

Konstrukční návrh nástroje pro vstřikování elektrotechnického dílu

Bc. Jan Strnka

Diplomová práce
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Strnka**
Osobní číslo: **T19539**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Konstrukční návrh nástroje pro vstřikování elektrotechnického dílu**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Provedte konstrukci zadaného technického plastového dílu.
3. Navrhněte 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu.
4. Návrh ověřte pomocí analýz.
5. Nakreslete 2D výkresy sestavy a příslušných řezů.

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

Seznam doporučené literatury:

BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3

YANG, Yi, Xi CHEN, Ningyun LU a Furong GAO. *Injection molding process control, monitoring, and optimization*. Munich: Hanser, [2016], xvi, 397 s. Progress in polymer processing series. ISBN 978-1-56990-592-0

KENNEDY, Peter a Rong ZHENG. *Flow analysis of injection molds*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Publishers, [2013], 1 online zdroj (xxviii, 349 p.). ISBN 9781569905227

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

Datum zadání diplomové práce: **5. ledna 2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

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

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně dne: 1. 5. 2021

Jméno a příjmení studenta: Jan Strnka

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tématem diplomové práce je návrh konstrukce vstřikovací formy pro plastový výrobek.

Teoretická část je zpracována jako literární rešerše se zaměřením na rozdělení polymerů, problematiku vstřikovacího procesu, zásady konstrukce vstřikovací formy a její části.

Praktická část se zabývá modelováním zadaného dílu, formy pro jeho výrobu, návrhem vhodného vstřikovacího stroje a simulací vstřikovacího procesu za využití modelovacího 3D software CATIA, normálíí firmy Hasco a simulačního software Moldflow Insight.

Klíčová slova: vstřikovací forma, konstrukce, vstřikování, polymer, simulace

ABSTRACT

The topic of this thesis is the design of injection mold for plastic part.

Theoretical part is written as a literature research focused on types of polymers, problematics of polymer injection molding process, principles of injection mold designing and parts of injection mold.

Practical part deals with the required part and injection mold designing, finding an optimal injection machine to make required part and simulation of the injection process using CATIA 3D design system, Hasco company normalized devices and simulation software Moldflow Insight.

Keywords: injection mold, design, injection molding, polymer, simulation

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za jeho čas, cenné rady a odborné vedení, které byly nezbytné pro vznik této diplomové práce.

Dále děkuji panu Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D., který mi věnoval svůj čas a ochotně poskytl informace a zkušenosti týkající se simulací a analýz.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY	12
1.1 ROZDĚLENÍ A VLASTNOSTI POLYMERŮ	13
1.1.1 Termoplasty.....	13
1.1.2 Reaktoplasty.....	13
1.1.3 Kaučuky	14
1.2 PŘÍPRAVA MATERIÁLU	14
1.2.1 Kontrola materiálu na vstupu	14
1.2.2 Barvení granulátu	14
1.2.3 Sušení termoplastů	15
1.2.4 Recyklace termoplastů	15
1.3 SMRŠTĚNÍ TERMOPLASTŮ	16
1.3.1 Výrobní smrštění	16
1.3.2 Dodatečné smrštění	18
2 PROCES VSTŘIKOVÁNÍ.....	19
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	19
2.2 HLAVNÍ FÁZE VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	19
2.2.1 Plastikační fáze.....	20
2.2.2 Vstřikovací fáze	20
2.2.3 Dotlaková fáze	21
2.2.4 Ochlazovací fáze	22
2.2.5 Vstřikovací cyklus v pVt diagramu	22
2.3 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	23
2.3.1 Vstřikovací jednotka	24
2.3.2 Uzavírací jednotka	25
2.3.3 Řídící a ovládací jednotka	26
3 KONSTRUKCE VÝROBKU VYROBENÉHO VSTŘIKOVÁNÍM.....	28
3.1 DOSTATEČNÁ TLOUŠŤKA STĚN	28
3.2 ROVNOMĚRNÁ TLOUŠŤKA STĚN	28
3.3 ROHY, OSTRÉ HRANY	29
3.4 POLOHA STUDENÝCH SPOJŮ	29
3.5 ÚKOSY	29
3.6 ŽEBRA	30
4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	31
4.1 RÁMY FOREM	31
4.2 VTOKOVÝ SYSTÉM	32

4.2.1	Studené vtokové soustavy	33
4.2.2	Vyhřívání vtokové soustavy	34
4.3	VYHAZOVAČÍ SYSTÉM A ODFORMOVÁNÍ VÝROBKU	34
4.3.1	Vyhazovací kolíky	35
4.3.2	Šikmé válcové kolíky	35
4.3.3	Stírací desky	36
4.3.4	Vyhazování pomocí stlačeného vzduchu	37
4.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	37
4.4.1	Konstrukce temperačního systému	37
4.5	ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	39
4.6	MATERIÁLY FOREM	40
4.6.1	Používané druhy ocelí	41
5	VADY VÝROBKŮ VYROBENÝCH VSTŘIKOVÁNÍM.....	42
5.1	NEDOTEČENÍ TAVENINY	42
5.2	PŘETOK TAVENINY	42
5.3	VZDUCHOVÉ BUBLINY VE VÝROBKU	42
5.4	STŘÍBRNÉ PRUHY NA VÝROBKU	43
5.5	SPÁLENÁ MÍSTA NA VÝROBKU	43
5.6	STUDENÉ SPOJE	44
II	PRAKTICKÁ ČÁST	45
6	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	46
7	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	47
7.1	MATERIÁL VÝROBKU	47
8	KONSTRUKCE FORMY	48
8.1	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....	48
8.2	NÁSOBNOST FORMY	49
8.3	HLAVNÍ TVAROVÉ ČÁSTI FORMY	50
8.4	POSUVNÉ ČELISTI	51
8.5	VTKOVÝ SYSTÉM	51
8.6	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	52
8.7	VYHAZOVAČÍ SYSTÉM	55
8.8	ODVZDUŠNĚNÍ.....	55
8.9	VODÍCÍ, STŘEDÍCÍ A UPÍNACÍ ČÁSTI FORMY	56
8.10	MANIPULACE S FORMOU	56
8.11	RÁM FORMY	57
8.12	VOLBA STROJE	59

8.12.1	Plastikační výkon stroje	60
9	ANALÝZA PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ	61
9.1	PROCESNÍ PODMÍNKY	61
9.2	VÝSLEDKY ANALÝZY	63
9.2.1	Analýza vhodnosti umístění vtokového ústí (Gating suitability).....	63
9.2.2	Čas plnění (Fill time)	63
9.2.3	Tlak v průběhu vstřikování (Pressure at injection location: XY Plot)	64
9.2.4	Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk)	65
9.2.5	Smykové napětí na stěně (Shear stress at wall)	65
9.2.6	Místa s vysokou pravděpodobností vzniku vzduchových kapes (Air traps).....	66
9.2.7	Uzavírací síla (Clamp force: XY Plot).....	67
9.2.8	Místa s vysokou pravděpodobností vzniku studených spojů (Weld lines).....	67
9.2.9	Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature)	68
9.2.10	Reynoldsovo číslo chladícího média (Circuit Reynolds number).....	69
9.2.11	Efektivita odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency).....	69
9.2.12	Čas, potřebný k dosažení vyhazovací teploty dílu (Time to reach ejection temperature - part)	70
9.2.13	Celková deformace vlivem všech efektů (Deflection, all effects: Deflection).....	71
9.2.14	Deformace vlivem chlazení (Deflection, differential cooling: Deflection).....	71
9.2.15	Deformace vlivem smrštění (Deflection, differential shrinkage: Deflection).....	72
10	DISKUSE VÝSLEDKŮ	73
	ZÁVĚR	75
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	76
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	80
	SEZNAM OBRÁZKŮ	82
	SEZNAM TABULEK.....	84
	SEZNAM PŘÍLOH.....	85

ÚVOD

Snaha o náhradu kovů, či jiných materiálů polymery zaznamenala v minulých desetiletích obrovský rozvoj. Je to zejména díky nízké ceně a výborným mechanickým, fyzikálním i chemickým vlastnostem polymerních materiálů.

Společně s rozvojem jejich využívání rostou také požadavky na kvalitu zpracování. Jednou z nejrozšířenějších technologií zpracování plastů je bezesporu technologie vstřikování. Jejimi hlavními přednostmi jsou krátké výrobní časy, malý počet výrobních operací a možnost automatizace téměř celého výrobního cyklu. Tímto způsobem lze zpracovat takřka všechny druhy termoplastů.

Nástrojem pro tuto technologii je vstřikovací forma. Při její konstrukci se z ekonomického hlediska, ale i pro zrychlení výroby formy využívají tzv. stavebnicové systémy či normálie. Forma se tak sestaví z polotovarů a ty se následně upraví dle požadavků. Mezi nejznámější producenty normálií patří HASCO, MEUSBURGER, D-M-E a STRACK.

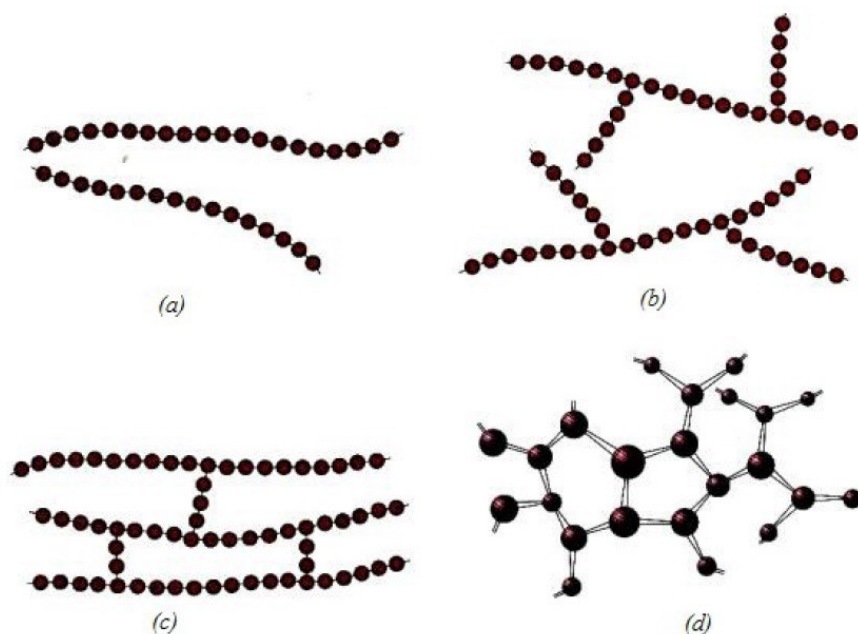
Kvůli složitému odhadu chování polymerů, které závisí na jejich reologických, mechanických a fyzikálně-chemických vlastnostech a ve kterých se vyskytuje velké množství proměnných, se tok taveniny při vstřikování stává komplikovanou záležitostí. K řešení tohoto lze využít simulačního software (Moldflow, Moldex3D, Cadmould) a zjistit případné nedostatky, či prostory ke zlepšení ještě před startem výroby samotné formy.

Využití polymerů s sebou ale nese i často opomíjená negativa. Jedním z nich je produkce nadměrného množství odpadu, zatěžujícího životní prostředí, který je po použití namísto recyklace a opětovného zpracování pouze skládkován. Proto by měl každý konstruktér vzít v potaz, co se s výrobkem stane, jakmile doslouží.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymer je makromolekula, složená z molekul jednoho či více druhů atomů (především atomy uhlíku, dusíku, vodíku, kyslíku či dalších prvků) navzájem spojených v takovém počtu, že přidáním jedné či více konstitučních jednotek neproběhne změna fyzikálních či chemických vlastností. Tyto makromolekuly mohou mít různý tvar a dle něj je lze dělit na lineární, rozvětvené, se zkříženými články a síťované. [1,7]



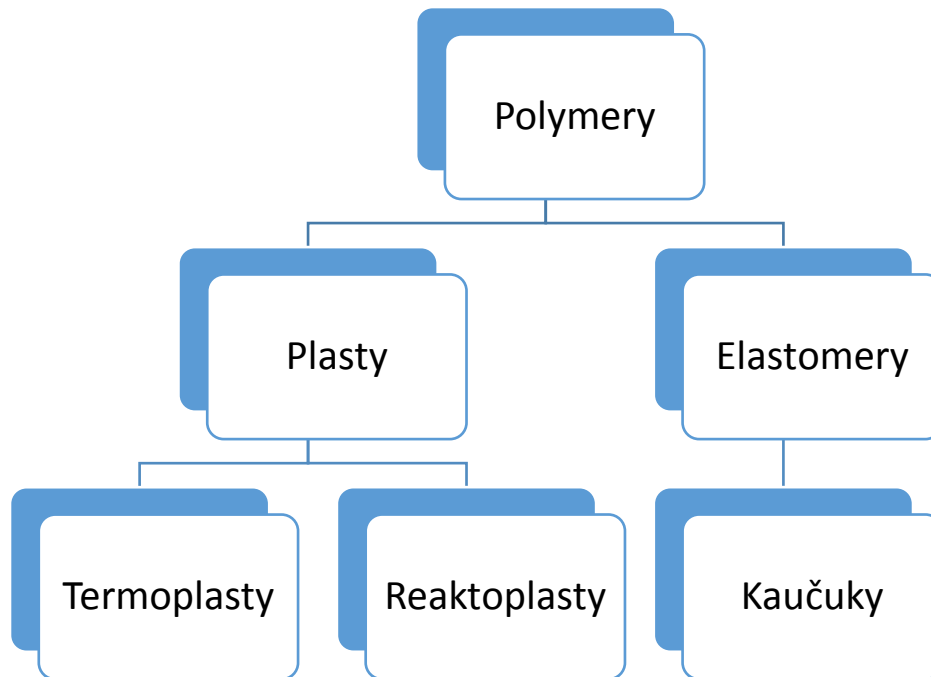
Obr. 1 Tvary makromolekul: a) lineární, b) rozvětvené, c) se zkříženými články, d) síťované [2]

Makromolekulární látky vznikají z nízkomolekulárních sloučenin (monomerů) při ději zvaném polyreakce. Mezi základní druhy polyreakcí patří:

- Polymerace – při ní dochází ke spojení velkého počtu monomerů, což vede ke vzniku makromolekuly. Vedlejší nízkomolekulární produkty zde nevznikají.
- Polyadice – na rozdíl od polymerace chemická stavba vzniklé makromolekuly se liší od stavby výchozího monomeru.
- Polykondenzace – pomocí postupné kondenzace vzniká z nízkomolekulárních sloučenin vysokomolekulární látka. Dochází zde ke vzniku nízkomolekulárních zplodin (např. voda). [1,3,7]

1.1 Rozdělení a vlastnosti polymerů

Polymery lze pro základní orientaci kategorizovat do skupiny plastů, jejíž podkategorie jsou termoplasty a reaktoplasty a elastomerů, do kterých spadají kaučuky a termoplastické elastomery. [3]



Obr. 2 Rozdělení polymerů

1.1.1 Termoplasty

Jedná se o polymerní materiály, které zvýšením teploty přecházejí do plastického stavu (stav neneutonských kapalin s vysokou viskozitou). Lze je snadno zpracovávat a tvářet. Semikrystalické plasty dosahují tuhého stavu pod teplotou tání T_m , amorfní pak pod teplotou viskózního toku T_f . Jelikož se při zahřívání nemění chemická struktura, lze proces měknutí a tuhnutí opakovat teoreticky neomezeně. Jedná se totiž pouze o změny fyzikální. Do této skupiny patří značná část zpracovávaných polymerů, jako je polyethylen (PE), polypropylen (PP), polyamid (PA), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC) atd. [3,6]

1.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty stejně jako termoplasty v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, ale pouze v určitém rozmezí teplot. Při dalším zahřívání dochází k vytvrzení – chemické reakci. Takovýto děj je nevratný a vytvrzené plasty již nelze rozpustit ani roztavit. Dalším přidáním tepla dojde pouze k rozkladu hmoty (degradaci). Do skupiny reaktoplastů patří

zejména fenolformaldehydové hmoty, polystyrenové hmoty, epoxidové pryskyřice apod. [3,6]

1.1.3 Kaučuky

Polymerní materiály, které v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, ale jen po omezenou dobu. Při dalším zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování, probíhá tzv. vulkanizace. Tento děj je rovněž nevratný a produkty vulkanizace nelze opakovaně zpracovávat. [3,6]

1.2 Příprava materiálu

Před procesem vstřikování je materiál v souladu s technologickým postupem dle potřeby upraven. Postup přípravy je závislý zejména na druhu vstřikovaného materiálu. U termoplastů se jedná nejčastěji o sušení či barvení granulátu, míchání s recyklátem, nadouvadlem apod.

Všechny tyto úkony zlepšují zpracovatelnost a umožňují výslednému výrobku dosáhnout požadovaných vlastností. [4]

1.2.1 Kontrola materiálu na vstupu

Vstupní kontrola je hojně využívána pro odstranění či minimalizaci potíží spojených se zpracováním a aplikací materiálu. Skládá se z vstupního hodnocení materiálu a kontrolní přejímky běžně využívaných plastů. Vstupní kontrola stanoví:

- mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu (viskozita, elektrické a tepelné vlastnosti),
- chemicko-analytické složení (molekulová hmotnost, obsahy nízkomolekulárních podílů apod.),
- mechanické vlastnosti (pevnost, tažnost atd.),
- ostatní hodnocení. [5]

1.2.2 Barvení granulátu

Materiál dodávaný od výrobce je dodáván pouze v určitých barevných odstínech. Tento odstín značně omezuje možnost změny barvy výsledného výrobku. Barvení lze provést buď za pomoci dávkovacího zařízení na vstřikovacím stroji, nebo přimícháním stejného

materiálu s jiným odstínem do primárního materiálu před vstřikováním. Po homogenizaci v plastikační jednotce je docíleno požadované barvy výrobku. [5]

1.2.3 Sušení termoplastů

Většina termoplastů je navlhavých, čili mají schopnost absorpce vody z okolního vzduchu. Tato schopnost je dána chemickým složením materiálu. Nejvíce absorbují polární plasty s hydrofilními skupinami v makromolekule (-OH, -NH, -COOH, -O-). Další příčinou navlhavosti mohou být aditiva. Množství vlhkosti ze vzduchu, které polymer absorbuje závisí na teplotě polymeru a relativní vlhkosti vzduchu. Absorpce bude probíhat až do okamžiku, kdy nastane rovnováha s okolním vzduchem (několik minut, ale také několik dní). Proces absorpce vlhkosti i proces sušení je vratný a je řízen těmito základními parametry:

- teplota polymeru,
- relativní vlhkost vzduchu (popř. rosný bod vzduchu v okolí),
- doba sušení v předepsaném prostředí,
- cirkulace vzduchu v sušárně,
- velikost granulí.

Sušení je nejčastěji realizováno v komorových sušárnách s cirkulujícím vzduchem. Díky cirkulaci vzduchu dochází k lepšímu obtékání plastu vzduchem, tudíž je odstranění vody účinnější. Doba sušení je jiná pro různé druhy plastů a závisí i na velikosti granulí. Pokud vstřikování probíhá na stroji s nevytápěnou násypkou je nutné vysušený granulát zpracovat do 30 minut. [9]

Obsah vody způsobuje konečným výrobkům zhoršení mechanických vlastností a zejména povrchové i podpovrchové vady – stříbření, nerovnoměrný lesk, lokální změny barevného odstínu, stopy po unikající páře. Mokrý materiál může v plastikační jednotce taktéž degradovat (hydrolytická degradace) a zejména u tlustostěnných výrobků mohou nastat vady v podobě bublin. [10]

1.2.4 Recyklace termoplastů

Vadné výstřiky a odpady (studené vtoky a jiné) vzniklé při vstřikování lze několikrát opakovaně zpracovat. Této vlastnosti se s výhodou využívá, jelikož podíl odpadu zejména při výrobě menších výrobků je značný. Čistý odpad se drtí obvykle nožovými mlýny,

recyklát se míchá s čistým granulátem a znovu se zpracovává. Výsledný výrobek má většinou horší fyzikální i mechanické vlastnosti, případně horší povrchový vzhled. Z tohoto důvodu se silně namáhané a transparentní plasty nemohou míchat s recyklátem. V případě méně namáhaných výrobků lze přidávat 15 – 30 % recyklátu a v některých případech jsou výrobky pouze z recyklátu (zatravnovací pásy, zahradní dlaždice apod.). [4]

1.3 Smrštění termoplastů

Smrštění je jev, který vzniká při zpracování všech druhů plastů. Při vstřikování platí že rozměry vyhozeného výstřiku jsou odlišné od rozměrů tvarové dutiny formy. K další změně dochází i během skladování. Lze tedy rozlišit výrobní a dodatečné. Základní způsob kompenzace smrštění je zvětšení tvarové dutiny vstřikovací formy. [10,33]

1.3.1 Výrobní smrštění

Výrobní smrštění je důležitým technologickým údajem při zpracování plastů. Bývá často označováno jako VS, případně MS.

$$VS = \frac{L_F - L_V}{L_F} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

kde: VS – výrobní smrštění [%]

L_F – rozměr formy [m]

L_V – odpovídající rozměr výstřiku [m]

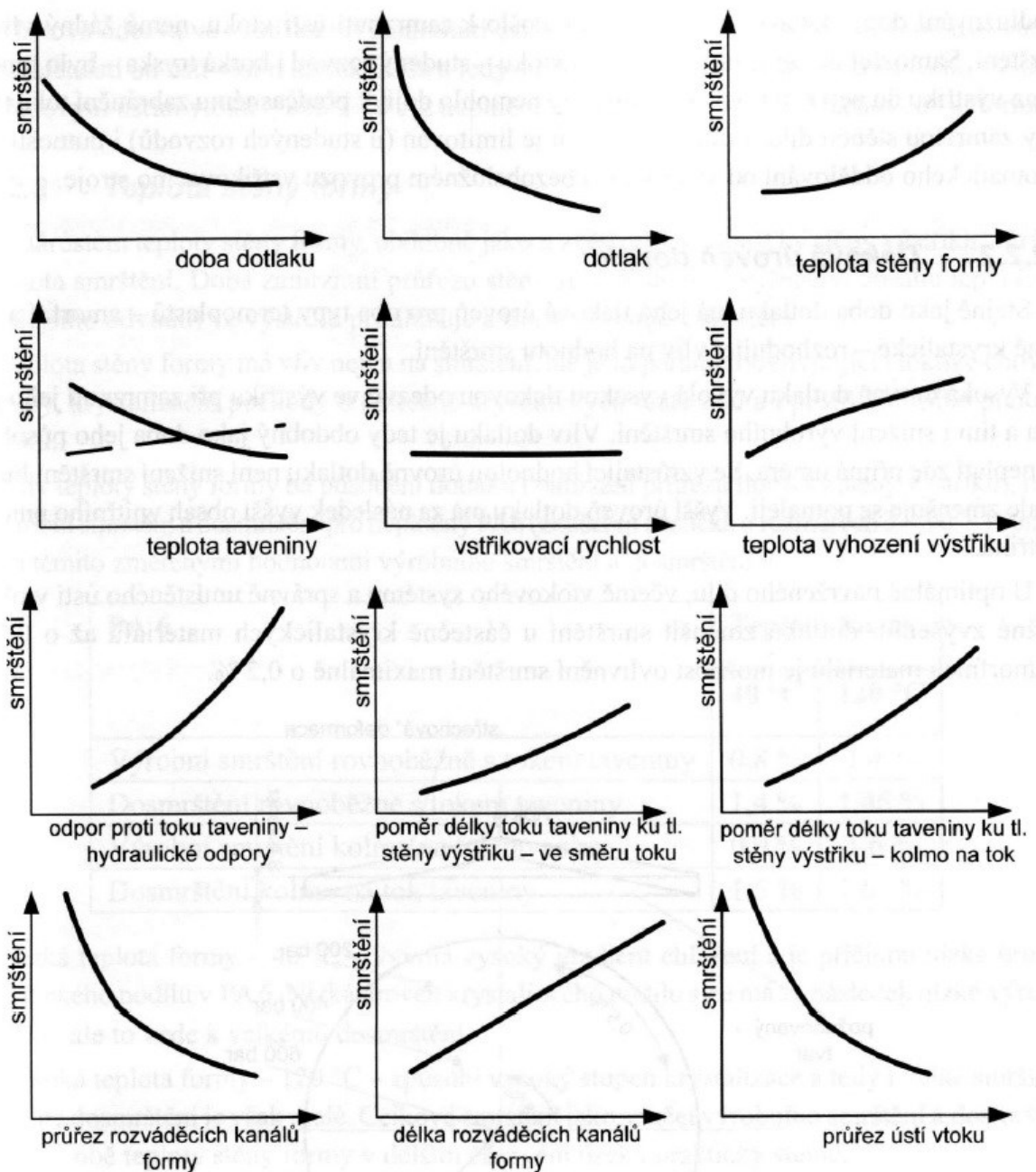
Ze vztahu vyplývá, že se jedná o délkové smrštění. Pro měření a hodnocení jsou stanoveny přesně dané podmínky. Smrštění se začíná vyhodnocovat po uplynutí 24 – 48 hodin od výroby při teplotě $23 \pm 2^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti $50 \pm 5 \%$.

Výrobní smrštění ovlivňuje především:

- 1) Druh polymeru – zejména jeho nadmolekulární struktura (krystalické termoplasty mají obecně větší hodnoty smrštění než amorfni).
- 2) Konstrukce výrobku – především tloušťka stěny a tvar výrobku. U krystalických polymerů je důležitá tloušťka stěny, jelikož výrobek chladne pomaleji, tím se zvyšuje stupeň krystalizace a taktéž smrštění.
- 3) Umístění vtoku – určuje jakým způsobem tavenina poteče v dutině formy. U neplněných plastů, nebo plastů s práškovým plnivem je smrštění ve směru toku

taveniny větší. U termoplastů s vláknitým plnivem se smrštění zmenší a charakter anizotropie se obrátí, čili výrobní smrštění ve směru toku taveniny je menší než ve směru kolmém, jelikož se na orientovaných vláknech nemůže uplatnit relaxace.

- 4) Technologické podmínky – největší vliv na smrštění zde má vstřikovací tlak, dále velikost a doba působení dotlaku. Vyšší tlak a delší doba dotlaku způsobují menší výrobní smrštění. Teplota formy má vliv především u krystalických polymerů, kde zvýšení teploty znamená zvětšení smrštění. [33]



Obr. 3 Vliv vybraných procesních parametrů na smrštění [10]

1.3.2 Dodatečné smrštění

Při uvolňování vnitřních pnutí se dezorientace makromolekul, případně sekundární krystalizace u krystalických struktur promítne dodatečnou změnou rozměrů, která se označuje DS, či PS. Hlavním parametrem ovlivňujícím dodatečné smrštění je teplota okolí výrobku.

$$DS = \frac{L_{V0} - L_{V1}}{L_{V0}} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

kde: DS – dodatečné smrštění [%]

L_{V0} – výchozí rozměr výstřiku před expozicí [mm]

L_{V1} – konečný rozměr výrobku po expozici [mm]

Dodatečné smrštění je však pouze jednou ze změn rozměrů při používání výstřiku. Tyto změny podporuje taktéž teplota, kdy vyšší teplota plastové díly zvětšuje a při nižších dochází k jejich zmenšení. Změny rozměrů v souvislosti s teplotou jsou vratné.

