

Konstrukce formy pro výrobu krytu motoru

Bc. Jan Kalenda

Diplomová práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Kalenda**
Osobní číslo: **T15328**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**
Téma práce: **Konstrukce formy pro výrobu krytu motoru**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Vytvořte 3D model zadaného plastového dílu.
3. Provedte konstrukci vstříkovací formy ve 3D.
4. Návrh formy ověřte pomocí tokové analýzy.
5. Nakreslete výkres 2D sestavy vstříkovací formy.

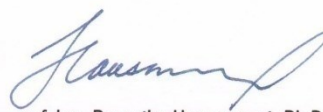
Rozsah diplomové práce:
Rozsah příloh:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:
Dle doporučení vedoucího DP.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Staněk, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2017**
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2017**

Ve Zlíně dne 23. ledna 2017



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



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

Příjmení a jméno: Bc. JAN KALENDA

KONSTRUKCE
Obor: TECHNOLOGICKÝCH ZAJÍMÁNÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 9.5.2017



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je vytvoření konstrukčního návrhu vstřikovací formy pro výrobu zadaného plastového výrobku, kterým je kryt elektromotoru. Práce je rozdělena na část teoretickou a část praktickou.

Teoretická část práce je zaměřena na polymerní materiály používané při vstřikování, samotnou technologii vstřikování, používané vstřikovací stroje a zásady při konstrukci vstřikovaných výrobků i vstřikovacích forem.

V praktické části je řešen samotný konstrukční návrh jednonásobné vstřikovací formy pro zadaný plastový díl. Jsou zde také popsány jednotlivé části navržené vstřikovací formy. Konstrukce modelu vstřikovaného výrobku i návrhu vstřikovací formy byla provedena v programu CATIA V5R19 za pomoci využití normálií od firmy Hasco a Meusburger. Návrh vstřikovací formy je ověřen pomocí tokové analýzy v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Klíčová slova: polymerní materiály, vstřikování, vstřikovací forma, vstřikovací stroj.

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to create a construction design of the injection mold for production of a specified plastic product, which is the electric motor cover. The thesis is divided into theoretical part and practical part.

The theoretical part is focused on polymer materials used in injection molding, injection molding technology itself, used injection molding machines and regulations for design of injection molded products and injection molds.

In the practical part, the design of the single injection mold for the specified plastic product is discussed. Individual parts of the proposed injection mold are also described. The design of the injection molded product and the injection mold design was processed in the CATIA V5R19 software with the use of standard parts from Hasco and Meusburger catalogue. The design of the injection mold is verified by flow analysis in Autodesk Moldflow Synergy 2016 software.

Keywords: polymeric materials, injection molding technology, injection mold, injection molding machine

Velmi rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Michalovi Staňkovi, PhD. za konzultace, čas a jeho cenné rady při zpracování daného tématu. Dále bych také rád poděkoval celému ústavu výrobního inženýrství za umožněné vzdělání, které mi pomohlo při tvorbě celé práce.

Mé poděkování patří také celé mé rodině za všestrannou pomoc a trpělivost při mém studiu na této fakultě.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor. Dále prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, 9.5.2017

.....
Podpis studenta

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY	13
1.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	14
1.1.1 Termoplasty.....	14
1.1.2 Reaktoplasty.....	15
1.1.3 Elastomery.....	16
1.2 PŘÍPRAVA POLYMERU PŘED VSTŘIKOVÁNÍM	16
1.2.1 Přísady.....	16
1.2.2 Granulace	16
1.2.3 Sušení	17
1.2.4 Recyklace – mletí a drcení	17
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	19
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	19
2.2 TOK POLYMERNÍ TAVENINY DUTINOU FORMY	20
2.3 PRŮBĚH TLAKU A TEPLoty TAVENINY VE FORMĚ.....	21
2.3.1 pvT diagram	22
3 VSTŘIKOVACÍ STROJE	23
3.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	24
3.1.1 Vstřikovací jednotka bez předplastikace.....	24
3.1.2 Vstřikovací jednotka s předplastikací	25
3.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	25
3.3 ŘÍZENÍ A OVLÁDÁNÍ STROJE	27
4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	28
4.1 ZAFORMOVATELNOST	28
4.2 TLOUŠŤKY STĚN.....	29
4.3 TLOUŠŤKY ŽEBER.....	29
4.4 ZAOBLNĚNÍ OSTRÝCH HRAN, ROHŮ A KOUTŮ	30
4.5 ÚKOSY, PODKOSY.....	31
5 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	32
5.1 KRITÉRIA PRO NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY	33
5.1.1 Násobnost.....	33
5.2 VTOKOVÉ SYSTÉMY	34
5.2.1 Studená vtoková soustava	34
5.2.2 Vyhřívané vtokové soustavy	39
5.3 TEMPERAČNÍ SYSTÉMY.....	41
5.4 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	42
5.4.1 Vady výstřiků spojené s nedostatečným odvzdušněním.....	43
5.5 VYHAZOVACÍ SYSTÉMY.....	43
5.5.1 Mechanické vyhazování.....	44
5.5.2 Pneumatické vyhazování.....	46

5.6	ODFORMOVÁNÍ POMOCÍ POSUVNÝCH ČELISTÍ.....	46
5.6.1	Šikmé kolíky	46
5.6.2	Lomené kolíky	47
5.6.3	Pneumatické a hydraulické tahače	47
5.7	MATERIÁLY FOREM.....	47
II	PRAKTICKÁ ČÁST	49
6	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	50
7	POUŽITÉ PROGRAMY	51
7.1	CATIA V5R19	51
7.2	AUTODESK MOLDFLOW SYNERGY 2016.....	51
7.3	HASCO DAKO MODUL.....	51
7.4	MEUSBURGER KATALOG	51
8	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	52
8.1	MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU	53
9	NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	54
9.1	UMÍSTĚNÍ VSTŘIKOVANÉHO DÍLU DO FORMY	54
9.2	TVAROVÉ ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY	55
9.3	RÁM FORMY	57
9.4	VTOKOVÝ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY	60
9.5	ODVZDUŠNĚNÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY	61
9.6	TEMPERAČNÍ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	61
9.7	ODFORMOVACÍ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY	64
9.8	VYHAZOVACÍ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	67
9.9	OSTATNÍ SOUČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY	68
10	TOKOVÉ ANALÝZY.....	71
10.1	KVALITA VYTVOŘENÉ SÍTĚ.....	71
10.2	PŘEDBĚŽNÁ (DEFAULTNÍ) ANALÝZA	72
10.2.1	Čas plnění (Fill time)	72
10.2.2	Rychlost smykové deformace (Shear rate)	73
10.2.3	Vstřikovací tlak ve vtokovém systému (Pressure at injection).....	73
10.2.4	Uzavírací síla (Clamp force)	74
10.3	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	75
10.4	FINÁLNÍ UPRAVENÁ ANALÝZA.....	76
10.4.1	Čas plnění (Fill time)	77
10.4.2	Průběh vstřikovacího tlaku ve vtokovém ústí (Pressure at injection).....	78
10.4.3	Rychlost smykové deformace (Shear rate)	80
10.4.4	Uzavírací síla (Clamp force)	80
10.4.5	Studené spoje (Weld lines).....	81
10.4.6	Vzduchové kapsy (Air traps)	82
10.4.7	Čas potřebný k ochlazení výstřiku na vyhazovací teplotu (Time to reach ejection temperature – part).....	82
10.4.8	Teplota v temperačních okruzích (Circuit coolant temperature)	84
10.4.9	Tlak v temperačních okruzích (Circuit pressure).....	85

10.4.10 Účinnost odvodu tepla v temperačních kanálech (Circuit heat removal efficiency)	86
10.4.11 Celková deformace od všech vlivů (Deflection, all effects: Deflection)	86
ZÁVĚR	90
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	91
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	93
SEZNAM OBRÁZKŮ	95
SEZNAM TABULEK.....	98
SEZNAM PŘÍLOH.....	99

ÚVOD

V poslední době zaznamenaly polymerní materiály prudký rozvoj jejich použití v praxi. Hlavní důvod rozvoje polymerních materiálů je především náhrada tradičních materiálu a jejich cena. Mimo jiné polymerní materiály disponují širokou škálou možností jejich zpracování a použití. Dalšími výhodami polymerních materiálů jsou jejich nízká hmotnost a poměrně dobré mechanické i chemické vlastnosti. Uplatnění nacházejí především ve strojírenském, automobilovém, stavebním a potravinářském průmyslu.

