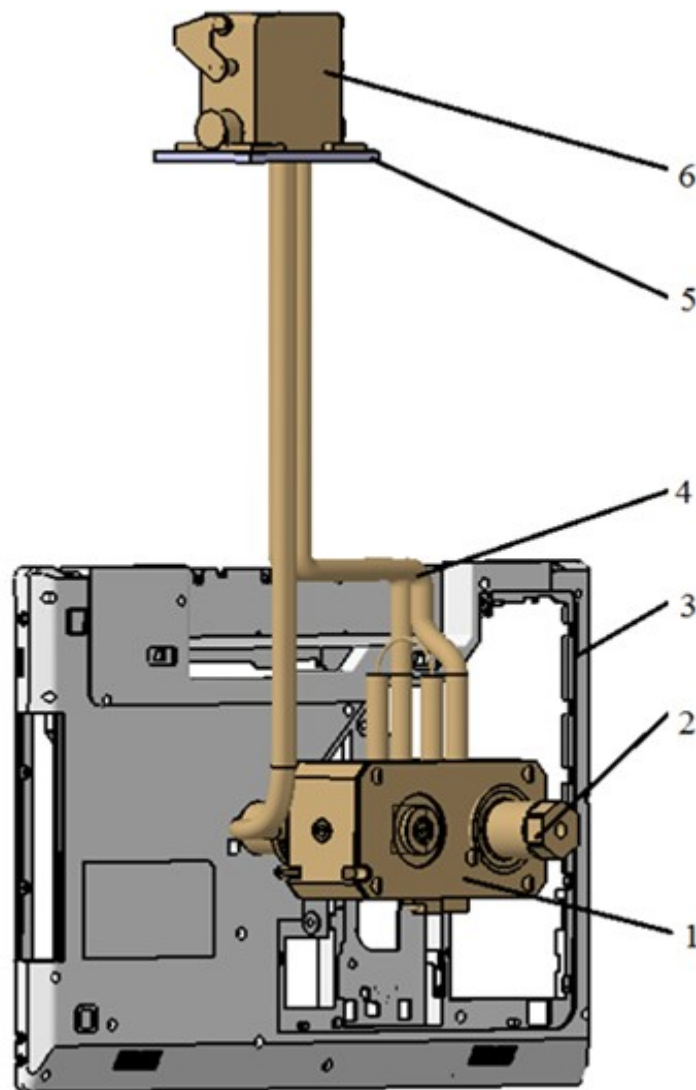
8.6 Levá a pravá strana formy



Obr. 43. Vymodelovaná levá a pravá strana formy

8.7 Vtokový systém

Vtokový systém formy zajišťuje vedení proudu taveniny od vstřikovacího stroje do dutiny formy v co nejkratším čase. Vzhledem k typu výstřiku, úspoře materiálu a násobnosti formy byl zvolen vyhřívaný vtokový systém. Je tvořen horkým rozvodným blokem, kabeláží a tryskou. To vše jsou normalizované výrobky od firmy HASCO. Blok je vystředěn a zajištěn proti pootočení pomocí kolíků.



Obr. 44. Vyhřívaný vtokový systém

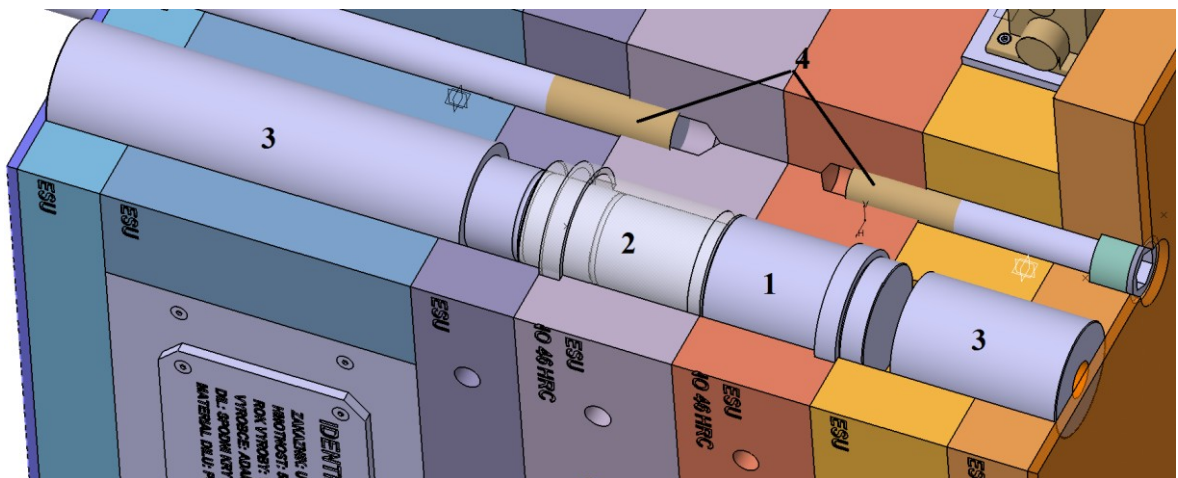
1 - horký rozvodný blok, 2 - centrální vtoková vložka, 3 - výrobek, 4 - kabeláž, 5 - izolační destička od zásuvky, 6 - zásuvka

8.8 Odvzdušnění formy

Jakmile dojde k uzavření vstřikovací formy, tak je dutina zaplněna vzduchem. Při plnění je tento vzduch stlačován a roste jeho teplota. Tím by mohlo dojít ke znehodnocení výrobku. V návrhu vstřikovací formy je odvod vzduchu realizován nepřímo mezi bočním odformováním a dělicí rovinou a také pomocí vůle mezi vyhazovači a tvárníkem ve kterém jsou usazeny. Pokud by bylo následně v analýze objeveno, že odvod vzduchu z dutiny formy je nedostatečný, tak by bylo nutné vyrobit odvzdušňovací kanály v místech, které by byly nejvíce kritické.

8.9 Rám formy

Rám formy je tvořen deskami, spojovacími a vodícími prvky a středících částí. Tvarové a funkční prvky se nacházejí vně formy. Tvarové desky a vložky jsou z materiálu 1.2343 a jsou kaleny na tvrdost 60 HRC a ostatní desky jsou z materiálu 1.2311, kromě izolačních desek, které jsou ze sklotextitu.

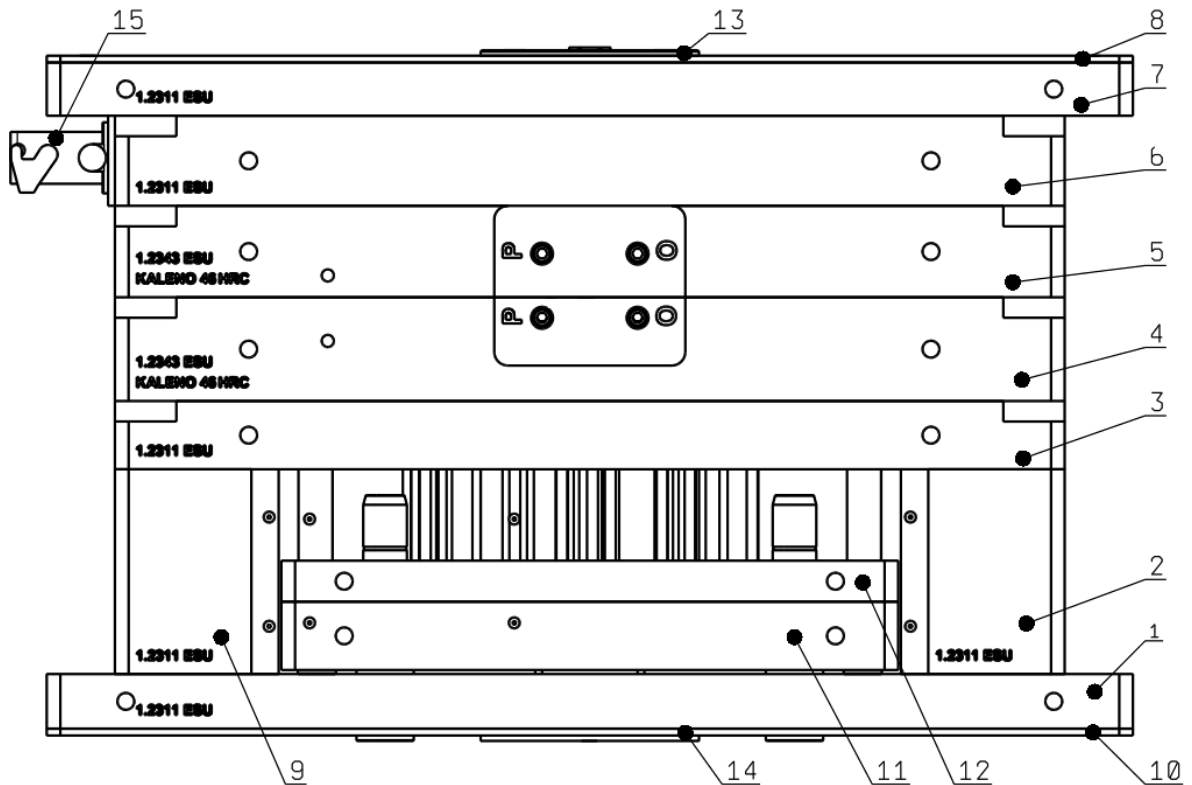


Obr. 45. Vodící a spojovací prvky

1 - vodící kolík, 2 - vodící pouzdro, 3 - středící trubky, 4 - středící šrouby

Na obrázku 45 je vidět vodící sloupek, který zajišťuje vedení pohyblivé poloviny formy při otevírání a zavírání formy. Vodící elementy jsou oceli 1.0401 tj. nelegovaná ocel vhodná právě pro tyto komponenty.

Jak je vidět, tak rám formy obsahuje vodící sloupek, vodící pouzdro a dvě délkou odlišné středící trubky. Takto zvolené středící a vodící elementy zajišťují správné vystředění a funkčnost celé vstřikovací formy. Na obrázku 46 lze vidět celý rám formy vykreslený a popsáný z horního pohledu na formu.



Obr. 46. Rám vymodelované formy pro kryt notebooku

1,7 - upínací desky; 2,9 - rozpěrné desky; 3,6 - opěrné desky; 4,5 - tvarové desky;
 8,10 - izolační deky; 11 - opěrná vyhazovací deska; 12 - kotevní vyhazovací deska;
 13, 14 - středící kroužky; 15 - zásuvka vyhřívaného systému

8.10 Manipulace s formou

8.10.1 Závěsné oko

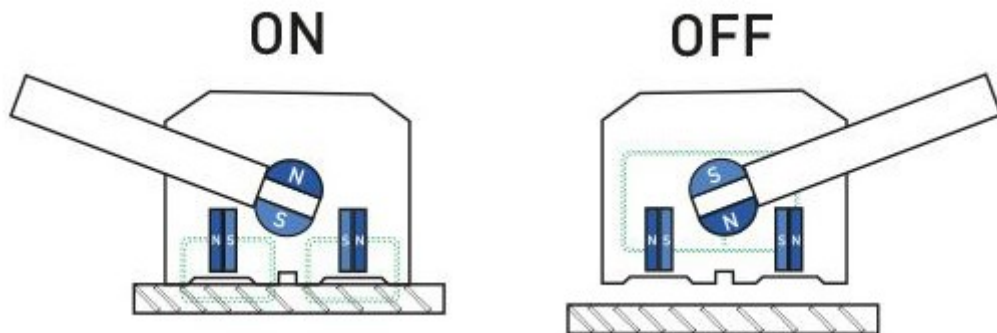
Hmotnost formy je 3300 kg a pro manipulaci s ní musí forma obsahovat transportní příslušenství. Na formě jsou namontována 4 závěsné oka, které jsou zašroubovány do obou upínacích desek. Tyto oka jsou normalizované pro konkrétní hmotnost formy.



Obr. 47. Vymodelované závěsné oko

8.10.2 Břemenový magnet

Vhodný pro přemísťování celé škály feromagnetických břemen, jako jsou právě vstřikovací formy. Tyto příslušenství jsou schopné zvednout i několika tunové tělesa. Aby se aktivoval magnetismus, tak se musí použít páka na daném příslušenství jak je vidět na obrázku 48. Konstrukce zařízení zamezuje nežádoucímu uvolnění ovládací páky.



Obr. 48. Způsob zapnutí/vypnutí magnetismu [30]

Výhody použití:

- pohodlného a jednoduchého použití,
- žádné dodatečné provozní náklady,
- nedochází ke zničení povrchu tělesa, protože je držen čistě magnetismem,
- pracuje bez napájení, zcela bez elektřiny,
- odolnost proti odmagnetizování
- nosnost až 6 tun.

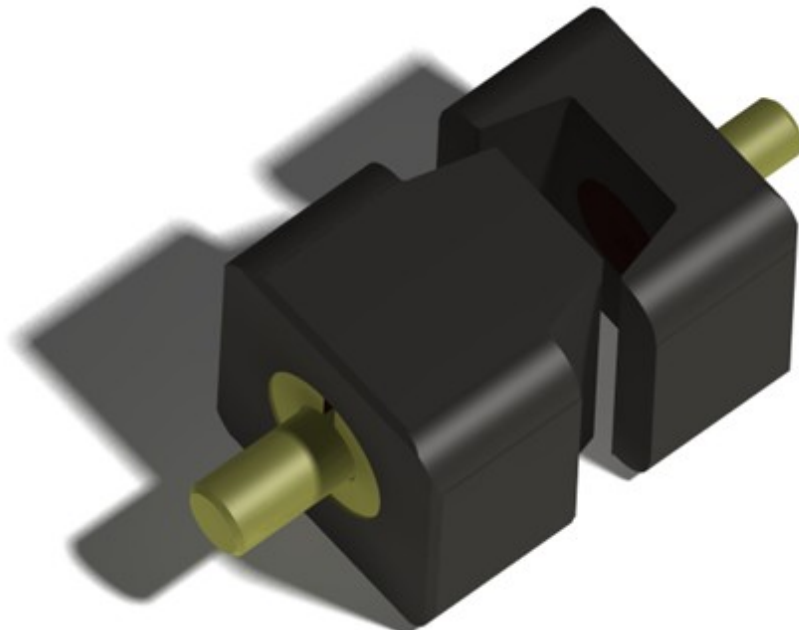


Obr. 49. Příklad využití břemenového magnetu firmy Steinber Systems [30]

8.11 Další nezbytné komponenty formy

8.11.1 Vnitřní středící zámky

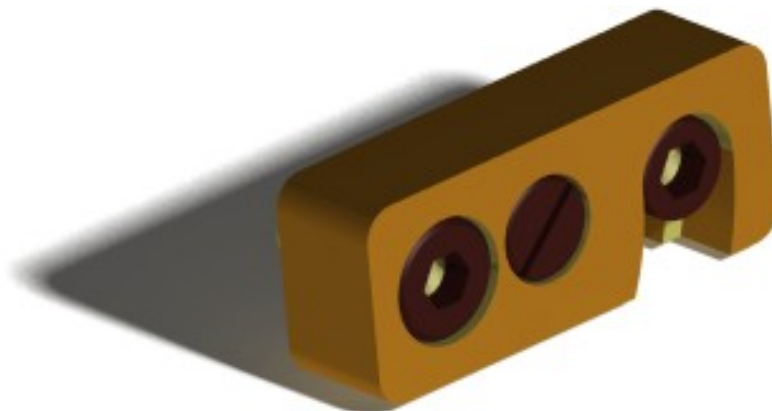
Forma obsahuje 4 středící zámky, které jsou vsazeny do tvárníku a tvárnice. Zámky jsou složeny ze dvou do sebe zapadajících součástí. Úkolem je zafixovat polohu tvárnice a tvárníku a tím předejít špatnému dosednutí těchto desek vůči sobě.