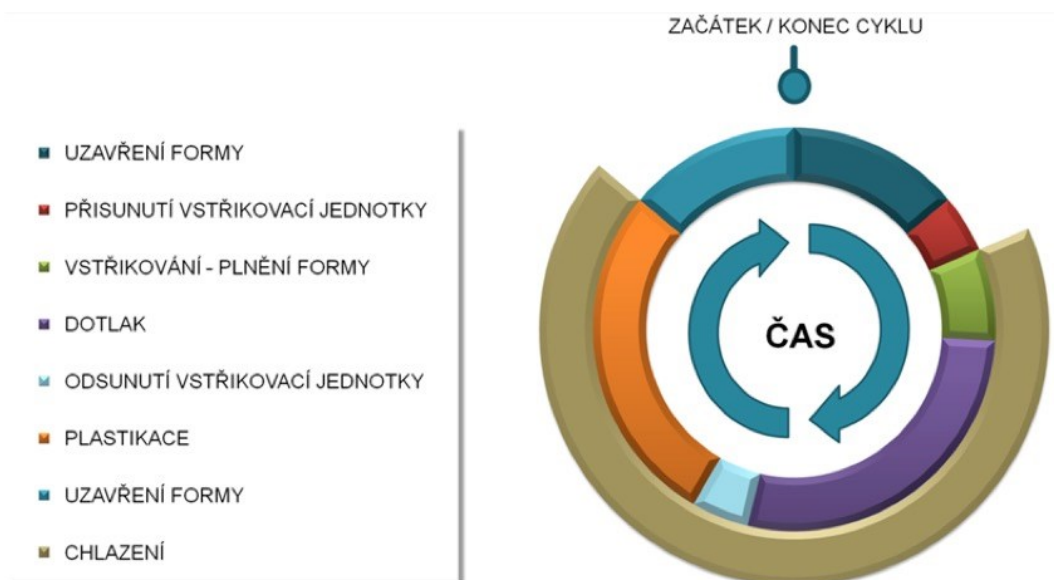
Navlhavost a následné vysychání plastů může taktéž zapříčinit změny rozměru. Pokud plast navlhne, zvětší se jeho rozměr. Při vysychání je výsledek opačný. I když se taktéž jedná o vratný děj, u navlhých výrobků může dojít k omezení jejich funkčnosti. [10]

2 PROCES VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování je jednou z nejvíce rozšířených metod zpracovávání plastů. Je využívána zejména pro součásti s předpokladem velké sériovosti výroby. Lze využít jak pro výrobu jednoduchých dílů, tak i pro díly značně tvarově složitě. Mezi nesporné výhody této technologie patří vysoká produktivita, možnost plné automatizace a nízká cena produktu při výrobě velkých sérií. [4]

2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikování je cyklický proces, který je význačný tím, že zpracovávaný materiál se v rámci výrobního procesu z termodynamického hlediska v žádném okamžiku nedostane do zcela rovnovážného stavu vzhledem k podmínkám, ve kterých se právě nachází. [4]



Obr. 4 Vstřikovací cyklus [31]

2.2 Hlavní fáze vstřikovacího cyklu

Vstřikovací cyklus je tvořen 4 hlavními fázemi, které mají vliv jak na stav výstřiku, tak i na jeho výslednou kvalitu. Skládá se tedy z plastikační fáze, vstřikovací fáze, dotlakové fáze a fáze ochlazovací. Způsoby dosažení maximální izotropie vlastností v objemu výstřiku jsou pro dílčí fáze uvedeny níže. [4]

2.2.1 Plastikační fáze

Základním předpokladem pro optimální naplnění tvarové dutiny formy taveninou je zajištění teplotní a viskozitní homogenity v dávce taveniny před čelem šneku. Toho je dosaženo správným nastavením teplot jednotlivých topných pásem v plastikační jednotce, zpětného odporu šneku a obvodových rychlostí šneku, resp. jeho otáček. Poslední dva zmíněné parametry lze při plastikaci v závislosti na dráze profilovat, nastavovat jejich různé úrovně v jednotlivých zvolených úsecích plastikační, dávkovací dráhy pohybu šneku. [4]

Případné teplotní i viskózní nehomogenity vstřikovaného materiálu se negativně projeví zejména na kvalitě povrchu výstřiku – tokové čáry, vnitřní pnutí, studené spoje, rozložení orientace makromolekul a plniva, při vstřikování částečně krystalického materiálu i nerovnoměrná tvorba makromolekulární struktury. [8,18]

Orientace makromolekul ve výrobku je značně ovlivněna teplotou taveniny. Stupeň orientace taveniny klesá s růstem teploty a výsledný výrobek je poté více izotropní. Zároveň je ve směru toku taveniny zvýšena pevnost studených spojů a sníženo vnitřní pnutí, ale klesají mechanické vlastnosti jako pevnost v tahu či houževnatost. Výstřiky z materiálů s částečnou krystalinitou mají vyšší smrštění a nižší dosmrštění. [8,18]

2.2.2 Vstřikovací fáze

Při vstřikovací fázi je teplotně homogenní tavenina vstřikována do dutiny formy tak, aby rychlost čela proudu taveniny byla v každém místě průřezu dutiny konstantní. Tento princip však lze dodržet pouze u tvarově jednoduchých výstřiků s konstantní tloušťkou stěny. U výstřiků tvarově složitých je dosažení výše uvedeného značně problematické i při využití počítačové simulace vstřikovacího procesu. [4,8,18]

Vstřikovací rychlost ovlivňuje především vznik povrchových vad na výstřiku, například tokové čáry, vrásnění, stopy po studených spojích, pomerančová kůra atd. Vstřikovací rychlost je proto současně s teplotou taveniny a formy nutno optimalizovat a tím zabránit příliš vysokým hodnotám smykového napětí na povrchu výstřiku. [4,8,18]

Při vstřikování polymerů s částicovým plnivem je nejvhodnější spojení vyšší teploty taveniny spolu s nižší vstřikovací rychlostí. U vláknitých plniv se naopak ukazuje jako výhodnější řešení vyšší rychlost vstřikování. [4,8,18]

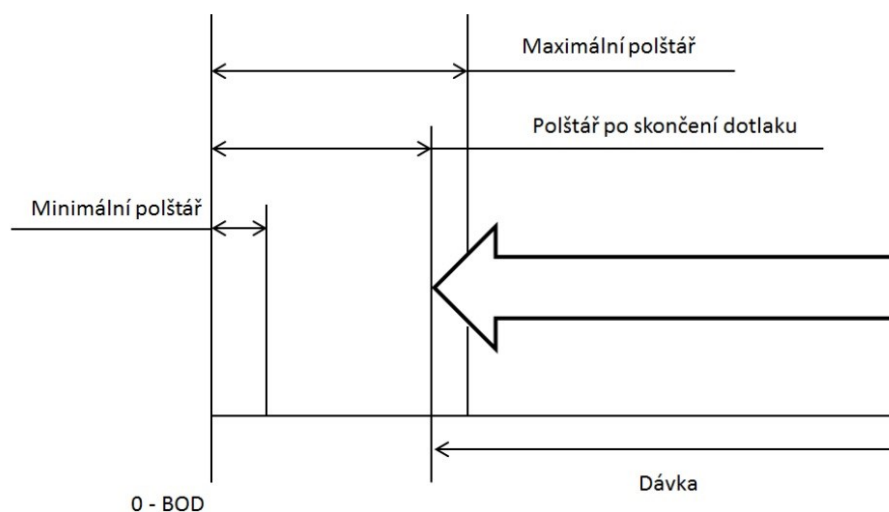
Při velmi nízké vstřikovací rychlosti dochází k rychlému ochlazování čela taveniny, což se projevuje růstem orientace a tím i anizotropií vlastností v průřezu výstřiku. S nižší rychlostí vstřikování roste ve směru toku taveniny houževnatost a pevnost, naopak klesá povrchový lesk a pevnost studených spojů. [4,8,18]

Přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak musí proběhnout tak, aby na tlakové křivce nedošlo k propadu tlaku, či jeho výraznému zvýšení (pík, tlaková špička). Optimální průběh tlakové křivky stoupá na maximum a po jeho dosažení plynule přechází na dotlakový průběh. Takovýto průběh predikuje zvýšení izotropie vlastností a minimalizaci vnitřního pnutí. Předčasné přepnutí na dotlak způsobuje plnění tvarových dutin jinou rychlostí než vstřikovací. Pozdní přepnutí může být příčinou vzniku přetoků v dělicí rovině, zvýšení anizotropie vlastností a vnitřního pnutí. [4,8,18]

2.2.3 Dotlaková fáze

Průběh dotlaku, který charakterizuje hodnota tlakové odezvy v tvarové dutině formy a doba jeho působení je volen tak, aby výsledný výrobek získal požadovaný tvar, rozměry a hmotnost. Dotlaková fáze je použita ke kompenzaci smrštění, dosažení přesných rozměrů výrobku, odstranění deformací, propadlin, bublin, trhlin a lunek. [4,8,18]

Působení fází plnění a dotlaku na výstřik lze kontrolovat pomocí tzv. polštáře, čili množství taveniny, která po skončení dotlaku zůstane před čelem šneku. Pokud je polštář v několika po sobě jdoucích cyklech téměř stejný, lze prohlásit vstřikovací proces za reprodukovatelný. [4,8,18]



Obr. 5 Princip kontroly polštáře [8]

Prostřednictvím bodu přepnutí lze v dutině formy mezi ukončením objemového plnění a dotlakem řídit kompresi taveniny. Toto má značný vliv na úplné vyplnění objemu tvarové dutiny, vytvarování kontur, vykopírování dezénu a vznik přetoků v dělicí rovině. [4,8,18]

Pokud přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak proběhne pozdě, může nastat vysoké tlakové maximum v dutině formy, vznik přetoků v dělicí rovině, zvýšení hmotnosti výrobku z důvodu jeho přeplnění, větší koncentrace vnitřního pnutí ve výrobcích, vznik nežádoucí orientace v blízkosti ústí vtoku, mechanické namáhání formy, či vysoké namáhání uzavírací jednotky vstřikovacího stroje. [4,8,18]

Předčasné přepnutí naopak může způsobit propad tlaku (tlakové minimum) v dutině formy, neúplné objemové zaplnění dutiny formy, menší hmotnost výstřiku, tokové čáry, větší smrštění, staženiny a propadliny. [4,8,18]

2.2.4 Ochlazovací fáze

Ochlazování taveniny začíná již v okamžiku jejího kontaktu s dutinou formy. Fáze ochlazování končí dosažením vyhazovací teploty a vyhozením výrobku z formy. Probíhá tedy přes fázi dotlaku i fázi chlazení bez tlaku (po zamrznutí vtokového ústí). Průběh ochlazovací fáze významně ovlivňují procesní parametry jako teplota formy, či doba ochlazování. Minimální doba chlazení musí výrobku zajistit dostatečnou tuhost, aby mohl být bez poškození vyhozen z formy vyhazovacím systémem. [8]

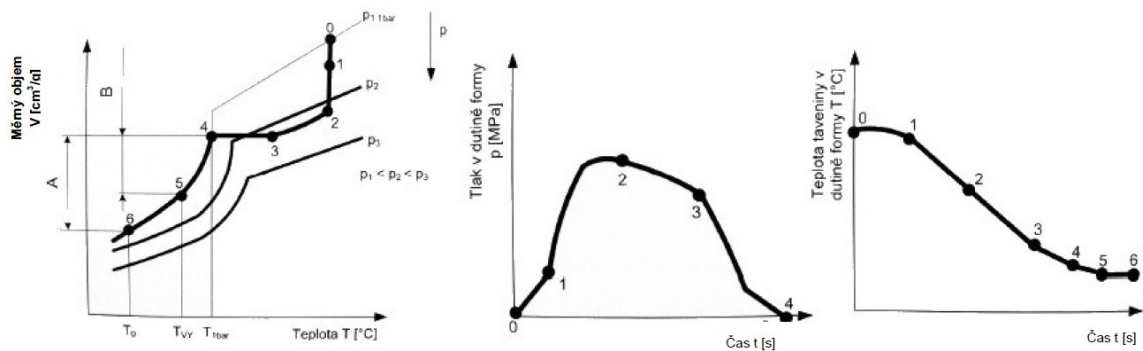
Rychlost ochlazování je stěžejní pro jevy relaxace materiálu, které ovlivňují tepelné pnutí, stupeň a rozložení orientace a u polymerů částečně krystalických i krystalickou strukturu. Teplota formy je pak dominantním parametrem z hlediska jakosti výsledných výrobků. [8]

Doba ochlazování tvoří většinou nejdelší část vstřikovacího cyklu a její optimalizace má tedy značný vliv na ekonomiku celého procesu i na kvalitu výrobků. Z pohledu ekonomického by měl být vstřikovací cyklus co nejkratší, z pohledu kvality výrobku (relaxace – minimalizace vnitřního pnutí, izotropie výrobku) zase naopak co nejdelší. Jedná se vždy o kompromis mezi požadovanou kvalitou výstřiku a jeho cenou. [8]

2.2.5 Vstřikovací cyklus v pVt diagramu

Při objemovém plnění (0-1) dochází k izotermickému vstřikování. Vstřikovací tlak stoupá na maximum, dokud není dutina formy zcela zaplněna taveninou. Následuje stlačování taveniny (1-2), kdy je tavenina pod tlakem doplňována do dutiny formy a začíná intenzivněji chladnout. Další částí je izobarické chlazení (2-3). Zde dochází k tuhnutí taveniny. Z

důvodu ochlazování a poklesu tlaku začíná smršťování výrobku. Objemová změna způsobená smrštěním je částečně kompenzována stálým doplňováním taveniny (dotlak). Při izochorickém chlazení (3-4) zatuhuje vtokové ústí a tlak uvnitř dutiny klesá až na tlak atmosferický. Dalšími částmi jsou ochlazování na vyhazovací teplotu (4-5) a ochlazování na pokojovou teplotu (5-6).



Obr. 6 Vstřikovací cyklus v pVt diagramu [10]

2.3 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj se přímo podílí na kvalitě výsledného výrobku. Jeho hlavními úkoly jsou plastifikace a homogenizace polymeru, vstříknutí polymeru do dutiny formy a její rovnoměrné zaplnění a zajištění správné stabilizace tvaru výrobku. Vstřikovací stroj sestává ze 3 základních částí:

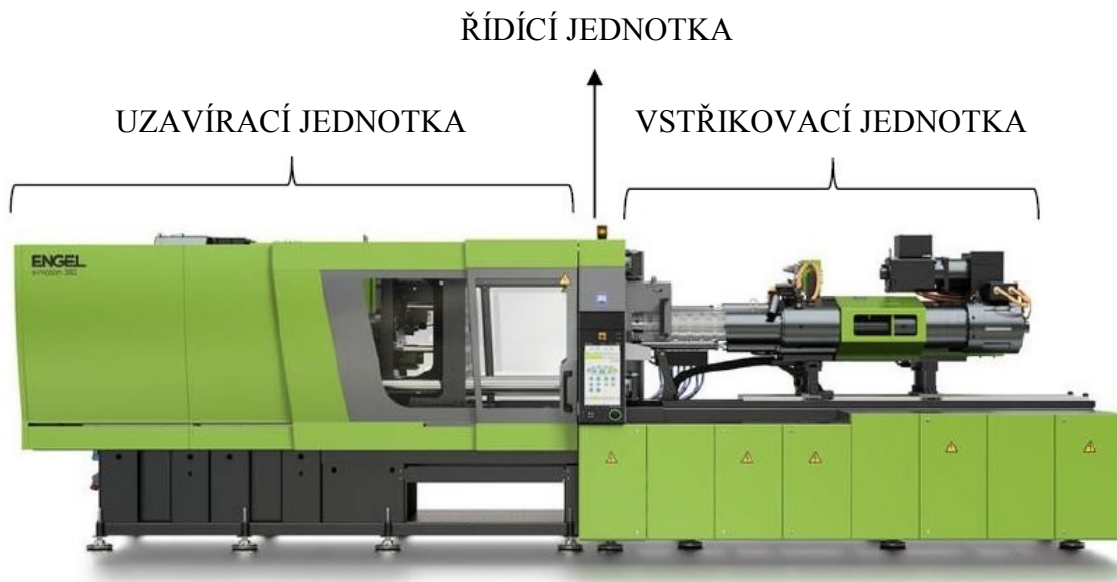
- plastikační (vstřikovací) jednotka,
- uzavírací jednotka,
- řídicí a ovládací jednotka.

Na moderních strojích lze řízení plně automatizovat a dosáhnout tak vysoké produktivity. Mezi výrobce a dodavatele vstřikovacích strojů patří například Engel, Arburg, Mitsubishi, Netstal a Krauss Maffei. [11]

Základní hlediska dělení vstřikovacích strojů:

- zpracovávaný materiál (termoplasty, reaktoplasty, elastomery),
- typ vstřikovací jednotky (bez předplastikace, s předplastikací),
- typ plastikační jednotky (pístové, šnekové, kombinované),

- druh uzavírací jednotky (hydraulické, hydraulicko-mechanické, elektro-mechanické),
- velikost vstříkované dávky,
- vzájemná poloha vstříkovací a uzavírací jednotky (horizontální, vertikální). [8]



Obr. 7 Vstříkovací stroj [12]

Základní parametry vstříkovacího stroje:

- plastikační kapacita (množství materiálu, které lze za 1 hod zpracovat),
- uzavírací síla (síla potřebná k udržení formy v uzavřené poloze při vstříkovacím procesu),
- vstříkovací tlak (MPa),
- maximální rozměry upínacích desek, resp. vzdálenost mezi vodícími sloupky,
- maximální otevření uzavírací jednotky. [11]

2.3.1 Vstříkovací jednotka

Vstříkovací jednotka je určena k přípravě a dopravě daného množství roztaveného materiálu s požadovanými vlastnostmi do dutiny formy. Množství materiálu potřebné k vyplnění dutiny materiálem musí být menší než kapacita vstříkovací jednotky při jednom zdvihu. [4]

Funkce vstřikovací jednotky spočívá v tom, že zpracovávaný materiál (většinou ve formě granulátu) je pomocí šneku dopravován z násypky do pracovního válce. Doprava probíhá pomocí rotace šneku přes vstupní, přechodové a výstupní pásmo. V průběhu dochází k plastikaci, homogenizaci a hromadění materiálu před šnekem. Pracovní válec je na konci opatřen vyhřívanou tryskou, která zajišťuje co nejdokonalejší dosednutí ke vtokové vložce formy. [4]



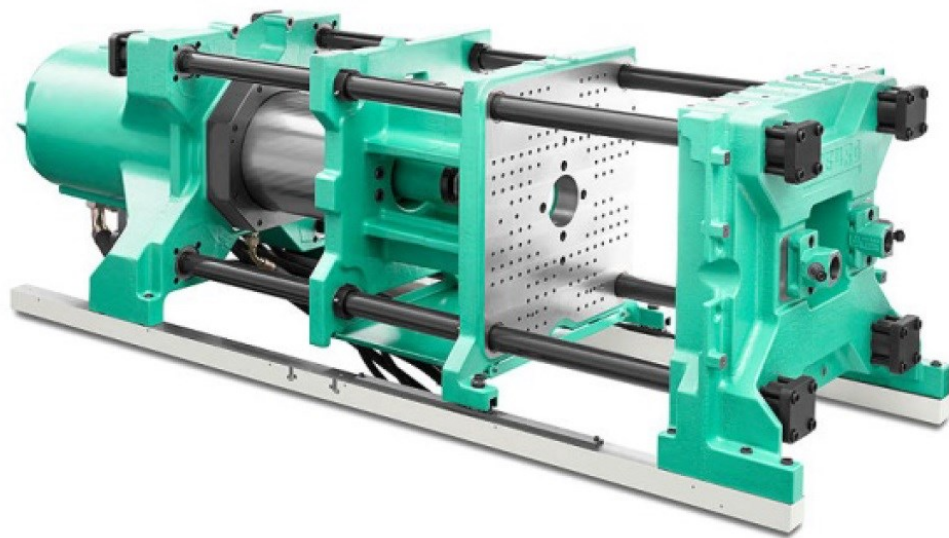
Obr. 8 Vstřikovací jednotka [14]

2.3.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka slouží k ovládní formy a zajišťuje její uzavření, otevření, případně vyprázdnění. Nosné sloupy slouží k vedení jednotlivých částí a taktéž spojují jednotlivé části stroje. Velikost uzavírací síly je nastavitelná a odvíjí se zejména od velikosti vstřikovacího tlaku a průmětu plochy dutiny formy včetně vtokových kanálů do dělicí roviny. Uspořádání uzavírací jednotky, stejně jako tuhost uzavíracího mechanismu, významně ovlivňuje těsnost vstřikovací formy.

Podle druhu pohonu se uzavírací jednotky dělí na:

- hydraulické,
- hydraulicko-mechanické,
- elektro-mechanické. [4,15]



Obr. 9 Hydraulická uzavírací jednotka [16]

U hydraulických uzavíracích jednotek je rychlost uzavírání ovlivněna uspořádáním a ovládáním hydraulického obvodu. Systém hydraulicko-mechanický má uzavírací rychlost řízenou kinematickým uspořádáním mechanismu, díky čemuž dosahuje minimální dosedací rychlosti. Systémy elektro-mechanické využívají znalosti z konstrukce obráběcích strojů, mají jednoduché ovládání a menší spotřebu energie. [4,15]

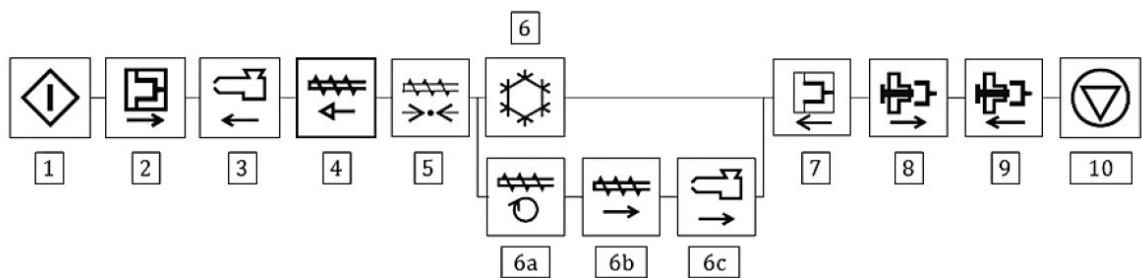
2.3.3 Řídící a ovládací jednotka

Jsou to nezbytné součásti vstřikovacího stroje. Díky nim lze optimalizovat výrobní proces a tím dosáhnout požadované kvality výstřiků. Při řízení a regulaci procesu je třeba měřit a dle těchto měření následně nastavovat technologické parametry vstřikovacího stroje, mezi které patří zejména:

- doba vstřikování,
- doba chlazení,
- teplota formy a taveniny,
- tlak při vstřikování a dotlak,
- otáčky šneku,
- rychlost posuvu šneku při vstřikování.

Průběh vstřikovacího cyklu je u moderních vstřikovacích strojů programovatelný. Symbol 1 reprezentuje start cyklu. Zde probíhá příprava všech součástí do startovacích pozic. Symbol 2 uzavírá vstřikovací formu a na to následně navazuje příjezd plastikační jednotky

do pracovní pozice (symbol 3). Poté probíhá vlastní vstřikování (symbol 4). Přepnutí na dotlakovou fázi reprezentuje symbol 5. Po ukončení dotlaku startuje fáze chlazení (symbol 6) se kterou souběžně probíhají procesy plastikace materiálu (symbol 6a), dekomprese, (symbol 6b) a odsun vstřikovací jednotky do zadní pozice (symbol 6c). Po ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu následuje otevření vstřikovací formy (symbol 7), dále vyhození výstřiku a zpětný pohyb vyhazovačů (symboly 8 a 9). Symbol 10 představuje konec výrobního cyklu. Grafické zpracování symbolů od jednotlivých výrobců se liší, nicméně princip sestavování vstřikovacího cyklu za pomoci bloků, které představují dílčí procesy je všeobecným standardem. [17]



Obr. 10 Symboly ovládacího panelu [17]

3 KONSTRUKCE VÝROBKU VYROBENÉHO VSTŘIKOVÁNÍM

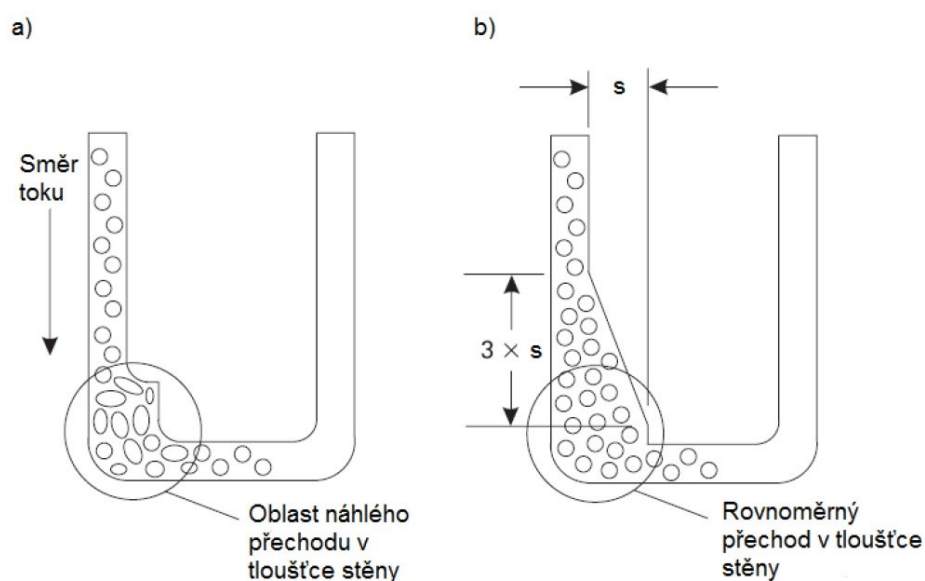
Výsledná kvalita vstřikovaného výrobku je značně ovlivněna jeho tvarovým provedením. Mezi základní oblasti zájmu konstruktéra výrobku patří zejména tloušťka stěn výrobku, rohy, ostré hrany, poloha studených spojů, úkosy, žebra atd. [20]

3.1 Dostatečná tloušťka stěn

Vlastnosti termoplastů jim umožňují při zahřátí na určitou teplotu (odlišná pro každý druh plastu) téct. Schopnost polymeru téct udává tzv. index toku taveniny (ITT). Materiály s vysokým ITT jsou tedy schopny zatéct dál od vtokového ústí než materiály s nízkým ITT. Výhodou materiálů s vysokým ITT je dále schopnost vytvořit výrobek s mnohem tenčí stěnou než materiál s nízkým ITT. Například PA (vyšší ITT) může být použit pro vstřikování výrobků s tloušťkou 0,3 – 3 mm, proti tomu PC (nižší ITT) je využíván pro výrobky s tloušťkou stěny 1 – 10 mm. [32]

3.2 Rovnoměrná tloušťka stěn

Roztavený polymer má tendenci téct cestou nejmenšího odporu, čili místy s vyšší tloušťkou stěn. K zajištění rovnoměrné distribuce taveniny je potřeba tuto tloušťku udržovat co nejvíce konstantní, případně alespoň zamezit náhlým přechodům v tloušťce stěn. Pokud tohoto není v určitém místě součásti dosaženo, dochází zde ke kumulování napětí, jelikož molekuly taveniny jsou zde více stlačovány. [20]



Obr. 11 Příklad konstrukce přechodu v tloušťce stěna, a) špatně, b) správně [20]

3.3 Rohy, ostré hrany

Ostrý roh je místo, kde je koncentrováno největší napětí ve výrobku a z tohoto důvodu se jedná o nejpravděpodobnější místo vzniku porušení výrobku. Do ostré hrany taktéž obtížně zatéká materiál. Pro snadnější plnění dutiny formy je výhodnější těmto prvkům předejít zaoblením hran. Tímto úkonem se sníží hydraulické odpory proti toku taveniny a rovněž i napětí v místě ohybu. Zaoblení taktéž zajišťuje konstantní tloušťku stěny a předchází hromadění materiálu. Takto upravené díly vykazují až o 50% vyšší rázovou houževnatost a při absenci ostrých hran se zvyšuje i životnost formy, kterou není třeba zatěžovat vysokým vstřikovacím tlakem. [20]

3.4 Poloha studených spojů

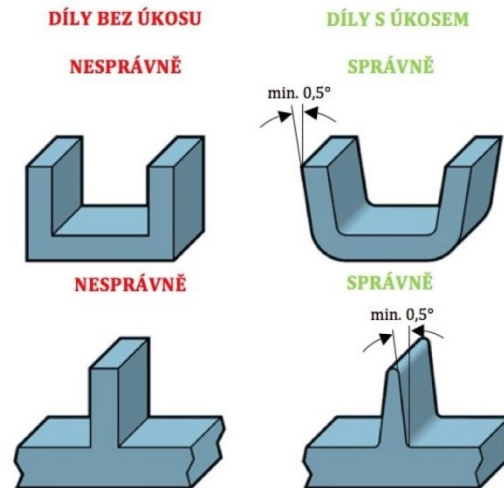
Studený spoj vzniká spojením chladných čel taveniny, která byla rozdělena do proudů obtékáním určité překážky. Takto rozdělený proud taveniny nemůže být v průběhu vstřikovacího cyklu znovu spojen a důsledkem toho vzniká místo se zhoršenými mechanickými vlastnostmi. Pokud je poloha studeného spoje v silně mechanicky namáhaném místě výstřiku, je vhodné ji přesunout do místa méně namáhaného. Toho lze dosáhnout změnou polohy vtokového ústí. Studený spoj také vzniká při plnění formy za pomoci více vtokových ústí. [20]

3.5 Úkosy

Úkosy jsou používány z důvodu zlepšení odformovatelnosti a snadnějšího vyjmutí výstřiku z dutiny formy. Úkosy pro vyhození jsou sčítány s úkosy pro odformování dezénů, které zabraňují poškození nebo poškrábání dezénovaných ploch při vyhazování. Obecně platí, že pro leštěné dutiny formy nejsou potřeba tak velké úkosy jako pro dutiny dokončené pouze tzv. jemným obráběním. [20]

Tabulka 1 Doporučené hodnoty úkosů [18]

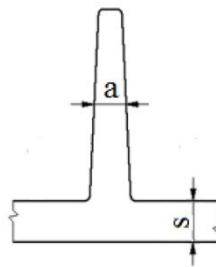
Typ úkosu	Velikost úkosu
Vnější plochy	0,5° - 2° (1°)
Vnitřní plochy	0,5° - 3° (2°)
Otvory do hloubky 2D	0,5° - 1° (45')
Hluboké otvory	1° - 10°
Žebra, nálitky	1° - 10° (3°)
Výstupky	2° - 10°



Obr. 12 Díly bez úkosů (vlevo) a s úkosem (vpravo) [31]

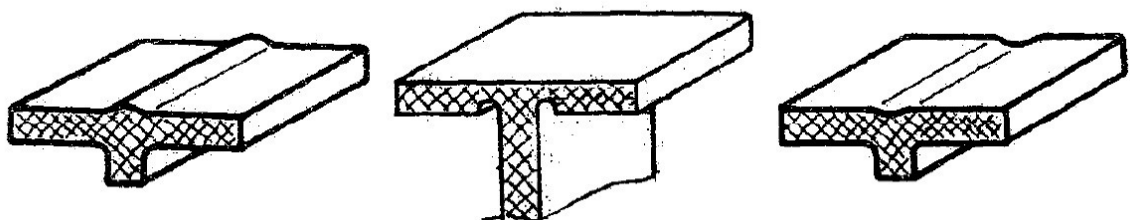
3.6 Žebra

Žebra u vstříkovaných výrobků slouží ke zvýšení pevnosti a tuhosti (funkční žebra) a taktéž pro optimální plnění dutiny formy (technologická žebra). Ke zmenšení objemové kontrakce (tzv. vtaženin) výstřiků při chladnutí musí mít tloušťka žebra určitou velikost vzhledem k tloušťce hlavní stěny. Poměr tloušťky žebra (a) k hlavní tloušťce stěny (s) se liší typem použitého polymeru. U amorfních by měl být poměr: $a \leq 0,7 \cdot s$, kdežto u semikrystalických: $a \leq 0,5 \cdot s$.