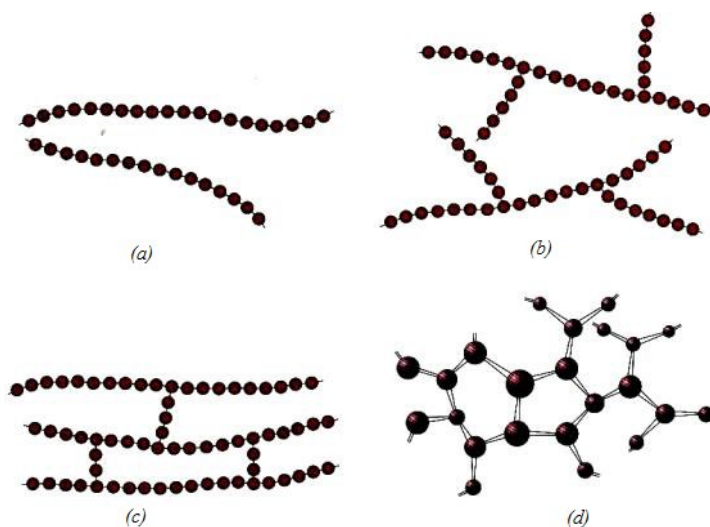
Mezi běžné způsoby zpracování polymerních materiálů patří vytlačování, lisování, vyfukování, tvarování a válcování. Přičemž nejrozšířenější je zpracovávání polymerů vstřikováním. Při vstřikování je roztavená polymerní tavenina formována v budoucí tvar výrobku ve vstřikovací formě. Jelikož je vstřikovací forma poměrně složitý nástroj na konstrukci a výrobu, je proto snahou o co největší využití normalizovaných dílů (normálií). Použití normálií vede také ke snížení nákladů a snížení času na výrobu celé vstřikovací formy. Aby se předešlo chybám při výrobě formy a při samotné výrobě výrobků je třeba návrh vstřikovací formy podrobit analýze. Mezi nejpoužívanější konstrukční a simulační programy v dnešní době patří CATIA, Solid Works, Autodesk Inventor a mnoho dalších.

Tato diplomová práce se ve své teoretické části zabývá polymerními materiály používanými při vstřikování, samotnou technologií vstřikování, používanými vstřikovacími stroji a zásadami při konstrukci vstřikovaných výrobků i vstřikovacích forem. V praktické části je pak řešena samotná konstrukce vstřikovací formy pro zadaný díl a její ověření pomocí tokové analýzy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymerní materiály jsou makromolekulární látky složené z jednoho nebo více druhů atomů (především atomy uhlíku, dusíku, vodíku, kyslíku a dalších prvků). Makromolekula je tedy základní stavební částice polymeru a je sestavena z mnohonásobně opakujících se strukturních jednotek – monomerů. Makromolekuly mohou mít různý tvar a podle toho je lze dělit viz. obrázek č. 1.



Obr. 1 Schéma tvaru makromolekul [7]

a) lineární, b) rozvětvené, c) se zkříženými články d) síťované

Za pomoci děje, zvaného polyreakce, vznikají z nízkomolekulárních sloučenin (monomerů) makromolekulární látky. Existují tři základní druhy polyreakcí:

- Polymerace – při této reakci dochází ke spojování velkého počtu stejných nebo různých monomerů což vede ke vzniku makromolekuly. Nedochozí ke vzniku vedlejších nízkomolekulárních produktů.
- Polyadice – Podobná polymeraci, avšak chemická stavba vzniklé makromolekuly je odlišná než stavba výchozího monomeru.
- Polykondenzace – Z nízkomolekulárních sloučenin vzniká pomocí postupné kondenzace vysokomolekulární látka, přičemž dochází ke vzniku nízkomolekulárních zplodin (např. voda).

Mezi jednotlivými atomy v makromolekule působí primární kovalentní vazby. Mezi makromolekulami pak působí sekundární síly (van der Waalsovy). Sekundární síly spolu s geometrií makromolekul, molekulovou hmotností a tvarem řetězce jsou důležitými fakto-

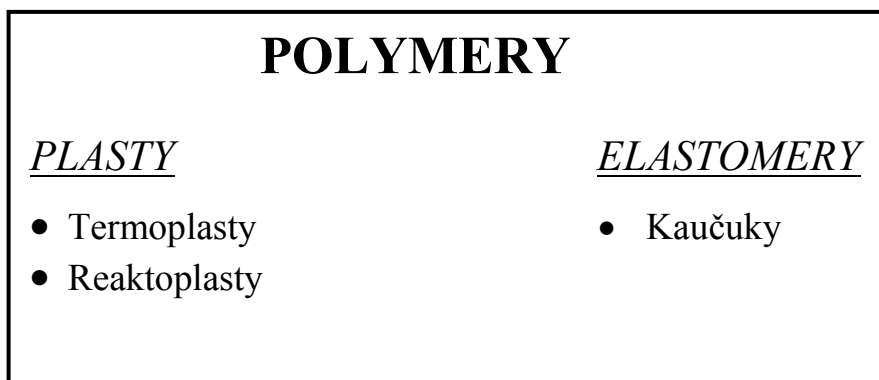
ry určující mechanické vlastnosti, chemickou odolnost, viskozitu taveniny a teplotu měknutí. [1],[2],[3]

1.1 Rozdělení polymerů

Polymery lze rozdělit několika způsoby. Kromě rozdělení podle původu (syntetické, přírodní) lze také rozdělit polymery podle:

- molekulární struktury - lineární, rozvětvené, síťované,
- druhu výroby – polymerace, polyadice, polykondenzace,
- morfologie – amorfní, semikrystalické,
- aplikace – standardní (komoditní), konstrukční, High-tech,
- chemického složení,
- druhu přísad – plněné, neplněné,
- polaritě – polární, nepolární.

Jedno z nejzákladnějších rozdělení polymerů je uvedeno na obrázku č. 2.