Obr. 50. Vnitřní středící zámky

8.11.2 Jistící zámky

Jistící zámky slouží k tomu, aby při manipulaci s formou nemohlo dojít k jejímu nechtěnému otevření a tím poškození samotné formy a dutiny formy.



Obr. 51. Jistící zámeček

8.11.3 Identifikace formy

Forma obsahuje identifikační štítek, na kterém jsou zapsány důležité informace o formě, jako je hmotnost, rozměry formy a další. Tento štítek je přišroubován na bok vstřikovaci formy a nikterak nezasahuje do chodu stroje.



Obr. 52. Identifikační štítek formy

9 TOKOVÁ ANALÝZA

V této diplomové části je rozebrán vstřikovací cyklus pomocí tokové analýzy. Do programu Autodesk Moldflow byl naimportován vymodelovaný výrobek bez konstrukčních rádiusů.

9.1 Tvorba a analýza sítě

Nejdříve byla vytvořena síť na modelu. Typ sítě je Dual-Domaid, která využívá konečně prvkový model (FEM). Tato síť se skládá z trojúhelníkových elementů s délkou strany 3 mm. Dalším krokem bylo provést kontrolu dané sítě pomocí funkce Aspect Ratio Diagnostic. Aby bylo možné označit danou za kvalitní, tak hodnota Aspect Ratio musí být menší než 15. Úpravou bylo dosaženo hodnoty 13,88.

Na obr. 53. lze vidět statistiku sítě. Poslední dvě hodnoty na tomto obrázku zásadně ovlivňují výpočet analýzy. Tyto hodnoty by měly být větší než 80%.

```

Triangles
-----
Entity counts:
  Triangles           83464
  Connected nodes    41536
  Connectivity regions 2

  Invisible triangles           628

Area:
(Mold blocks and cooling channels are not
included)
  Surface Area:           2684.65 cm^2

Volume by element types:
  Triangle:           317.9 cm^3

Aspect Ratio:
  Maximum   Average   Minimum
    13.88     2.30     1.16

Edge details:
  Free edges           0
  Manifold edges      125196
  Non-manifold edges  0

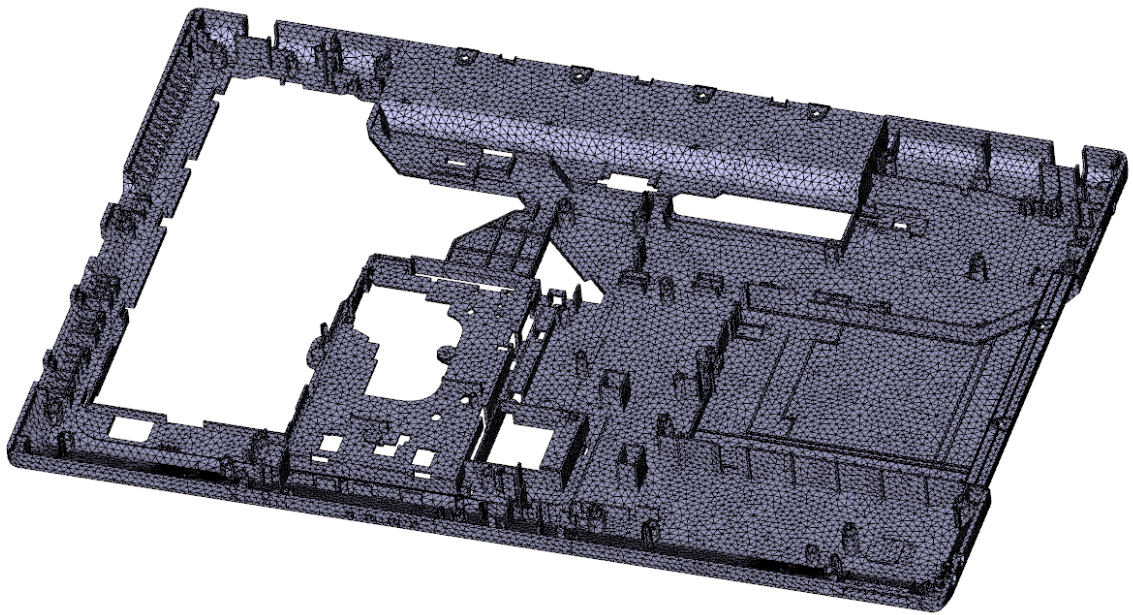
Orientation details:
  Elements not oriented  0

Intersection details:
  Element intersections  0
  Fully overlapping elements  0

Match percentage:
  Match percentage      90.3%
  Reciprocal percentage  89.6%

```

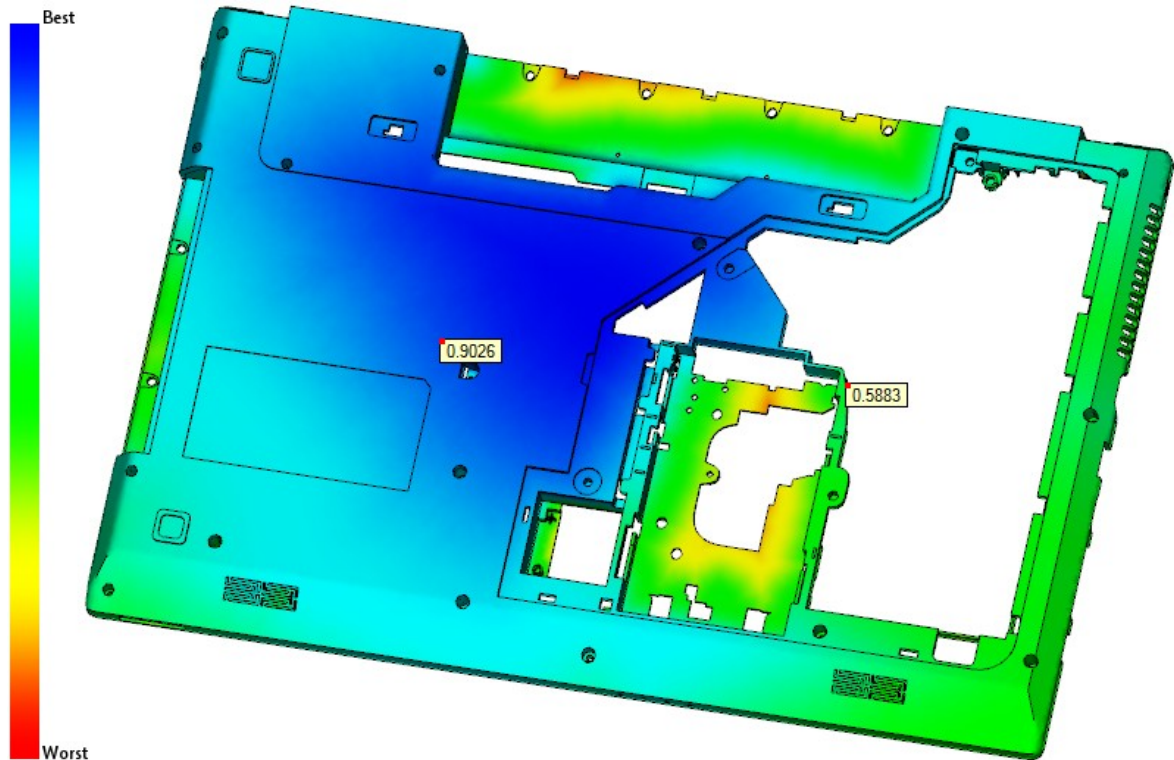
Obr. 53. Statistika sítě



Obr. 54. Model s vytvořenou a upravenou sítí

9.2 Vhodnost umístění vtoku (Gating suitability)

Díky této analýze je možno vidět místa na výrobku, která jsou vhodná a nevhodná pro umístění vtokového ústí. Nejvhodnější místa jsou na obr. 55. označeny modře. Nicméně nejvhodnější umístění vtoku dle této analýzy nutně neznamenají to nejlepší možné konstrukční provedení (vysoká kvalita povrchu, spolehlivost zaplnění dutiny formy aj.). Forma pro výrobek obsahuje dvě vtoková ústí pro lepší zaplnění dutiny. Hodnoty těchto míst byly stanoveny na 90% a 59% vhodnosti umístění.



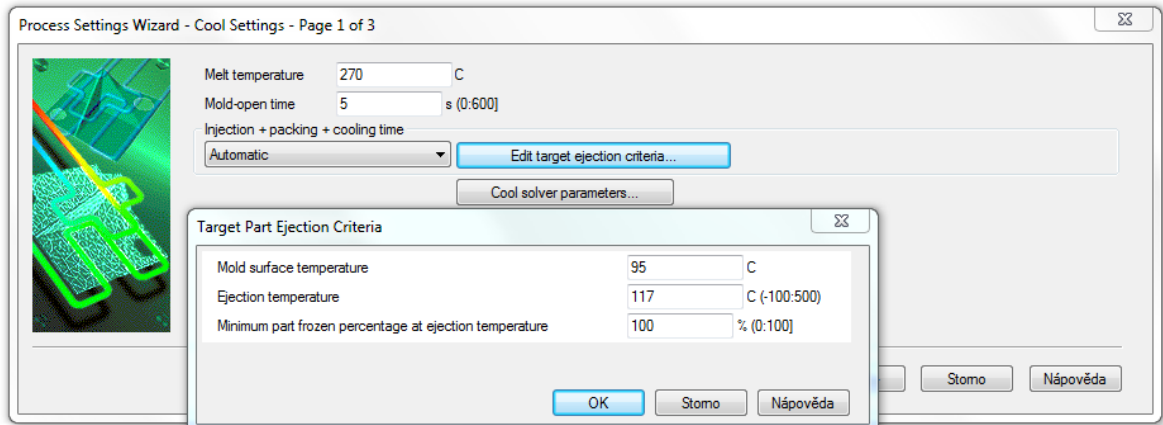
Obr. 55. Vhodnost umístění vtokového ústí

9.3 Procesní parametry analýzy

S ohledem na zvolený materiál, velikost a tvar výrobku byly nastaveny vstupní procesní parametry vstřikování. Nastavení těchto parametrů bylo provedeno ve třech krocích pomocí funkce Process Settings Wizard.

V prvním kroku bylo nastaveno:

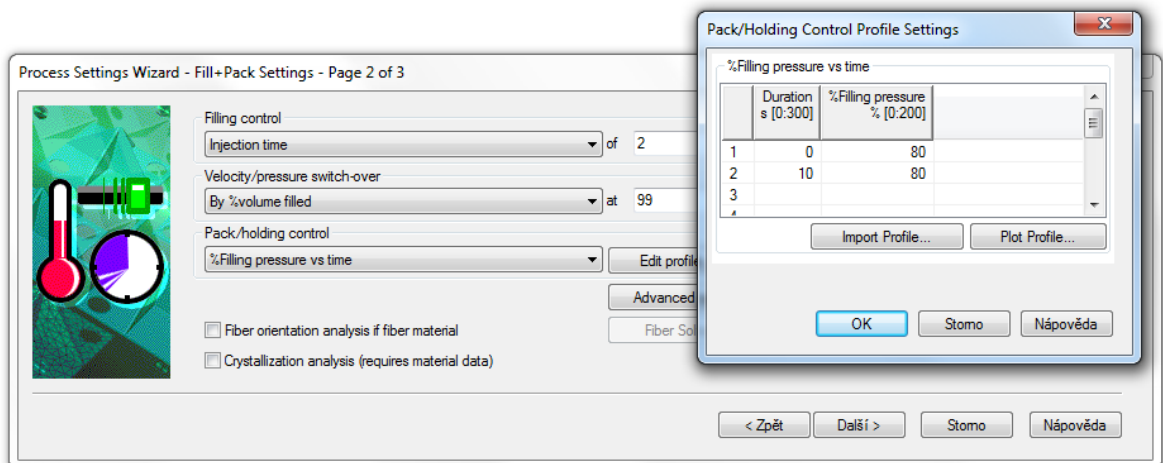
- teplota vstřikované polymerní taveniny: 270°C,
- čas otevření formy: 5 s,
- čas vstřikování + celkový čas dotlaku + čas chlazení: Automaticky,
- teplota formy: 95 °C,
- teplota při vyhození výrobku: 117 °C.



Obr. 56. Vstupní procesní parametry (krok č. 1)

V druhém kroku bylo nastaveno:

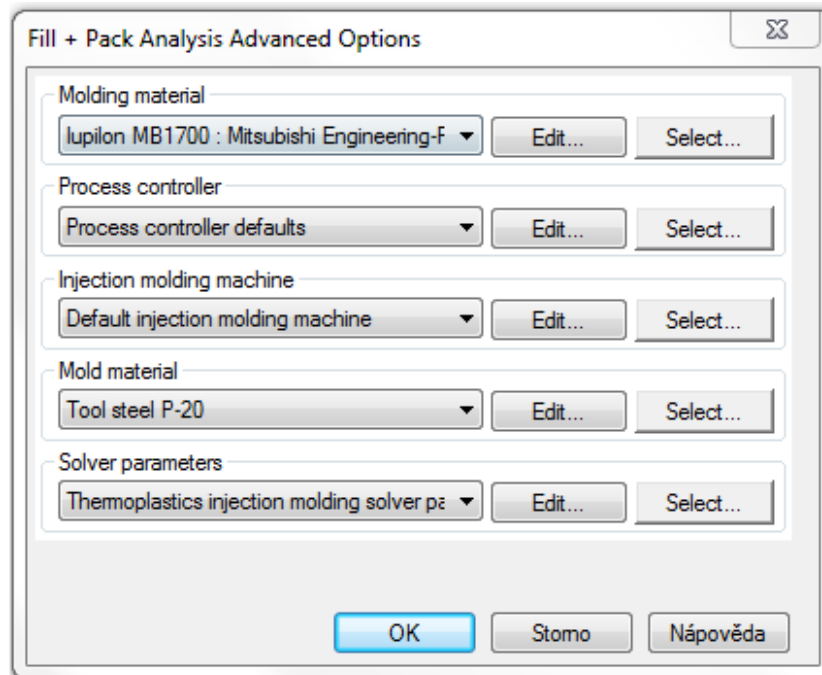
- čas plnění: 2 s,
- přepnutí na dotlak: při zaplnění 99% objemu dutiny.