Obr. 13 Poměr tloušťky žebra k tloušťce hlavní stěny [20]

U pohledových výrobků se k eliminaci vtaženin využívá dezénování. Zamaskování lze také provést za pomoci vhodných drážek a výstupků na vnější ploše, která je viditelná. [20]



Obr. 14 Příklady eliminace vzniku vtaženin [20]

4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je nástroj k produkci výrobků, upevněný ve vstřikovacím stroji. Slouží k udělení konečného tvaru výrobku, který je následně stabilizován ochlazením. Výrobní náklady vstřikovací formy jsou často vysoké z důvodu její komplikovanosti a výrobní náročnosti, proto je vhodné je využívat pro velké série výrobků. Při velkých sériích jsou výrobní náklady na jeden kus menší, z důvodu jejich rozdělení mezi více kusů. [11]

Návrh vstřikovací formy závisí zejména na:

- tvaru a velikosti vstřikovaného dílce,
- typu vstřikovacího stroje a jeho parametrech,
- vlastnostech vstřikovaného materiálu,
- celkovém množství vstřikovaných výrobků. [8]

Nejdůležitější zásadou při návrhu vstřikovací formy je správné zaformování výstřiku. Dělicí rovina je kontaktní plocha mezi pevnou a pohyblivou částí formy. Na vstřikovaném dílci je umístěna v souladu s ohledem na co nejsnazší vyjmutí dílce z formy. Prostor dutiny vymezují tvarové součásti, mezi které patří tvarová jádra, tvárník a tvárnice. Chyba v návrhu tvarových částí se projeví v kvalitě výsledného výstřiku. Nezbytnou podmínkou při konstrukci tvarové dutiny je započtení smrštění vstřikovaného materiálu. [4]

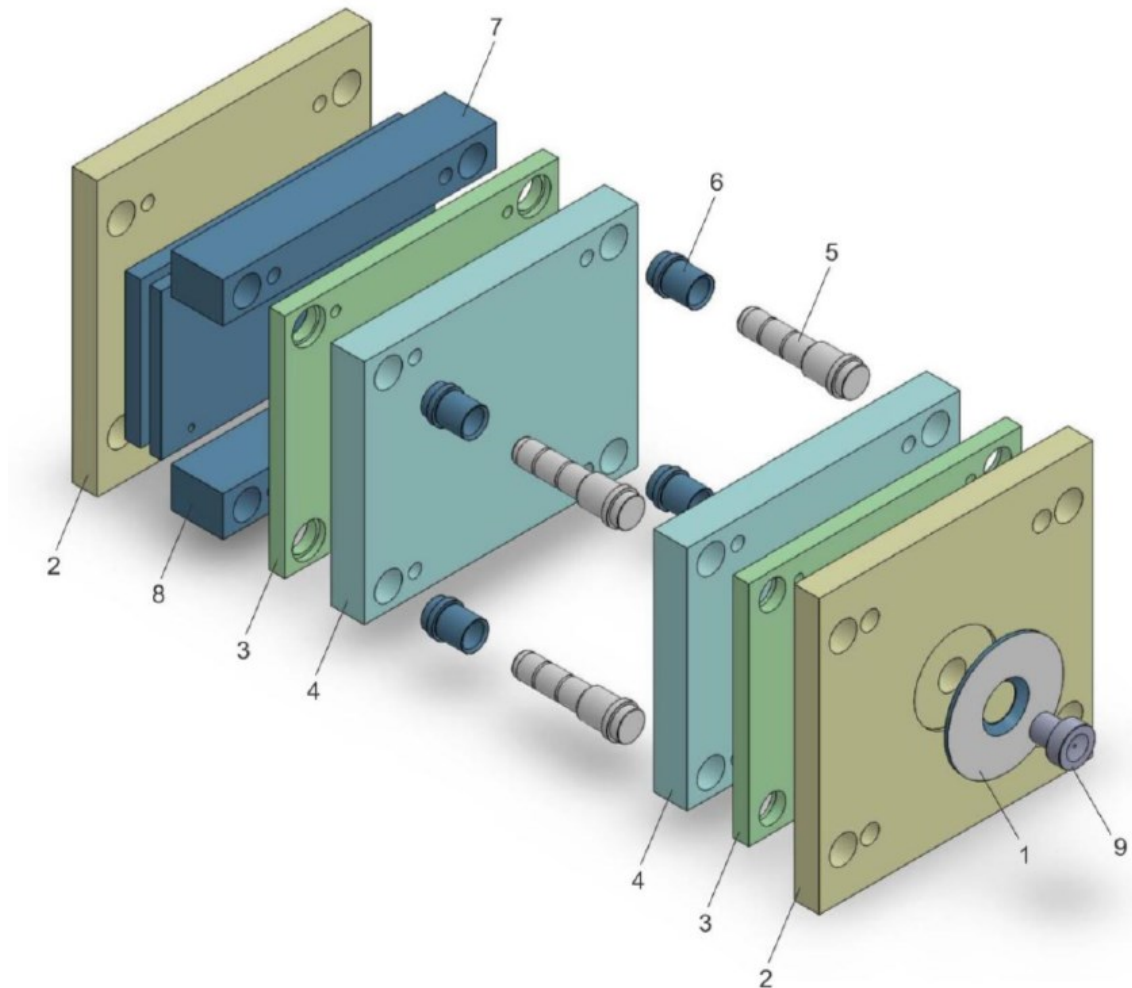
4.1 Rámy forem

Rám formy tvoří skupina desek s různou funkcí, navzájem propojených pomocí vodících a středících elementů. Vtokový systém se většinou nachází přímo v některé z desek, nebo ve speciálních vložkách. Rám bývá osazen taktéž dalšími funkčními součástmi, jako jsou manipulační části, topná tělesa apod.

Základní funkce rámu vstřikovacích forem:

- správné umístění a ustavení na vstřikovací stroj,
- přesné vedení pohyblivých dílů formy,
- bezpečné upnutí bez možnosti pohybu,
- snadné upevnění tvarových vložek, případně ostatních dílů,
- správné umístění temperačního systému a vyhazovacích desek s vyhazovači.

Hlavní rozměry a uspořádání formy jsou voleny dle druhu výrobku, sériovosti a dostupného vstřikovacího stroje. Rám by měl být vždy nadimenzován na provozní vstřikovací tlak, aby při vstřikování nedocházelo například k pootevírání v místech dělicí roviny, nebo deformacím. [20]



Obr. 15 Hlavní části vstřikovací formy [22]

1 – středící kroužek, 2 – upínací desky, 3 – opěrné desky, 4 – tvarové desky, 5 – vodící čepy, 6 – vodící pouzdra, 7 – rozpěrné desky, 8 – vyhazovací desky, 9 – vtoková vložka

4.2 Vtokový systém

Vtokový systém slouží k distribuci taveniny do dutiny formy. Při jeho návrhu je nutno dodržet určité konstrukční zásady uvedené níže.

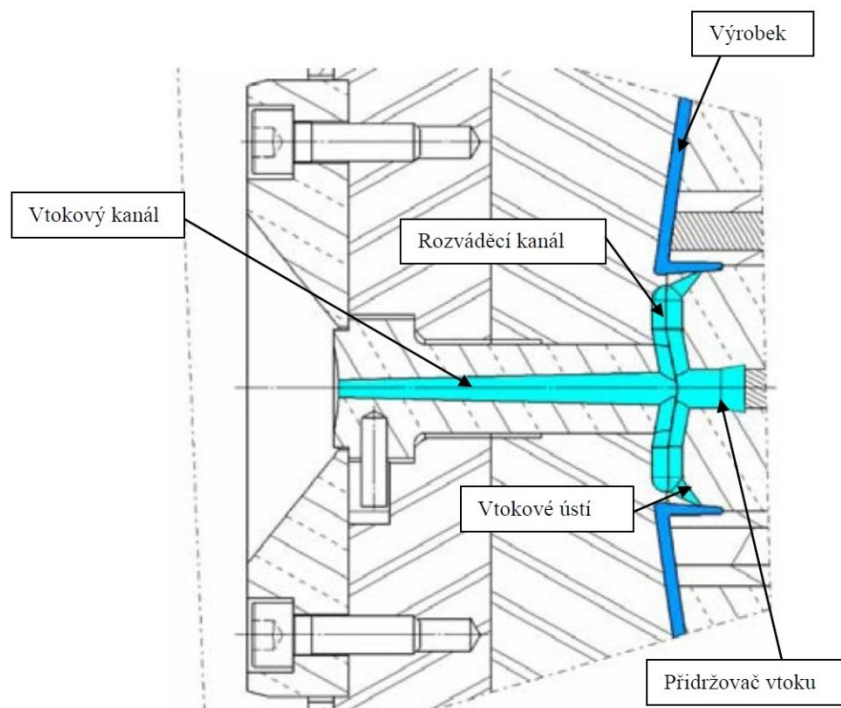
Dělení vtokových systémů:

- studené vtokové soustavy,

- vyhřívané vtokové soustavy.

4.2.1 Studené vtokové soustavy

V průběhu procesu vstřikování dochází k přemístění taveniny do studené vstřikovací formy velkou rychlostí. Hlavní nevýhodou tohoto způsobu je rozdílná viskozita taveniny v průřezu. U chladných stěn viskozita značně roste a nejmenší je naopak v jádře toku. Z tohoto důvodu je pro úplné zaplnění dutiny formy potřebný velký vstřikovací tlak, běžně 40 – 200 MPa.



Obr. 16 Schéma studeného vtokového systému [4]

Vtokový systém musí být navržen tak, aby splňoval základní funkce:

- co nejkratší dráha toku materiálu (z důvodu rychlého ochlazování),
- stejně dlouhá dráha ke všem dutinám formy (dosažení stejnoměrného plnění),
- dostatečně velký průřez vtokových kanálů, aby nedošlo k zatuhnutí vtoku před kompletním zaplněním tvarových dutin, což by znemožnilo využití dotlaku.

Vtokové ústí je poslední část vtokového kanálu před vstupem do tvarové dutiny. Je vytvořeno pomocí zúžení kanálu, čímž narůstá rychlost proudění materiálu. To omezí tvoření povrchových vad. [4]

4.2.2 Vyhřívané vtokové soustavy

Další možností řešení vtokové soustavy jsou vtokové soustavy vyhřívané. Největší rozdíl oproti studeným vtokům je, že u vyhřívaných nevzniká vtokový zbytek, což má za následek úsporu materiálu. Materiál zde proudí do dutiny formy vyhřívanou tryskou, která může být osazena uzavírací jehlou z důvodu samovolného vytékání materiálu.

VVS jsou značně náročnější na konstrukci. Je zde nutnost přidání topných těles a soustavy snímačů s čímž taky roste finanční náročnost. Proti studeným vtokům mají však řadu výhod, mezi které patří zejména:

- možnost automatizace výroby,
- zkrácení výrobního cyklu,
- menší spotřeba materiálu,
- nižší náklady na dokončovací práce s odstraňováním vtokových zbytků, na manipulaci s nimi a další zpracování.



Obr. 17 Vyhřívaná vtoková soustava [34]

4.3 Vyhazovací systém a odformování výrobku

Vyhazovací systém slouží k odstranění výstřiku z dutiny formy na konci vstřikovacího cyklu. K tomu slouží různé typy vyhazovacích zařízení, které fungují automaticky, nebo poloautomaticky. Základní podmínkou dobrého vyhození výrobku je hladký povrch a úkosy stěn ve směru vyhazování. Důležitá je taktéž rovnoměrně rozložená vyhazovací síla. Potřebná velikost této síly závisí zejména na velikosti smrštění, geometrickém tvaru

výstřiku, jakosti tvarových dutin a technologických podmínkách vstřikování (vstřikovací tlak, doba chlazení, teplota taveniny atd.).

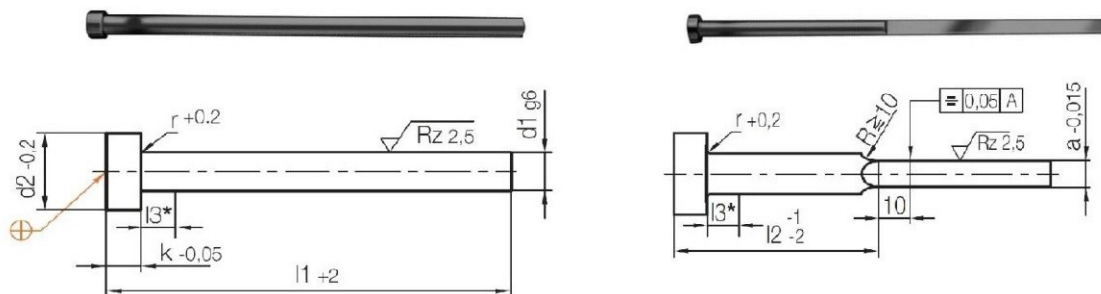
Vyhazovací systém má 2 základní pohyby:

- pohyb vpřed (vlastní vyhazování),
- pohyb vzad (návrat vyhazovačů do původní polohy). [18,23]

4.3.1 Vyhazovací kolíky

Jedná se o nejčastější, nejjednodušší a nejlevnější způsob vyhazování. Správné vyhození výrobku závisí na volbě vhodného tvaru a umístění vyhazovacích kolíků. V ideálním případě by se měl kolík opírat o nepohledovou část výrobku nebo žebro, které se při vyhazování nesmí bortit. Rovnoměrného rozložení vyhazovací síly lze dosáhnout za pomoci většího množství vyhazovačů.

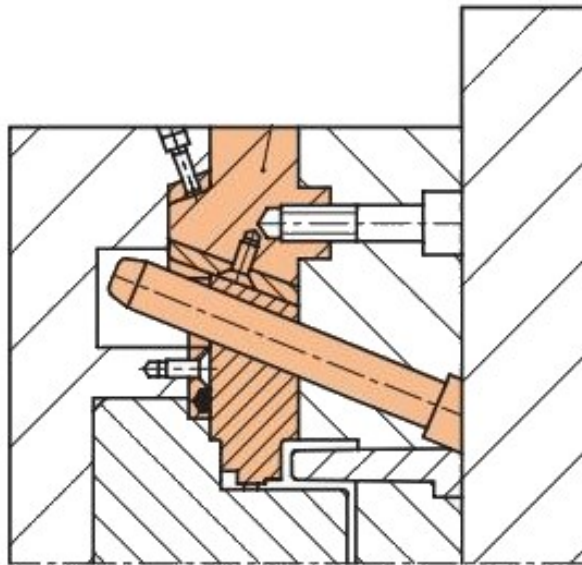
Vyhazovací kolíky se používají nejčastěji válcové s průměrem 3 – 20 mm, nebo kolíky prizmatické. Kolíky jsou uloženy v opěrné a kotevní vyhazovací desce. U kolíků s tvarovým čelem je nutné jejich zajištění proti pootočení. [18,24]



Obr. 18 Příklad vyhazovacích kolíků [25] a) válcový, b) plochý

4.3.2 Šikmé válcové kolíky

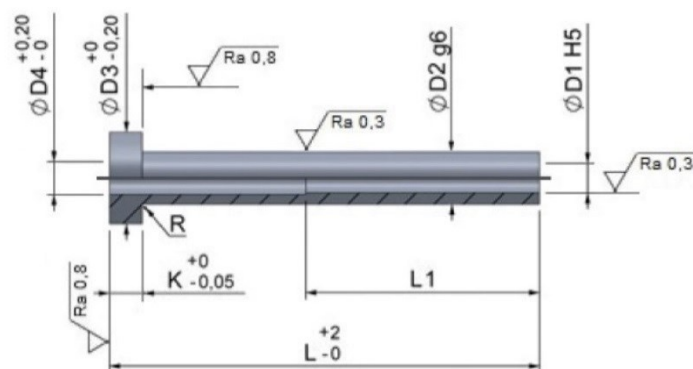
Tyto součásti umožňují vysunutí posuvné části za pomoci pohybu formy při jejím otvírání s nepatrným, či žádným zpožděním, které ovlivňuje vůli v otvoru pro šikmý kolík. Šikmé kolíky se dimenzují především na ohybové namáhání. Vůle mezi šikmým kolíkem a čelistí se pohybuje v rozmezí 0,2 mm – 3 mm, sklon šikmého kolíku od 15° do 25°, výjimečně 30°. [18]



Obr. 19 Uložení šikmého kolíku ve formě [18]

4.3.3 Stírací desky

Tento způsob vyhazování je vhodný zejména pro tenkostěnné výrobky, které by při vyhazování kolíky snadno podlehly zborcení. Výhodou této možnosti je, že vyhazovací síla působí po celém obvodu tvárníku. Z důvodu značné styčné plochy je omezen výskyt stop vyhazovací desky na výrobku. Pohyb stírací desky může být vyvozen tlakem vyhazovací desky na výrobku. Pohyb stírací desky může být vyvozen tlakem vyhazovacího systému, nebo tahem pomocného mechanismu. Desky bývají také osazeny vložkami z ušlechtilých materiálů z důvodu zvýšení jejich životnosti. [18]



Obr. 20 Trubkový vyhazovač [30]

Do této skupiny lze zařadit také trubkový vyhazovač. Tento vyhazovač s axiálním otvorem má funkci stírací desky a pracuje jako vyhazovací kolík. Uvnitř vyhazovače se nachází jádro, pevně upnuté ve stacionární desce. [18]

4.3.4 Vyhazování pomocí stlačeného vzduchu

Vyhazování za pomoci stlačeného vzduchu je využíváno pro tenkostěnné, rozměrné výrobky s velkou hloubkou, které by se mechanickým vyhazováním mohly deformovat. Stlačený vzduch je zaveden mezi líc formy a výstřik přes talířový nebo jehlový ventil. Tím je zjištěno rovnoměrné oddělení výstřiku od tvárníku a jsou taktéž minimalizovány stopy po vyhazovacích kolících. Tento způsob je ale možné použít jen pro určitý typ výrobků. Často je využíváno kombinace tohoto způsobu v kombinaci se způsobem mechanickým. [18,24]

4.4 Temperační systém

Temperace formy významným způsobem ovlivňuje proces vstřikování a to jak časově, tak kvalitativně. Obecně lze říci, že při průměrném vstřikovacím cyklu činí doba chlazení cca 70 %. Do kategorie kvalitativní spadá tvarová a rozměrová stálost, jakost povrchu, mechanické vlastnosti, deformace, atd. Míra špatně vyrobených výstřiků z důvodu nevhodně zvolené temperace dosahuje až 60 %.

Základním požadavkem na temperační systém je dodržení rovnoměrné teploty dutiny formy při celém vstřikovacím cyklu.

Do temperačních kanálů je nutno přivést chladicí médium. Nejčastěji se používá voda, lze však také využít různé teplosměnné kapaliny či oleje. Správně zvolený temperační přístroj by měl zajistit správnou teplotu, tlak a turbulentní proudění v temperačních kanálech. Tento způsob proudění zajišťuje intenzivní odvod tepla z dutiny formy. [8]

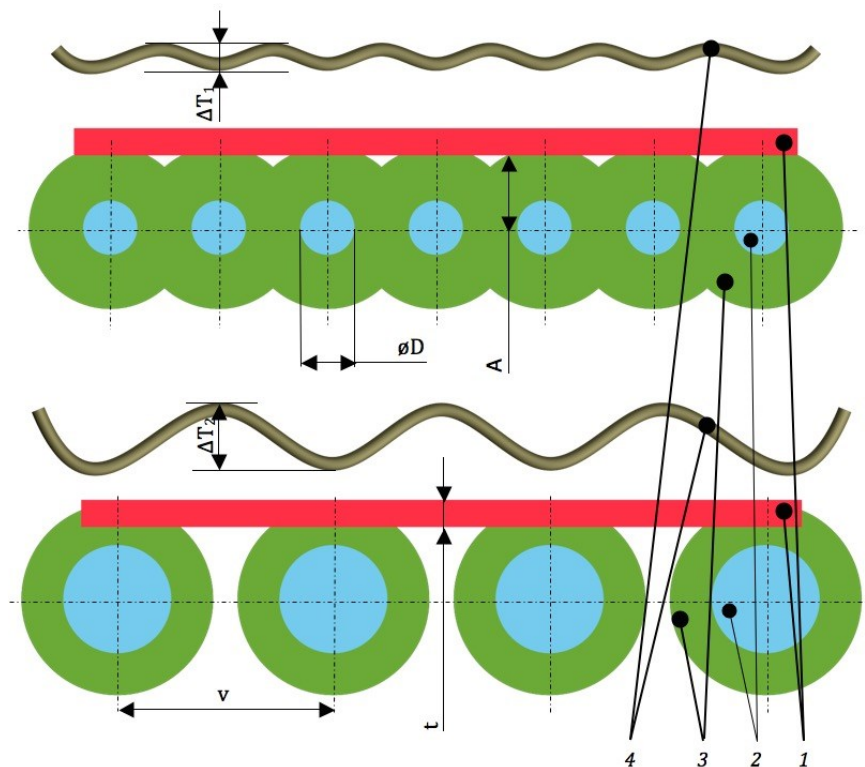
4.4.1 Konstrukce temperačního systému

Z pohledu konstruktéra je již při prvotním návrhu temperace nutno mít představu kde a v jaké podobě se systém bude nacházet. Pokud na toto nebude dbán dostatečný důraz, temperační systém bude následovně pravděpodobně umístěn pouze tam, kde zbylo místo, což ve velkém množství případů snižuje jeho účinnost.

Při samotném návrhu je zapotřebí dodržovat tato pravidla:

- Vzdálenost temperačních kanálů od stěny dutiny musí být volena tak, aby byl zajištěn dostatečný odvod tepla, avšak tuhost a pevnost tvarových částí zůstala zachována.

- Směr toku temperačního media musí být od nejteplejšího místa formy k nejchladnějšímu a při využití vyhřívané vtokové soustavy zajistit samostatný temperační okruh v prostoru ústí horké trysky, čímž dojde k optimalizaci teploty v daném místě.
 - Průměr kanálu by neměl být menší než 6 mm z důvodu vyššího rizika jeho ucpání nečistotami, či vodním kamenem. Větší průměr také snáze zajistí turbulentní proudění temperačního media.
 - V ideálním případě kanály procházejí kompaktním materiálem tvarových dutin formy. V případě průchodu kanálu různými díly formy, musí být jejich spoje utěsněny za pomoci O-kroužku.
 - Minimalizace vzniku slepých míst, tzn. míst bez pohybu média. Následkem nedodržení této podmínky vznikají usazeniny, které mohou tvořit ohniska koroze.
- [8]



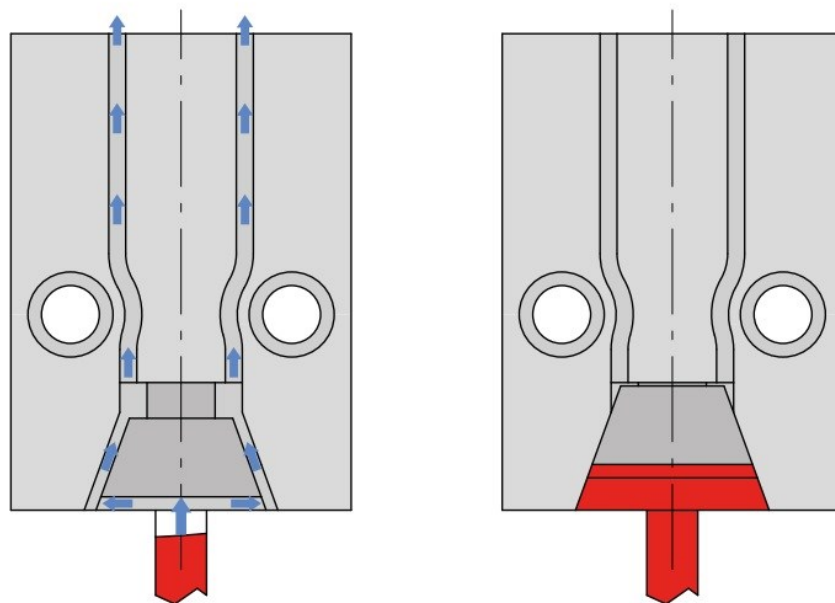
Obr. 21 Srovnání efektu různého průměru temperačních kanálů [31]

1 – vstříkovaný díl, 2 – temperační kanál, 3 – pole působení temp. kanálů, 4 – průběh teploty povrchu dutiny vstříkovací formy

Důležitá je taktéž rovnoměrnost rozložení teplot povrchu dutiny formy (viz obr. 21, kde $\Delta T_2 > \Delta T_1$). Z něj vyplývá, že je vhodné využít většího počtu temperačních kanálů s menším průměrem než menšího počtu temperačních kanálů s větším průměrem. [31]

4.5 Odvzdušnění forem

Správné odvzdušnění formy je velmi důležitým činitelem v procesu vstřikování. Díky němu je zajištěn odvod vzduchu, kterým je zaplněna dutina formy před vstříknutím, a také únik zplodin které vznikají při ochlazování taveniny. Pokud vzduch není z dutiny odstraněn, dojde k jeho adiabatickému stlačení a prudkému nárůstu teploty. Zvyšuje se tím riziko spálení povrchu výrobku, kdy se na tomto povrchu objevují tmavé skvrny. Navíc zde dochází ke značnému tepelnému a tlakovému působení na formu, což se negativně projeví jak na formě, tak na kvalitě výsledných výstřiků. Část vzduchu z dutiny formy může uniknout díky netěsnostem v dělicí rovině, vůlí mezi tvarovými částmi a vyhazovači atd. Pokud se tento způsob odvzdušnění ukáže jako nedostačující, musí být ve formě vyrobeny odvzdušňovací kanálky, či použit jiný speciální odvzdušňovací systém. [10,18]



Obr. 22 Odvzdušňovací systém ECOVENT [30]

Obdélníkový odvzdušňovací kanál je nejčastěji používaný způsob odvodu vzduchu. Ten musí být navržen tak, aby zajistil odvod plynu z formy, ale zároveň nesmí docházet k zatékání plastu dovnitř kanálu. Hloubka kanálu se pohybuje mezi 0,005 – 0,05 mm a šířka podle požadavků na odvzdušnění. Značný vliv má také materiál použitý při vstřikování. [10,18]

4.6 Materiály forem

Materiál formy je jedním z významných faktorů, kterým lze ovlivnit kvalitu výsledného výstřiku. Materiál se volí dle procesních podmínek, které závisí zejména na:

- druhu vstřikovaného materiálu,
- přesnost vstřikovaného výrobku,
- podmínkách vstřikování,
- vstřikovacím stroji.