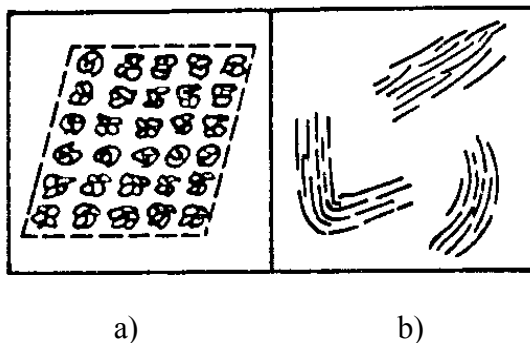


Obr. 2 Základní rozdělení polymerů

1.1.1 Termoplasty

Jsou to fyzikálně vázané lineární a rozvětvené makromolekuly, které lze opakovaně působením tepla převést do stavu viskosního a poté je tvářet. Po ochlazení se vrací zpět do původního stavu. Jsou to nejpoužívanější materiály v oblasti technologie vstřikování. Termoplasty se mohou nacházet ve dvou nadmolekulárních strukturách (amorfní, semikrystalické). [1]

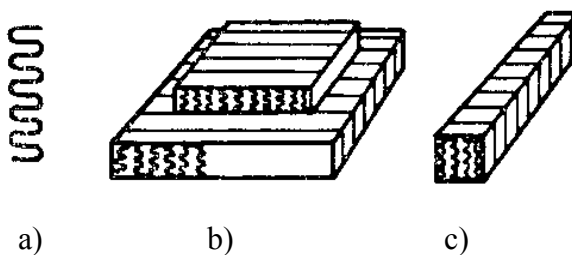
- Amorfní – makromolekulární řetězce jsou neuspořádané a jsou stočeny do klubíček (tzv. globuly). Amorfní termoplasty jsou charakteristické svými vlastnostmi, jako jsou například tvrdost, křehkost a dobrá rozpustnost v organických sloučeninách. [1]



Obr. 3 Amorfní struktura

a) globuly, b) svazky makromolekul [1]

- Semikrystalické – makromolekulární řetězce jsou částečně uspořádané a tvoří tzv. proužky makromolekul. Základním morfologickým útvarem semikrystalických polymerů jsou tzv. fibrily, lamely. Semikrystalické polymery jsou špatně rozpustné v organických rozpouštědlech, jsou houževnaté a jejich pevnost se zvyšuje s rostoucí krystalinitou. [1]



Obr. 4 Semikrystalická struktura

a) proužek makromolekul, b) lamela, c) fibrila [1]

1.1.2 Reaktoplasty

Při zahřívání lze po omezenou dobu tyto materiály tvářet. Po dalším ohřevu dochází k chemické reakci (vytvrzování) a tvorbě trojrozměrné sítě. Vytvrzování spočívá v zahřátí nebo v přidání vytvrzovacího prostředku. Reaktoplasty se tedy mění z plastického stavu do nevratně nerozpustného a netavitelného stavu. Oproti termoplastům mají lepší mechanické vlastnosti a lépe odolávají vyšším teplotám. [1]

1.1.3 Elastomery

Jsou to materiály, které lze již malou silou značně deformovat a po uvolnění této síly se materiál vrací zpět do původního nedeformovaného stavu. Při zahřívání dochází k chemické reakci (vulkanizaci) a tvorbě prostorové sítě mezi makromolekulami. [1], [2]

1.2 Příprava polymeru před vstřikováním

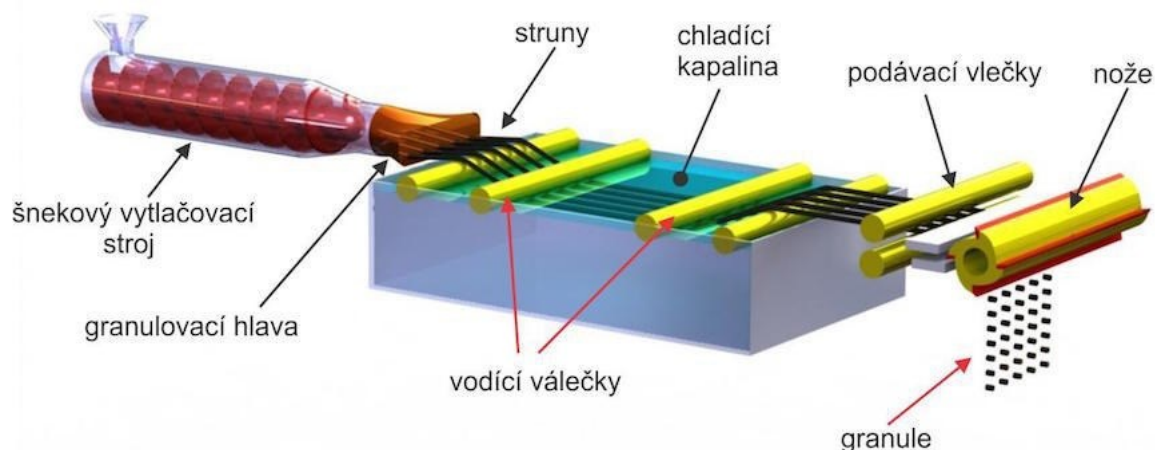
Polymerní materiály se obvykle nezpracovávají v hotové výrobky, aniž by neprošly přípravnými technologiemi. Přípravnými technologiemi se rozumí operace, při kterých dochází k ovlivnění chemické a fyzikální struktury plastů. [2]

1.2.1 Přísady

- Stabilizátory – jsou to látky, které zvyšují odolnost materiálu proti účinkům tepla, světla, kyslíku a dalším vlivům.
- Změkčovadla – jsou to organické látky (tzv. plastifikátory), které se přidávají za účelem zlepšení houževnatosti, ohebnosti, snížení viskozity taveniny a modulu pružnosti.
- Plniva – organické i anorganické látky, které se přidávají za účelem zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností (tvrdost, modul pružnosti, rozměrová stabilita, tepelná odolnost). Mohou být ve formě vláken (např. skleněná) tak i ve formě prášků (grafit, aktivní saze).
- Maziva – látky používané za účelem zvýšení zatékavosti polymeru a k usnadnění vyhození výstřiků z formy.
- Pigmenty – jsou to organické i anorganické látky, které ovlivňují vzhled výrobků. [2], [3]

1.2.2 Granulace

Před vlastním zpracováním musí být polymerům dán také tvar, protože většina polymerů při polymeraci vzniká v práškové formě, což je neefektivní z hlediska dávkování, míchání a skladování materiálu. Granulát se vyrábí v různých tvarech (nejčastěji válečky, čocky) různými granulačními metodami. Metody používané pro výrobu granulátu jsou: granulace z pásu, granulace strun za studena, granulace strun za horka. [4], [5], [6]



Obr. 5 Schéma linky pro výrobu granulí za studena [4]

1.2.3 Sušení

Díky chemickému složení termoplastů (přítomnost hydrofilních skupin v makromolekule) je většina z nich navlhavých, což znamená, že jsou schopny absorbovat vlhkost z okolního vzduchu. Dalšími příčinami navlhavosti mohou být některá aditiva, výroba granulátu (průchod materiálu vodní lázni) nebo nevhodné skladování. Vlhkost v materiálu má negativní účinek na fyzikální, mechanické, tepelné a reologické vlastnosti. Z tohoto důvodu je třeba vlhkost z materiálu odstranit sušením. Sušení se provádí několika způsoby, nejčastěji však v komorových sušárnách s cirkulujícím vzduchem. Sušící teplota a doba je závislá na druhu plastu (viz. Tab. 1). [4], [5], [6]

Tab. 1 Teplota a doba sušení vybraných polymerů [23]

Plast	PE	PP	PS	PVC	PMMA	PA 6	PC	PET
Teplota sušení [°C]	90	90	80	70	80	80	120	150
Doba sušení [hod]	1-2	1-2	1-2	1	3-4	4-5	2-3	5

1.2.4 Recyklace – mletí a drcení

Vzhledem k energetické a ekonomické náročnosti spojené s plasty je v dnešní době kladen požadavek na to, aby se co nejvíce dokázal využít odpad pro opětovné zpracování - recyklovat. Technologický odpad při vstřikování je tvořen zejména vtokovými systémy a vadnými výstřiky. Výrobky po skončení své funkční doby se řadí do užitného odpadu. Nevýhoda užitného odpadu je však to, že výrobek je poškozen stárnutím. [5], [6]

Pro recyklaci odpadů se tedy používají různé typy mlýnů a drtičů, které jsou schopny poskytnout více méně kvalitní regenerát za přijatelné náklady. Mezi nejpoužívanější patří nožové a talířové mlýny. [5], [6]