Obr. 57. Vstupní procesní parametry (krok č. 2)

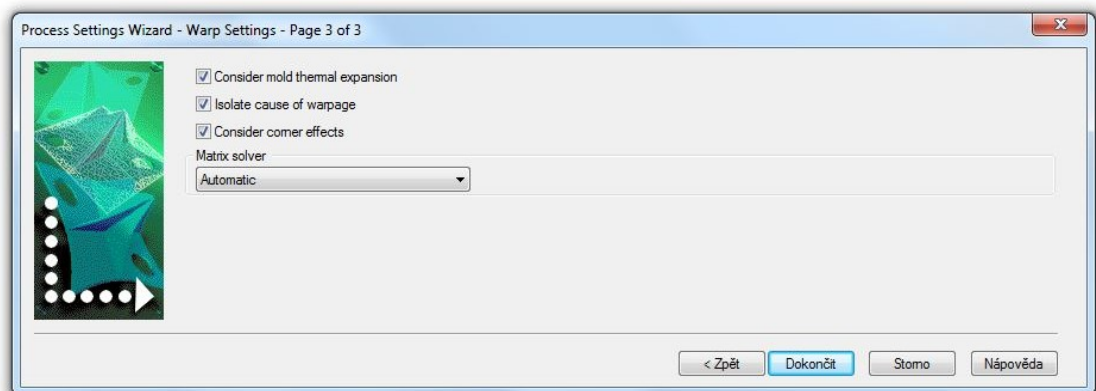
V druhé části v záložce Advances Options bylo nastaveno:

- polymerní materiál,
- počet iteračních kroků,
- materiál formy,
- zaškrtnutí položky, že nesmí být překročena hodnota uzavírací síly zvoleného vstřikovacího stroje.



Obr. 58. Pokročilé nastavení (Advances Option)

Ve třetím kroku nastavení byly označeny možnosti sledování teplotní roztažnosti vstřikovací formy a možnost izolovat příčiny deformace.



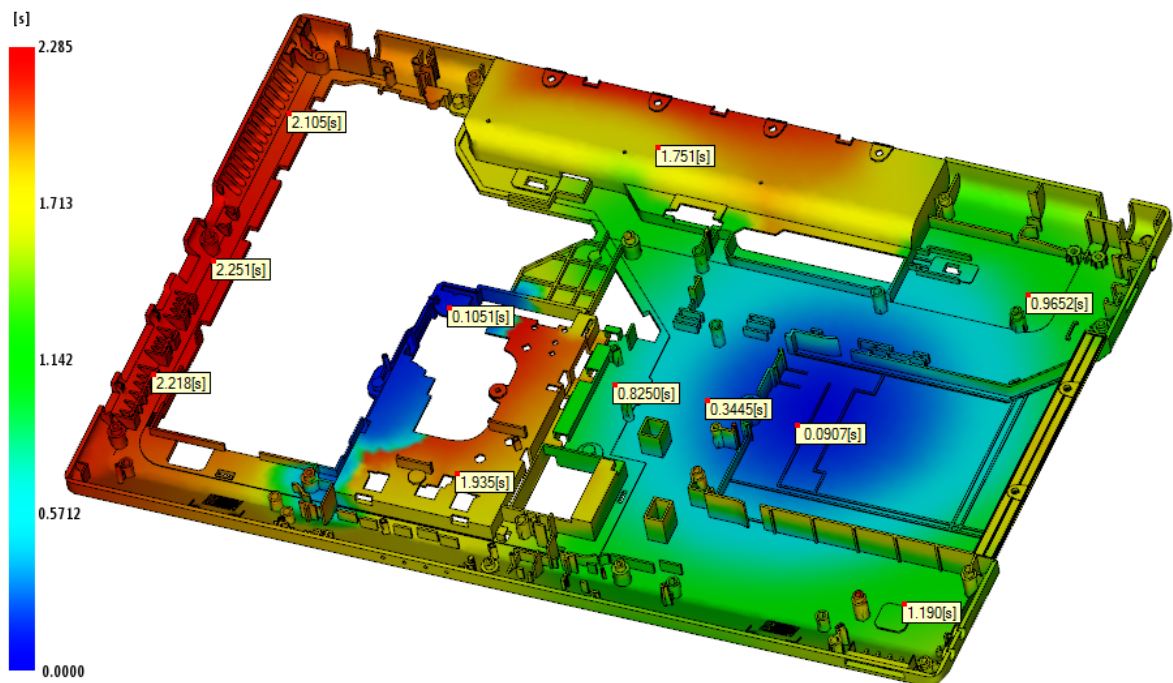
Obr. 59. Vstupní procesní parametry (krok č. 3)

9.4 Výsledky a vyhodnocení dat analýzy

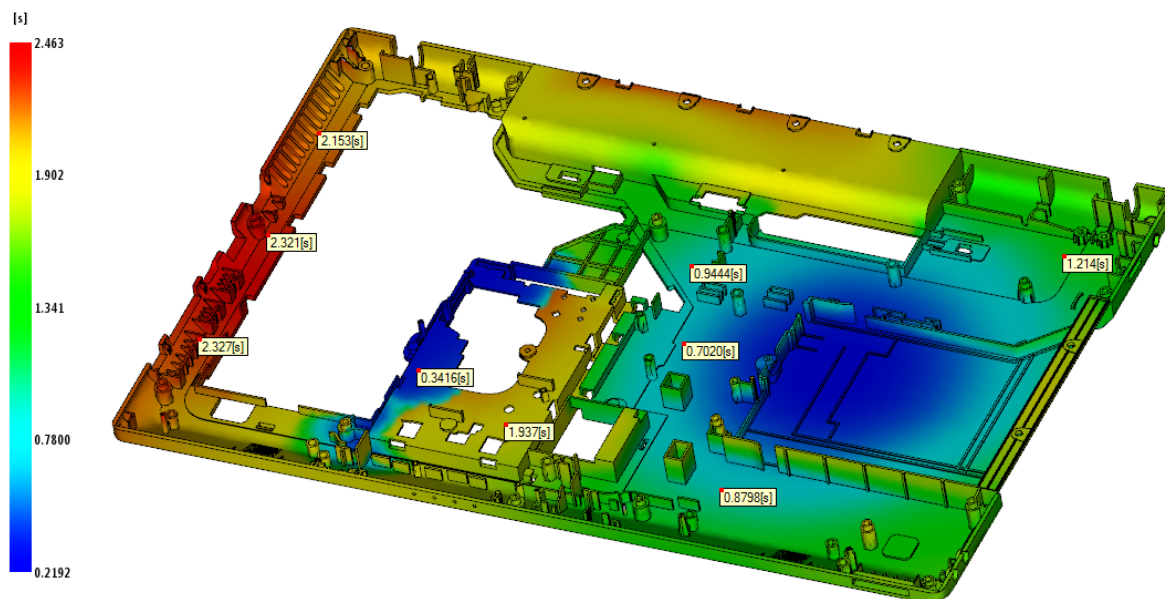
Jak už bylo zmíněno v úvodu diplomové práce, toková analýza se zabývá dvěma provedeními vstřikovací formy. Vtokový systémy budou typově odlišné. Vtokový systém bude v 1. variantě vyhřívaný s dvěma vtokovými ústí, dále už jen „1. Varianta“. Druhá varianta je obdobná té první, ale vtokový systém bude studený, dále jen už „2. Varianta“.

9.4.1 Čas plnění (Fill time)

Tato analýza ukazuje, jak tavenina teče v dutině formy a jak ji zaplňuje v časovém horizontu. Modrá místa reprezentují nejrychlejší zaplnění formy, naopak červená označení ukazují místa, kde se polymerní tavenina dostane nejpomaleji.



Obr. 60. Čas plnění – 1. Varianta

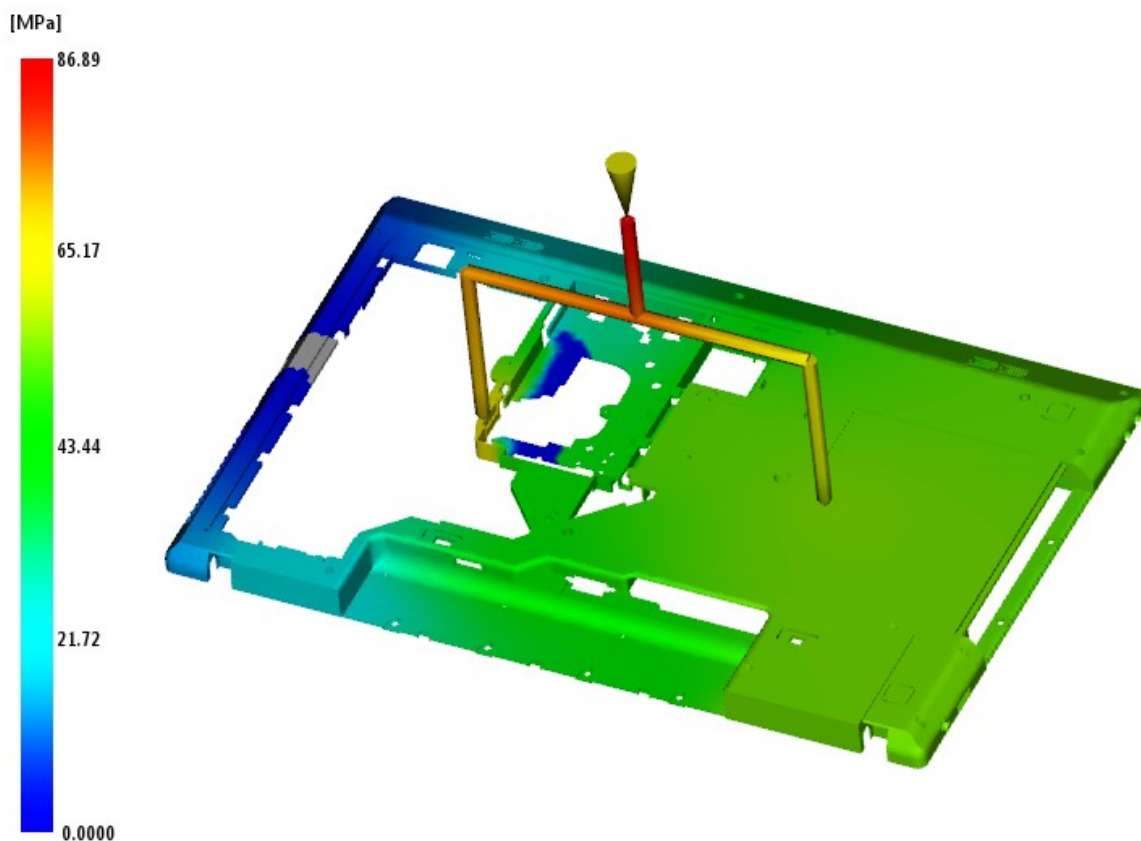


Obr. 61. Čas plnění – 2. varianta

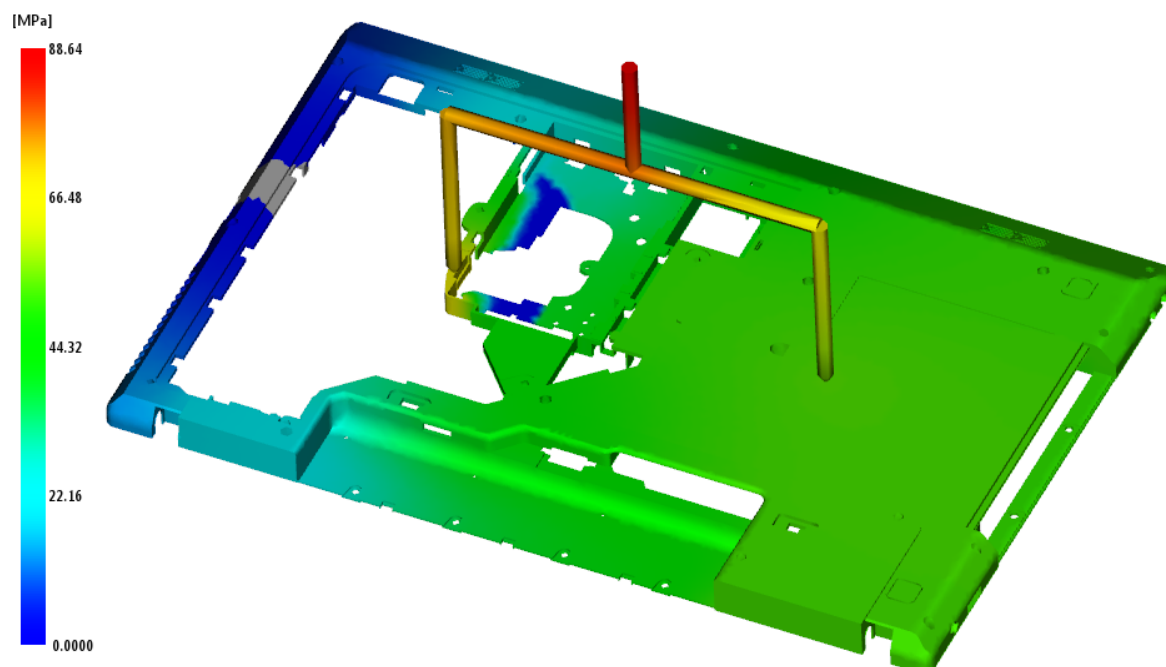
Z obrázků 61 a 62 lze vidět, že celkový čas plnění je ve velké míře stejný. U 1. varianty je celkový čas pro zaplnění celé dutiny formy 2,3 s. U 2. varianty je čas o 2 desetiny delší. Tato menší prodleva mohla být způsobena tím, polymerní tavenina chladne okamžitě při vstupu do studené vtokové vložky a tím je rychlost polymerní taveniny menší. Zatímco u 1. varianty polymerní tavenina ztrácí svou teplotu až při vstupu do dutiny formy.