Materiál tedy musí být dostatečně kvalitní, aby umožnil výrobu s požadovanou přesností a forma měla co nejvyšší životnost, ale musí být taktéž ekonomicky výhodný. Používají se zejména a materiály:

- oceli vhodných jakostí,
- neželezné slitiny kovů (Cu, Al),
- ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé atd.).

Oceli jsou stále nejpoužívanějším materiálem pro výrobu forem. Části, které jsou v přímém kontaktu s taveninou je potřeba dále tepelně upravit. Dále se používá řada dalších materiálů pro výrobu komponentů, zabraňujícím prostupu tepla, tzv. izolačních desek. Při výběru materiálu je vždy nutno uvažovat funkci součásti ve formě a její požadovanou životnost.

Základní požadavky na materiál jsou:

- dostatečná mechanická pevnost,
- dobrá obrobitelnost, leštitelnost,
- odolnost proti korozi a chemickému vlivu plastů,
- dobrá kalitelnost a prokalitelnost,
- stálost rozměrů a minimální deformace při kalení. [10,18]

4.6.1 Používané druhy ocelí

Současný vývoj směřuje k využití univerzálních druhů ocelí, které mají velkou škálu vlastností a splňují většinu podmínek výroby na nástrojový materiál. Pro výrobu forem se používají oceli z následujících skupin:

- konstrukční oceli přírodní i zušlechtěné,
- oceli k snadnému opracování a tváření, pro cementování a zušlechtování,
- oceli uhlíkové k zušlechtování,
- oceli nástrojové legované se sníženou i velkou prokalitelností a odolností proti otěru,
- oceli k nitridování,
- oceli antikorozi. [18]

5 VADY VÝROBKŮ VYROBENÝCH VSTŘIKOVÁNÍM

Vstřikování je poměrně složitý proces, ovlivněný řadou činitelů. Z tohoto důvodu mohou na výrobcích i přes veškerou snahu vznikat různé vady. Za vadu výrobku lze považovat každou odchylku, kterou se daný díl liší od požadovaného. Ten je určen referenčním vzorkem, výkresem či schválenými přejímacími podmínkami. Důsledkem vad může být snížení optických či mechanických vlastností, v nejhorším případě až ztráta funkčnosti vstřikované součásti. [4,10]

5.1 Nedotečení taveniny

Příčinou této vady je především příliš malá rychlost vstřikování. Vlivem toho může dojít k zatuhnutí taveniny ještě před vyplněním celého objemu dutiny vstřikovací formy. [10]

5.2 Přetok taveniny

Přetok vzniká z důvodu nesprávně zvolených procesních podmínek, např. vysoká teplota materiálu při zpracování, vysoký tlak při vstřikování, příliš nízká uzavírací síla nebo znečištění či opotřebení povrchu dělicí roviny. [4]



Obr. 23 Ukázka přetoku na výstřiku [4]

5.3 Vzduchové bubliny ve výrobku

Tento druh vad vzniká nejčastěji kvůli příliš nízkému vstřikovacímu tlaku, příliš nízké teplotě formy, či přechodem mezi silnou a slabou stěnou výrobku. Vzduchové bubliny vznikají také pokud jsou při vstřikování zachyceny těkavé složky. [10]



Obr. 24 Bubliny u výstřiku z transparentního polymeru [21]

5.4 Stříbrné pruhy na výrobku

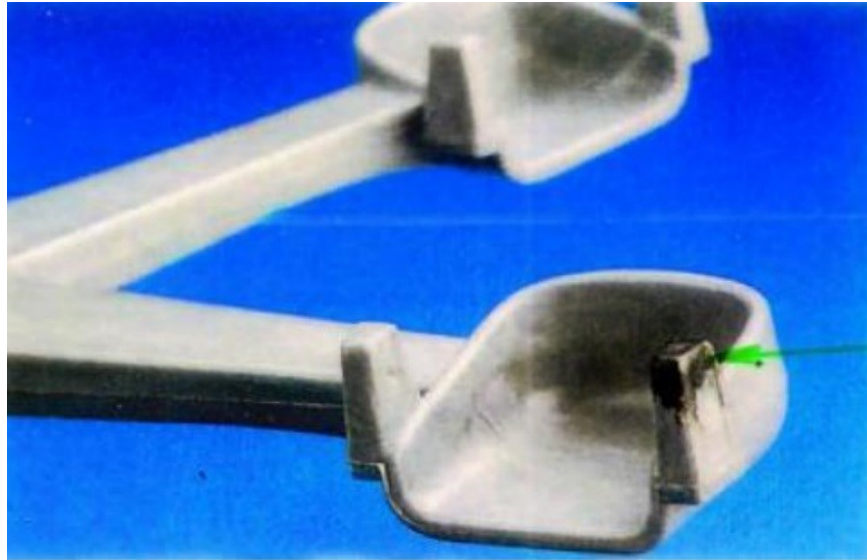
Jedná se o charakteristickou vadu, vzniklou zejména vysokou teplotou vstříkované taveniny, špatně vysušeného materiálu či nadměrným třením (v nejužším místě formy, většinou u vtokového ústí). [4]



Obr. 25 Stříbrné pruhy na výrobku [19]

5.5 Spálená místa na výrobku

Spálená místa na výrobku vznikají příliš vysokou teplotou taveniny, degradací polymeru vlivem vysokého smykového napětí, či nedostatečným odvzdušněním (tzv. Dieselův efekt). [4]



Obr. 26 Dieselův efekt [13]

5.6 Studené spoje

Studený spoj vzniká v dutině formy v místě setkání dvou či více proudů taveniny, které se kvůli překážce v toku musely rozdělit a poté zase spojit. Studené spoje vznikají také při plnění tvarové dutiny více vtoky.

Studené spoje u velkých výrobků (například nárazníky automobilů) lze odstranit využitím kaskádového vstřikování. Tento způsob je ale velmi nákladný, proto se nehodí pro výrobky menších rozměrů. U těch je možné odstranit studené spoje vytvořením pomocné dutiny v místě předpokládaného styku proudů taveniny, do níž přes falešné ústí vtoku proudy vtečou a na výstřiku se studený spoj nevytvoří. [8]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro diplomovou práci byly stanoveny tyto cíle:

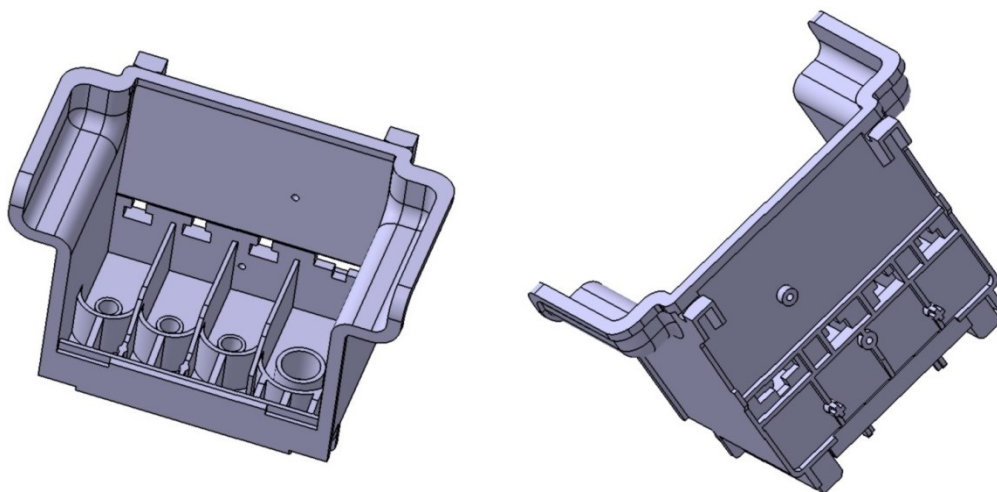
- vypracovat literární studii na dané téma,
- provést konstrukci zadaného technického plastového dílu,
- navrhnout 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu,
- ověřit návrh pomocí analýz,
- nakreslit 2D výkresy sestavy a příslušných řezů.

Teoretická část je zaměřena na zpracování literární studie. Ta se věnuje materiálům vhodným pro vstřikování, jejich přípravou a základním vlastnostem. V další kapitole se zabývá průběhem vstřikovacího cyklu a popisem základních částí vstřikovacího stroje. Poslední oddíl teoretické části se věnují zásadám konstrukce vstřikovací formy, vstřikovaného výrobku a vadám, které mohou vzniknout během vstřikovacího procesu.

V praktické části byl zhotoven 3D model zadaného elektrotechnického dílu a navržen 3D model vstřikovací formy pro jeho výrobu. Dále byl vytvořen 2D výkres sestavy formy s řezem, opozicováním a příslušným kusovníkem. Návrh formy byl nakonec ověřen simulací. Modelování probíhalo v programu CATIA V5 za využití normálií od firmy HASCO. Simulace a analýza toku byla provedena v programu Autodesk Moldflow Insight.

7 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstříkovaným výrobkem je tisková hlava multifunkčního zařízení od společnosti Hewlett-Packard. Tato slouží k upevnění výměnných kazet s barvou a základní distribuci barvy při tisku. Jedná se o skořepinový výrobek, jehož základní rozměry jsou 85 x 60 x 50 mm. Hmotnost výrobku je 25 g a jeho objem činí 31,3 cm³.



Obr. 27 3D model zadaného výrobku

7.1 Materiál výrobku

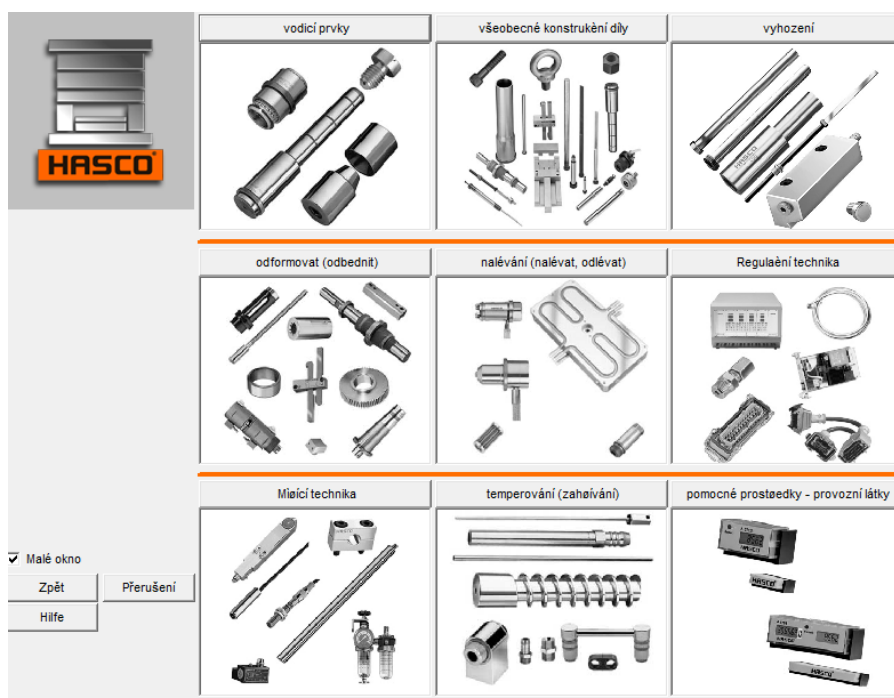
Pro výrobu dílu byl zvolen polypropylen, konkrétně PPCompound 5020 od firmy SABIC Innovative Plastics. Důvodem ke zvolení tohoto komoditního polymeru je jeho nízká finanční náročnost a dobrá zpracovatelnost. Výrobek pro svou funkci nepotřebuje další zvláštní vlastnosti, kterými by zvolený materiál nedisponoval. Výčet základních parametrů zvoleného materiálu je znázorněn v tabulce 2.

Tabulka 2 Výběr z vlastností materiálu PPCompound 5020 [36,37]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Hustota (v pevném stavu)	0,91	g/cm ³
Teplota tání	215	°C
Doporučená teplota taveniny	200 - 240	°C
Doporučená vyhazovací teplota	122	°C
Smrštění	1,6	%
Teplota formy	25 - 60	°C
Max. smykové napětí	0,25	MPa
Max. rychlost smyk. deformace	100000	1/s

8 KONSTRUKCE FORMY

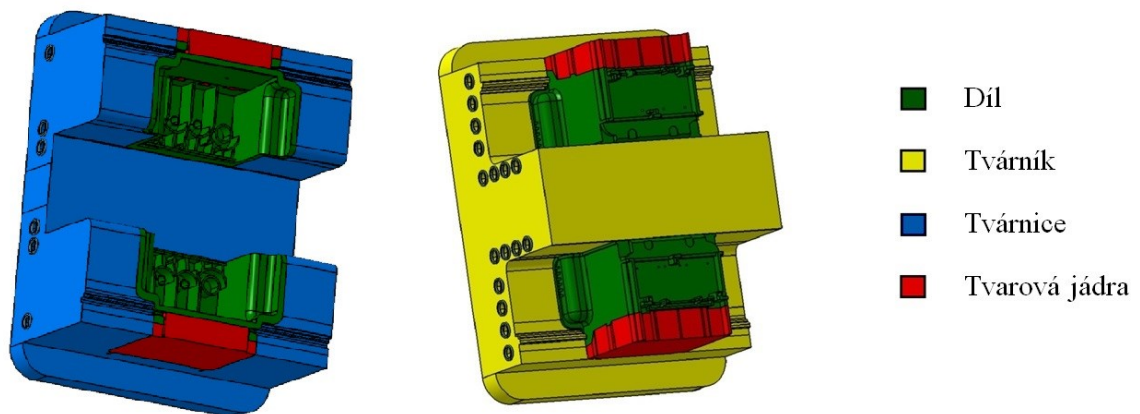
Konstrukci formy je vhodné volit co nejjednodušší a zároveň je dobré ve velké míře využívat normalizovaných součástí. Tyto díly jsou produkovány společnostmi jako např. Hasco, Meusburger, či D-M-E a s jejich využitím lze značně snížit jak cenu dílčích součástí formy, tak čas návrhu, výroby a sestavení formy samotné. Pro zjednodušení byly při návrhu formy voleny normalizované díly od firmy Hasco. Tato firma disponuje modulem Hasco DAKO, kde jsou veškeré vyráběné součásti zobrazeny katalogově s možností exportu 3D dílu do software pro konstrukci formy.



Obr. 28 Katalog Hasco DAKO

8.1 Zaformování výrobku

Zaformování výrobku proběhlo s ohledem na jednoduchost a ekonomičnost výroby. Díky správnému umístění hlavní dělicí roviny mohla být zvolena pouze jedna dělicí rovina vedlejší. Poloha těchto byla určena dle základních zásad konstrukce vstřikovacích forem (Beaumont, Nagel a Sherman, 2002), zejména byly brány v potaz hlediska snadného odformování a následného vyhození výstříku.



Obr. 29 Schéma zaformování výrobku

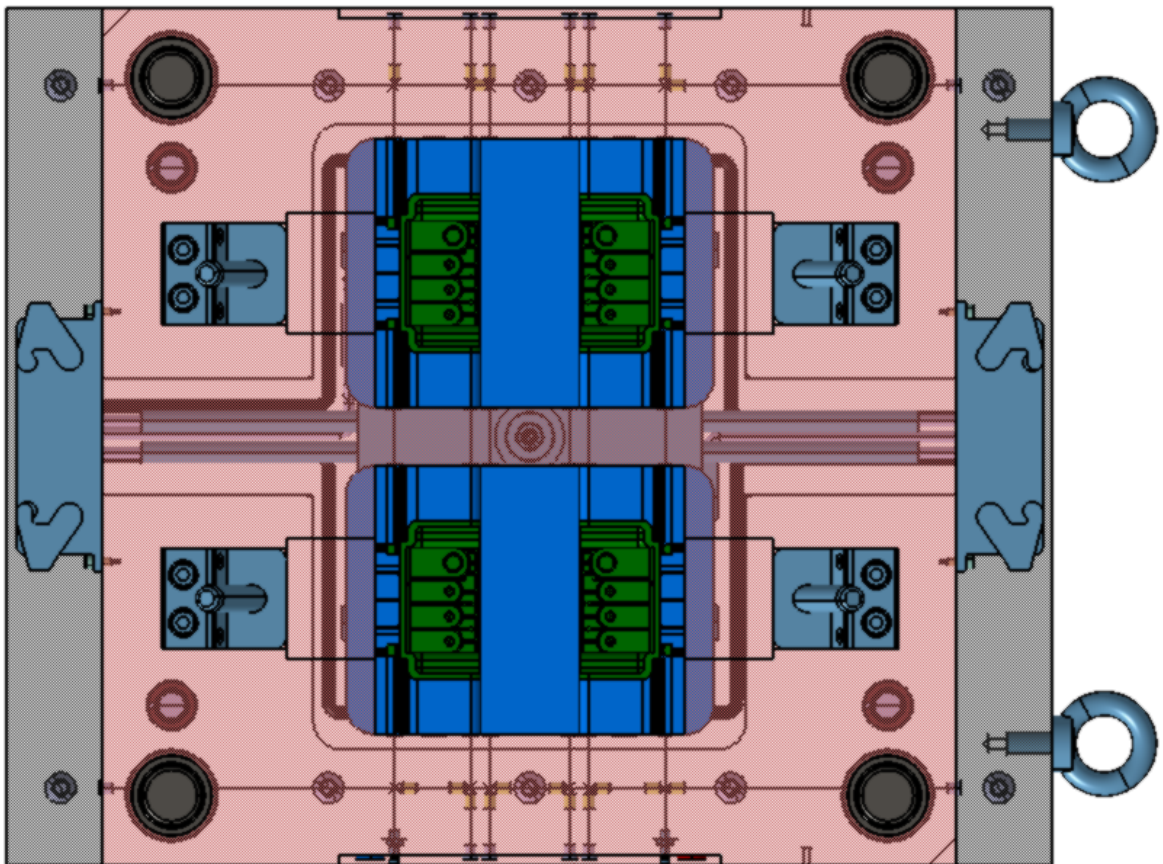
8.2 Násobnost formy

Při volbě násobnosti vstřikovací formy je nutné vzít v úvahu mnoho faktorů, zejména:

- ekonomickou náročnost výroby,
- požadovanou přesnost výrobku,
- velikost výrobní série a čas dodání,
- parametry vstřikovacího stroje (uzavírací síla, vstřikovací tlak, plastikační výkon apod.).

Zvolený výrobek je při provozu umístěn pod krytem tiskárny čili nemá žádné zvláštní požadavky na vzhled. Pro větší produktivitu lze tedy zvolit vyšší násobnost formy.

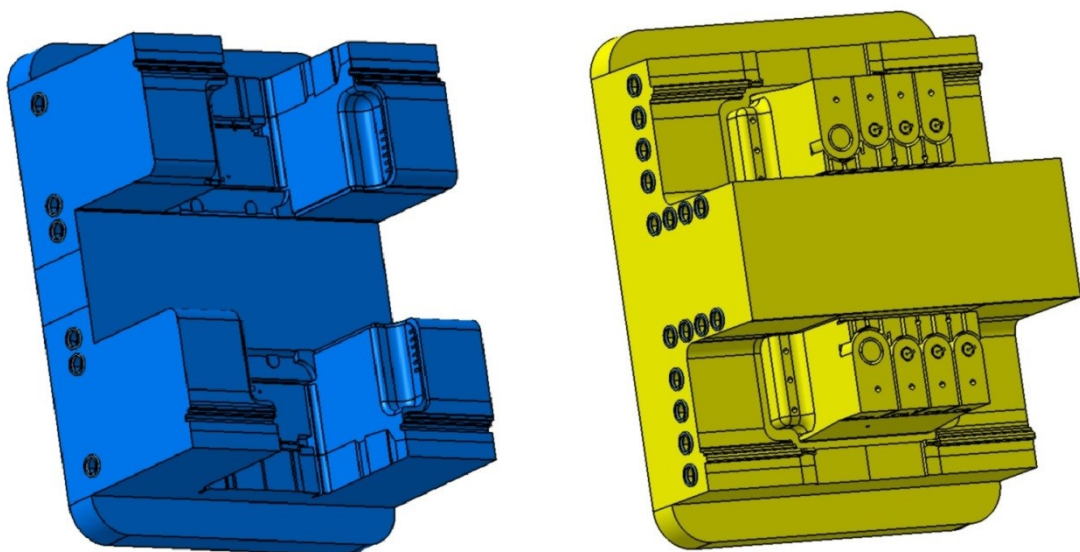
Z hlediska výše uvedených skutečností je forma koncipována jako čtyřnásobná, tzn. v rámci jednoho pracovního cyklu lze získat 4 výrobky.



Obr. 30 Rozložení dutin ve formě

8.3 Hlavní tvarové části formy

Jedná se o tvárník a tvárnici, negativy vyráběného dílce. Z důvodu smrštění materiálu v průběhu vstřikovacího procesu je dutina formy, kterou tyto části tvoří zvětšena o 1,7 %.



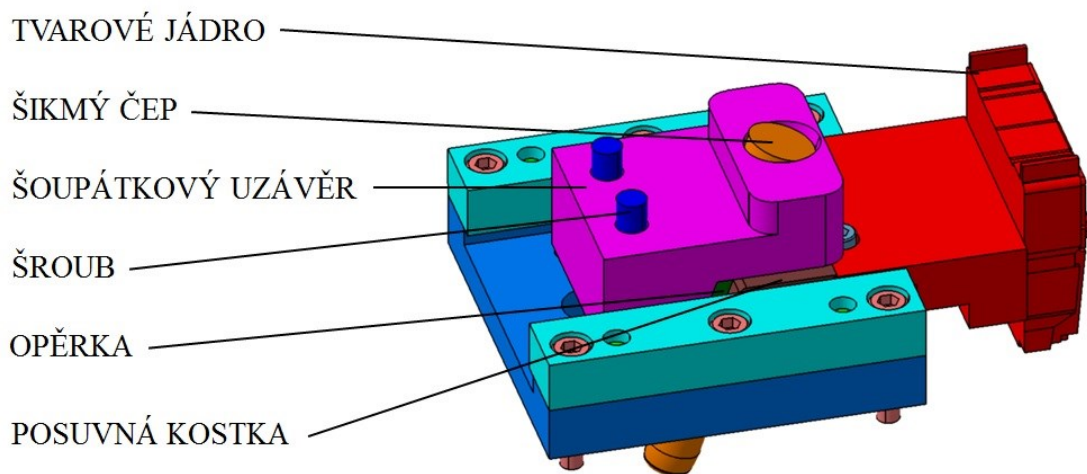
Obr. 31 Modely tvárníku (vpravo) a tvárnice (vlevo)

Tvárníkem a tvárnici prochází temperační systém, proto jsou v těchto částech vyvrtány otvory o průměru 6 mm. Aby nedocházelo k úniku chladicího média v přechodu mezi upínacími deskami a tvarovými částmi, jsou tyto přechody opatřeny těsnícími o-kroužky Z98.

Z důvodu usnadnění manipulace, cenových nákladů či případných oprav nejsou tvárník a tvárnice součástí desky formy. V ní jsou pro tyto části vyfrézované otvory, které zajistí vhodné uložení. Tvárník i tvárnice jsou během vstřikování vystaveny značnému mechanickému i tepelnému namáhání a kvůli tomu musí být vyrobeny z kvalitní nástrojové oceli 1.2343 a dále tepelně zpracovány cementováním a následným kalením na 55 HRC.

8.4 Posuvné čelisti

Zadní stěna výrobku je odformována za pomoci posuvné tvarové čelisti. Jelikož hmotnost tvarového jádra není nikterak velká, byl zvolen mechanický způsob jejího ovládání. Probíhá za pomoci čepu, uloženého v šoupátkovém uzávěru Z1840 pod úhlem 18°.



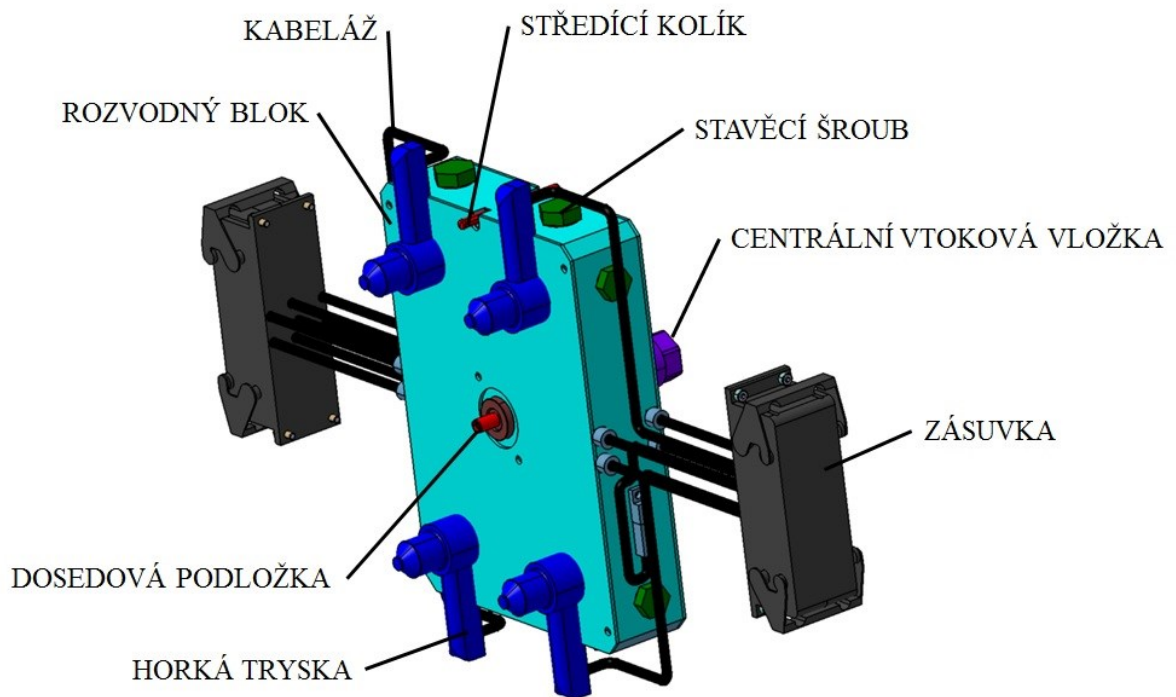
Obr. 32 Popis posuvné čelisti

Pro zjednodušení montáže je využit normalizovaný modulární systém Hasco Z1880. Při plném otevření formy dochází k vyjetí čelisti z čepu. K zajištění jeho koncové polohy jsou využity pružící přitlačné kusy s plochou hlavou Z374.

8.5 Vtokový systém

Vtokový systém slouží k dopravě taveniny z trysky vstřikovacího stroje k dutině formy a také k jejímu rovnoměrnému zaplnění. Vedoucím práce byl zadán vyhřívaný vtokový systém, jehož výhodou je zamezení tvorby vtokových zbytků, což snižuje jak spotřebu

polymeru, tak náklady spojené s jejich odstraňováním či recyklací. Tímto výrazně snižuje cenu výrobku při velkosériové výrobě, i navzdory jeho vyšší pořizovací hodnotě. Vtokový systém byl navržen dle zásad konstrukce vstřikovacích forem (Beaumont, 2007, Osswald, 2008).