Regenerát se dá použít jako příměs nebo se dá samostatně zpracovávat. Obsah regenerátu, který je smíchán s novým granulátem, má významný vliv na mechanické vlastnosti výrobků. U velmi namáhaných výrobků je proto přidání regenerátu vyloučeno. Co se týká méně namáhaných výrobků, tak se doporučuje přidávat do nového granulátu max. 20 % regenerátu. V některých případech (u nenáročných výrobků), lze vstříkovat jen ze samotného regenerátu. [5], [6]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je cyklický proces tváření polymerů, při kterém se zpracováváný polymerní materiál vstřikuje ze stroje pod tlakem do uzavřené dutiny (formy), kde materiál tuhne a ochlazuje se na vyhazovací teplotu. Po dosažení vyhazovací teploty, která je závislá na vstřikovaném materiálu, výrobek dutinu opouští. Dutina vstřikovací formy má tvar budoucího výrobku a je zvětšena o hodnotu smrštění vstřikovaného materiálu. Vstřikováním se z větší části zpracovávají termoplasty, ale zpracovávají se také reaktoplasty a elastomery. Při vstřikování termoplastů je materiál v dutině formy ochlazován, kdež to u reaktoplastů a elastomerů je materiál v dutině formy ohříván, a to proto, aby došlo k zesíťování (u reaktoplastů) či k vulkanizaci (u elastomerů). [3], [8]

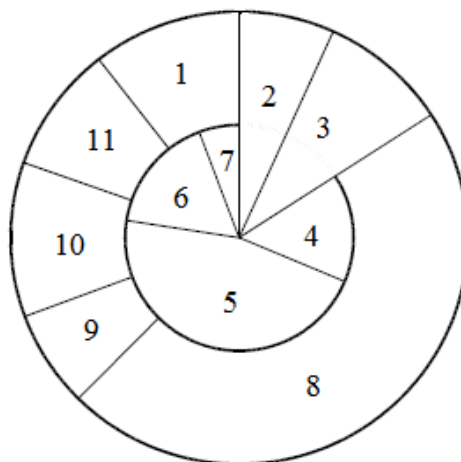
Technologie vstřikování nachází největší uplatnění ve velkosériové výrobě finálních výrobků, menší uplatnění potom při výrobě polotovarů. Výhodou této technologie je zejména možnost výroby výrobků složitějších tvarů zároveň s velmi dobrou tvarovou a rozměrovou přesností. Mezi nevýhody patří vysoké náklady na pořízení vstřikovacího stroje a výrobu vstřikovací formy. [3], [8]

2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus popisuje sled a dobu trvání operací při procesu vstřikování. Vstřikovací cyklus je rozdělen do dvou základních operací. Operace, které koná plastikační jednotka (vnější kruh) a operace, které vykonává vstřikovací forma (vnitřní kruh). [3]

Celý vstřikovací cyklus je zahájen uzavřením vstřikovací formy za současného příjezdu plastikační jednotky, ve které je naplastikována požadovaná dávka materiálu. Po následném uzavření vstřikovací formy nastává fáze plnění a dotlaku. Dotlak, který nemusí být vždy zařazen do vstřikovacího cyklu, má za účel dotlačit taveninu do všech koutů ve formě a eliminovat velikost smrštění. Velikost dotlaku je buď menší, nebo stejná jako je velikost vstřikovacího tlaku, který se u vstřikování termoplastů pohybuje v rozmezí 50 až 200 MPa. Fáze dotlaku je ukončena zatuhnutím vtokového ústí. Po ukončení fáze plnění a dotlaku následuje ve formě tuhnutí a ochlazování materiálu na vyhazovací teplotu (nejdelší část vstřikovacího cyklu), současně odjíždí plastikační jednotka a začíná plastikace nové dávky materiálu. Jakmile je výrobek ochlazen na vyhazovací teplotu, dochází k otevření formy a k jejímu vyprázdnění. Poslední fází je příprava formy na další vstřikovací cyklus

(čištění, nános separačních prostředků atd.), během této fáze má plastikační jednotka prodlevu. [3], [8], [9]



Obr. 6 Kruhový diagram vstřikovacího cyklu [9]

Operace plastikační jednotky

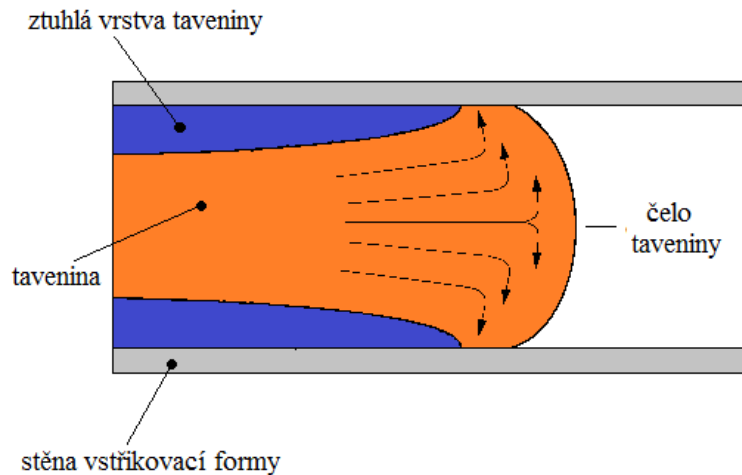
- 2 – vstříknutí
- 3 – dotlak a doplňování
- 4 – odjezd plastikační jednotky
- 5 – plastikace
- 6 – prodleva
- 7 – přísun plastikační jednotky

Operace vstřikovací formy

- 1 – uzavření formy
- 2 – vstříknutí
- 3 – dotlak a doplňování
- 8 – chlazení
- 9 – otevření formy
- 10 – vyprázdnění formy
- 11 – příprava formy

2.2 Tok polymerní taveniny dutinou formy

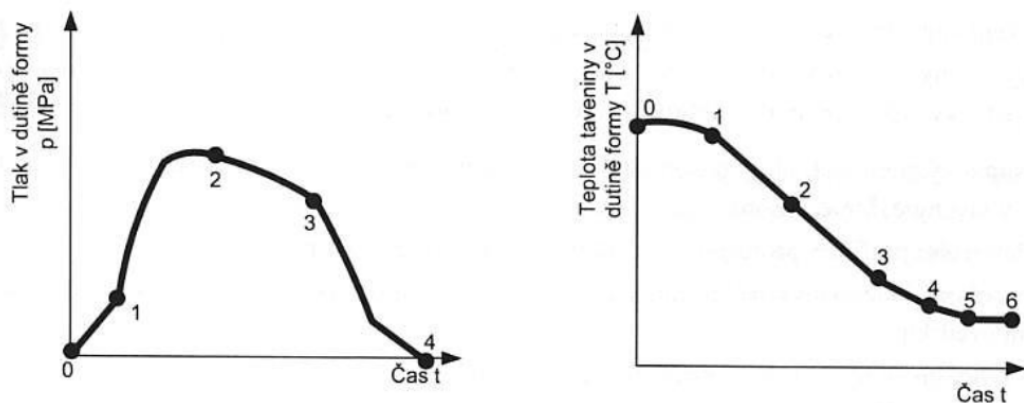
Plnění dutiny formy musí probíhat postupně a to tak, aby nedocházelo k volnému toku taveniny tzv. jettingu, který by mohl mít za následek zhoršení fyzikálních vlastností a vzhledu výrobku. Správné plnění dutiny formy je charakteristické laminárním (fontánovým) tokem taveniny. Fontánový tok je způsoben absencí skluzu taveniny na stěně, díky nižší teplotě vstřikovací formy a tuhnutím tak taveniny na stěnách. Z počátku tedy tavenina tuhne na stěnách formy a vytváří vrstvičku izolace, dále pak tavenina teče pouze plastickým jádrem o nízké viskozitě. [4], [9]