9.4.2 Vstřikovací tlak a bod přepnutí na dotlak (Pressure at V/P switchover)

Podle technické dokumentace, může vstřikovací stroj vyvinout maximální vstřikovací tlak 238 MPa. Je dobré počítat i s koeficientem bezpečnosti. Tento koeficient byl zvolen na 20%. To znamená, že vstřikovací tlak by neměl překročit hodnotu 190 MPa. U první varianty je nejvyšší hodnota 86 MPa, u druhé varianty je 89 MPa.



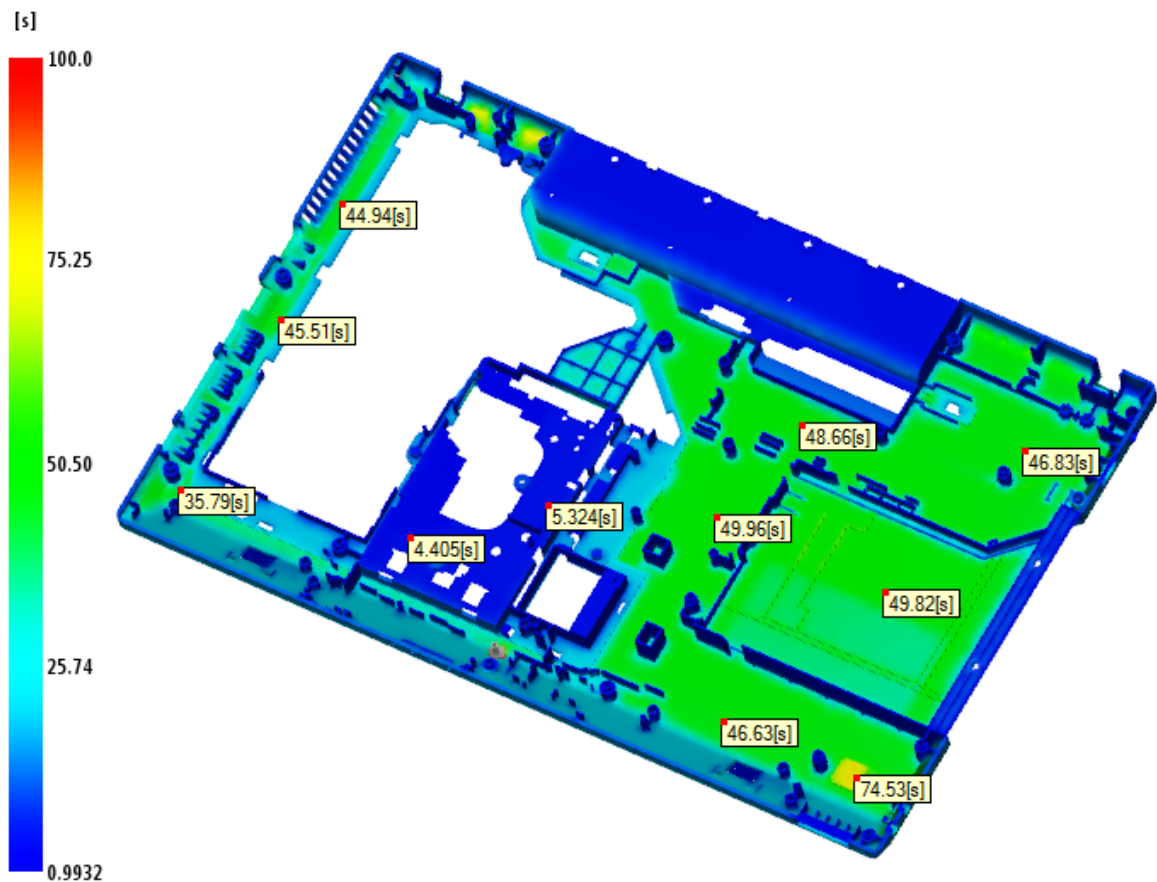
Obr. 62. Vstřikovací tlak v momentu přepnutí na dotlak – 1. Varianta



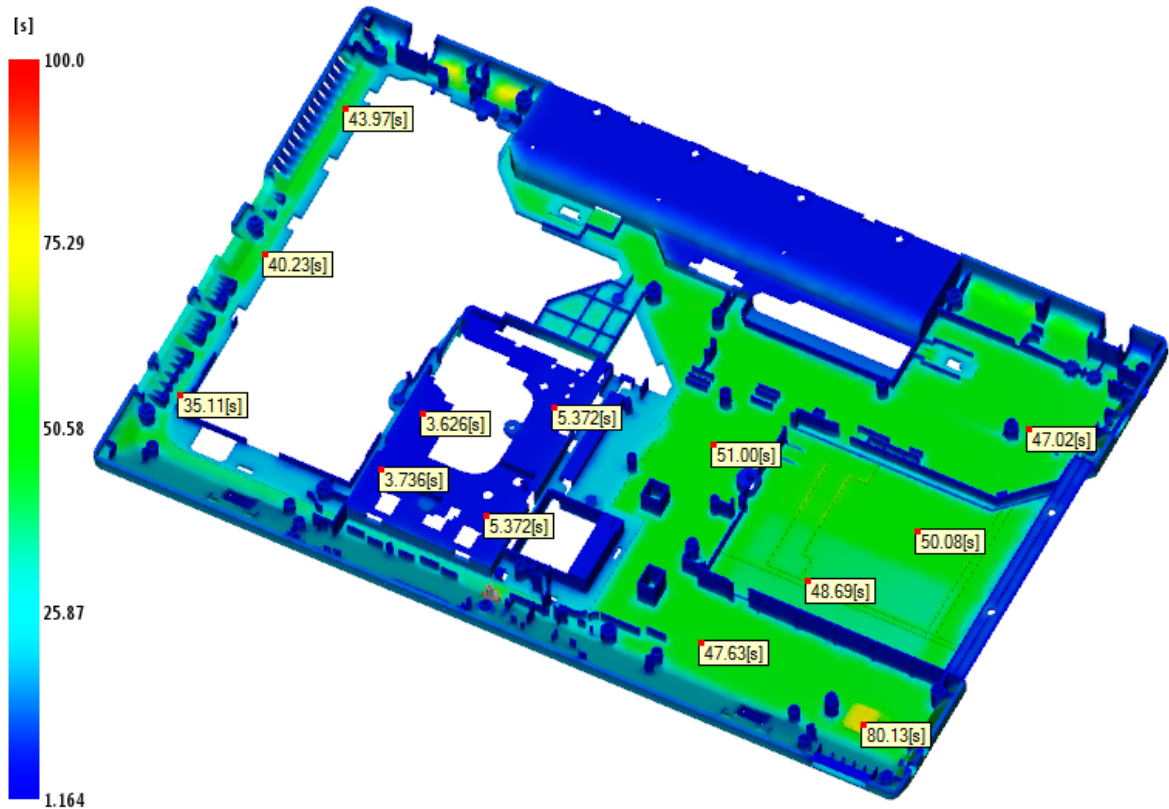
Obr. 63. Vstřikovací tlak v momentu přepnutí na dotlak – 2. Varianta

9.4.3 Čas potřebný na dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

Dle materiálových listů zvoleného polymeru je vyhazovací teplota 117°C. Celkový čas na dosažení vyhazovací teploty je u první varianty 710 s, a u druhé varianty je 711 s. Tato hodnota je zkreslená vlivem nepřesnosti mřížky v dané oblasti. Ovšem v místech kde jsou uloženy vyhazovače, je tato hodnota v rozsahu 40 - 50 s. Proto je možné vyhodit výrobek již po 50 sekundách, aniž by došlo k deformaci vlivem vyhazovačů. Pro lepší zobrazení teplotních polí na výrobku je časový interval do 100 s.



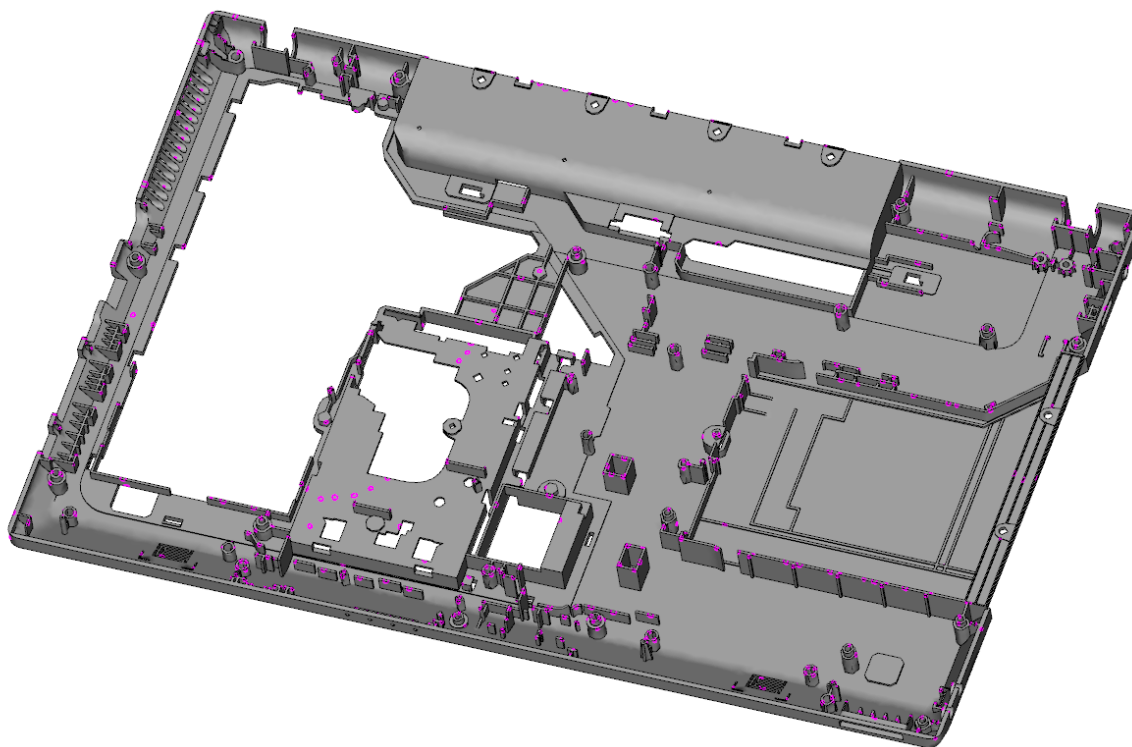
Obr. 64. Čas potřebný na dosažení vyhazovací teploty – 1. Varianta



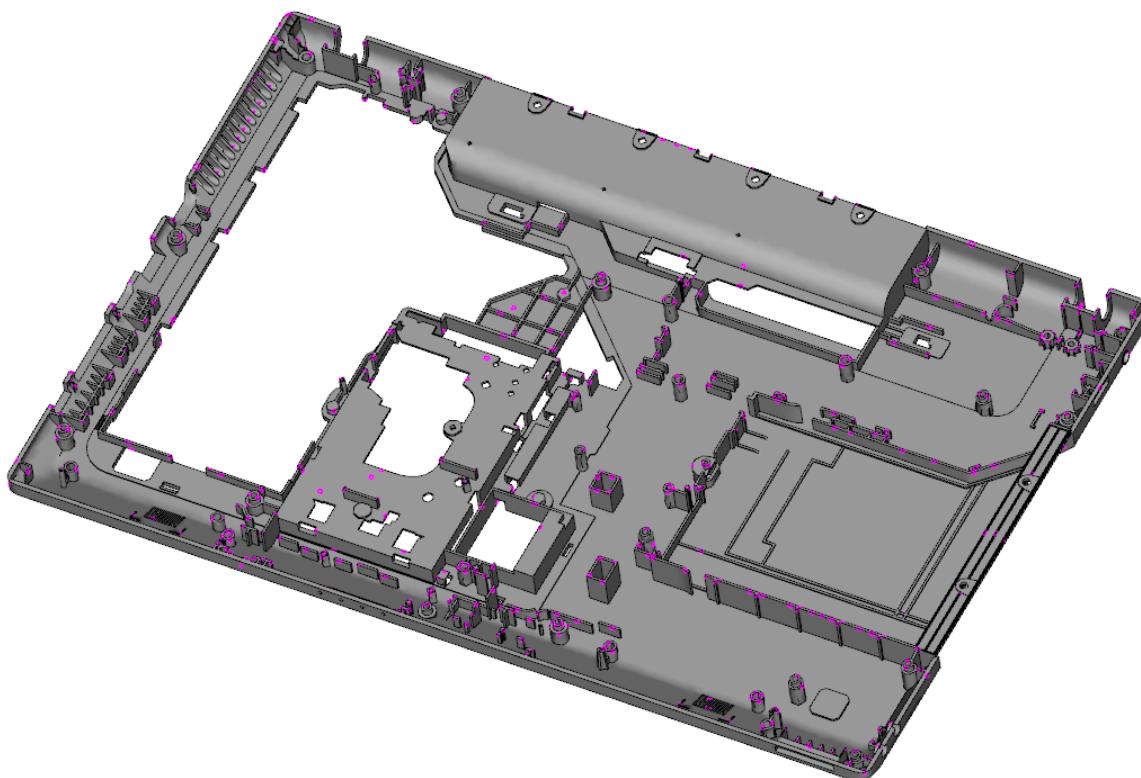
Obr. 65. Čas potřebný na dosažení vyhazovací teploty – 2. Varianta

9.4.4 Vzduchové kapsy (Air traps)

Pomocí této analýzy lze vidět, v jakých částech dutiny je riziko vzniku vzduchovým kapes. V oboru variantách je rychlost a směr plnění velice podobný a proto nelze čekat velké rozdíly v tvorbě vzduchových kapes. Lze vidět, že vzduchové kapsy se tvoří hlavně v místech dělicí roviny. Proto v tomto případě nebylo odvzdušení řešeno pomocí odvzdušňovacích kanálků. Předpokládá se, vzduch unikne přes dělicí rovinu (vůle mezi tvárníkem a tvárnicí), vůlemi mezi posuvnými tvarovými čelistmi a vůlemi mezi vyhazovači a tvárníkem.