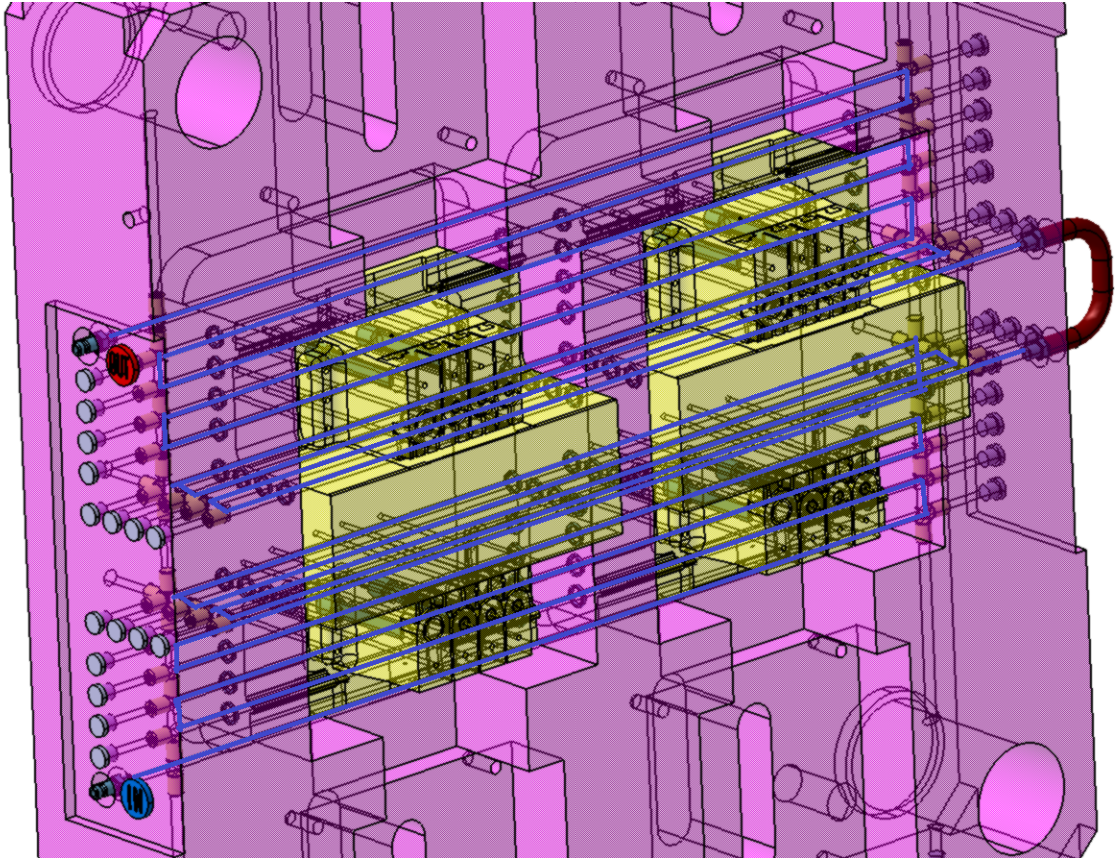


Obr. 33 Vyhřívaný vtokový systém

Vyhřívaný vtokový systém je uložen pomocí vybrání mezi deskou upínací a tvarovou. Celý systém se skládá z vyhřívaného rozvodného bloku, centrální vtokové vložky a čtyř trysek. Na rozvodném bloku jsou distanční kroužky, které jsou jeho součástí, a slouží k zachycení vstřikovacího tlaku, působícího na formu. Vtokový systém dále disponuje kolíky, které zabráňují pootočení v desce. Vyhřívané trysky ústí přímo do tvárnice.

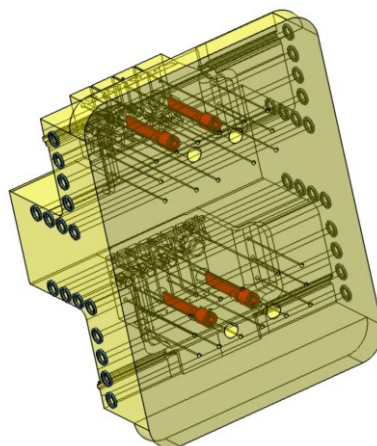
8.6 Temperační systém

Cílem tohoto systému je zajištění rovnoměrného teplotního pole uvnitř formy. Navržený temperační systém se skládá ze 2 samostatných temperačních okruhů, které procházejí jak kotevními deskami, tak hlavními tvarovými částmi formy. Samotný systém tvoří soustava vrtaných kanálů o průměru 6 mm.



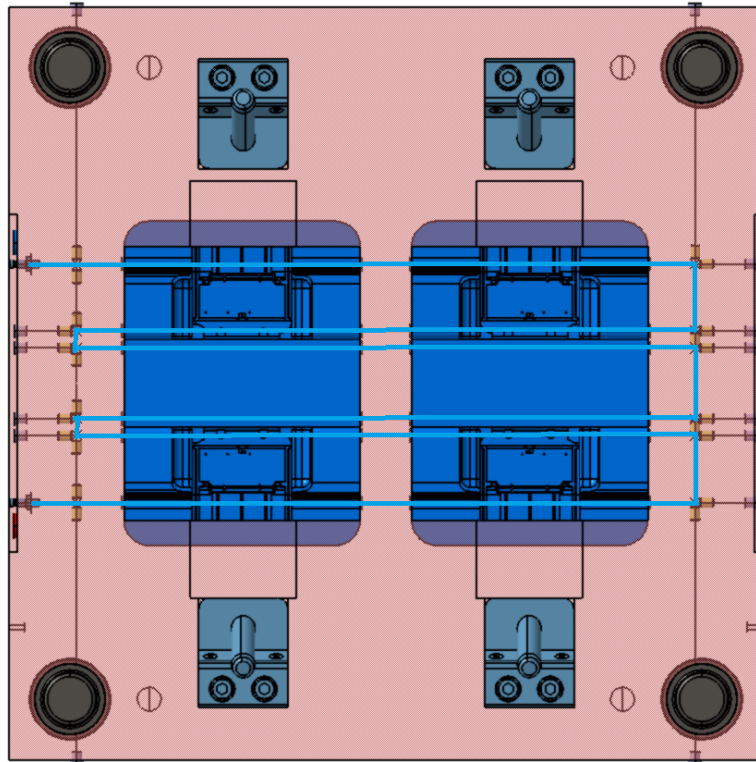
Obr. 34 Temperace levé části vstříkovací formy

Veškeré kanály vedoucí přes přechodové plochy tvarových částí a kotevních desek jsou opatřeny těsnícími kroužky kvůli možnosti úniku temperačního média mimo systém. K zajištění správné trajektorie pohybu temperačního média (znázorněna modrou křivkou na obr. 34 a 36) je využito vnitřních ucpávek Z942. Do zaslepených částí kanálu se při výrobním cyklu mohou dostat různé nečistoty a taktéž část temperačního média, která pronikne přes netěsnosti vnitřních ucpávek. Z tohoto důvodu jsou tyto části uzavřeny vnějšími zátkami.



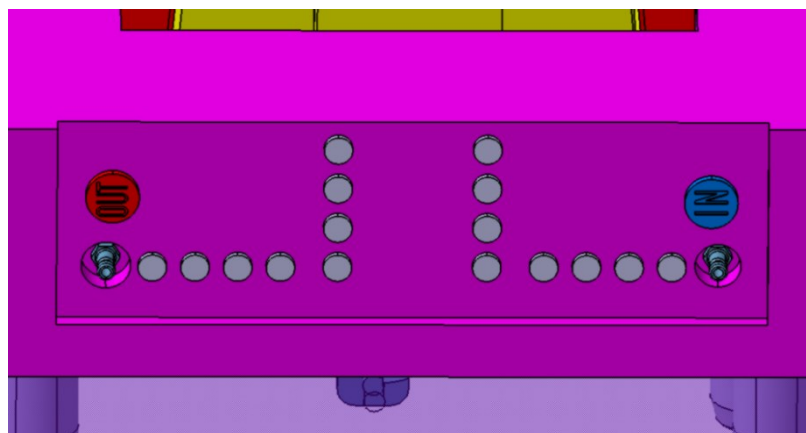
Obr. 35 Umístění obtokových můstků

Temparační okruh levé části formy je dále doplněn čtyřmi obtokovými můstky Z9661 od firmy Hasco v každém tvárníku viz obr. 35. Při využití obtokových můstků se mění dráha proudícího média, která umožní temperačnímu systému lépe kopírovat geometrii dílu. Toto je nutné, jelikož teplotu vnitřní části dílu by jiným způsobem nebylo možno efektivně regulovat.



Obr. 36 Temperace pravé části vstříkovací formy

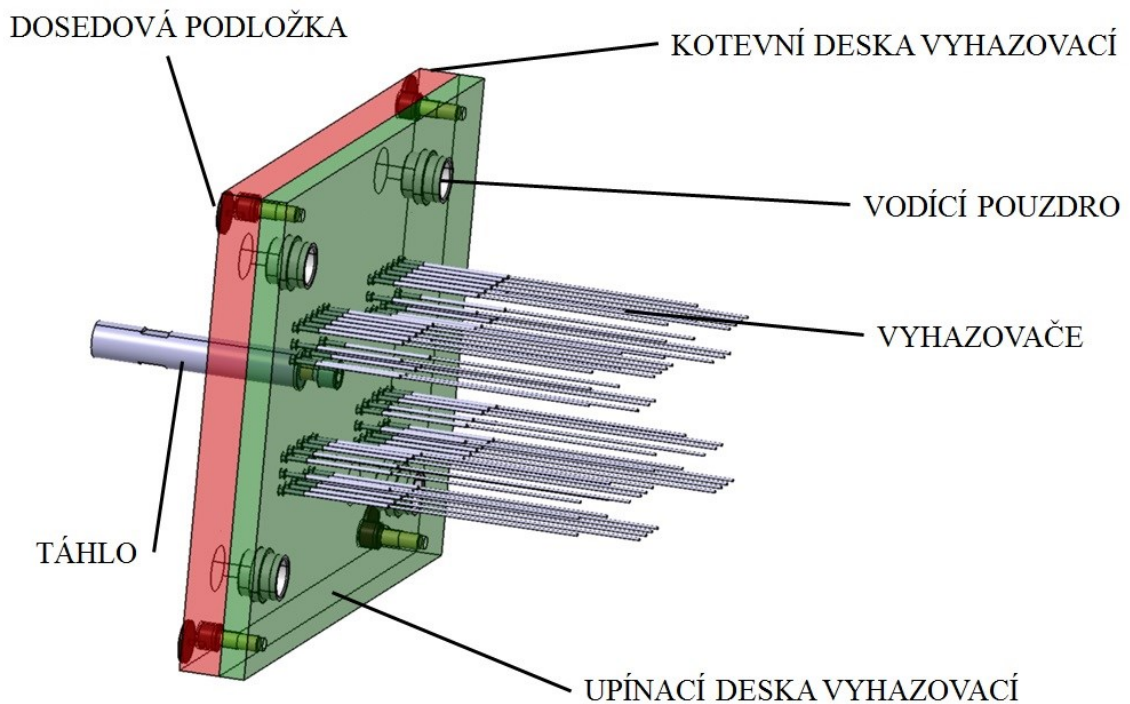
Pro temperaci formy byla z ekologických a ekonomických důvodů použita voda o teplotě 25 °C. Připojení temperační jednotky je realizováno pomocí rychlospojek Z81, které jsou zapuštěny do kotevní desky z důvodu eliminace možnosti jejich deformace při manipulaci.



Obr. 37 Rychlospojky s označením temperačních kanálů

8.7 Vyhazovací systém

Vyhození výrobků je realizováno prostřednictvím 52 ks válcových vyhazovačů o průměru 2 mm. Vyhazovače jsou voleny ve formě polotovaru Z44 o délce 200 mm z katalogu normálií Hasco a následně upraveny na požadovanou délku a tvar. Pohyb vyhazovacího systému je zajištěn táhlem a vodícími členy. Kotevní vyhazovací deska je dále opatřena dosedovými podložkami Z55 rovněž od firmy Hasco. Tyto zamezují deformacím levé upínací desky a vyhazovací desky kotevní při procesu vyhození výrobků.



Obr. 38 Vyhazovací systém

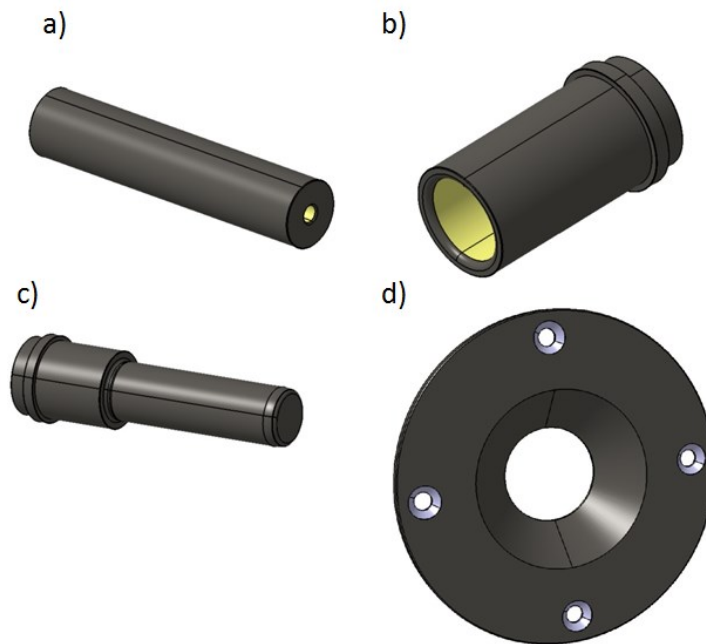
8.8 Odvzdušnění

Dutina formy je při vstřikování naplněna vzduchem, který je potřeba z ní odvést. Nedostatečným odvzdušněním se zvyšuje riziko výskytu vad na výrobcích, jako jsou například spálená místa či nedotečení materiálu.

V tomto návrhu je základním předpokladem úniku vzduchu z dutiny formy vůle mezi tvárníkem a vyhazovacími kolíky, dále pak netěsnosti dosedacích ploch tvárníku a tvárnice, nebo také vůle mezi posuvnými tvarovými čelistmi. Pokud by se tento návrh ukázal jako nedostatečný, bude zapotřebí vytvořit v místě uzavírání vzduchu odvzdušňovací kanálky, či použít jiný způsob odvzdušnění.

8.9 Vodící, středící a upínací části formy

Všechny desky vstříkovací formy jsou vystředěny pomocí vodících pouzder, čepů a středících trubek. Jednotlivé strany formy jsou spojeny pomocí šroubů. K přesnému usazení formy do vstříkovacího stroje slouží středící kroužky Z7510 a Z7520 o průměru 125 mm, umístěné na obou stranách formy.

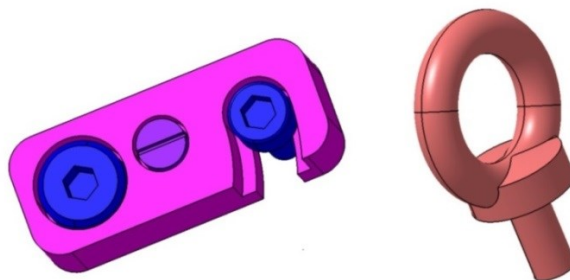


Obr. 39 Vodící, středící a upínací části formy

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

8.10 Manipulace s formou

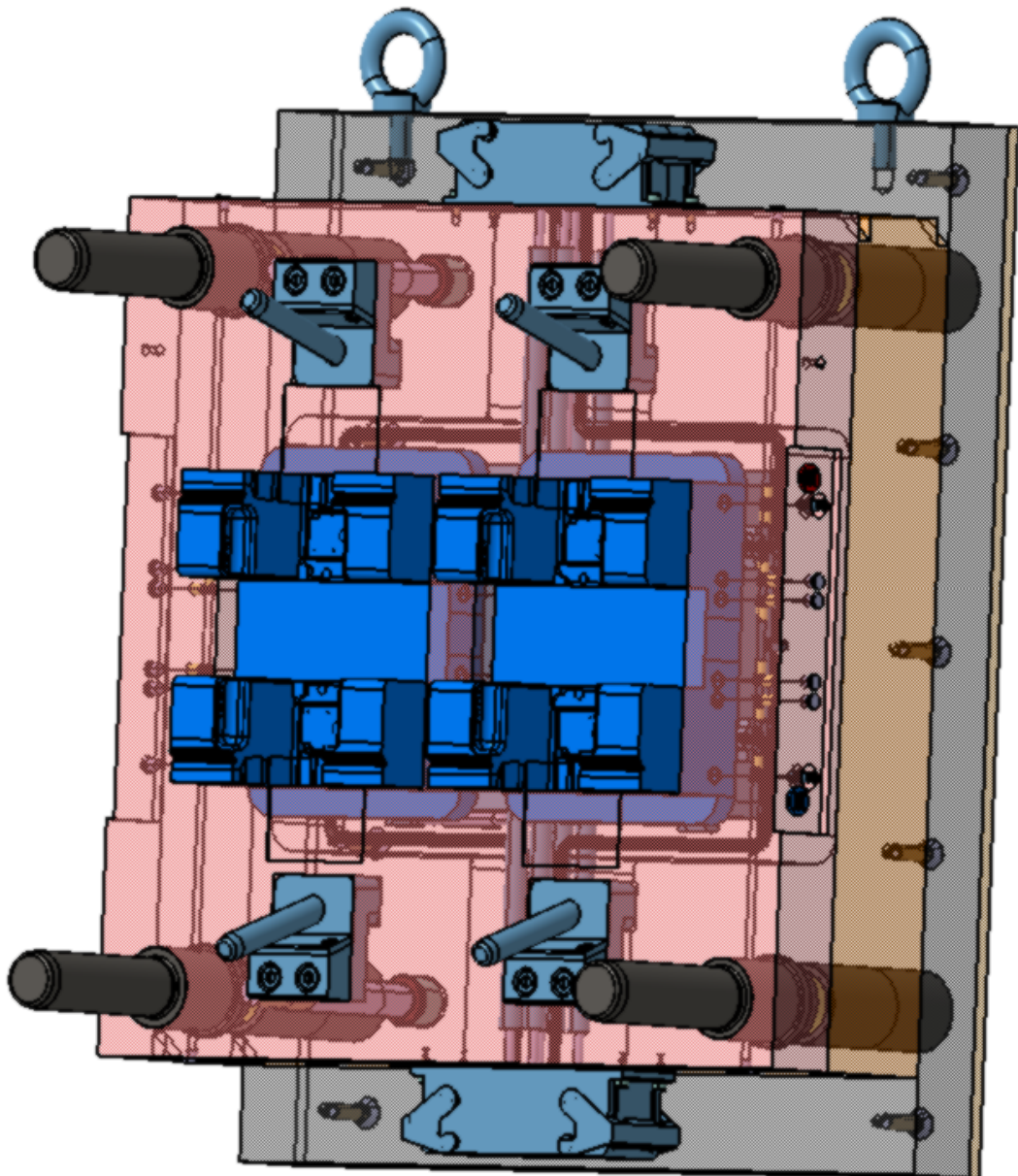
Pro účely manipulace je forma opatřena čtyřmi závěsnými šrouby s okem s označením Z71. Tyto jsou umístěny v upínacích deskách. Hlavní dělicí rovina i vyhazovací systém jsou vybaveny zámkami Z73, které brání jejich samovolnému otevření při manipulaci.



Obr. 40 Manipulační a pojistné prvky

8.11 Rám formy

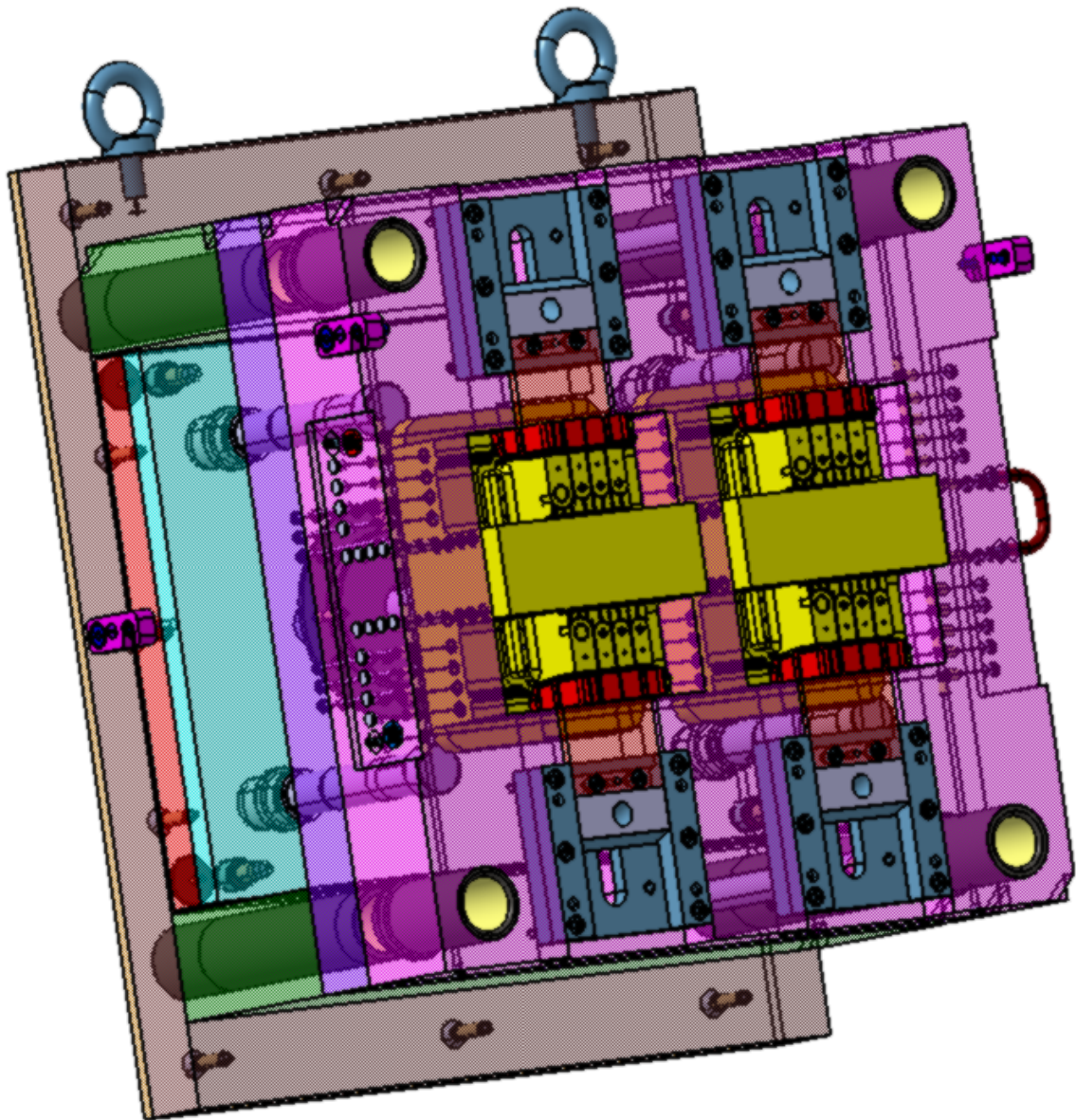
Rám celé vstřikovací formy se skládá ze 3 základních částí. Pravou (vstřikovací) stranu tvoří izolační, upínací a rozpěrná deska horkého vtoku, kotevní deska tvárnice, dále vodící prvky, tvárnice, středící kroužek, horký vtokový systém, temperační systém a zásuvky.



Obr. 41 Pohled do pravé části vstřikovací formy

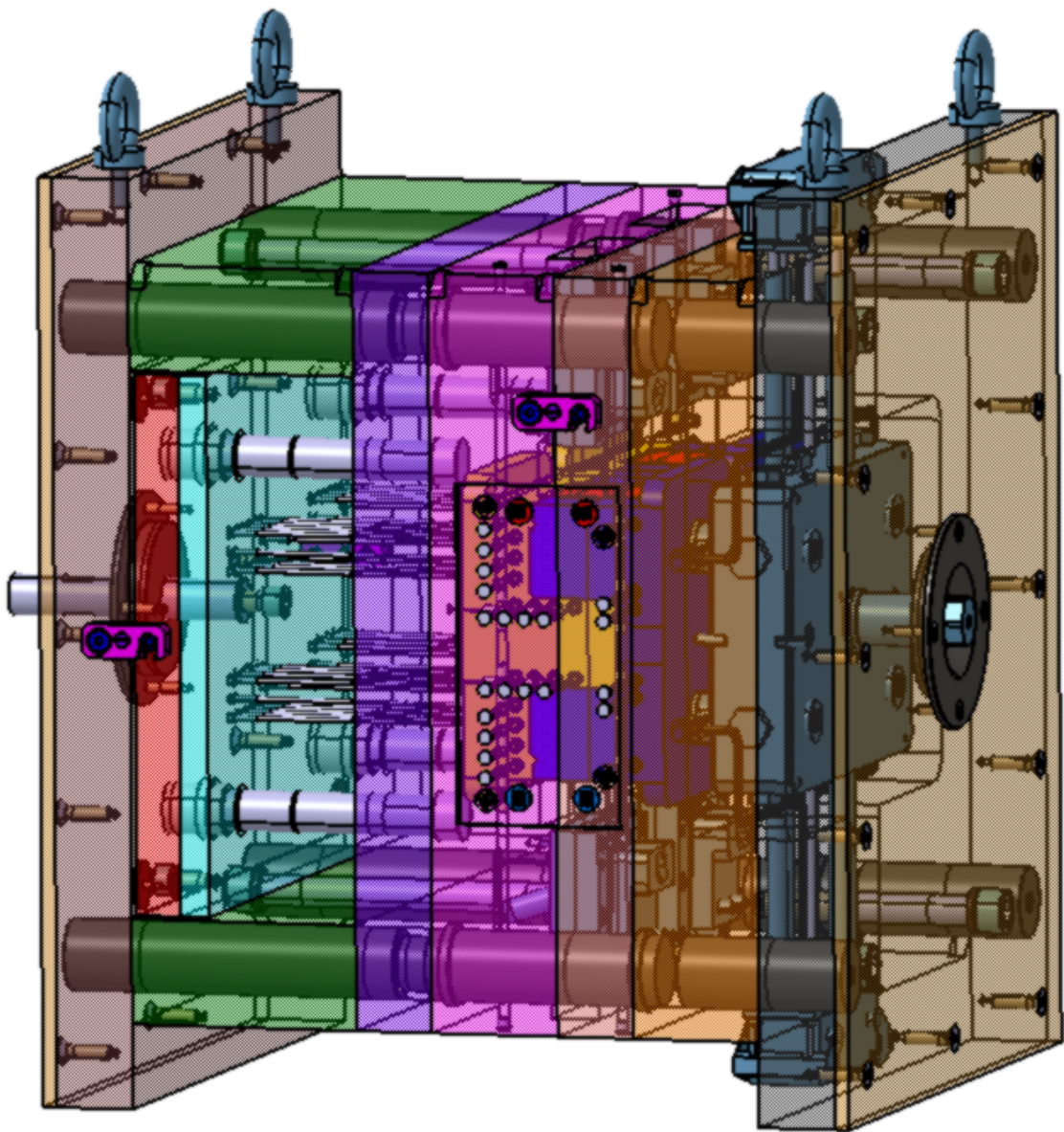
Další částí je levá (vyhazovací). Zde se nachází taktéž izolační a upínací desky, dále pak kotevní deska tvárníku, opěrná a rozpěrná deska. V těchto je uložen tvárník, část posuvných čelistí, temperační systém a taktéž vodící součásti.

K vyhození výrobku slouží poté třetí část – vyhazovací systém. Tento sestává z kotevní a opěrné vyhazovací desky, vyhazovacích kolíků a táhla, které tento systém ovládá.



Obr. 42 Pohled do levé části vstřikovací formy

Izolační desky jsou vyrobeny ze syntetické pryskyřice, ostatní desky z oceli 1.0060. Při volbě rozměrů jednotlivých desek byl brán ohled zejména na velikost výrobku, jeho snadné odformování a násobnost vstřikovací formy. Celkové rozměry formy jsou tak 446 x 546 x 489 mm.