Obr. 7 Fontánový tok taveniny

2.3 Průběh tlaku a teploty taveniny ve formě

Během vstříkovací cyklu se mění tlak i teplota uvnitř vstříkovací formy. V bodě 0 začíná fáze plnění formy taveninou a tlak během této fáze začíná narůstat až do maximální hodnoty. Uzavírací síla stroje musí být během cyklu větší, než je síla, která vzniká při plnění dutiny formy, aby nedošlo k pootevření formy. V dalších bodech, které postupně znázorňují fázi dotlaku a chlazení, tlak klesá (viz. obrázek č. 8 vlevo). Na obrázku vpravo lze vidět průběh teploty taveniny ve formě, která při plnění dutiny formy klesá vlivem chlazení. [4], [9]



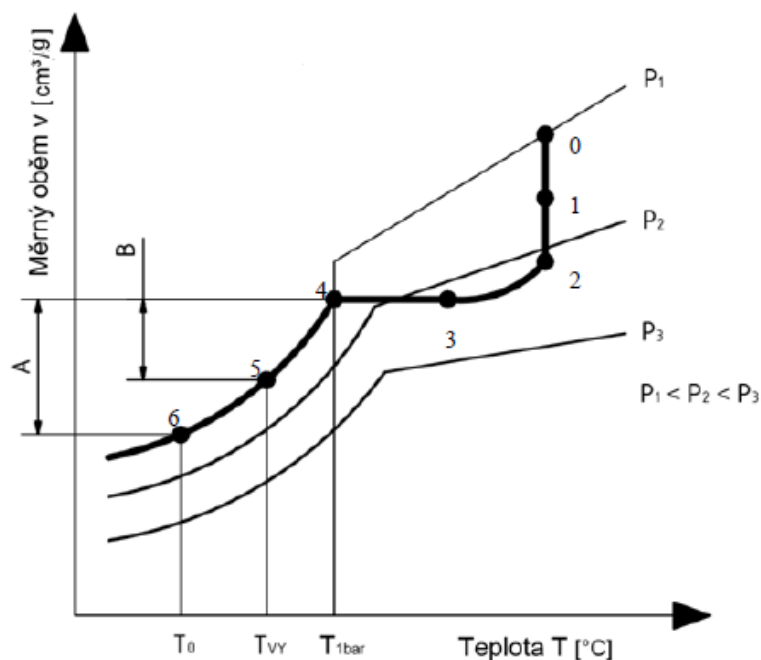
Obr. 8 Průběh tlaku a teploty taveniny v čase při vstříkovaní [9]

2.3.1 pvT diagram

Vstřikovací cyklus lze také popsat pomocí třech stavových veličin v diagramu pvT. Jedná se o tlak taveniny (p), měrný objem taveniny (v) a její teplotu (T). Pomocí diagramu pvT lze optimalizovat vstřikovací proces. [4], [9]

Fáze pvT diagramu:

- 0 – 1: plnění vstřikovací formy polymerní taveninou
- 1 – 2: komprese (stlačení) taveniny ve formě
- 2: maximální tlak
- 2 – 3: dotlaková fáze, zároveň probíhá fáze chlazení
- 3: zamrznutí vtokového ústí
- 3 – 4: pokles tlaku při konstantním objemu
- 4: tlak ve formě dosahuje hodnoty tlaku atmosférického
- 4 – 5: chlazení ve formě při konstantním tlaku, zvyšuje se tuhost výstřiku
- 5: vyhození výstřiku
- 5 – 6: chlazení mimo formu na teplotu okolí



Obr. 9 Průběh vstřikovacího cyklu v diagramu pvT [9]

3 VSTŘIKOVACÍ STROJE

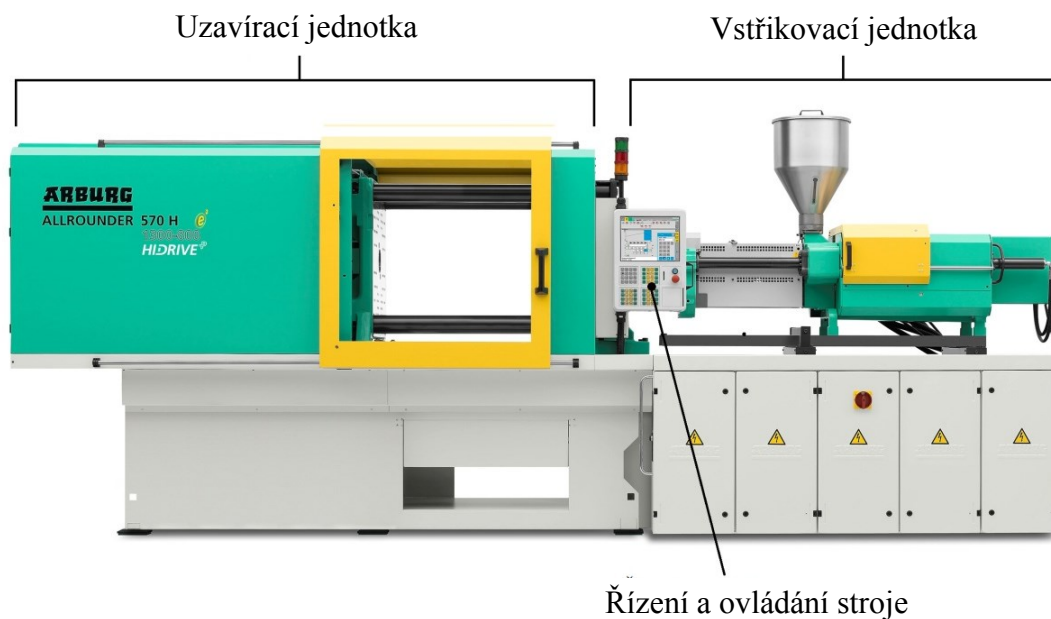
Vstřikovací stroj je výrobní zařízení, které má za úkol převést tuhý polymerní materiál v taveninu, homogenizovat ji a poté zajistit její vstříknutí pod požadovaným tlakem do dutiny vstřikovací formy. Má také za úkol bezpečně uzavřít a zajistit formu, aby nedošlo během vstřikování k jejímu pootevření. [8]

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, vstřikovací stroje nacházejí své uplatnění hlavně ve velkosériové výrobě, vzhledem vysokým pořizovacím nákladům. Stroje můžeme rozdělit podle několika hledisek:

- typ zpracovávaného polymeru – termoplasty, reaktoplasty, elastomery,
- typ plastikace – pístová, šneková, kombinovaná,
- vzájemná poloha vstřikovací a uzavírací jednotky – vstřikování do dělicí roviny nebo kolmo na dělicí rovinu,
- velikost objemu vstřikované taveniny,
- pohon vstřikovací a uzavírací jednotky – hydraulický, mechanický, hydraulickomechanický,
- velikost uzavírací síly.

Vstřikovací stroj se skládá ze tří hlavních částí:

- vstřikovací jednotka,
- uzavírací jednotka,
- ovládání a řízení stroje.