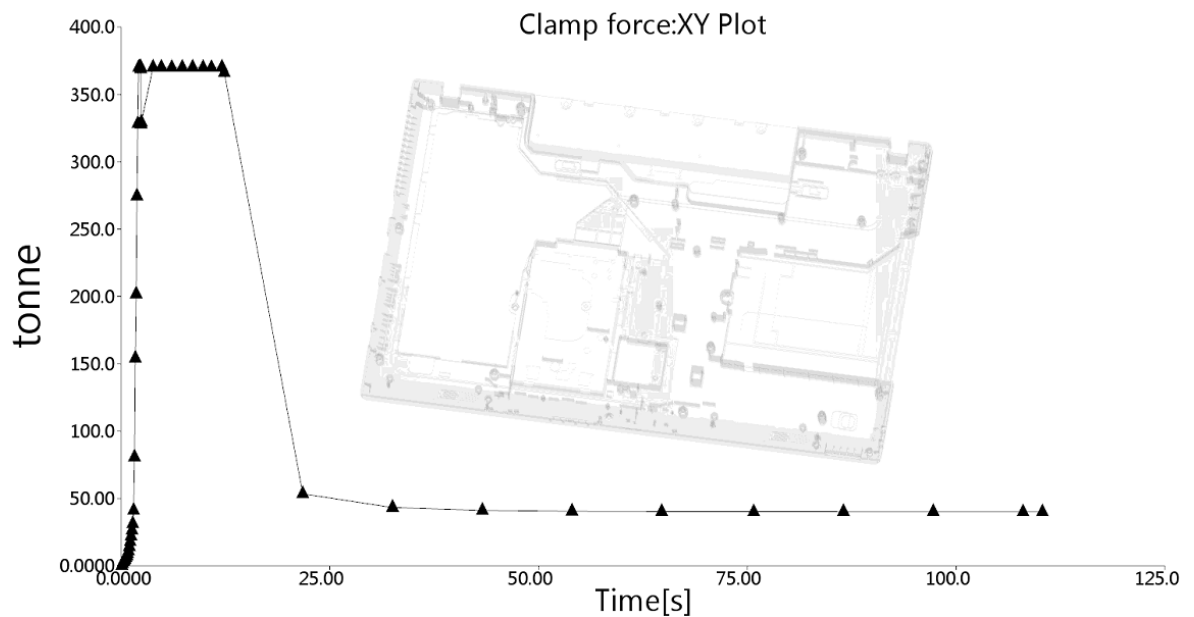
Obr. 66. Vzduchové kapsy – 1. Varianta



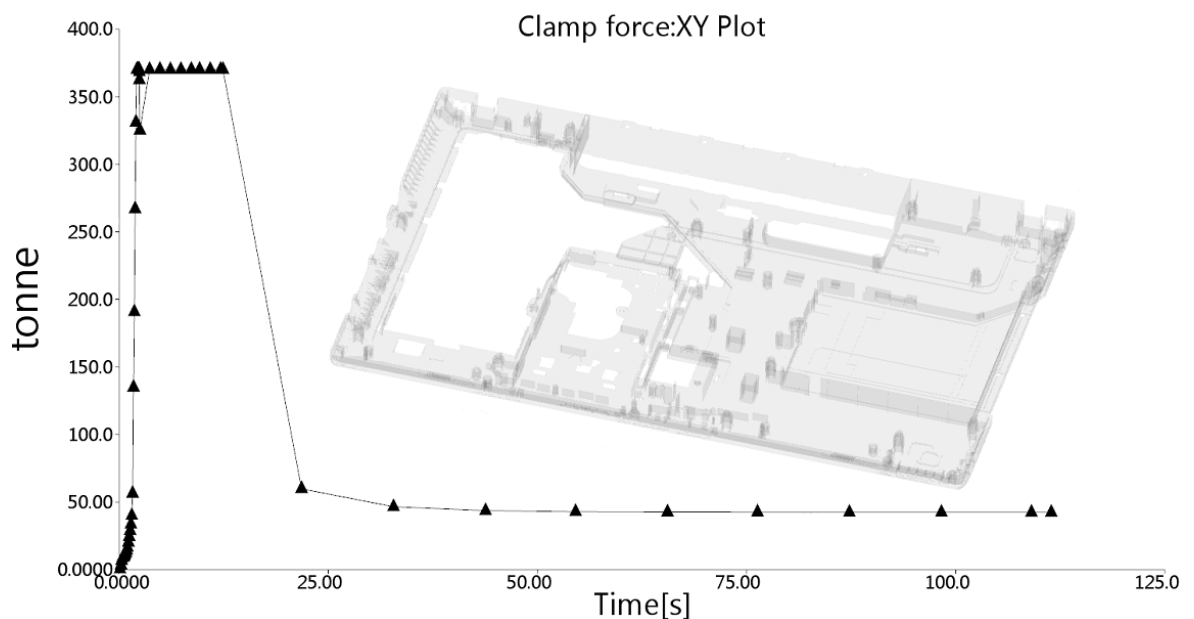
Obr. 67. Vzduchové kapsy – 2. Varianta

9.4.5 Uzavírací síla (Clamp force)

Velikost uzavírací síly je jeden ze základních parametrů potřebných pro správnou volbu vstřikovacího stroje. Vzhledem k tomu, že se jedná o plošný a rozměrově velký výrobek, tak je zřejmé, že bude potřeba vyvinout velkou uzavírací sílu. Lze vidět, že největší hodnoty jsou na konci plnění. Zvolený vstřikovací stroj může vyvinout uzavírací sílu až 4000 kN. Z výsledků analýzy vychází, že největší hodnota je 3700 kN. Je zde tedy ještě rezerva 300 kN.



Obr. 68. Uzavírací síla – 1. Varianta

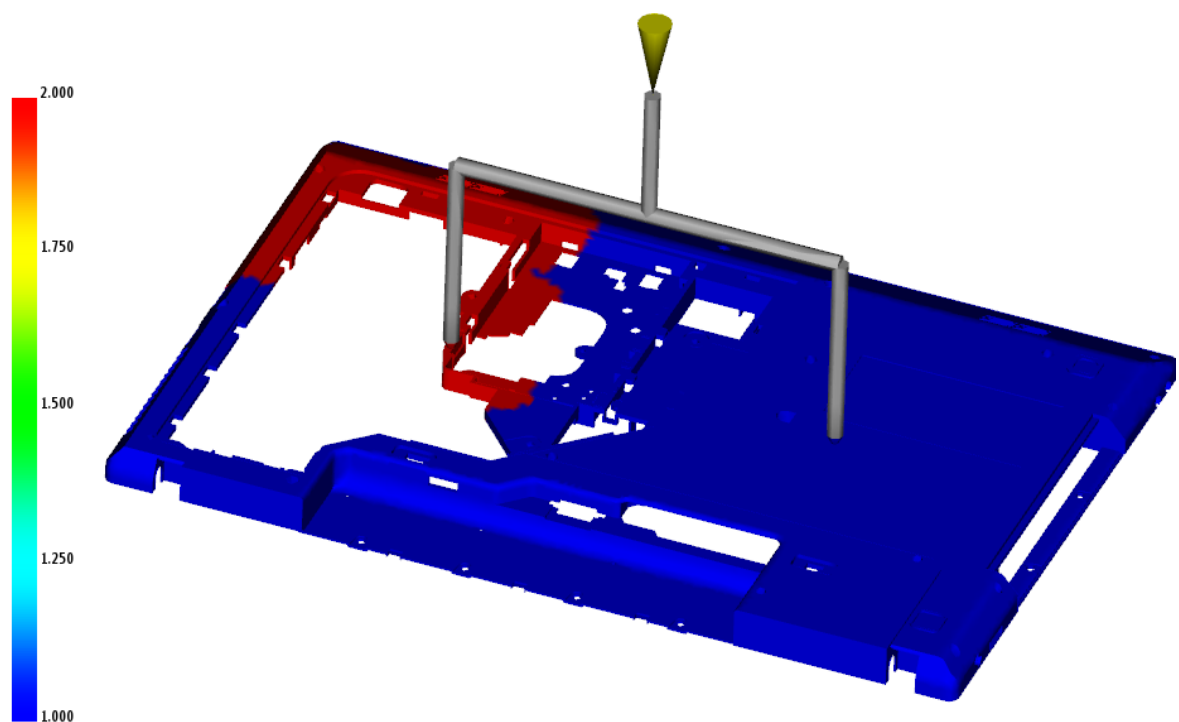


Obr. 69. Uzavírací síla – 2. Varianta

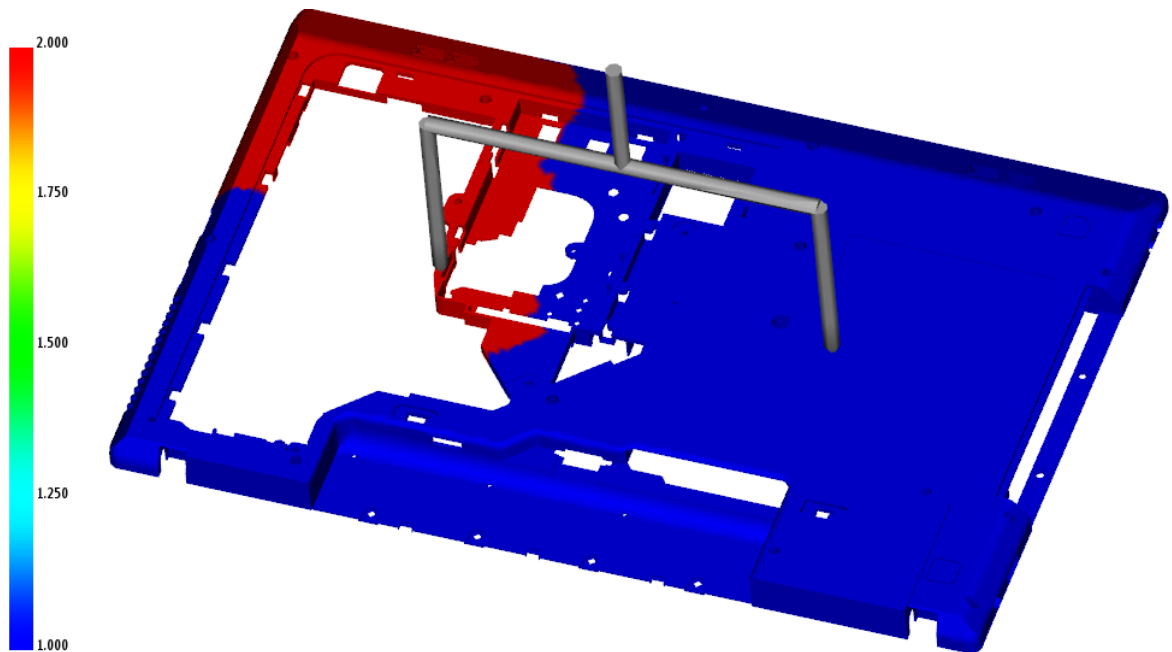
9.4.6 Plnění jednotlivými vtoky (Grow from)

Tato simulace ukazuje balancování toku z jednotlivých vtokových ústí. Před samotnou simulací bylo predikováno, že v místech uložení pevného disku (Hard Drive), bude plnění obtížné z důvodu malé tloušťky stěn v daném místě. To byl jeden z faktorů, proč byla zvolena dvě vtoková ústí.

Na obr. 70 a 71 lze vidět, že tato predikce byla správná a plnění v místě uložení pevného disku je obtížnější. Na obrázcích vyplývá, že právě tyto obtížná místa se plnila jinak při použití vyhřívaného vtokové soustavy a studené vtokové soustavy.



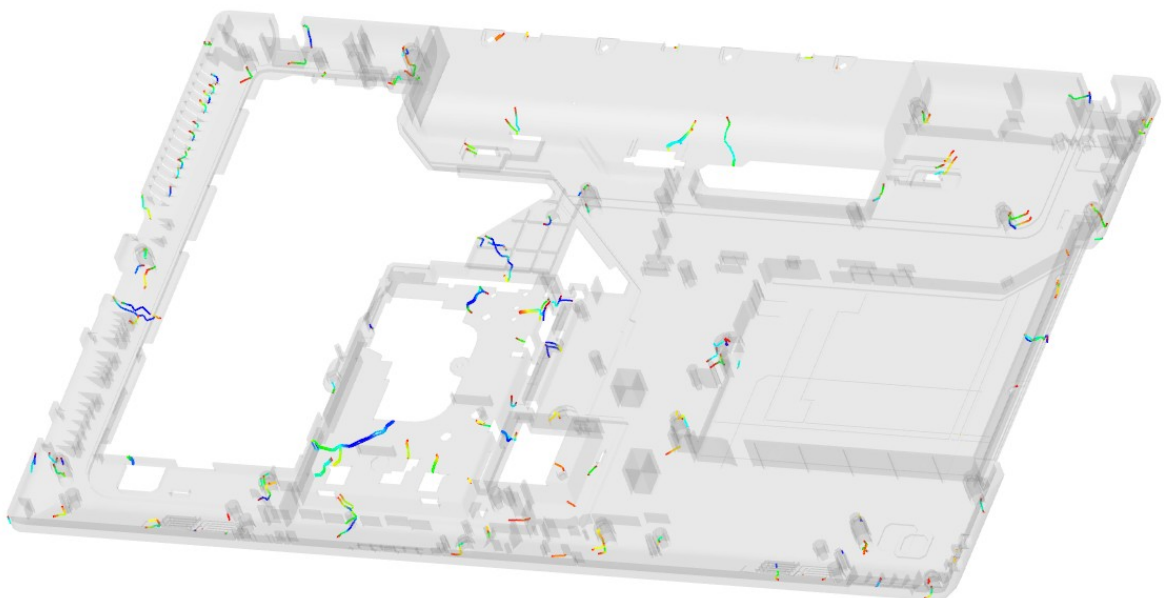
Obr. 70. Plnění dutiny jednotlivými vtoky – 1. Varianta



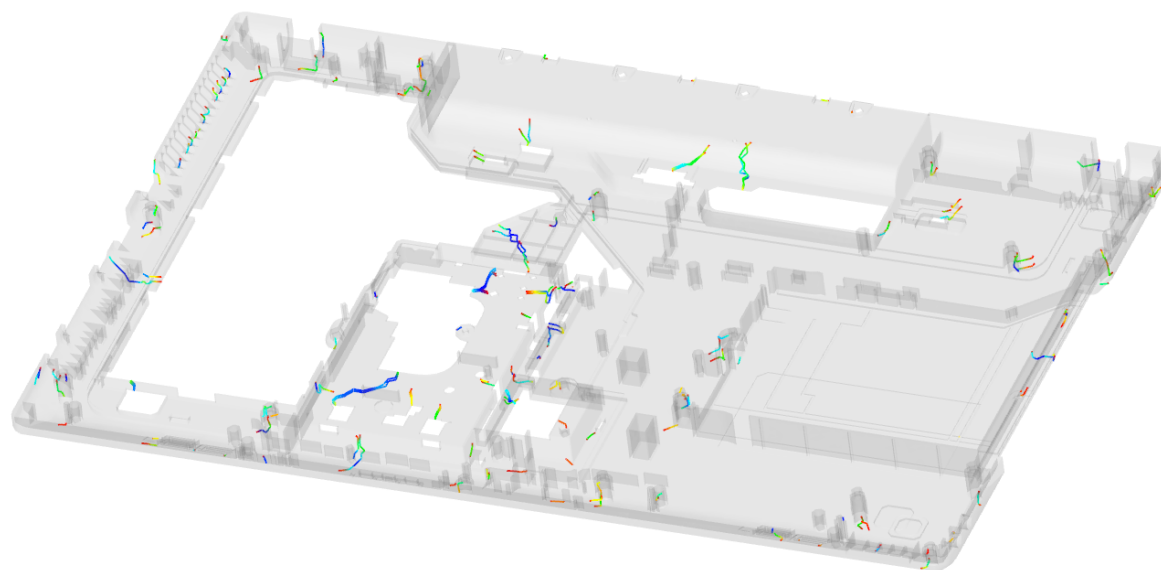
Obr. 71. Plnění dutiny jednotlivými vtoky – 2. Varianta

9.4.7 Studené spoje (Weld lines)

Studené spoje jsou místa, kde dochází ke spojení dvou nebo více čel různých toků taveniny. V těchto místech může dojít ke zhoršení mechanických vlastností a zároveň ke snížení estetické kvality povrchu. Jelikož jsou studené spoje převážně na nepohledové straně, není nutné provádět korekci umístění vtokových ústí.