Obr. 43 Pohled na kompletní sestavu vstřikovací formy

8.12 Volba stroje

Pro výrobu zadaného dílu byl na základě prvotní analýzy vstřikovacího procesu zvolen horizontální vstřikovací stroj od firmy ARBURG s typovým označením ALLROUNDER 570 C, který disponuje uzavírací silou 2000 kN, maximálním vstřikovacím tlakem 247 MPa a vzdáleností mezi vodícími sloupky 570 x 570 mm. Všechny tyto parametry jsou pro funkci formy a zdárný průběh vstřikovacího cyklu plně dostačující.



Obr. 44 Vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 570C [38]

Tabulka 3 Vybrané vlastnosti vstřikovacího stroje [38]

Parametr	Forma	Vstřikovací stroj	Jednotka
Uzavírací síla	343	max. 2000	kN
Délka otevření	150	max. 650	mm
Velikost upínací desky	546 x 446	795 x 795	mm
Vzdálenost vodících sloupků	546 x 446	570 x 570	mm
Výška formy	489	min. 300	mm
Průměr šneku	-	45	mm
Délka šneku	-	22	L/D
Objem vstřikované dávky	125	max. 318	cm ³
Maximální vstřikovací tlak	36	247	MPa
Plastikační výkon stroje (PS)	8,82	46	kg/hod
Průměr středícího kroužku	125	125	mm

8.12.1 Plastikační výkon stroje

$$P_V = \frac{3600 \cdot m_D}{t_c} = \frac{3600 \cdot 0,098}{40} = 8,82 \text{ kg/hod} \quad (3)$$

kde: P_V – plastikační výkon stroje [kg/hod]

t_c – čas cyklu [s]

m_D – hmotnost jedné dávky [kg]

9 ANALÝZA PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ

V této kapitole je za pomoci software Autodesk Moldflow Insight provedena analýza vstřikovacího procesu v navržené formě. Účelem této části práce je ověření funkčnosti návrhu. Díky analýzám je také možno dopředu posoudit, zda výrobní cyklus proběhne bez problémů a vad na výsledném výrobku.

Nejdříve byl model výrobku dle zásad práce se simulačním software (Kennedy a Zheng, 2013) zjednodušen tak, aby se nevyskytovaly velké tečné přechody, malé plochy a výstupky na výrobku.

Poté bylo provedeno vysítování modelu a vyhodnocení vytvořené sítě. Kvalita sítě má totiž značný vliv na přesnost a délku trvání analýzy. Hlavním údajem je zde Aspect Ratio (poměr stran trojúhelníku v síti). To by nemělo překročit hodnotu 15, což daná síť splňuje. Dalšími ukazateli jsou Match percentage a Reciprocal percentage, které reprezentují kvalitu sítě. Pro správně provedenou analýzu by se tyto hodnoty měly pohybovat nad 85%, což je i zde splněno.

Aspect Ratio:		
Maximum	Average	Minimum
13.17	1.64	1.16
Edge details:		
Free edges		0
Manifold edges		89991
Non-manifold edges		0
Orientation details:		
Elements not oriented		0
Intersection details:		
Element intersections		0
Fully overlapping elements		0
Match percentage:		
Match percentage		93.3%
Reciprocal percentage		93.4%

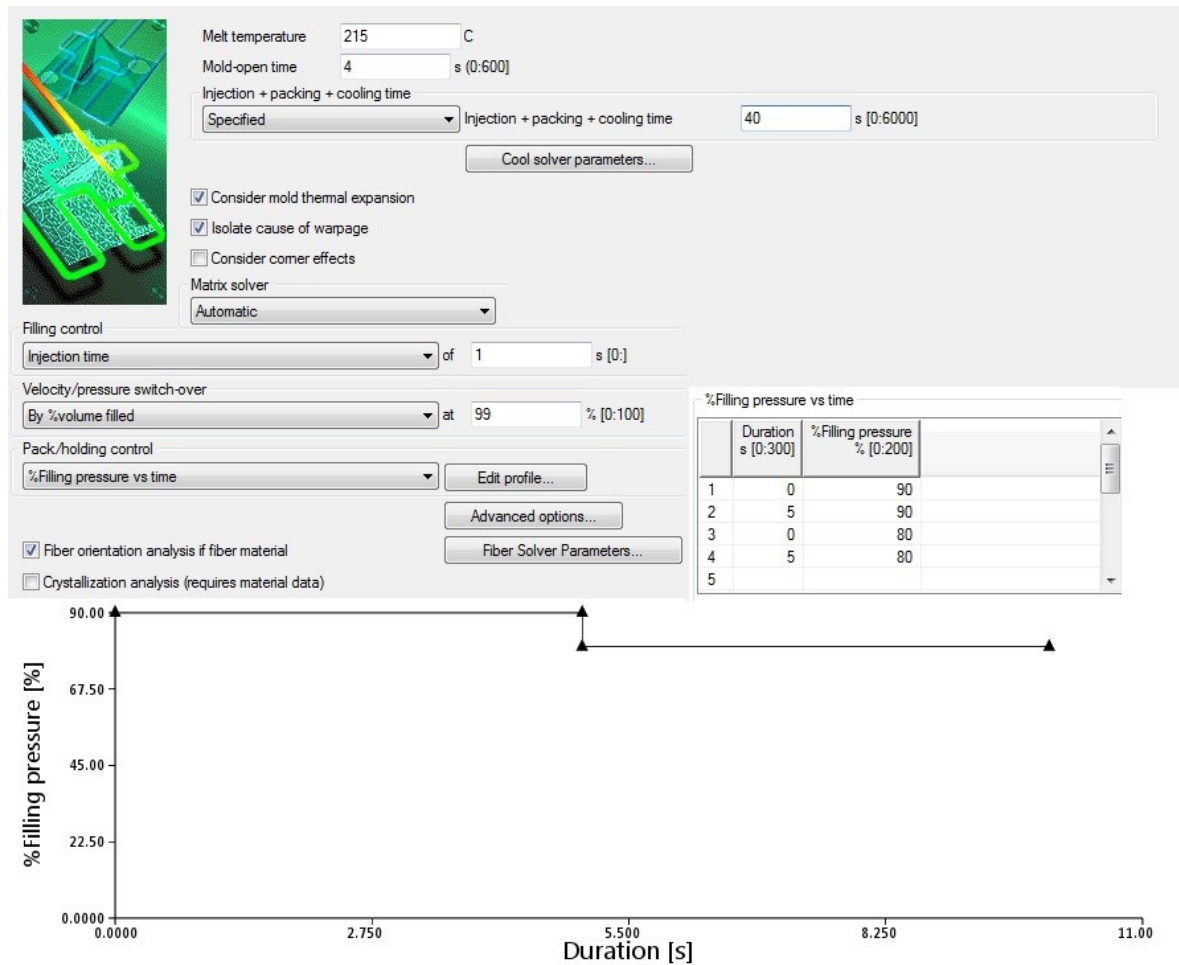


Obr. 45 Vysítovaný model s vlastnostmi sítě

9.1 Procesní podmínky

Vhodné zvolení procesních podmínek má velmi důležitou roli ve vstřikovacím procesu. Lze jimi ovlivnit dobu vstřikování (výrobní náklady), nebo předcházet vadám výrobku

(nedotečená místa, deformace, spálená místa). Pro analýzu konečného návrhu vstřikovací formy byly dle předchozích výsledků stanoveny následující procesní podmínky (obr. 46).



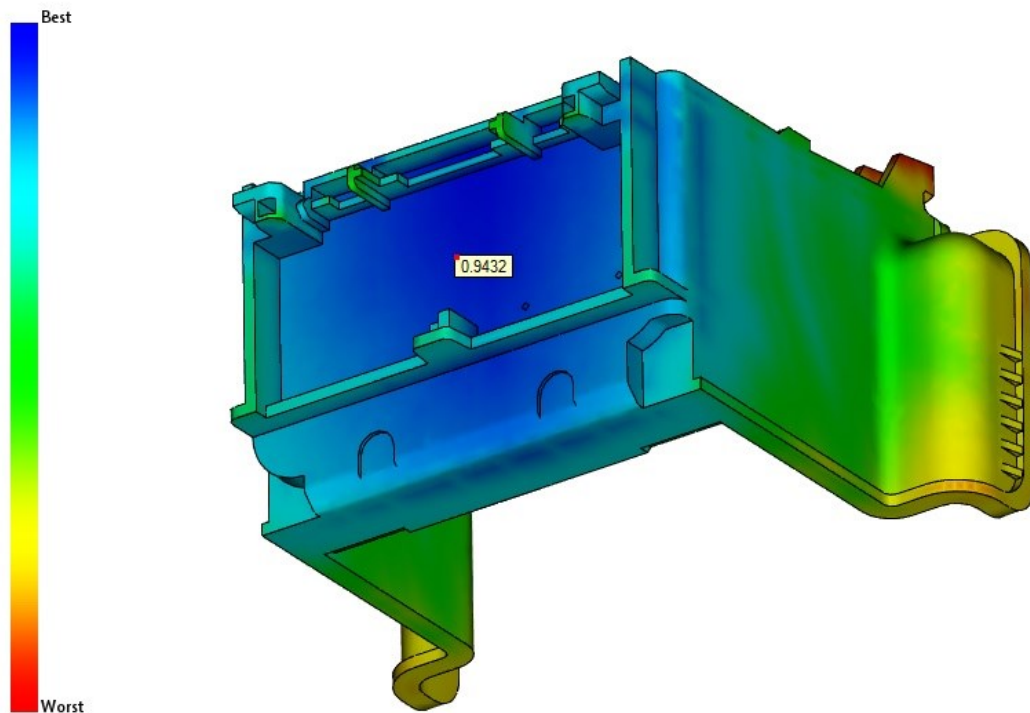
Obr. 46 Procesní podmínky vstřikování

- teplota taveniny: 215 °C,
- teplota temperačního média: 25 °C (voda),
- objemový průtok temperačního média: 5 l/min,
- čas cyklu: 40 s,
- čas vstřikování: 1 s,
- přepnutí na dotlak: při zaplnění 99% dutiny formy,
- průběh dotlaku: viz obr. 46.

9.2 Výsledky analýzy

9.2.1 Analýza vhodnosti umístění vtokového ústí (Gating suitability)

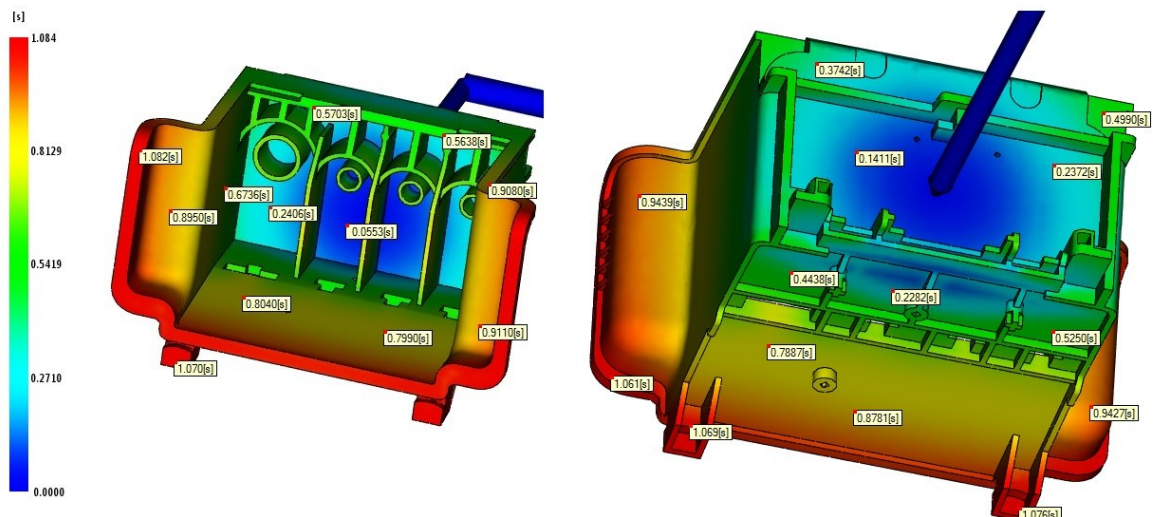
Na obr. 47 je barevně znázorněna vhodnost umístění vtokového ústí z hlediska rovnoměrného zaplnění dutiny formy. Modrá barva představuje nejvhodnější umístění, červená naopak nejméně vhodnou variantu. Zvolená poloha vtokového ústí je dle analýzy vhodná z 94 %. Rozměr vyhřívané trysky společně s koncepcí zaformování neumožňují umístit vtok do vhodnějšího místa.



Obr. 47 Vhodnost umístění vtoku

9.2.2 Čas plnění (Fill time)

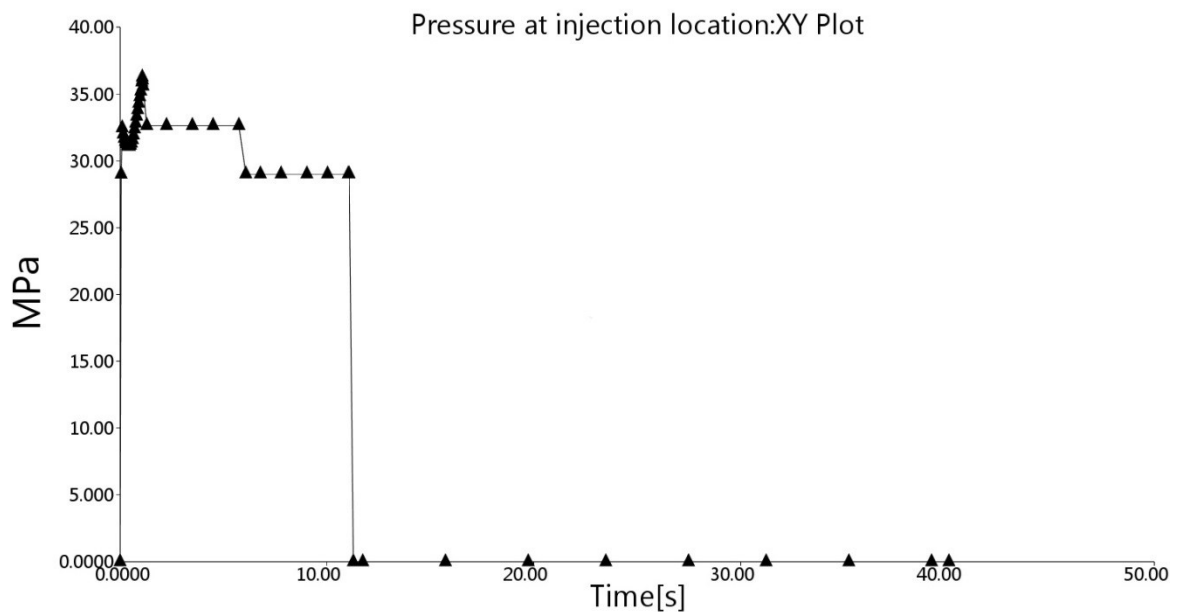
Analýza plnění graficky i numericky vyjadřuje čas, který je potřebný k zaplnění jednotlivých míst dutiny formy. V tomto případě byla forma zcela zaplněna za 1,08 s. Pokud nastane situace, že dutina formy není zcela zaplněna, je potřeba zvětšit průřez vtokového ústí či zvýšit teplotu taveniny nebo teplotu formy. Dalším důležitým ukazatelem je grafické vyjádření na dílčích výrobcích. Toto by mělo být na všech stejné.



Obr. 48 Čas plnění

Z výsledku této analýzy je patrné, že při plnění dutiny formy nedochází k nedotokům vlivem špatného výběru stroje, špatně zvoleného vtokového systému, či špatně nastavených procesních podmínek.

9.2.3 Tlak v průběhu vstřikování (Pressure at injection location: XY Plot)

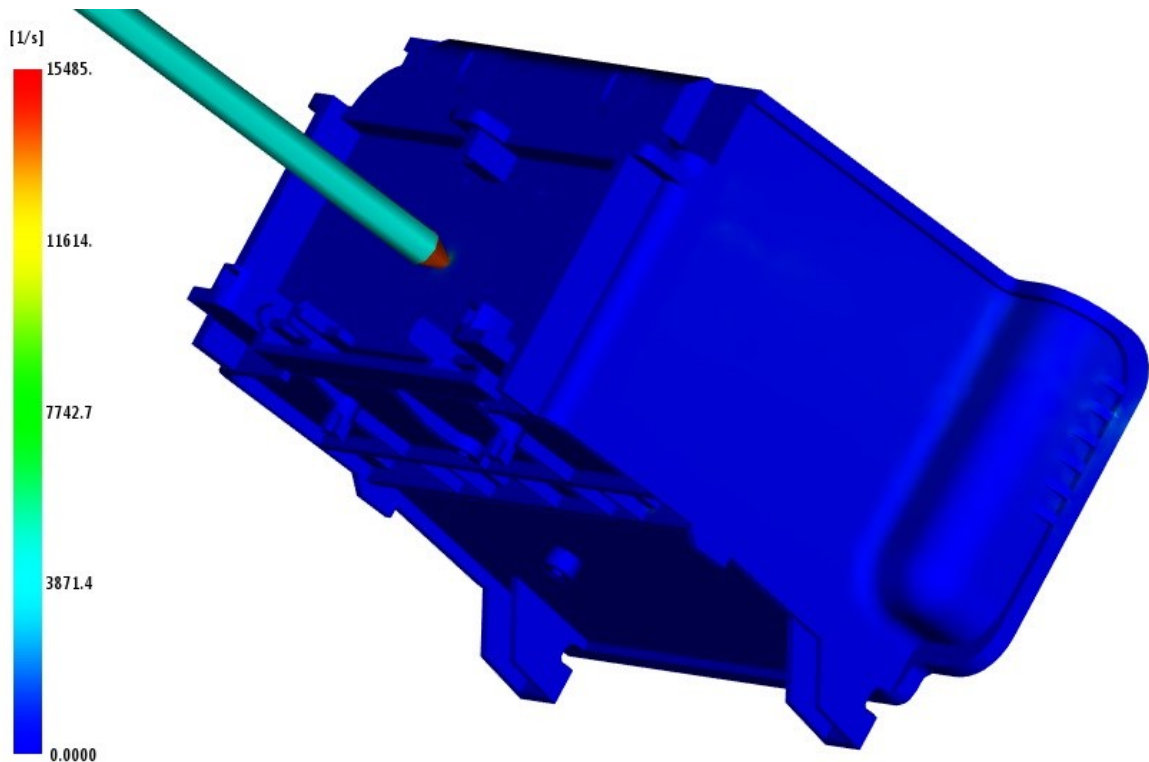


Obr. 49 Tlak v průběhu vstřikovacího cyklu

Na obr. 49 je znázorněn graf závislosti tlaku na čase vstřikovacího cyklu ve vtokovém ústí. Tento od začátku vstřiku roste až po zaplnění dutiny formy z 99 %, kdy je provedeno přepnutí na dotlak a tlak se sníží na 90 % tlaku vstřikovacího, který v tomto případě činí 36,26 MPa. Po 5 s následuje další pokles dotlaku na 80% hodnoty vstřikovacího tlaku. V čase $t = 11$ s tlak klesá na nulovou hodnotu a do konce vstřikovacího cyklu se nemění.

9.2.4 Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk)

Tento výsledek představuje hodnoty rychlosti smykové deformace v jednotlivých místech. Ta je vypočtena derivací rychlosti ve směru toku dle pořadnice na tento směr kolmé. Je důležité, aby maximální hodnota nepřekročila maximální hodnotu z materiálového listu ($100\,000\text{ s}^{-1}$). Z výsledku je patrné, že nejvyšší hodnota zde dosahuje $15\,485\text{ s}^{-1}$.



Obr. 50 Rychlost smykové deformace

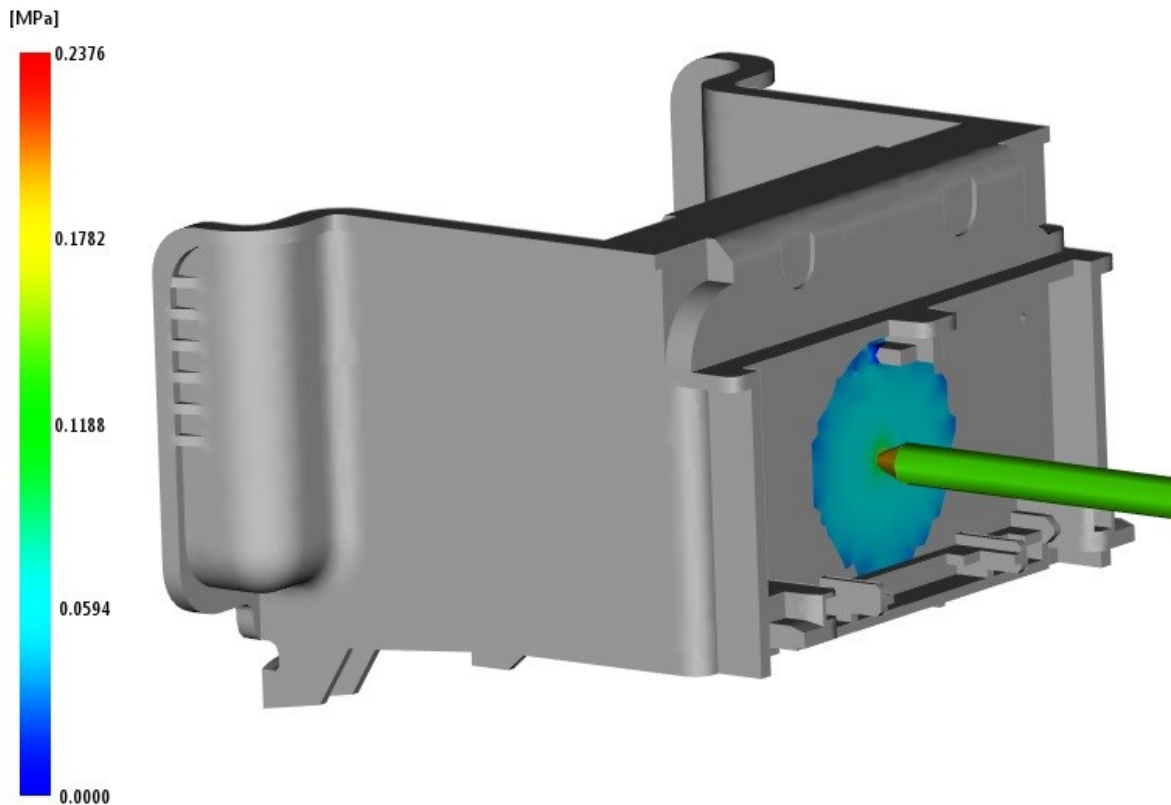
Pokud by tato hodnota byla překročena, mohlo by při vstřikování docházet k degradaci materiálu, zhoršení mechanických vlastností a následnému snížení kvality výsledného výrobku. Tyto problémy by případně bylo možné řešit snížením vstřikovací rychlosti, či vstřikovacího tlaku, nebo rozšířením části geometrie, ve které k maximu dochází – zpravidla nejužší část dutiny či vtokového systému.

9.2.5 Smykové napětí na stěně (Shear stress at wall)

Zde je rovněž nutno sledovat hodnoty smykového napětí na stěně výrobku a srovnat je s hodnotami, které jsou uvedeny v materiálovém listu ($\tau_{XY\text{Max}} = 0,25\text{ MPa}$). Z analýzy vyplývá, že hodnota $\tau_{XY} = 0,23\text{ MPa}$ nepřekračuje povolenou mez. Není tedy pravděpodobný výskyt nežádoucích jevů s tímto problémem spojených.

V případě navýšení této hodnoty nad povolenou mez je potřeba k eliminaci uvedených jevů zvýšit teplotu taveniny nebo formy, případně zvětšit průřez nejužšího místa geometrie.

Na obr. 51 lze vidět místo a hodnotu nejvyššího smykového napětí na stěně v čase 0,1 s.

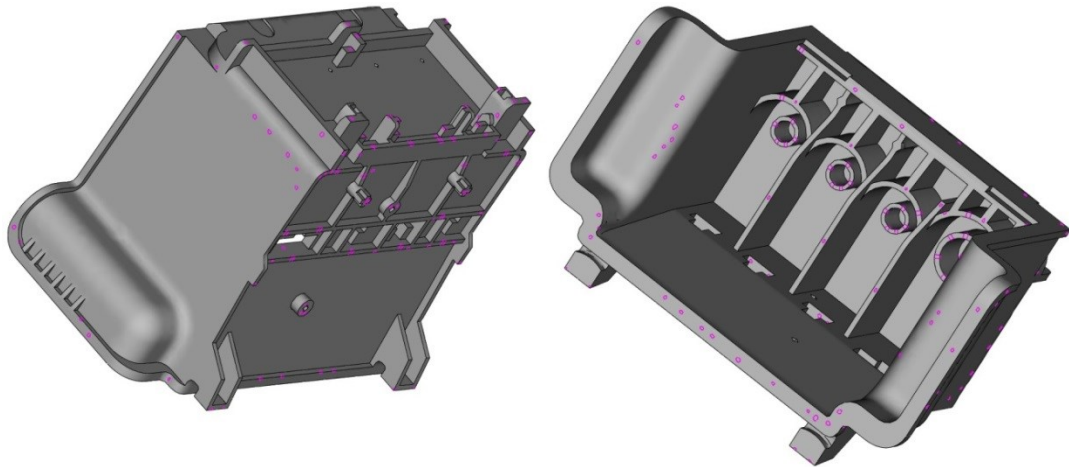


Obr. 51 Smykové napětí na stěně

9.2.6 Místa s vysokou pravděpodobností vzniku vzduchových kapes (Air traps)

Vzduchové kapsy vznikají nejčastěji v místech, kde se setkávají čela taveniny, která před sebou tlačí vzduch, který zůstal v dutině formy při uzavírání. Dále je tento problém spjat s místy, kde tavenina zatéká nejpozději. Tyto kapsy mohou způsobovat jak vizuální, tak mechanické defekty výsledného výrobku. Příčinou vzniku vzduchových kapes je nejčastěji nízká teplota formy či nízký vstřikovací tlak.

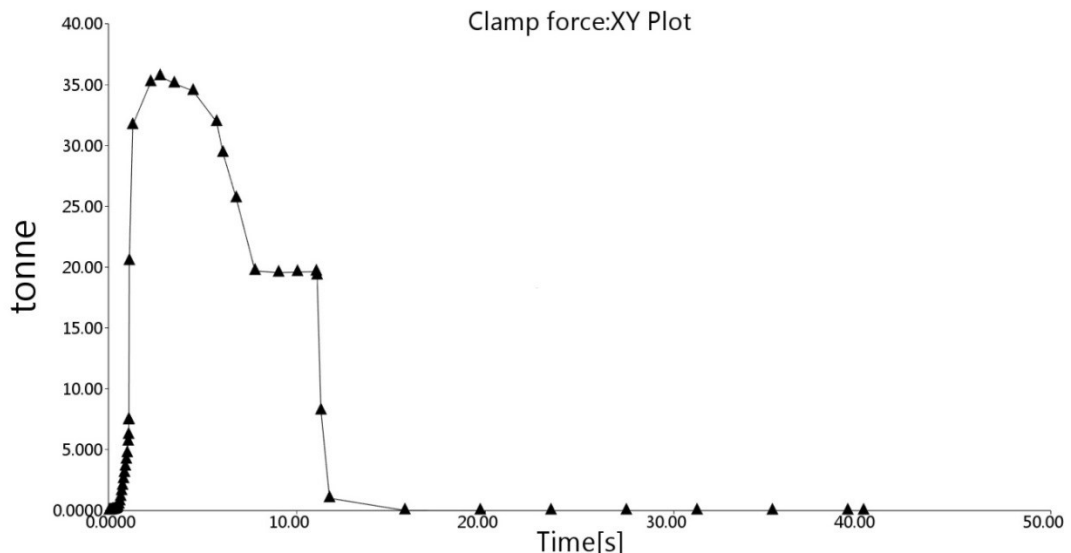
Na tomto výrobku se větší koncentrace potenciálních míst vzniku vzduchových kapes nachází v dělicích rovinách, tudíž lze předpokládat, že pro odvzdušnění bude stačit pouze netěsnost tvarových částí a vůle mezi vyhazovači a tvárníkem. Pakliže se při provozu objeví vady výrobků způsobené nedostatečným odvzdušněním, bude potřeba do místa vady vyfrézovat odvzdušňovací kanál.