Obr. 10 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 570 H [10]

Při výběru vhodného vstřikovacího stroje se vychází z těchto parametrů:

- velikost uzavírací a přidržovací síly (síla potřebná k uzavření formy a k držení formy při vstřikování),
- vzdálenost mezi vodícími sloupy (prostor pro umístění formy),
- vstřikovací kapacita (objem vstřikované dávky),
- vstřikovací tlak,
- plastikační výkon (množství zplastikovaného materiálu za hodinu),
- maximální zdvih stroje. [8], [9]

3.1 Vstřikovací jednotka

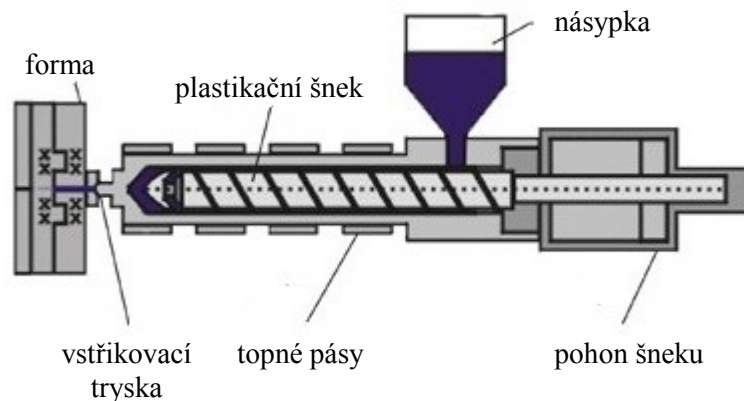
Vstřikovací jednotka je část vstřikovacího stroje, sloužící k roztavení granulátu v taveninu, k její homogenizaci a její vstřiknutí do vstřikovací formy pod požadovaným tlakem. [9]

3.1.1 Vstřikovací jednotka bez předplastikace

Vstřikovací jednotky bez předplastikace lze rozdělit podle způsobu plastikace a vstřiknutí taveniny:

- Plastikace a vstřikování pomocí šneku

Tuhý polymerní materiál ve formě granulí nebo prášku je pomocí otáčejícího se šneku nabírán z násypky. V tavicí komoře dochází k tavení materiálu díky disipaci (až 70 %) a topným pásům. Šnek se při plastikaci otáčí a odjíždí dozadu a tím dochází k posunu a k hromadění materiálu před čelo šneku. Po zplastikování požadované dávky je materiál vstříknut do dutiny formy posunem šneku směrem vpřed a stroj přechází na fázi dotlaku. Tento způsob je v dnešní době nejpoužívanějším. [11]



Obr. 11 Stroj s plastikací a vstřikováním pomocí šneku [12]

- Plastikace v tavicí komoře, vstřikování pomocí pístu

Princip spočívá v roztavení materiálu v tavicí komoře pomocí topných těles a následném vstříknutí taveniny pístem do dutiny formy. Pístová plastikace nenachází velké uplatnění z důvodů horší homogenizace taveniny. Naopak mezi výhody lze zařadit jednoduchou konstrukci a docílení vysokých vstříkovacích tlaků. [11]

3.1.2 Vstříkovací jednotka s předplastikací

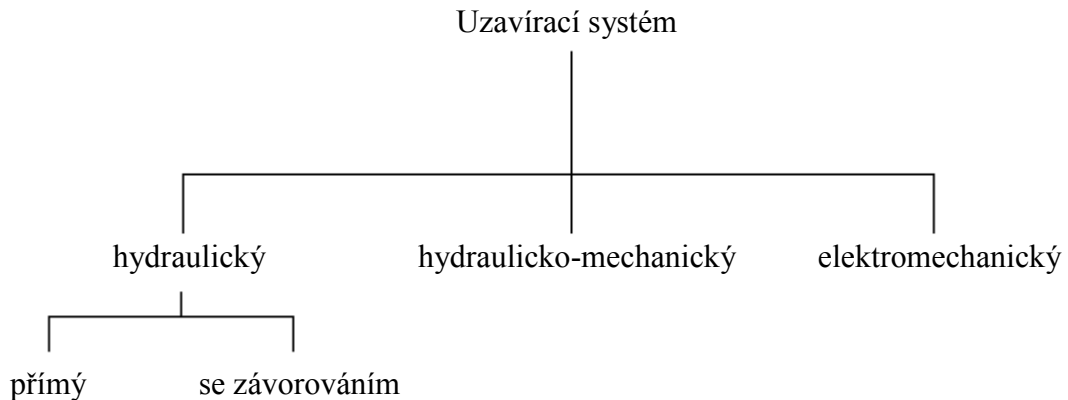
Vstříkovací jednotka je rozdělena na část plastikační a část vstříkovací, z důvodu zajištění dostatečného plastikačního výkonu a dokonalé homogenizaci polymerní taveniny. Předplastikace může probíhat v tavicí komoře nebo pomocí šneku. [11]

3.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka vstříkovacího stroje má za úkol zajistit otevírání, bezpečné uzavírání a také přidržení vstříkovací formy během vstřikování. Uzavírací síla musí být větší, než je tlaková síla taveniny působící na stěnu formy, jinak by během vstříkovacího procesu

došlo k pootevření formy. Velikost potřebné uzavírací síly je závislá na velikosti plochy výstřiků promítnuté do dělicí roviny a na velikosti vstřikovacího tlaku. [11]

Podle druhu pohonu uzavíracího systému lze rozdělit: (viz. Obr. 12):



Obr. 12 Rozdělení uzavíracích jednotek podle druhu jejich pohonu

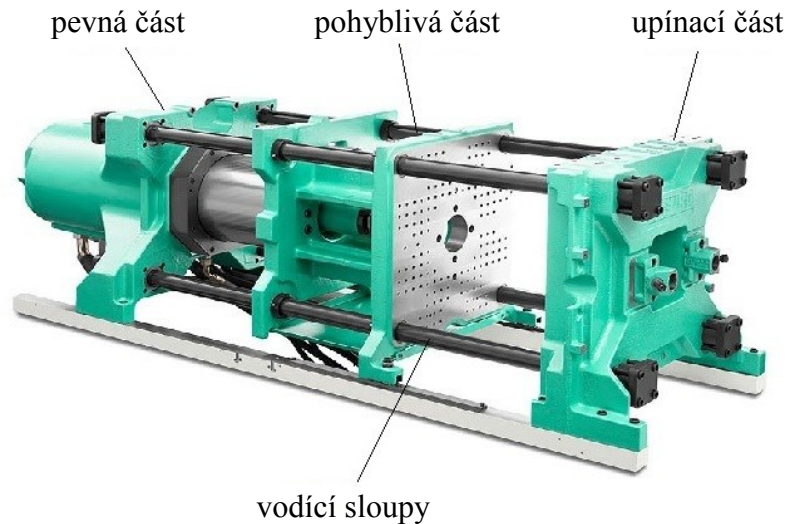
Hlavními částmi uzavírací jednotky jsou:

- opěrná deska pevná,
- upínací deska,
- vodící sloupky,
- uzavírací mechanismus.

Hydraulický uzavírací systém, který je zapojen do hydraulického obvodu, je typický svou jednoduchostí, snadnou regulací uzavírací síly a rychlosti uzavírání a také nastavením libovolné hloubky otevření nástroje. Nevýhody však vznikají při vysokých uzavíracích silách, kdy je potřeba hydraulických válců o velkých rozměrech. U hydraulického systému se závorováním tato nevýhoda odpadá, protože je zde použita tzv. mechanická závora, která vytvoří mezi pohyblivou částí a základovým rámem tuhý spoj. Výhodou je vysoká rychlost uzavírání s bezpečným a pomalým dosednutím pohyblivé části na nepohyblivou část formy. [8], [11]

U hydraulicko-mechanického systému je kloubový mechanismus ovládán hydraulickým válcem. Výhodou je dostatečná tuhost tohoto systému.