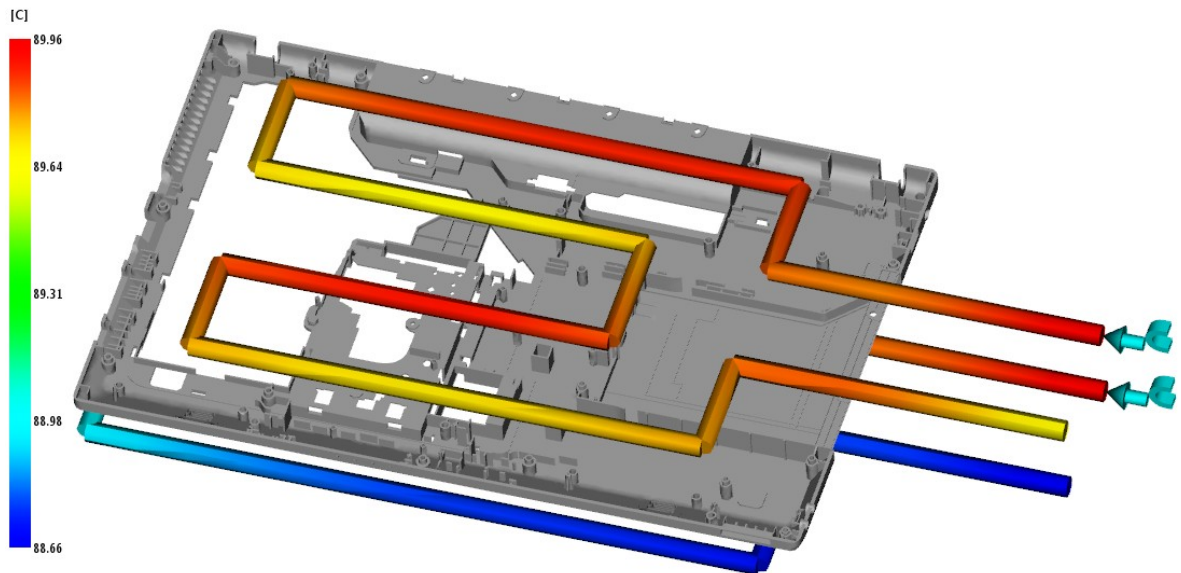
Obr. 72. Studené spoje – 1. Varianta



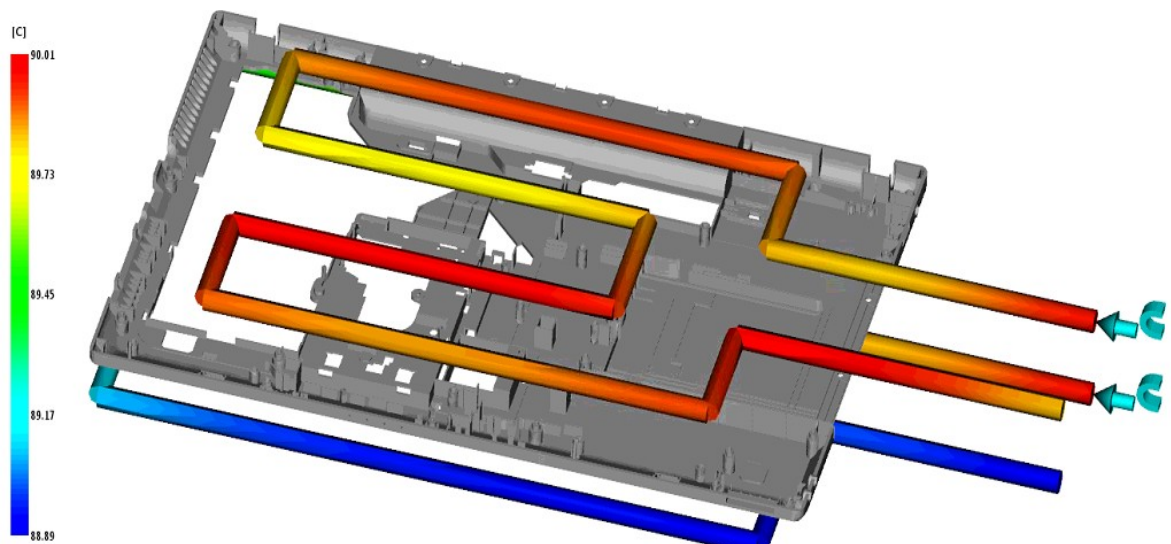
Obr. 73. Studené spoje – 2. Varianta

9.4.8 Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature)

Teplotní spád vstup-výstup je 1,3 °C. Je tedy splněna podmínka, že teplotní spád nesmí být větší než 4 °C. Při nesplnění této podmínky, by se musela upravit samotná geometrie temperačního systému, teploty, nebo průtok temperačního média.



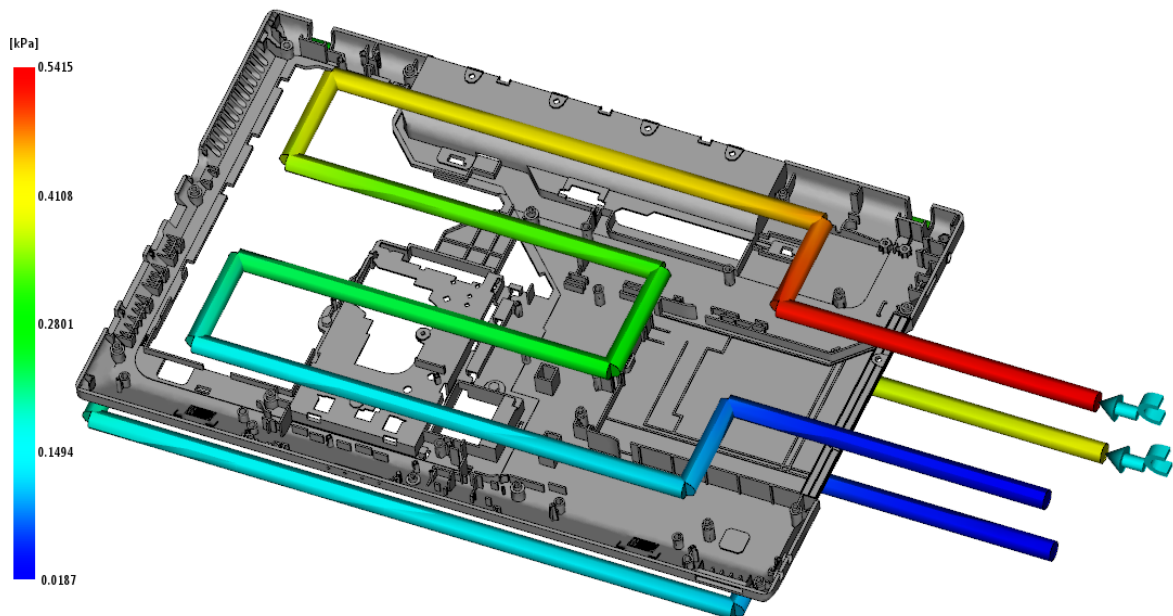
Obr. 74. Teplota temperačního média – 1. Varianta



Obr. 75. Teplota temperačního média – 2. Varianta

9.4.9 Tlak v temperačním okruhu (Circuit pressure)

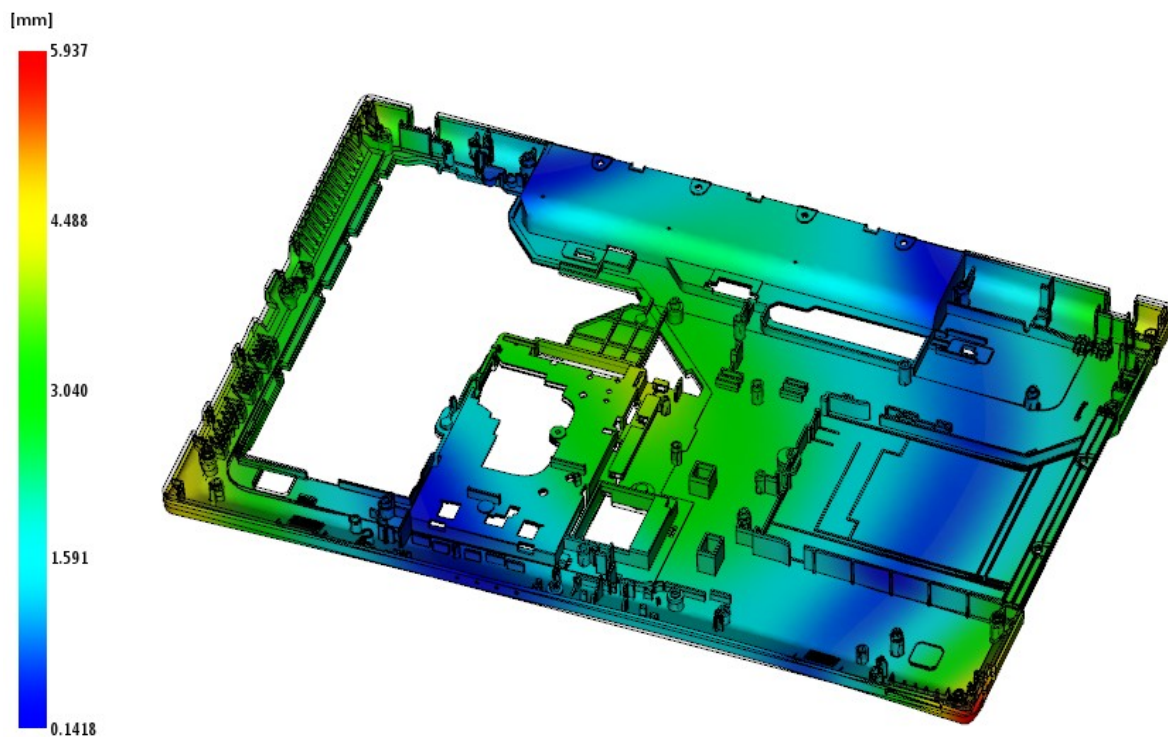
Tlak s rostoucí délkou temperačního okruhu přirozeně klesá. Je důležité, aby v temperačním okruhu nebylo tzv. mrtvé místo (nulový tlak). Navržený temperační systém neobsahuje žádná mrtvá místa (místo s nulovým tlakem). Tlak je v temperačním okruhu u obou variant stejný.



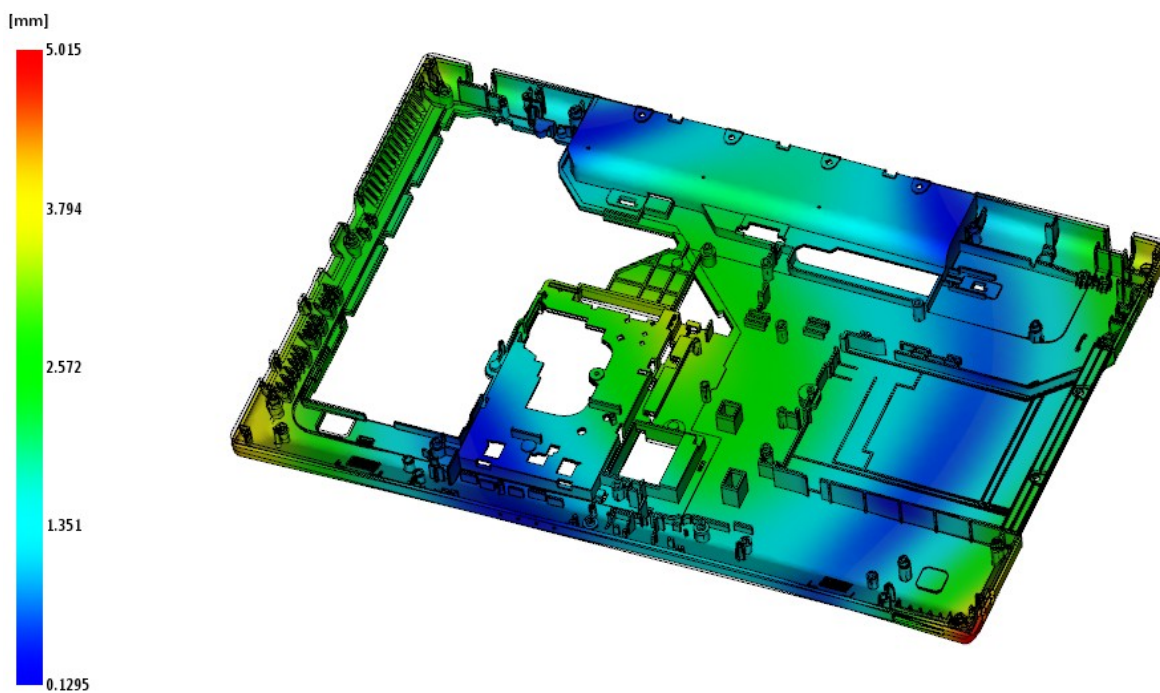
Obr. 76. Tlak v temperačním okruhu

9.4.10 Celková deformace od všech efektů (Deflection all effects)

Výsledkem této analýzy je celková velikost vzniklé deformace na výrobku, způsobena chlazením a smrštěním výrobku. Místa, u kterých je největší deformace, jsou zbarvena červenou barvou. Největší hodnota je u 1. varianty 5,9 mm a u 2. varianty 5,0 mm. Tato deformace je výsledek prohnutí celého výrobku. Největší podíl na tuto deformaci má smrštění výrobku. Dalším z faktorů ovlivňující velikost deformace může být vysoká teplota formy, nebo špatné nastavení dotlakových fází.