Obr. 52 Místa s vysokou pravděpodobností vzniku vzduchových kapes

9.2.7 Uzavírací síla (Clamp force: XY Plot)

U této analýzy lze vidět graficky průběh uzavírací síly stroje. Během vstřikování síla strmě roste až k maximální hodnotě 35,69 tun, které dosáhne v čase 2,75 s. Poté následuje dotlak, kde síla postupně klesá a po jeho ukončení klesne na nulovou hodnotu. Tato analýza je důležitá zejména kvůli nejvyšší hodnotě uzavírací síly, která musí být srovnána s možnostmi stroje. Uzavírací jednotka zvoleného vstřikovacího stroje disponuje uzavírací silou 200 tun, čili stroj je pro tuto aplikaci vhodný a má ještě dostatečnou rezervu. Jelikož tuna není jednotkou SI, uvádím přepoččet: $1 \text{ t} = 9,8 \text{ kN}$.

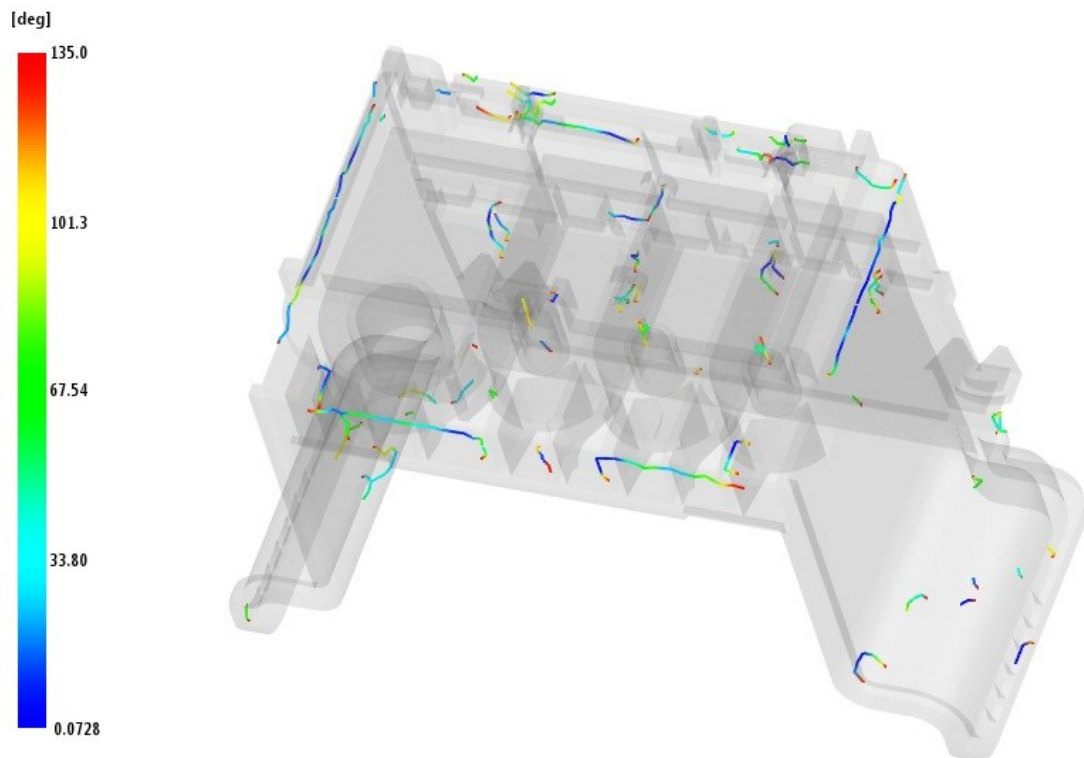


Obr. 53 Průběh uzavírací síly v závislosti na čase vstřikovacího cyklu

9.2.8 Místa s vysokou pravděpodobností vzniku studených spojů (Weld lines)

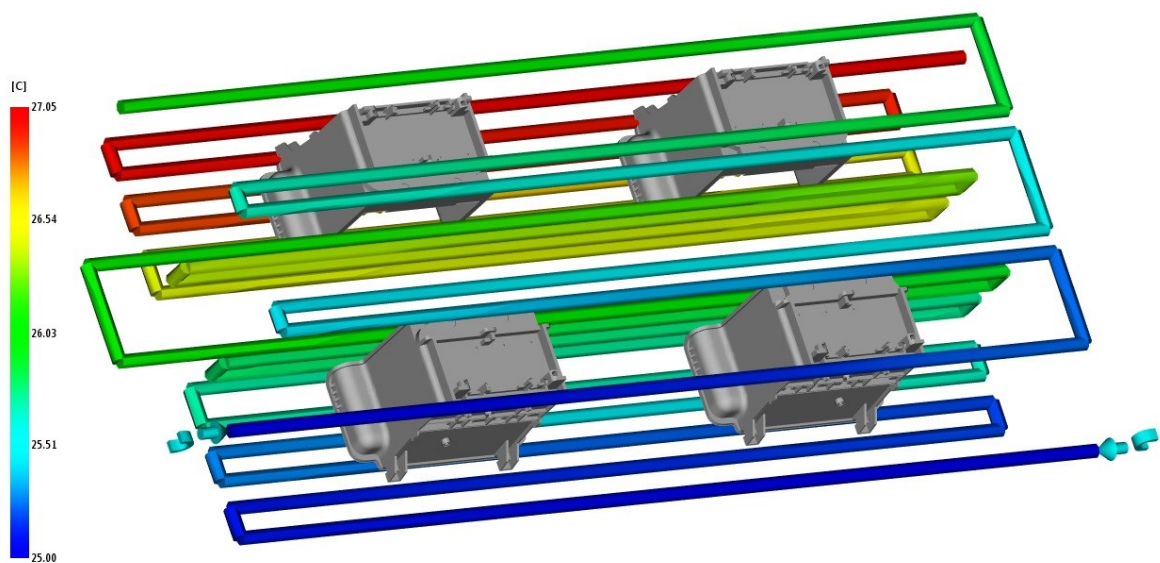
Obr. 54 ukazuje místa na výrobku, kde lze předpokládat vznik studeného spoje. Tato vada vzniká soutokem dvou chladných čel taveniny. Studený spoj je jak pohledovou tak i

mechanickou vadou. Lze jej eliminovat změnou konstrukce výrobku. Pokud toto není možné, lze změnou umístění vtoku přesunout tuto vadu na nepohledovou nebo málo mechanicky namáhanou část výrobku.



Obr. 54 Místa s vysokou pravděpodobností vzniku studených spojů

9.2.9 Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature)



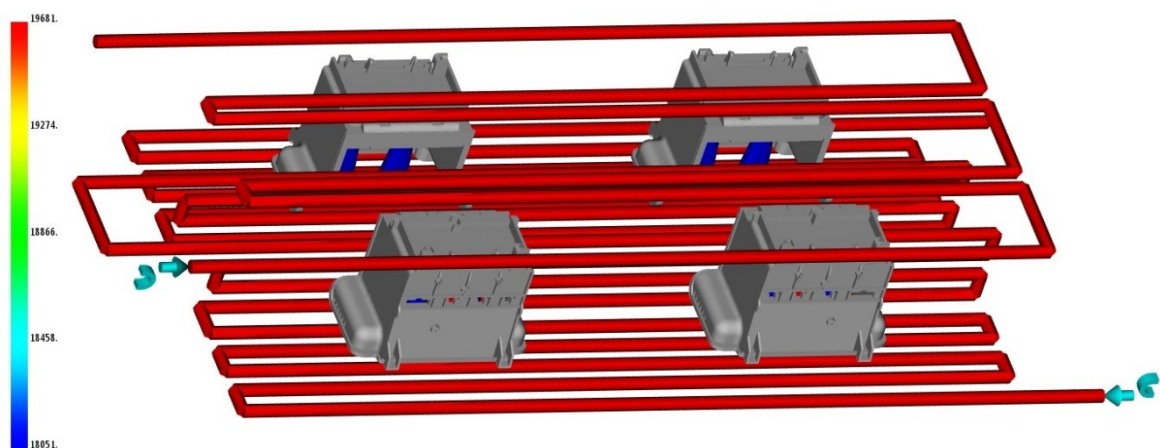
Obr. 55 Teplota temperačního média

Výsledek analýzy zobrazuje přehled o teplotách temperačního média v celém temperačním systému vstřikovací formy. Rozdíl teplot na vstupu a na výstupu temperačního systému by dle pravidel konstrukce vstřikovacích forem (Yang, Chen, Lu a Gao, 2016) neměl překročit 5 °C. V případě, že by tomu tak bylo, měla by být provedena úprava temperačního systému (např. zařazením další větve).

Z výsledků analýzy je zřejmý rozdíl max. 2 °C, temperační systém je tak z tohoto hlediska navržen dostatečně.

9.2.10 Reynoldsovo číslo chladícího média (Circuit Reynolds number)

Tato analýza udává hodnoty Reynoldsova čísla. Je to bezrozměrná veličina, která dává do souvislosti setrvačné síly a viskozitu. Hodnota tohoto čísla by se měla nacházet nad 10 000, což značí zaručenou oblast turbulentního proudění. Hodnota se může pohybovat i níže, ale nikdy by neměla klesnout pod 2300 (Goodship, 2004). Obecně lze říct, že čím vyšší hodnota Reynoldsova čísla, tím intenzivnější odvod tepla.

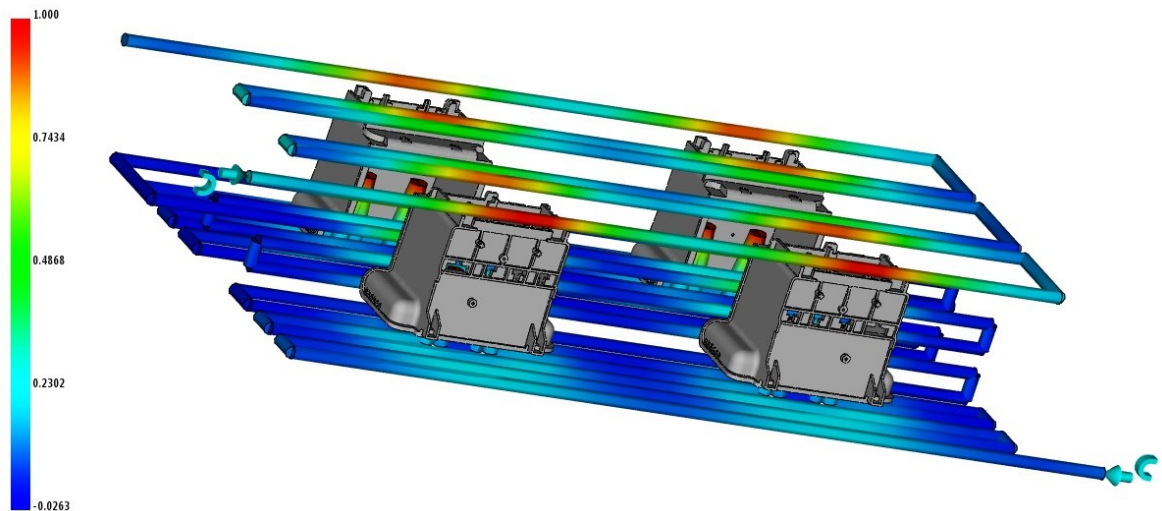


Obr. 56 Reynoldsovo číslo chladícího média

V tomto případě je nejmenší hodnota Reynoldsova čísla 18 051, což podmínku turbulentního proudění splňuje. Hodnota Reynoldsova čísla je v celém temperačním systému vlivem stejného průřezu kanálů a stejného objemového průtoku konstantní, až na místa obtokových můstků, kde mírně klesá.

9.2.11 Efektivita odvodu tepla (Circuit heat removal efficiency)

Tato analýza zobrazuje efektivitu odvodu tepla vytvořeného temperačního okruhu. Červenou barvou je zobrazena nejvyšší účinnost, dána hodnotou 1. Modře je naopak vykreslena účinnost nejmenší. Efektivita temperačního systému poblíž výrobku se pohybuje v průměrných hodnotách, největší je v části blízkého kontaktu s výrobkem (obr. 57).

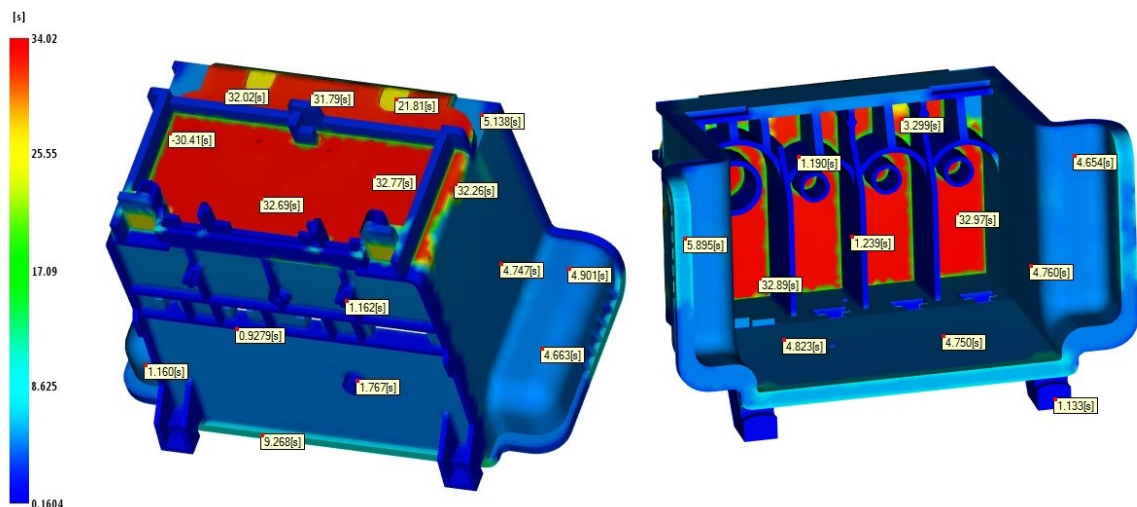


Obr. 57 Efektivita odvodu tepla

Pomocí této analýzy lze zjistit oblasti, kde je potřeba změnit geometrii, či procesní podmínky. Další možností zlepšení efektivity chlazení je využití tzv. konformního chlazení, kdy temperační kanály přímo kopírují konturu chlazeného dílu. Tento temperační systém je sice značně náročnější na výrobu, která probíhá nejčastěji metodou Direct Metal Laser Sintering (DLMS), ale může zvýšit efektivitu chlazení výrobku až o 50%.

9.2.12 Čas, potřebný k dosažení vyhazovací teploty dílu (Time to reach ejection temperature - part)

Hodnoty zde vyjadřují, za jak dlouho se která část výrobku ochladí na vyhazovací teplotu. Vyhazovací teplota je na základě materiálového listu zvolena 122 °C. Z obr. 58 vyplývá, že daný díl je možné vyhazovat již po uplynutí přibližně 34 s.

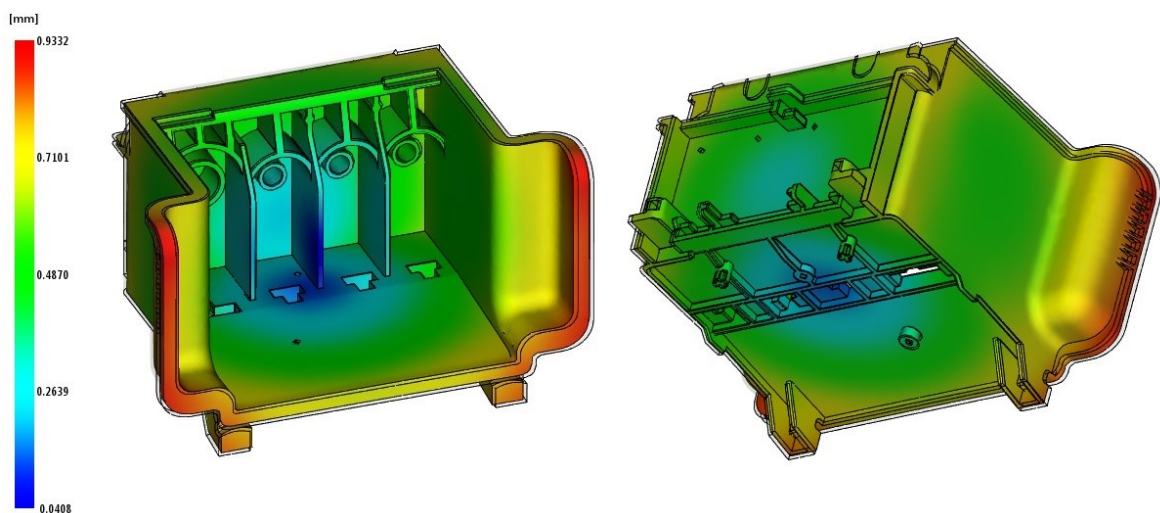


Obr. 58 Čas, potřebný k dosažení vyhazovací teploty

Jelikož jsou vyhazovače umístěny i v oblastech s dlouhou dobou chlazení, byl z důvodu bezpečného odformování výrobků a zamezení jejich deformaci (Zhou, 2013) celkový čas cyklu nastaven na 40 s.

9.2.13 Celková deformace vlivem všech efektů (Deflection, all effects: Deflection)

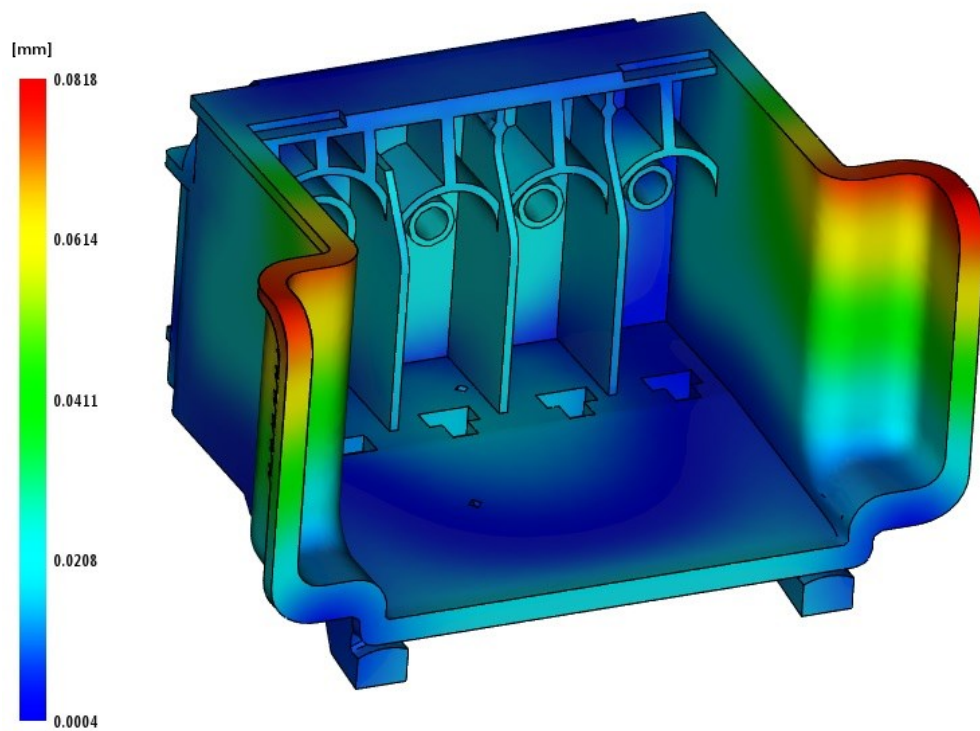
Výsledek vyobrazuje hodnotu celkové deformace od všech působících vlivů. Zde je maximální hodnota 0,9 mm. Na obrázku lze vidět, že se tento problém týká především okrajů nejširší části výrobku. Tato část výrobku ovšem není funkční částí, proto není potřeba deformaci řešit. Bylo by možné ji omezit zvýšením dotlaku.



Obr. 59 Celková deformace – všechny efekty

9.2.14 Deformace vlivem chlazení (Deflection, differential cooling: Deflection)

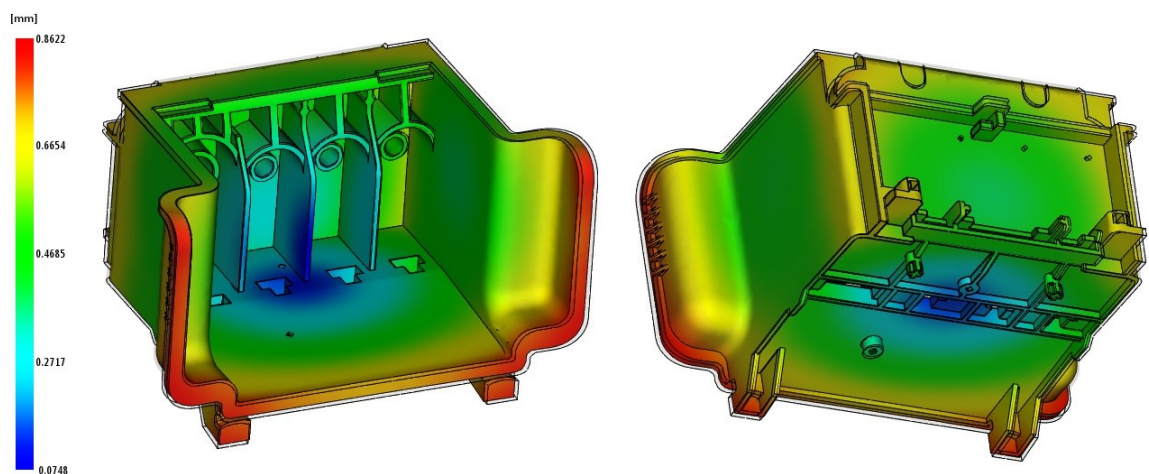
U této analýzy je znázorněn vliv účinku teploty na deformaci. Z maximální hodnoty 0,08 mm vyplývá, že temperační systém má velmi malý účinek na deformaci. Tato deformace se navíc projevuje pouze v jednom místě výrobku. Lze tedy konstatovat, že navržený temperační systém byl zvolen poměrně vhodně s ohledem na deformace výrobku.



Obr. 60 Deformace vlivem chlazení

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

Výsledky zde zobrazené se zabývají velikostí deformace vlivem smrštění. Nejvyšší zaznamenaná hodnota deformace je v tomto případě 0,86 mm, která se nachází v oblé části výrobku. K eliminaci tohoto jevu je možné zvýšit a prodloužit dotlak.



Obr. 61 Deformace vlivem smrštění

10 DISKUSE VÝSLEDKŮ

V rámci diplomové práce byl řešen konstrukční návrh vstřikovací formy pro výrobu tiskové hlavy, která je součástí multifunkčního zařízení HP Deskjet Ink Advantage 5525. Tato plastová součást slouží k upevnění tiskových kazet a k jejich pohybu při tisku.

Nejdříve byl v programu CATIA V5 vytvořen 3D model vyráběného dílu. Následně proběhla analýza vhodnosti umístění vtoku v programu Autodesk Moldflow Insight 2016. Součástí požadavků na vstřikovací formu byla rovněž implementace vyhřívaného vtokového systému. Po zvážení konstrukčních možností a výsledků analýzy byl vtokový systém situován do místa, které analýza označila jako nejvhodnější.

Vstřikovací forma vyrobí během jednoho cyklu čtyři dílce. Materiál pro vstřikování byl zvolen polypropylen (PP) od firmy SABIC Innovative Plastics s obchodním názvem PPCompound 5020.

Dalším krokem byla konstrukce samotné formy. Při tomto procesu bylo využíváno normalizovaných dílů od firmy Hasco. Nejdříve byly navrženy dělicí roviny a vytvořeny tvarové části, vytvářející tvarovou dutinu. Tu bylo kvůli smrštění materiálu nutno zvětšit o 1,6 %. Mezi tvarové části patří tvárník, tvárnice a tvarové čelisti. Pohyb těchto čelistí je řízen mechanicky za využití šikmých kolíků a v otevřené poloze jsou zajištěny přítlačným kusem s pružinou. V uzavřené poloze je jejich poloha zajištěna pomocí zámků.

Temperační systém zajišťuje vyvážené teplotní pole vstřikovací formy. Je tvořen soustavou vrtaných kanálů o průměru 6 mm, vnitřních a vnějších ucpávek a rychlospojek. Dále je doplněn o 4 obtokové můstky, které umožňují lépe kopírovat geometrii výrobku. Zvoleným temperačním médiem byla voda o teplotě 25 °C. Temperační systém prochází tvarovými částmi a k zamezení unikání média jsou v místech jejich setkání s kotevními deskami použity těsnící kroužky.

Automatický provoz formy zajišťuje vyhadzovací systém za pomoci 52 ks válcových vyhadzovačů. Ty jsou ukotveny mezi dvěma vyhadzovacími deskami a jejich pohyb je realizován pomocí táhla.

Únik vzduchu z dutiny formy je předpokládán dělicí rovinou, vůlemi mezi tvarovými částmi a taktéž vůlemi mezi vyhadzovači a tvárníkem.

Velikost rámu vstřikovací formy je 446 x 546 mm. Levá a pravá strana vstřikovací formy jsou vůči sobě vystředěny pomocí vodících čepů, vodících pouzder a vodících trubek.

Vyhazovací systém formy je také opatřen čtyřmi vodícími čepy a čtyřmi vodícími pouzdry. Pro usnadnění manipulace je forma osazena čtyřmi transportními oky.

Vhodnost konstrukčního návrhu vstřikovací formy byla následně ověřena analýzami v programu Autodesk Moldflow Insight 2016. Jedná se především o analýzy toku materiálu, dotlaku a teploty vstřikovací formy, dále také smrštění či deformací výrobku. Výsledky analýz doplňují návrh o informace, které svědčí o tom, že vstřikovací forma je funkční a provozuschopná, jelikož nebyly překročeny maximální limity zpracování materiálu, teplotní systém účinně ochlazuje dutinu formy, dutina formy je zaplněna i v nejdlejších místech a velikost potřebné uzavírací síly (343 kN) a maximálního vstřikovacího tlaku (36 MPa) nepřekračují limity zvoleného vstřikovacího stroje.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byl návrh nástroje pro vstřikování zadaného elektrotechnického dílu, konkrétně tiskové hlavy.

Nejdříve byl vytvořen 3D model zadaného výrobku a pro jeho výrobu byl následně zvolen materiál PPSCompound 5020 od firmy SABIC. Vstřikovací forma byla navržena jako čtyřnásobná a přívod taveniny do její dutiny je realizován vyhřívaným vtokovým systémem. Vedlejší dělicí roviny jsou odformovány mechanickým způsobem za použití šikmých kolíků. Temperační systém formy tvoří vrtané kanály, které prochází tvárním i tvárnici a jsou z důvodu tvaru výrobku doplněny obtokovými můstky. Vyhazovací systém tvoří 52 vyhazovacích kolíků.

Pro ověření funkčnosti vstřikovací formy byl použit simulační software Moldflow. Na základě prvotní, tzv. nástřelové analýzy byl zvolen vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 570 C. Výsledky analýz svědčí o tom, že vstřikovací proces v navržené formě lze provést a forma je tak navržena správně.

Na závěr byly vytvořeny výkresy sestavy vstřikovací formy a kusovník. Tyto se nacházejí v příloze.