V případě elektromechanického uzavíracího systému je klikový mechanismus ovládán elektromotorem. Mezi hlavní výhody se řadí především nízká energetická náročnost a jednoduchá konstrukce. [11]



Obr. 13 Hydraulický uzavírací systém od firmy Arburg [10]

3.3 Řízení a ovládání stroje

Jak již bylo zmíněno, vstřikovací stroj se skládá ze vstřikovací a uzavírací jednotky a je doplněn ještě o příslušenství, které je spojeno s ovládáním a řízením stroje. [11]

V dnešní době je kladen důraz na co nejjednodušší a nejpřehlednější systémy pro ovládání a řízení, proto jsou ovládací panely opatřeny dotykovou obrazovkou. Dotyková obrazovka umožňuje snadné a rychlé nastavení a sledování všech parametrů ovlivňujících kvalitu a vlastnosti výstřiku:

- doba a velikost vstřikovacího tlaku, dotlaku, doba chlazení, velikost vstřikovací rychlosti – ovlivňují kvalitu výstřiku;
- velikost teploty taveniny a formy – ovlivňují mechanické a fyzikální vlastnosti.



Obr. 14 Řídící panel Arburg Selogica [10]

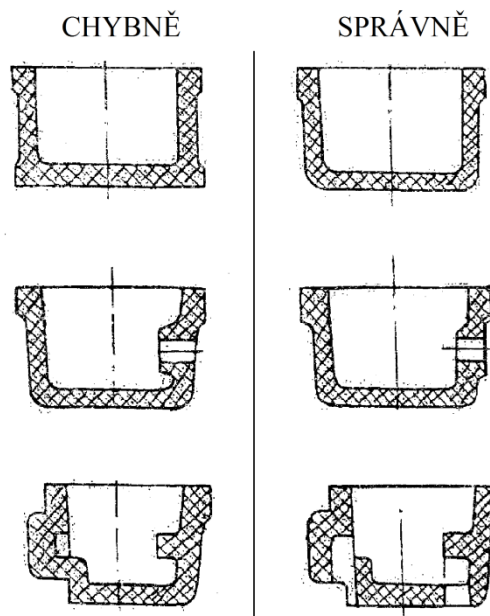
4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

Při návrhu vstřikovaných výrobků z plastů musí konstruktér uvažovat, aby součást vyhovovala z hlediska funkčního i z hlediska technologického. Funkčním hlediskem se rozumí dosažení požadovaných vlastností výrobků, jako jsou např. pevnost, houževnatost, tuhost a rozměrová přesnost. Technologické hledisko se zabývá výběrem vhodného materiálu a podmínek při samotné výrobě. [3]

Konstruktér také musí mít dobré znalosti o mechanických, elektrických a chemických a jiných podmínkách, ve kterých bude nový výrobek používán. Dále musí vědět, jak bude součást vyrobena, opracována a montována. Souběžně s těmito aspekty musí řešit ekonomické (např. náklady na výrobu formy) a estetické požadavky (barva, tvar, lesk). Všechny tyto poznatky vedou ke správnému návrhu konstrukce výrobku, který se bude vyrábět vstřikováním. [13], [14]

4.1 Zaformovatelnost

Volba vhodného umístění výrobku do formy (volba dělicích rovin), tak aby byl výrobek co nejjednodušeji pomocí různých konstrukčních prvků (šíbry, čelisti, vytáčeční trny) odformovatelný, s ohledem na ekonomiku výroby. [13]

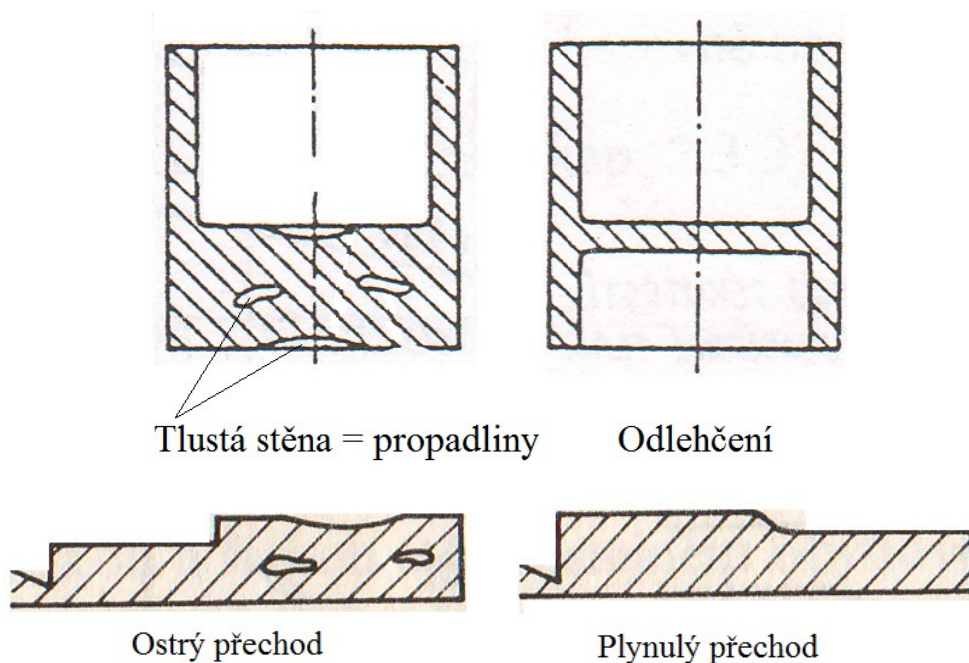


Obr. 15 Příklady chybného a správného zaformování výrobků [13]

4.2 Tloušťky stěn

U výrobků s různou tloušťkou stěn může docházet ke vzniku vnitřních pnutí, propadlin a různých povrchových vad, vlivem nerovnoměrného tuhnutí materiálu. Kvůli tomuto důvodu by se mělo dbát na to, aby se dodržovala zásada stejně tlustých stěn výstřiků, toho však bohužel vždy dosáhnout nelze. [3]

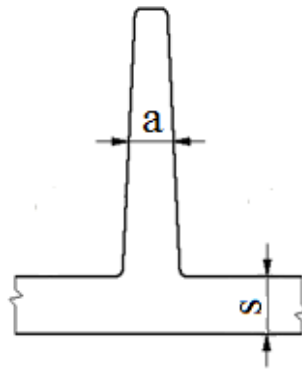
V dnešní době je kladen důraz na co nejekonomičtější výrobu, což je spojeno s úsporou materiálu v podobě snížení tloušťek výrobku. A proto se musí dodržovat určitá pravidla: plynulé přechody v tloušťkách stěn (bez ostrých hran), odlehčení tlustých stěn, tloušťka bočních stěn by neměla překročit 0,8 násobek tloušťky hlavní stěny. [13], [14]



Obr. 16 Příklady správného řešení stěn výstřiků [8]

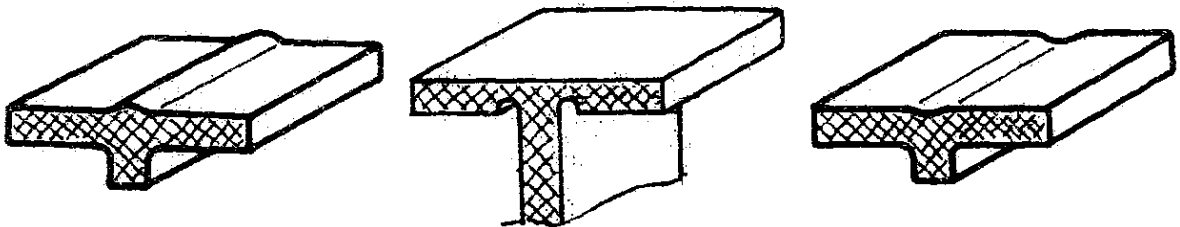
4.3 Tloušťky žeber

Žebra u výrobků slouží jako prvek pro zvýšení pevnosti a tuhosti (funkční žebra), a také pro optimální plnění dutiny formy (technologická žebra). Pro eliminování objemové kontrakce (tzv. vtaženin) výrobků při chladnutí, musí mít tloušťka žebra určitý poměr k hlavní tloušťce stěny. Poměr tloušťky žebra k hlavní tloušťce stěny se liší typem použitého polymeru. U amorfních by měl být poměr: $a \leq 0,7 \cdot s$, kdežto u semikrystalických: $a \leq 0,5 \cdot s$. [3], [13], [14]