Obr. 77. Celková deformace od všech faktorů – 1. Varianta



Obr. 78. Celková deformace od všech faktorů – 2. Varianta

10 NÁKLADY NA VÝROBU DÍLU

V následující kapitola pojednává o celkových nákladech na výrobu vstřikovaného dílu.

Pro cenovou kalkulaci je nutné znát následující položky:

- cena polymeru za kg,
- hmotnost vstřikovaného výrobku a vtokového zbytku,
- celkový čas vstřikovacího cyklu,
- hodinová sazba vstřikovacího stroje,
- ostatní (efektivita výroby, mzdy personálu a režie).

Cena polymeru se odvíjí od typu a množství. Průměrná cena použitého materiálu je 3 €/kg. [35]

Hmotnost vstřikovaného výrobku u první varianty je 367 g (bez vtokového zbytku). U druhé varianty je celková hmotnost výrobku 417 g (včetně vtokového zbytku). Dle výsledků analýz byl zvolen celkový čas cyklu 55 s. Tento čas je shodný u obou variant vstřikování. Hodinová sazba stroje se odvíjí od velikosti stroje.

Tab. 3. Položky pro cenovou kalkulaci

Položka	Hodnota	Jednotka
Cena polymerního granulátu	3	€/kg
Hmotnost výrobku	367	g
Násobnost formy	1	-
Čas cyklu	55	s
Hodinová sazba stroj	25	€
Výrobní a administrativní režie	25	%
Materiálová režie	5	%
Mzda obsluhy	6,5	€/hod
Vytížení obsluhy	30	%
Efektivita práce	75	%

Pro 400 tunový vstřikovací stroj bude počítáno se sazbou 25 €/hod. Hodinové sazby zahrnuje i odpisy a periferie (odsávače polymeru, regulátory horkých systémů, sušičky atd.).

10.1 Kalkulace ceny výrobku

Počet vyrobených kusů na hodinu práce:

$$N = \frac{3600 \cdot ef}{t_{cykl}} = \frac{3600 \cdot 0,75}{55} = 49,1 \text{ ks/hod} \quad (3)$$

Cena materiálu na jeden vyrobený kus:

$$C_m = \frac{m}{1000} \cdot c_p \cdot m_r = \frac{367}{1000} \cdot 3 \cdot 1,05 = 1,2 \text{ €/ks} \quad (4)$$

kde:

m - hmotnost výrobku [g]

c_p - cena polymeru [€/kg]

m_r - materiálová režie [%]

Cena práce stroje na vyrobený kus:

$$C_s = \frac{m_c}{N} = \frac{25}{49,1} = 0,51 \text{ €/ks} \quad (5)$$

kde:

m_c - sazba stroje [€/hod]

Cena obsluhy na vyrobený kus:

$$C_l = \frac{h_c \cdot h_o}{N} = \frac{6,5 \cdot 0,3}{49,1} = 0,04 \text{ €/ks} \quad (6)$$

kde:

h_c - mzda obsluhy [€/hod]

h_o - vytížení obsluhy [%]

Celková cena bez administrativní a výrobní režie a marže:

$$C_{zaklad} = C_m + C_s + C_l = 1,75 \text{ €/ks} \quad (7)$$

Celková cena včetně režii a marže:

$$C_{celk} = C_{zaklad} \cdot 1,3 = 1,75 \cdot 1,3 \cong 2,28 \text{ €/ks} \quad (8)$$

Celková cena výrobku je 2,28 €. Pokud by se tato částka převedla na českou korunu při kurzu 1 € = 25,6, tak celková cena výrobku je 58,4 Kč. Tato cena je vypočtena pro 1. variantu vstřikování (vyhříváný vtokový systém, bez vtokového zbytku).

Pokud by se stejná kalkulace provedla u 2. varianty, tak celková cena výrobku je 2,42 € (62,2 Kč). Rozdíl mezi 1. a 2. variantou je 5,8 % (3,8 Kč). Při velkosériové výrobě 1,5 mil. kusů činí tento rozdíl 5,7 mil. Kč.

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem diplomové práce byl návrh vstříkovací formy pro výrobu zadaného plastového dílu. Tímto dílem byla spodní vana (kryt) notebooku nspecifikované značky. Návrh byl proveden v programu Catia V5R19. Při návrhu bylo dále využito i mnoho normalizovaných produktů od firmy Hasco.

Jako první byl vymodelován zadaný výrobek. Následně byla provedena analýza vhodnosti vtokového ústí, díky které byla navržena dělicí rovina a způsob zaformování. Z důvodu velkých rozměrů výrobku byla zvolena jednonásobná vstříkovací forma. V první fázi diplomové práce byl navrhnut vyhřívaný vtokový systém s jedním vtokovým ústím. Poté byla provedena analýza plnění dutiny formy dle zvoleného vtokového systému. Z výsledků analýzy se zjistilo, že vtokový systém je nedostatečný z pohledu nedotečení dutiny formy. Následně byla provedena korekce vtokového systému a bylo přidáno jedno vtokové ústí. Po této korekci se opět provedla analýza plnění dutiny a z výsledků analýzy bylo patrné hned na první pohled, že korekce byla úspěšná, jelikož problém s nedotečením byl vyřešen.

Jako další byly vymodelovány tvarové vložky (tvárník a tvárnice) a také boční tvarové čelisti, které slouží k odformování bočních tvarových ploch a podkosů, které by nešly odformovat jen pomocí hlavní dělicí roviny. Tyto boční tvarové čelisti jsou uloženy na pohyblivé straně formy a pohyb těchto čelistí je zajištěn pomocí sikhých kolíků, které jsou uloženy ve formě pod úhlem 18°. Ve formě je obsaženo i boční odformování, které bylo řešeno pomocí hydraulického válce napojeného na hydraulický obvod.

Poté byl navrhnut temperační systém okruh spolu s vyhazovacím systémem. Temperační systém obsahuje 2 samostatné okruhy. Pomocí těchto temperačních okruhů dochází k temperaci tvárníku a tvárnice. Temperační médium protéká ve vyvrtaných kanálcích o průměru 12 mm. Vyhození výrobku se uskuteční pomocí válcových vyhazovačů, které od sebe liší průměrem. Průměry vyhazovačů jsou 4,6 a 8 mm. Pohyb vyhazovacího systému je pomocí hydraulického systému vstříkovacího stroje přes táhlo.

Po zkonstruování vstříkovací formy bylo zapotřebí provést celkovou tokovou analýzu. Proto byla vytvořena geometrie vtokového a temperačního systému, která byla následně importována do programu Autodesk Moldflow a toková analýza mohla být spuštěna.

Odvzdušení formy bylo provedeno pouze pomocí vůle mezi vyhazovači a tvárníkem, pomocí vůle v dělicí rovině a pomocí vůle mezi bočními posuvnými čelistmi. Z výsledků analýzy v kapitole 9.4.4 Vzduchové kapsy bylo zjištěno, že tvorba těchto nežádoucích efektů je v místech hlavní dělicí roviny. Proto nebyla nutná další korekce odvzdušnění formy pomocí vyfrézovaných odvzdušňovacích kanálků.

Na základě výsledků analýzy a parametrech zkonstruované vstříkovací formy byl zvolen vstříkovací stroj od firmy Arburg Allrounder 820 A.

ZÁVĚR

Při návrhu vstříkovací formy byla nejdříve zvolena dělicí rovina, následně vymodelovány tvarové boční čelisti. S ohledem na rozměry výrobku byla zvolena jednonásobná forma. Následně byl navrhnout vyhazovací systém a temperační systém. Vtokový systém byl v první fázi zvolen s jedním vtokovým ústím, ale následně po tokových analýzách v programu Autodesk Moldflow bylo zjištěno, že tento systém nevyhovuje z důvodů nedotečení vstříkovaného výrobku. Proto byla provedena optimalizace ve formě přidání dalšího vtokového ústí. Tato optimalizace odstranila problém s nedotečením výrobku.

Poté byla provedena toková analýza vstříkovací formy pro vyhřívaný vtokový systém a poté pro studený vtokový systém. Výsledky analýz jsou rozebrány v kapitole 9. Toková analýza vstříkovacího cyklu.

V kapitole 10 byly vypočítány náklady na výrobu jednoho vstříkovaného dílu. Byly vypočítány samostatné výrobní náklady na výrobu jednoho kusu pro vyhřívaný a studený vtokový systém. Z výsledků bylo zjištěno, že při výrobě 1,5 mil. kusů výrobku je rozdíl v ceně 5,7 mil. Kč. Poslední částí diplomové práce byla výkresová dokumentace (2D sestava vstříkovací formy s kusovníkem a poté pohledy do levé a pravé strany formy).

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2002. ISBN 3-446-21659-6.
- [2] HANULÍK, Radomil. *Speciální technologie - zhotovování pryžových polotovarů a výrobků*: učebnice pro třetí ročník oboru Zpracování usní, plastů a pryže - zpracovatelské technologie (plast, pryž). 2., upr. a dopl. vyd. Ve Zlíně: Impromat Int., 2009. ISBN 978-80-254-5677-4.
- [3] LENFELD, Doc. Dr. Ing. Petr. [online]. [cit. 2018-02-03]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm.
- [4] TOMIS F.: *Gumárenská a plastikářská technologie, zpracovatelské procesy*. Brno, VUT 1987, ISBN 55-552-87.
- [5] STANĚK, Michal. *Modelování procesu tváření polymerů, včetně technologického řešení nástrojů: Modelling of polymers forming process inc. tools design: zkrácená verze Ph.D. Thesis*. [Brno: VUTIUM], c2005. ISBN 80-214-3025-7.
- [6] LUTONSKÝ, Bc. Zbyněk. *Vliv teploty na mechanické chování polymerů a kompozitů*. Zlín, 2007. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati. Vedoucí práce Ing. Milan Žaludek, PhD.
- [7] MAŇAS, Miroslav a Jiří VLČEK. *Aplikovaná reologie*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 8073180391.
- [8] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I.díl- Vstřikování termoplastů*, 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 134 str.
- [9] https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg_hydraulic_allrounders_680480_cz/#
- [10] BOBEK, J. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 2016 Dostupné z: <<https://publi.cz/books/179/Impresum.html>>.
- [11] SEIDL, M. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2015. Dostupné z: <<https://publi.cz/books/181/Uvod.html>>.
- [12] MAŇAS, Miroslav. *Výrobní stroje a zařízení*. Brno: Vysoké učení technické, 1990. ISBN 80-214-0213-x.
- [13] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-833-5.
- [14] [online]. Copyright © KEN Mould Serice Ltd. All right reserved. [cit. 04.02.2018]. Dostupné z: <http://www.kenmoulds.co.jp/products/gas/>
- [15] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.

- [16] Rawela s.r.o. - Konstrukce a výroba nástrojů a forem. Rawela s.r.o. [online]. Copyright © RAWELA s.r.o. 2018 [cit. 06. 02. 2018] Dostupné z: <http://rawela.cz/konstrukce>
- [17] Tváření plastů a výroba forem II. 14220.cz [online]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-form-II/>
- [18] HYNEK, Martin a kolektiv. *Rámy vstřikovacích forem*. 1. Západočeská univerzita v Plzni: Katedra konstruování strojů, 2013.
- [19] BOBČÍK, Ing. Ladislav a kolektiv. *Formy pro zpracování plastů II. díl: Vstřikování termoplastů*. 1. Brno: UNIPLAST Brno, 1999.
- [20] LENFELD, Doc. Dr. Ing. Petr. [online]. [cit. 2018-02-03]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/VS.pdf
- [21] RUBIN, Irvin I. *Injection molding: theory and practice*. New York: Wiley, 1973. ISBN 0-471-74445-x.
- [22] HYNEK, Martin a kolektiv. *Studené a živé vtokové systémy*. 5. Západočeská univerzita v Plzni: Katedra konstruování strojů, 2013. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
- [23] BOBČÍK, Ing. Ladislav a kolektiv. *Formy pro zpracování plastů I. díl: Vstřikování termoplastů*. 2. Brno: UNIPLAST Brno, 1999.
- [24] KOLÁŘOVÁ, R. *Vstřikovací formy a zásady konstruování forem* [online]. 2016 Dostupné z: <http://docplayer.cz/7243680-5-vstrikovaci-formy-5-1-zasadykonstruovani-form-1.html>
- [25] HYNEK, Martin a kolektiv. *Temperace vstřikovacích forem*. 5. Západočeská univerzita v Plzni: Katedra konstruování strojů, 2013. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Temperace_vstrikovacich_forem.pdf
- [26] Svoboda.cz [online]. Copyright © 2017, JAN SVOBODA, s.r.o. [cit. 14.02.2018]. Dostupné z: <https://www.jansvoboda.cz/>
- [27] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [28] HYNEK, Martin a kolektiv. *Vyhazovací sestava a vyhazovače*. 5. Západočeská univerzita v Plzni: Katedra konstruování strojů, 2013. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Vyhazovaci_sestava_a_vyhazovace.pdf
- [29] Resinex - Distribuce plastů a kaučuků [online]. Copyright © 2018 RESINEX Group, Czech Republic [cit. 08.05.2018]. Dostupné z: <http://www.resinex.cz/>
- [30] Břemenový magnet 1.000 kg. Vybavení pro gastro, řemeslníky a průmysl | expondo.cz [online]. Copyright © 2007 [cit. 10.05.2018]. Dostupné z: <https://www.expondo.cz/steinberg-systems-bremenovy-magnet-1000-kg-3200?c=3000>
- [31] ARBURG [online]. Česká republika, 2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/spektrum-sluzeb/vstrikovani/vstrikovaci-stroje/>

- [32] STANĚK, Michal. *Vliv technologických parametrů na zatékavost polymerů: Influence of technological parameters on polymer fluidity : teze habilitační práce*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017. ISBN 978-80-7454-674-7.
- [33] BEAUMONT J.P., R. NAGEL a R. SHERMAN. *Successful injection molding: process, design, and simulation*. Munich [u.a.]:Hanser, 2002. ISBN 3-446-19433-9.
- [34] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-7080-617-6.
- [35] PORTÁL PLASTICPORTAL: *Ceny polymerů*. [online] 2017 [cit. 2017-4-19]. Dostupné z: <http://www.plasticportal.cz/cs/ceny-polymeru/lm/7>
- [36] JARKULIŠ, Jonáš. *Konstrukce vstřikovací formy na výrobu pedálu*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017, 107 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/40721>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Staněk, Michal.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SVS	Studený vtokový systém.
VVS	Vyhříváný vtokový systém.
PC	Polykarbonát
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
GIT	Vstřikování za podpory plynu
WIT	Vstřikování za podpory vody
mm	Jednotka milimetr
cm ³	Jednotka centimetr krychlový
kN	Jednotka kilonewton
CAD	Počítačem podporované navrhování
CAE	Počítačem podporované konstruování
%	Procento
°C	Stupeň Celsia