Model vstřikovaného výrobku a konstrukce formy byla provedena v programu CATIA V5, zejména v modulech Mold design a Core and Cavity design za využití normálií od firmy Hasco. Analýza vstřikovacího procesu byla provedena v programu Autodesk Moldflow Insight.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav, 2006. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT. ISBN 80-708-0617-6.
- [2] *Keramika, kompozity, polymery*. [online]. [cit. 2021-2-2] Dostupné z WWW: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm>
- [3] LENFELD, Petr. *Technologie zpracování plastů* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2021-2-2]. Dostupné z WWW: http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [4] BOBČÍK, Ladislav. a kol. *Formy pro zpracování plastů: I. Díl – Vstřikování termoplastů*. 2.vydání –Brno: Uniplast, 1999. 134s.
- [5] KULHÁNEK, Jan, 1966. *Formy pro tváření plastických hmot*. Praha: SNTL. Řada strojírenské literatury.
- [6] MÉZL, Milan, 2012. *Základy technológie vstrekovania plastov*. Olomouc: Mapro, 301 s. ISBN 978-80-970749-7-5.
- [7] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. [online]. 2015 [cit. 2021-2-2]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>.
- [8] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [9] BĚHÁLEK, Luboš. *Navlhavost a sušení plastů*. [online]. [cit. 2021-2-2] Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Suseni.pdf>
- [10] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [11] ŠTĚPEK, Jiří, Antonín KUTA a Jiří ZELINGER, 1989. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy chemickotechnologické, studijní obor 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.
- [12] *Engel* [online]. [cit. 2021-2-2] Dostupné z WWW: <https://www.engelglobal.com/en/ro/products/injection-molding-machines/e-motion.html>

- [13] NEUHÄUSL, Emil, 2010. *Vady výstřiků – 1. díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje* [online]. [cit. 2021-2-2]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priviciny-vzniku-vad-a-studene-spoje>
- [14] LINDSAY, John, *Practical guide to rubber injection moulding*, Smithers Rapra Technology, 2012
- [15] MAŇAS, Miroslav a Josef HELŠTÝN, 1990. *Výrobní stroje a zařízení*. Brno: Vysoké učení technické. ISBN 80-214-0213-X.
- [16] *Arburg* [online]. [cit. 2021-2-2]. Dostupné z WWW: <http://arburg.com>
- [17] SEIDL, Martin, *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*, 2015, ISBN: 978-80-88058-71-7. [online]. [cit. 2021-2-2] Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/181/08.html>
- [18] BOBČÍK, Ladislav. a kol., *Formy pro zpracování plastů: II.díl – Vstřikování termoplastů*. 1. vydání – Brno: Uniplast, 1999
- [19] *XS MOULD* [online]. [cit. 2021-2-2]. Dostupné z WWW: http://www.xsplasticmould.com/html_news/Moisture-streaks-20.html
- [20] ŘEHULKA, Zdeněk. 2015. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. ISBN 978-80-7204-919-6.
- [21] *Vady výstřiku 3. díl – vady vzhledové* [online]. [cit. 2021-2-2]. Dostupné z WWW: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-3-dil-vady-vzhledove.html>
- [22] *Meusburger* [online]. [cit. 2021-2-2]. Dostupné z WWW: <http://www.meusburger.com>
- [23] BEAUMONT, John P., NAGEL, Robert a SHERMAN, Robert. *Successful injection molding: process, design and simulation*. Munich: Hanser Publishers, 2002. str. 362. ISBN 3-446-19433-9
- [24] TOMIS, František a Josef HELŠTÝN, 1985. *Formy a přípravky: určeno pro posl. fak. technologické v Gottwaldově*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL. Učební texty vysokých škol
- [25] *HASCO* [online]. [cit. 2021-2-2]. Dostupné z WWW: <http://www.hasco.com>

- [26] YANG, Yi, Xi CHEN, Ningyun LU a Furong GAO. *Injection molding process control, monitoring, and optimization*. Munich: Hanser, [2016], xvi, 397 s. Progress in polymer processing series. ISBN 978-1-56990-592-0
- [27] KENNEDY, Peter a Rong ZHENG. *Flow analysis of injection molds*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Publishers, [2013], ISBN 9781569905227
- [28] BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, 2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3
- [29] OSSWALD, Tim. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich, Germany: Carl Hanser publishers, 2008, 764 s, ISBN 978-3-446-40781-7.
- [30] *Vyhazovače* [online]. [cit.2021-2-2] Dostupné z WWW: <http://www.jansvoboda.cz/Vyhazovace-c9601>
- [31] BOBEK, Jiří, *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. [cit.2021-2-2] Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [32] LANXESS Inc. *Engineering Plastics: Part and Mold Design*. [online]. [cit.2021-2-2] Dostupné z WWW: http://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part_and_Mold_Design_Guide.pdf?docId=77015
- [33] SOVA, Miloš, *Smrštění a dodatečné smrštění při vstřikování plastů*. [online]. [cit. 2021-2-2]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/smrsteni-a-dodatecne-smrsteni-pri-vstrikovani-plastu-uniqueidmRRWSbk196FNf8jVUh4EqQUkSFod1GxXa2VafSdbW0/>
- [34] KRAHN, Heinrich, VOGEL, Harald. *1000 Konstruktionsbeispiele für den Werkzeug und Formenbau beim Spritzgießen*. Carl Hanser Verlag GmbH and Co. KG., 2015, ISBN 978-3-446-41243-9
- [35] GOODSHIP, Vanessa. *Troubleshooting Injection Moulding*. Shropshire United Kingdom, 2004, 138 s. ISBN 9781859574706.
- [36] Internetové stránky firmy SABIC: <https://www.sabic.com/en/products/polymers/polypropylene-pp/sabic-ppcompound>
- [37] Knihovna materiálů Autodesk Moldflow Insight 2016
- [38] ARBURG [online]. [cit. 2021-2-2]. Dostupné z WWW: <http://www.arburg.com>

- [39] ZHOU, Huamin, 2013. *Computer Modeling for Injection Molding: Simulation, Optimization, and Control*. Hoboken: Wiley. ISBN 9780470602997.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PP	polypropylen
mm	milimetr
°C	stupeň Celsia
s	sekunda
T_f	teplota viskózního toku
T_m	teplota tání
PE	polyetylen
PA	polyamid
PS	polystyren
PVC	polyvinylchlorid
VS	výrobní smrštění
DS	dodatečné smrštění
L_{V0}	výchozí rozměr výstřiku před expozicí
L_{V1}	konečný rozměr výstřiku po expozici
L_F	rozměr formy
L_V	odpovídající rozměr výstřiku
hod	hodina
MPa	megapascal
PC	polykarbonát
ITT	index toku taveniny
T	teplota
t	tuna
%	procento
DLMS	Direct Metal Laser Sintering
l	litr

min	minuta
Cu	měď
Al	hliník
cm ³	centimetr krychlový
L/D	poměr délky a průměru
2D	dvojměrný prostor
3D	trojměrný prostor
p	tlak

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Tvary makromolekul: a) lineární, b) rozvětvené, c) se zkříženými články, d) síťované [2].....	12
Obr. 2 Rozdělení polymerů.....	13
Obr. 3 Vliv vybraných procesních parametrů na smršťení [10].....	17
Obr. 4 Vstřikovací cyklus [31]	19
Obr. 5 Princip kontroly polštáře [8].....	21
Obr. 6 Vstřikovací cyklus v pVt diagramu [10].....	23
Obr. 7 Vstřikovací stroj [12].....	24
Obr. 8 Vstřikovací jednotka [14]	25
Obr. 9 Hydraulická uzavírací jednotka [16]	26
Obr. 10 Symboly ovládacího panelu [17].....	27
Obr. 11 Příklad konstrukce přechodu v tloušťce stěna, a) špatně, b) správně [20]	28
Obr. 12 Díly bez úkosů (vlevo) a s úkosem (vpravo) [31]	30
Obr. 13 Poměr tloušťky žebra k tloušťce hlavní stěny [20]	30
Obr. 14 Příklady eliminace vzniku vtaženin [20].....	30
Obr. 15 Hlavní části vstřikovací formy [22].....	32
Obr. 16 Schéma studeného vtokového systému [4].....	33
Obr. 17 Vyhřívání vtoková soustava [34].....	34
Obr. 18 Příklad vyhazovacích kolíků [25] a) válcový, b) plochý.....	35
Obr. 19 Uložení šikmého kolíku ve formě [18].....	36
Obr. 20 Trubkový vyhazovač [30].....	36
Obr. 21 Srovnání efektu různého průměru temperačních kanálů [31]	38
Obr. 22 Odvzdušňovací systém ECOVENT [30].....	39
Obr. 23 Ukázka přetoku na výstřiku [4]	42
Obr. 24 Bubliny u výstřiku z transparentního polymeru [21].....	43
Obr. 25 Stříbrné pruhy na výrobku [19]	43
Obr. 26 Dieselův efekt [13]	44
Obr. 27 3D model zadaného výrobku	47
Obr. 28 Katalog Hasco DAKO	48
Obr. 29 Schéma zaformování výrobku	49
Obr. 30 Rozložení dutin ve formě	50
Obr. 31 Modely tvárníku (vpravo) a tvárnice (vlevo)	50
Obr. 32 Popis posuvné čelisti	51
Obr. 33 Vyhřívání vtokový systém.....	52

Obr. 34	Temperace levé části vstřikovací formy	53
Obr. 35	Umístění obtokových můstků	53
Obr. 36	Temperace pravé části vstřikovací formy	54
Obr. 37	Rychlospojky s označením temperačních kanálů	54
Obr. 38	Vyhazovací systém	55
Obr. 39	Vodící, středící a upínací části formy	56
Obr. 40	Manipulační a pojistné prvky	56
Obr. 41	Pohled do pravé části vstřikovací formy	57
Obr. 42	Pohled do levé části vstřikovací formy	58
Obr. 43	Pohled na kompletní sestavu vstřikovací formy	59
Obr. 44	Vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 570C [38]	60
Obr. 45	Vysířovaný model s vlastnostmi sítě	61
Obr. 46	Procesní podmínky vstřikování	62
Obr. 47	Vhodnost umístění vtoku	63
Obr. 48	Čas plnění	64
Obr. 49	Tlak v průběhu vstřikovacího cyklu	64
Obr. 50	Rychlost smykové deformace	65
Obr. 51	Smykové napětí na stěně	66
Obr. 52	Místa s vysokou pravděpodobností vzniku vzduchových kapes	67
Obr. 53	Průběh uzavírací síly v závislosti na čase vstřikovacího cyklu	67
Obr. 54	Místa s vysokou pravděpodobností vzniku studených spojů	68
Obr. 55	Teplota temperačního okruhu	68
Obr. 56	Reynoldsovo číslo chladícího média	69
Obr. 57	Efektivita odvodu tepla	70
Obr. 58	Čas, potřebný k dosažení vyhazovací teploty	70
Obr. 59	Celková deformace – všechny efekty	71
Obr. 60	Deformace vlivem chlazení	72
Obr. 61	Deformace vlivem smrštění	72

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Doporučené hodnoty úkosů [18]	29
Tabulka 2 Výběr z vlastností materiálu PPCompound 5020 [36,37]	47
Tabulka 3 Vybrané vlastnosti vstříkovacího stroje [38]	60

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Parametry vstřikovacího stroje

Příloha P II: Materiálový list PPCompound 5020

Příloha P III: Výkresová dokumentace

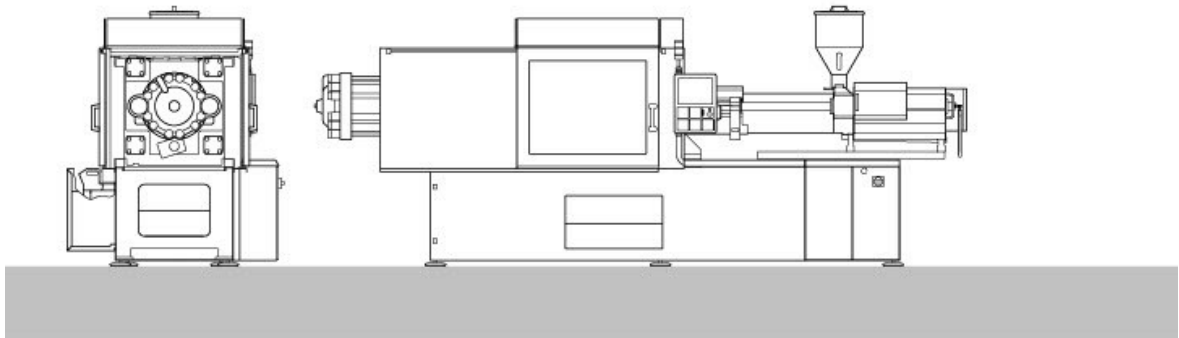
- 2D řez sestavou vstřikovací formy
- Pohled do pravé strany formy
- Pohled do levé strany formy

Příloha P IV: CD obsahující:

- Diplomovou práci v elektronické podobě
- 3D model formy
- Tokové analýzy
- Výkresovou dokumentaci

PŘÍLOHA P I: PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Facts and figures



ALLROUNDER 570 C GOLDEN EDITION

Tie bar distance: 570 x 570 mm

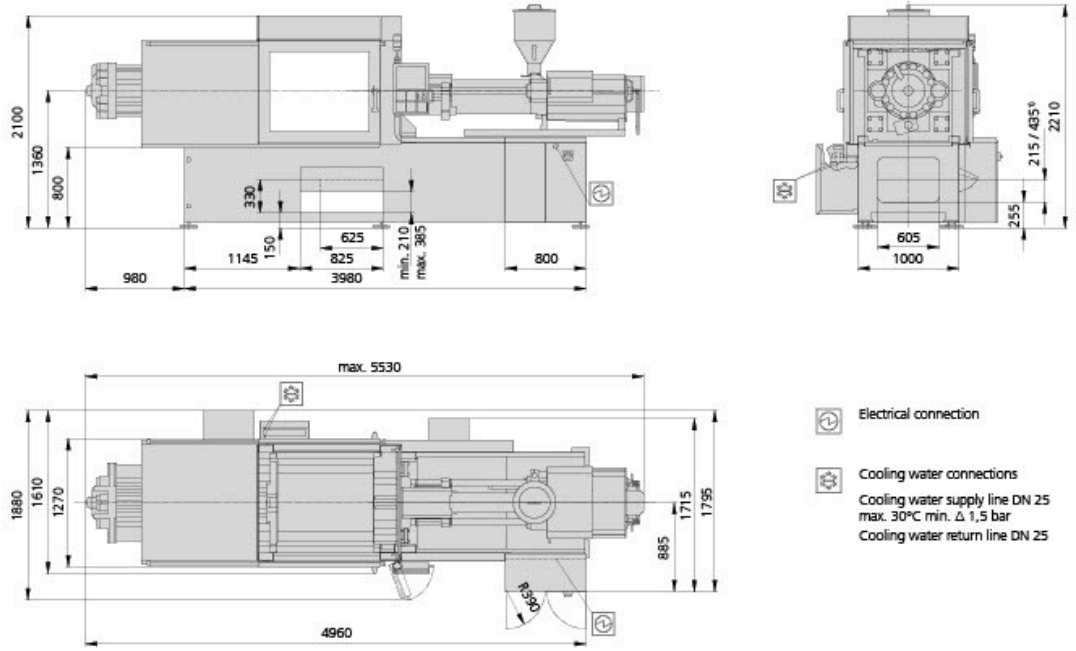
Clamping force: 2000 kN



Injection unit (according to EUROMAP): 800

ARBURG

570 C GOLDEN EDITION

Machine dimensions



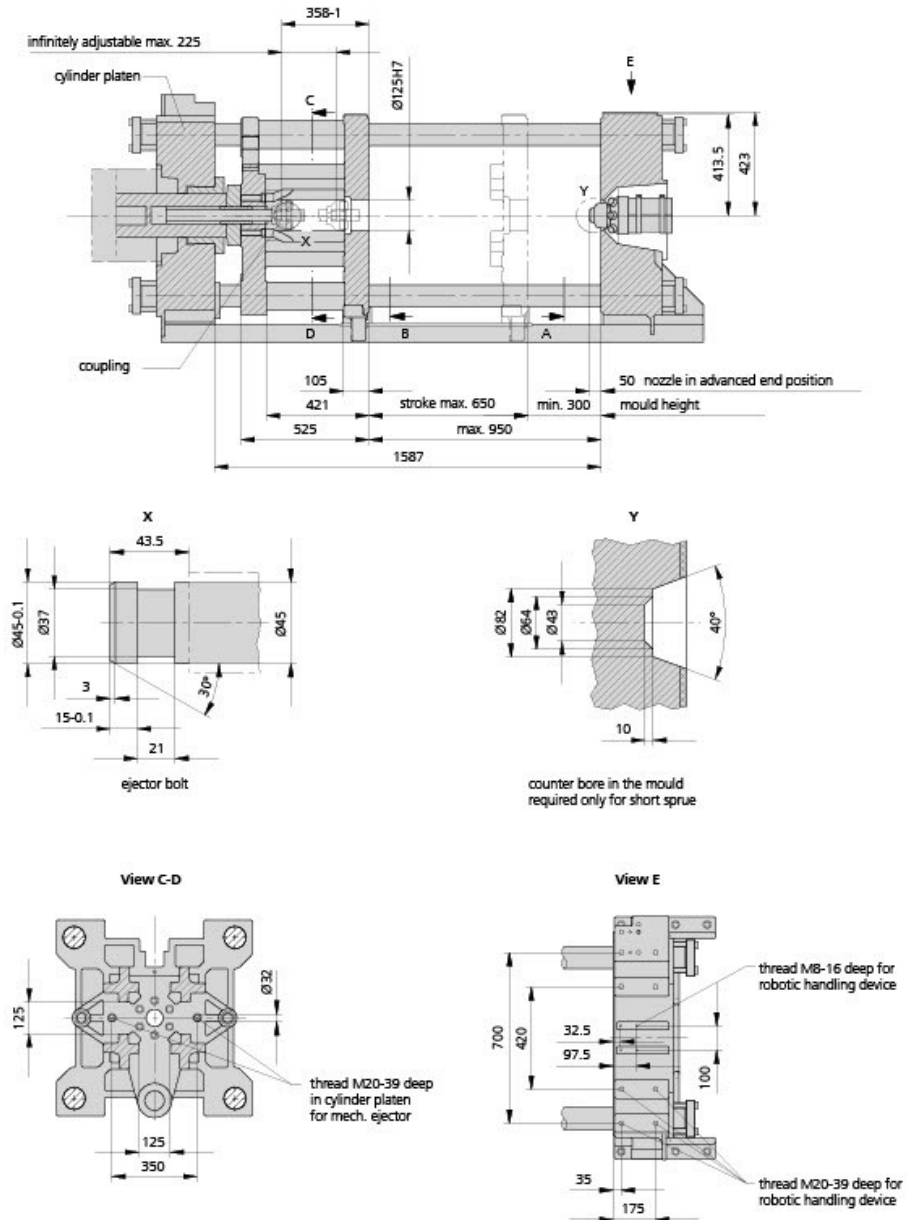
-  Electrical connection
-  Cooling water connections
Cooling water supply line DN 25
max. 30°C min. Δ 1,5 bar
Cooling water return line DN 25

1) Dimension only valid in conjunction with conveyor belt

Machine model	570 C GOLDEN EDITION	
EUROMAP size indication ¹⁾	2000-800	
Clamping unit		
Clamping force	max. kN	2000
Closing force	max. kN	70
Opening force / increased	max. kN	50 / 520
Opening stroke	max. mm	650
Mould height	min. mm	300
Daylight	max. mm	950
Distance between tie bars	mm	570 x 570
Platen size (hor. x vert.)	mm	795 x 795
Weight of mov. mould half	max. kg	1500
Ejector force	max. kN	66
Ejector stroke	max. mm	225
Hydraulics, drive, general		
Drive power of the hydraulic pump	kW	22
Dry cycle time for opening stroke ²⁾	s/mm	2,6-399
Total connected load ³⁾	kW	44,4
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow		
Control cabinet		
Safety standard according to	DIN EN 60204	
Socket combination (1 single phase, 1 three-phase)	1 x 16 A	
Injection unit		
800		
Screw diameter	mm	45 / 50 / 55
Effective screw length	L/D	22 / 20 / 18
Screw stroke	max. mm	200
Calculated injection volume	max. cm ³	318 / 392 / 474
Shot weight	max. g PS	291 / 359 / 434
Material throughput ⁴⁾	max. kg/h PS	46 / 53 / 59
	max. kg/h PA 6.6	23 / 27 / 30
Injection pressure ⁵⁾	max. bar	2470 / 2000 / 1650
Injection flow ⁵⁾	max. cm ³ /s	174 / 214 / 260
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 190
Circumferential screw speed	max. m/min	54 / 60 / 66
Screw torque	max. Nm	880 / 880 / 880
Nozzle contact force	max. kN	70
Nozzle retraction stroke	max. mm	400
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	19,3 / 7
Installed nozzle heating power	kW	0,6
Material hopper capacity	l	50
Machine dimensions and weights of the basic machine		
Oil capacity	l	290
Net weight	kg	7450
Electrical connection (pre-fused) ⁵⁾	A	100

- 1) 1st figure: clamping force (kN), 2nd figure: max. dosage volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)
 2) Values refer to 400 V/50 Hz. The load is symmetrically distributed on three phases (observe phase loading when installing new equipment)
 3) A combination of max. injection pressure and max injection flow (max. injection capacity) can be mutually exclusive, depending on the equipment-related motor output
 4) Deviations are possible depending upon process settings and material type
 5) According to EUROMAP

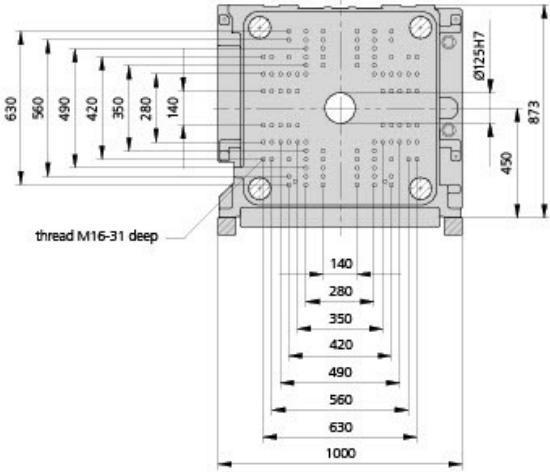
These technical data specifications refer to the state at the time of printing. We reserve the right to modify specifications in the interest of a continuous program of further development.



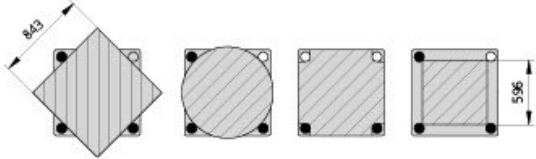
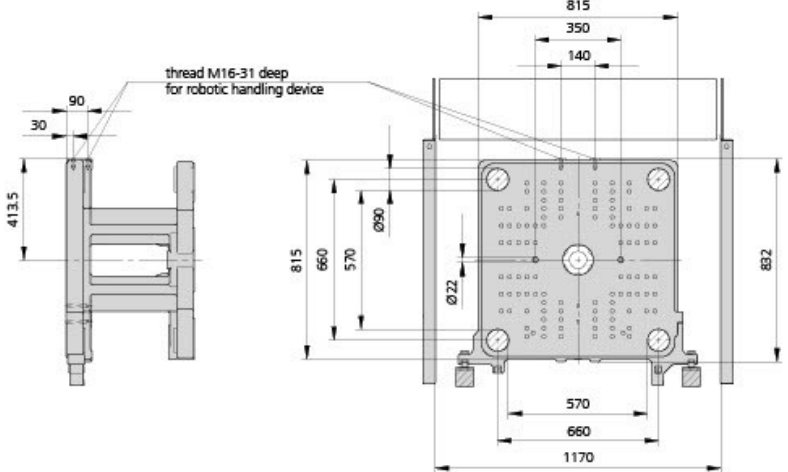
Mould and platen layout

570 C GOLDEN EDITION

Fixed platen
View A



Movable platen
View B



Useable mounting surface with tie bars removed

Maximum theoretical shot weights for the most important injection moulding materials (in grams)

Injection units according to EUROMAP		800		
Screw diameter	mm	45	50	55
Polystyrene	PS	291	359	434
Styrene heteropolymerizates	SB	284	350	424
	SAN, ABS ¹⁾	278	344	416
Cellulose acetate	CA ¹⁾	327	404	488
Celluloseacetobutyrate	CAB ¹⁾	304	375	454
Polymethyl methacrylate	PMMA	300	371	449
Polyphenylene ether, mod.	PPE	270	333	403
Polycarbonate	PC	305	377	456
Polysulphone	PSU	316	390	471
Polyamides	PA 6.6, PA 6 ¹⁾	289	357	431
	PA 6.10, PA 11 ¹⁾	270	333	403
Polyoximethylene (Polyacetal)	POM	359	443	536
Polyethylene terephthalate	PET	346	427	517
Polyethylene	PE-LD	219	271	328
	PE-HD	227	280	339
Polypropylene	PP	232	286	346
Fluoropolymerides	FEF, FFA, PCTFE ¹⁾	465	574	695
	ETFE	408	504	609
Polyvinyl chloride	PVC-U	351	434	525
	PVC-P ¹⁾	324	401	485

1) average value

ARBURG GmbH + Co KG

Postfach 11 09 · 72286 Lossburg · Tel.: +49(0)7446 33-0 · Fax: +49(0)7446 33-3365 · www.arburg.com · e-mail: contact@arburg.com

With locations in Europe: Germany, Belgium, Denmark, France, United Kingdom, Italy, Netherlands, Austria, Poland, Switzerland, Slovakia, Spain, Czech Republic, Turkey, Hungary | Asia: People's Republic of China, Indonesia, Malaysia, Singapore, Thailand, United Arab Emirates | America: Brazil, Mexico, USA
For more information, please go to www.arburg.com.

© 2013 ARBURG GmbH + Co KG

The brochure is protected by copyright. Any utilisation, which is not expressly permitted under copyright legislation, requires the previous approval of ARBURG.

All data and technical information have been compiled with great care. However, we are unable to guarantee its correctness. Individual illustrations and information may deviate from the actual delivery condition of the machine. The relevant valid operating instructions are applicable for the installation and operation of the machine.



ARBURG GmbH + Co KG

DIN EN ISO 9001 + 14001 + 50001 certified



PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST



SABIC[®] PPCOMPOUND 5020

PP COMPOUND MINERAL FILLED IMPACT MODIFIED

DESCRIPTION

SABIC[®] PPcompound 5020 is a modified Polypropylene which combines high impact, good stiffness and high flow. This material is available in natural and colored form for use in automotive interior applications.

SABIC[®] PPcompound 5020 is a designated automotive grade.

IMDS ID: 229129721

TYPICAL PROPERTY VALUES

Revision 20181012

PROPERTIES	TYPICAL VALUES	UNITS	TEST METHODS
POLYMER PROPERTIES			
Melt flow rate (MFR)			
at 230 °C and 2.16 kg	25	dg/min	ISO 1133
Density ⁽¹⁾	905	kg/m ³	ISO 1183
Filler content	0	%	SABIC method
Mould shrinkage ⁽²⁾			
24 hours after injection moulding	1.4	%	SABIC method
MECHANICAL PROPERTIES ⁽¹⁾			
Tensile test			
Tensile modulus	1000	MPa	ISO 527/1A
stress at yield	19	MPa	ISO 527/1A
stress at break	14	MPa	ISO 527/1A
strain at break	40	%	ISO 527/1A
Flexural test			
Flexural modulus	1050	MPa	ISO 178/1A
Izod impact notched ⁽³⁾			
at 23 °C	45	kJ/m ²	ISO 180/1A
at -20 °C	7	kJ/m ²	ISO 180/1A
THERMAL PROPERTIES ⁽¹⁾			
Heat deflection temperature			
at 0.45 MPa (HDT/B)	85	°C	ISO 75
Coeff. of linear thermal expansion			
-30 °C to 100 °C	118	µm/mK	ISO 11359-2

(1) Injection molded sample ISO527-1A

(2) Injection molded plaque 65x65x3.2mm

(3) N.B.: No Break

QUALITY

SABIC is fully certified in accordance with the internationally accepted quality standard ISO 9001.



STORAGE AND HANDLING

Avoid prolonged storage in open sunlight, high temperatures (<50 °C) and/or high humidity as this could well speed up alteration and consequently loss of quality of the material and/or its packaging. Keep material completely dry for good processing.

DISCLAIMER

Any sale by SABIC, its subsidiaries and affiliates (each a "seller"), is made exclusively under seller's standard conditions of sale (available upon request) unless agreed otherwise in writing and signed on behalf of the seller. While the information contained herein is given in good faith, SELLER MAKES NO WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING MERCHANTABILITY AND NON-INFRINGEMENT OF INTELLECTUAL PROPERTY, NOR ASSUMES ANY LIABILITY, DIRECT OR INDIRECT, WITH RESPECT TO THE PERFORMANCE, SUITABILITY OR FITNESS FOR INTENDED USE OR PURPOSE OF THESE PRODUCTS IN ANY APPLICATION. Each customer must determine the suitability of seller materials for the customer's particular use through appropriate testing and analysis. No statement by seller concerning a possible use of any product, service or design is intended, or should be construed, to grant any license under any patent or other intellectual property right.