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Fontánový tok [6]	13
Obr. 2. Schéma vstřikovacího cyklu [4]	14
Obr. 3. Schéma pVT diagramu [11]	15
Obr. 4. Vstřikovací forma pro více-komponentní vstřikování [26]	16
Obr. 5. Schéma vstřikovacího stroje [10]	17
Obr. 6. Uzavírací jednotka [9]	18
Obr. 7. Vstřikovací jednotka [11]	19
Obr. 8. Rám vstřikovací formy [17]	22
Obr. 9. Vyhazovacího systému [17]	23
Obr. 10. Umístění středícího kroužku [18]	24
Obr. 11. Umístění středících lišt na tvárnici [18]	24
Obr. 12. Řez středících a vodicích částí [18]	25
Obr. 13. Schematické zobrazení vodicích prvků formy [17]	26
Obr. 14. Horký rozvodný blok [17]	28
Obr. 15. Vyhřívaná tryska s vnitřním a vnějším vytápěním [23]	29
Obr. 16. Pákou ovládaná uzavírací jehla s pneumatickým válcem [20]	29
Obr. 17. Jednotlivé složky studeného vtokového systému [17]	30
Obr. 18. Uspořádání vtoků podle násobnosti [24]	30
Obr. 19. Vhodnost dle náročnosti výroby [22]	31
Obr. 20. Základní druhy vtokových ústí [20]	32
Obr. 21. Typy provedení přidržovačů [23]	33
Obr. 22. Temperační okruh pro daný plastový výrobek [17]	35
Obr. 23. Čistící CDC jednotka a vysoušecí SWAP ventil [26]	36
Obr. 24. Normalizované součásti temperačního systému [25]	37
Obr. 25. Použití šikmých vyhazovačů	39
Obr. 26. Výsledek špatného odvzdušnění a správného odvzdušnění [14]	40
Obr. 27. Vymodelovaný 3D výrobek	46
Obr. 28. Arburg Allrounder 820 A [31]	47
Obr. 29. Simulované nasazení vstřikovací formy na stroj	49
Obr. 30. Hlavní dělicí rovina	50
Obr. 31. Tvarové vložky	51
Obr. 32. Boční odformování pro SD kartu a porty pro sluchátka	52

Obr. 33. Boční odformování pro USB port a nabíječku	53
Obr. 34. Boční odformování pro odvětrávání	53
Obr. 35. Boční odformování pro baterii	54
Obr. 36. Vyhazovací systém	55
Obr. 37. Označení materiálu vyhazovačů	56
Obr. 38. Označení materiálu vyhazovacích desek	56
Obr. 39. Pasivní elementy temperace	57
Obr. 40. Detail na označení přívodu a odvodu média	58
Obr. 41. Zobrazení chlazení tvárníku	59
Obr. 42. Zobrazení chlazení tvárnice	59
Obr. 43. Vymodelovaná levá a pravá strana formy	60
Obr. 44. Vyhřívaný vtokový systém	61
Obr. 45. Vodící a spojovací prvky	62
Obr. 46. Rám vymodelované formy pro kryt notebooku	63
Obr. 47. Vymodelované závěsné oko	63
Obr. 48. Způsob zapnutí/vypnutí magnetismu [30]	64
Obr. 49. Příklad využití břemenového magnetu firmy Steinber Systems [30]	64
Obr. 50. Vnitřní středící zámky	65
Obr. 51. Jistící zámeček	65
Obr. 52. Identifikační štítek formy	66
Obr. 53. Statistika sítě	67
Obr. 54. Model s vytvořenou a upravenou sítí	68
Obr. 55. Vhodnost umístění vtokového ústí	69
Obr. 56. Vstupní procesní parametry (krok č. 1)	70
Obr. 57. Vstupní procesní parametry (krok č. 2)	70
Obr. 58. Pokročilé nastavení (Advances Option)	71
Obr. 59. Vstupní procesní parametry (krok č. 3)	71
Obr. 60. Čas plnění – 1. Varianta	72
Obr. 61. Čas plnění – 2. varianta	73
Obr. 62. Vstříkovací tlak v momentu přepnutí na dotlak – 1. Varianta	74
Obr. 63. Vstříkovací tlak v momentu přepnutí na dotlak – 2. Varianta	74
Obr. 64. Čas potřebný na dosažení vyhazovací teploty – 1. Varianta	75
Obr. 65. Čas potřebný na dosažení vyhazovací teploty – 2. Varianta	76

Obr. 66. Vzduchové kapsy – 1. Varianta	77
Obr. 67. Vzduchové kapsy – 2. Varianta	77
Obr. 68. Uzavírací síla – 1. Varianta	78
Obr. 69. Uzavírací síla – 2. Varianta	78
Obr. 70. Plnění dutiny jednotlivými vtoky – 1. Varianta	79
Obr. 71. Plnění dutiny jednotlivými vtoky – 2. Varianta	80
Obr. 72. Studené spoje – 1. Varianta	80
Obr. 73. Studené spoje – 2. Varianta	81
Obr. 74. Teplota temperačního média – 1. Varianta.....	82
Obr. 75. Teplota temperačního média – 2. Varianta.....	82
Obr. 76. Tlak v temperačním okruhu.....	83
Obr. 77. Celková deformace od všech faktorů – 1. Varianta.....	84
Obr. 78. Celková deformace od všech faktorů – 2. Varianta.....	84

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Základní průměr kanálu - d	31
Tab. 2. Vybrané parametry vstříkovacího stroje.....	47
Tab. 3. Položky pro cenovou kalkulaci.....	85

SEZNAM PŘÍLOH

P1: DVD obsahující:

1. 3D model formy a 2D sestavu formy
2. Zpracovaná diplomová práce
3. Provedená toková analýza

P2: Materiálový list Lupilon MB 1700 Mitsubishi

P3: Technická dokumentace hydraulického válce

P4: Výkresová dokumentace:

- Sestava vstříkovací formy,
- Pohled do pravé a levé části vstříkovací formy,
- kusovník.

PŘÍLOHA P 2: MAT. LIST LUPILON MB 1700 MITSUBISHI


Mitsubishi Lupilon® MB 1700 PC/ABS

Categories: [Polymer](#); [Thermoplastic](#); [ABS Polymer](#); [Polycarbonate/ABS Alloy, Unreinforced](#); [Polycarbonate \(PC\)](#)

Material Notes: Phosphoric acid, high flame retardant. Polymer alloy (PC/ABS)-2 grade. Used in a wide range of industries, including sports equipment, medical equipment, automobiles, optics, machinery, office automation equipment, and electronics. Superior impact strength. Superior transparency. Usability in a wide range of temperatures: -40degC to 120degC. Excellent precision molding properties and dimensional stability. Superior self-extinguishing properties. Excellent weather resistance. Excellent electrical insulation capabilities.

Information provided by Mitsubishi Engineering Plastics Corporation.

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	1.20 g/cc	0.0434 lb/in ³	ISO 1183
Water Absorption	0.20 % @Temperature 23.0 °C	0.20 % @Temperature 73.4 °F	Immersion
Linear Mold Shrinkage, Flow	0.0020 - 0.0040 cm/cm @Thickness 3.20 mm	0.0020 - 0.0040 in/in @Thickness 0.126 in	
Linear Mold Shrinkage, Transverse	0.0020 - 0.0040 cm/cm @Thickness 3.20 mm	0.0020 - 0.0040 in/in @Thickness 0.126 in	
Melt Flow	14 g/10 min @Load 2.16 kg, Temperature 260 °C	14 g/10 min @Load 4.76 lb, Temperature 500 °F	ISO 1133
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Yield	61.0 MPa	8850 psi	ISO 527-1,2
Elongation at Break	55 %	55 %	ISO 527-1,2
Elongation at Yield	3.9 %	3.9 %	ISO 527-1,2
Tensile Modulus	3.20 GPa	464 ksi	ISO 527-1,2
Flexural Strength	100 MPa	14500 psi	ISO 178
Flexural Modulus	3.00 GPa	436 ksi	ISO 178
Charpy Impact Unnotched	NB	NB	ISO 179-1,2
Charpy Impact, Notched	2.00 J/cm ²	9.52 ft-lb/in ²	ISO 179-1,2
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Maximum Service Temperature, Air	120 °C	248 °F	
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	92.0 °C	198 °F	ISO 75-1,2
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	82.0 °C	180 °F	ISO 75-1,2
Minimum Service Temperature, Air	-40.0 °C	-40.0 °F	
Flammability, UL94 	HB @Thickness 0.400 mm	HB @Thickness 0.0157 in	
	V-2 @Thickness 0.00500 mm	V-2 @Thickness 0.000206 in	
	V-0 @Thickness 0.750 mm	V-0 @Thickness 0.0295 in	

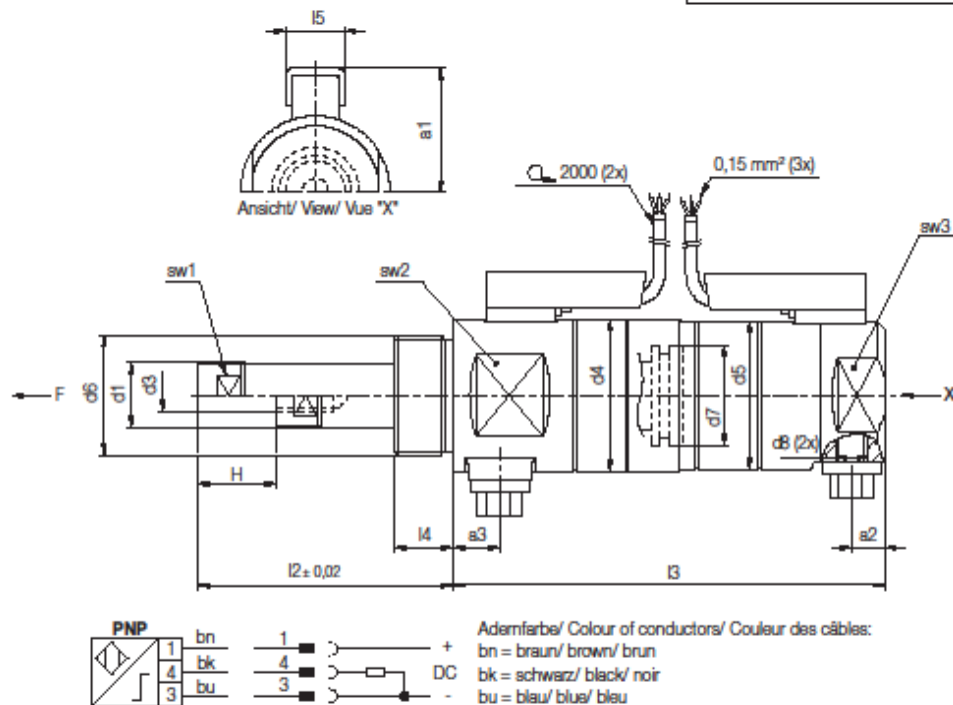
Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

PŘÍLOHA P 3: TECHNICKÁ DOKUMENTACE HYDRAULICKÉHO VÁLCE

Z2301/...

Verriegelungszyliner
Positive locking cylinder
Cylindre de verrouillage

max. °C: 100

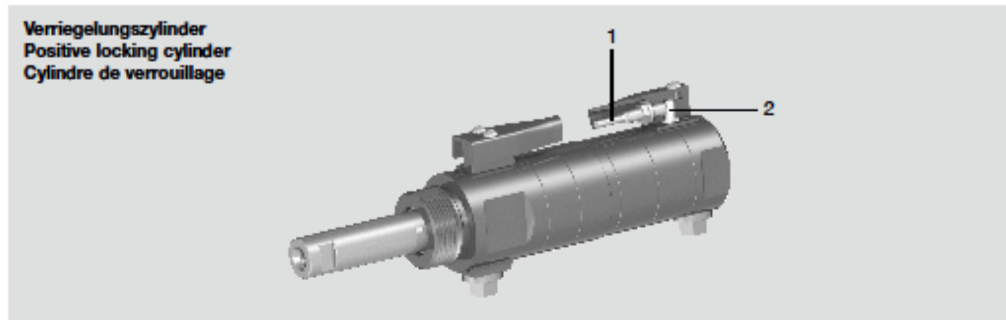


4

F [kN]	sw3	sw2	sw1	a3	a2	a1	l5	l4	l3	l2	d8	d7	d6	d5	d4	d3	d1	H	Nr./No.
60	32	32	12	12	8,4	31	15	15	90	45	G 1/8	24	M 30x1,5	37	38	M 8	16	20	Z 2301 / 16 x 20
									110	65									
100	41	41	14	14	11	37	23	18	115	60	G 1/4	30	M 40x1,5	47	49		20	30	Z 2301 / 20 x 30
									145	90									
130	46	50	18	15	12	41		20	125	70		36	M 48x1,5	56	58	M10	25	35	Z 2301 / 25 x 35
									160	105									
200	60	60	24	20	13	46		25	155	90		45	M 60x1,5	69	72	M12	32	45	Z 2301 / 32 x 45
									200	135									
280	75	75	32	24	14	56		32	185	105	G 3/8	56	M 75x1,5	84	89	M16	42	50	Z 2301 / 42 x 50
									235	155									
500	90	95	41	26	17	64		42	216	130		71	M 95x2	104	112		50	80	Z 2301 / 50 x 60
									276	190									
700	105	110	50	36	19	70		50	260	155	G 1/2	84	M110x2	119	129	M20	60	75	Z 2301 / 60 x 75
									335	230									

Z2301/...

Ersatzteile
Spare parts
Pièces détachées



Pos.	Benennung	Designation	Désignation	Stock Quantity Pièce
1	Näherungsschalter	Inductive proximity switch	Déclencheur de proximité	1
2	Wipparm	Rocker arm	Bras basculant	1

Nr./No.	1 Z2301/...	2 Z2301/...
Z2301/16x 20	...-02/E	...16-03/E
16x 40		
20x 30		...20-03/E
20x 60		
25x 35		
25x 70		
32x 45		
32x 90		
42x 60		...42-03/E
42x100		
50x 60		
50x120		
60x 75		
60x150		