Obr. 17 Poměr tloušťky žebra k tloušťce hlavní stěny

U pohledových výrobků se k eliminaci vtaženin po žebrech používá dezénování. Zamaskování vtaženin lze také pomocí použití vhodných drážek a výstupků na vnější ploše, která je viditelná. [13], [14]

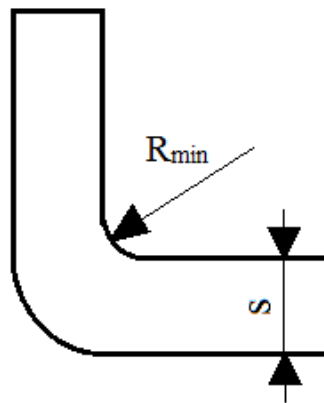


Obr. 18 Příklady způsobů eliminace vzniku vtaženin [13]

4.4 Zaoblení ostrých hran, rohů a koutů

Ostré hrany způsobují koncentraci napětí v těchto místech, což může vést ke snížení mechanických vlastností výrobku. Dále mají ostré hrany také negativní vliv na tok taveniny dutinou formy. Čím větší je rádius zaoblení, tím menší je koncentrace napětí a odpor proti toku taveniny dutinou formy. Zaoblení napomáhá také snadnějšímu vyjímání výrobku z formy.

Minimální rádius zaoblení má být $R_{\min} = 0,25 \cdot s$. Vnější rádius by měl být větší o tloušťku stěny než je rádius vnitřní. [13], [14]



Obr. 19 Poloměr zaoblení v závislosti na tloušťce stěny

4.5 Úkosity, podkosity

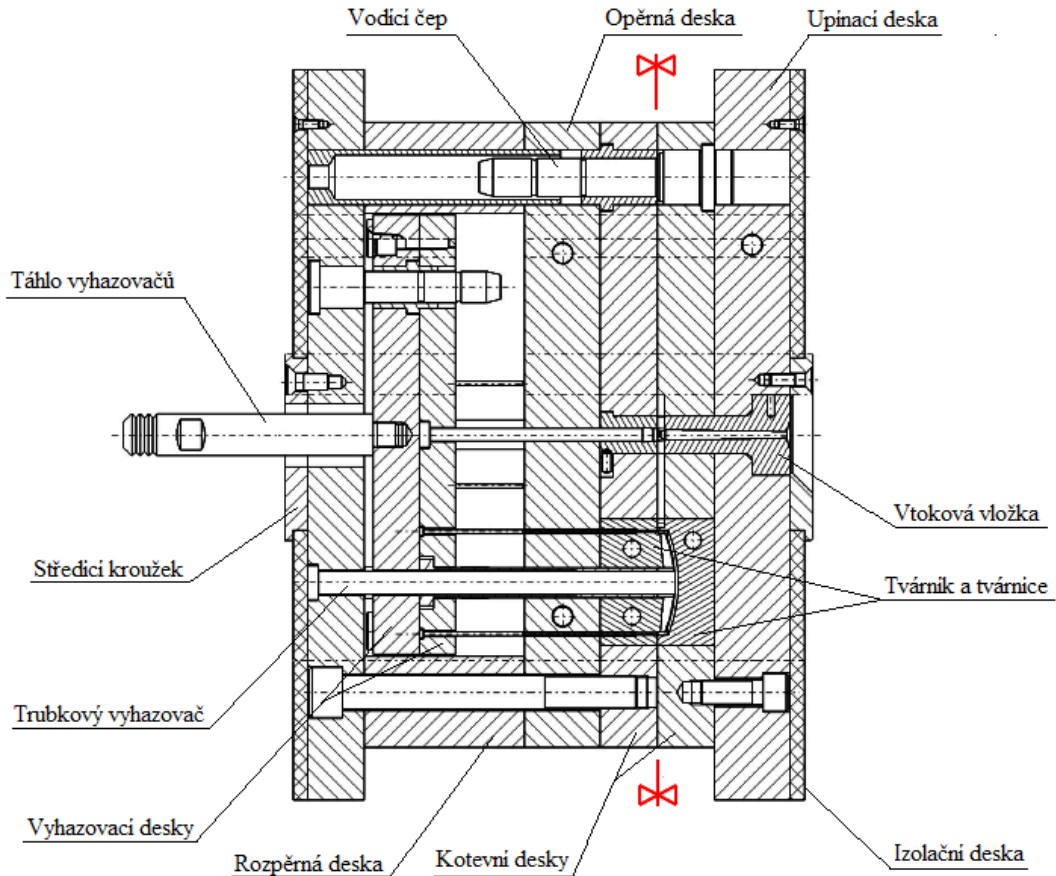
Úkosity se na výrobcích navrhují z důvodů snazšího vyjímání výrobků, zatímco podkosity vyjímání výrobků z formy zabraňují. Doporučené úkosity pro jednotlivé typy ploch jsou uvedeny v tabulce č. 2. [13], [14]

Tab. 2 Doporučené velikosti úkosu

Typ plochy	Velikost úkosu
Vnější plocha	0,5° - 2° (1°)
Vnitřní plocha	0,5° - 3° (1°)
Hluboký otvor	1° - 10°
Otvor do hloubky $2 \cdot D$	0,5° - 1°
Žebra	1° - 10° (3°)
Výstupky	2° - 10°

5 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je výměnný nástroj vstřikovacího stroje, který udává tvar vyráběnému dílu. Forma se skládá z pravé pohyblivé a levé nepohyblivé části, které jsou tvořeny jednotlivými deskami a dalšími normalizovanými prvky (viz. Obr. 20). [9]



Obr. 20 Základní části vstřikovací formy [9]

Správně navržená forma musí splňovat následující požadavky:

- správná funkčnost,
- vhodný vtokový, vyhazovací, odzdušňovací a temperační systém;
- optimální životnost;
- dostatečná tuhost a pevnost formy;
- výroba součástí v dostatečné kvalitě a přesnosti.

5.1 Kritéria pro návrh vstříkovací formy

Celá konstrukce formy by měla být pokud možno výrobně co nejjednodušší a co nejméně ekonomicky nákladná. Zároveň musí splňovat všechny požadavky zmíněné výše. Konstruktor znalý v problematice vstříkování, by měl při samotné konstrukci formy provádět následující operace:

- pozorně prostudovat výkres součásti, která se bude vyrábět (tvar, rozměry, tolerance, přechody v tloušťkách stěn),
- zvolení nebo upřesnění vhodného způsobu zaformování, včetně určení počtu dělicích rovin a jejich poloh ve formě,
- volba vhodného rozmístění tvarových dutin, typu vtokového systému, počtu vtokových ústí. Dále pak vhodné tvary a délky jednotlivých částí vtokového systému,
- určení vhodných systému pro vyhazování, temperaci a odvzdušnění,
- zvolení vhodného rámu formy,
- volba vhodných prvků sloužících k vystředění formy včetně způsobu upnutí formy na stroj,
- celková kontrola navržené formy s ohledem na podmínky vstříkování. [13], [18]

5.1.1 Násobnost

Násobnost formy udává počet výstříků vyrobených za jeden cyklus. Formy tedy mohou být jednonásobné nebo vícenásobné. Nevýhodou vícenásobných forem jsou vyšší náklady a větší zmetkovitost oproti formám jednonásobným. Použití vícenásobných forem také vede ke zpomalení celého vstříkovacího cyklu, takže produktivnost těchto forem není tak vysoká, jak by se na první pohled mohlo zdát. O určení násobnosti formy rozhodují tyto faktory:

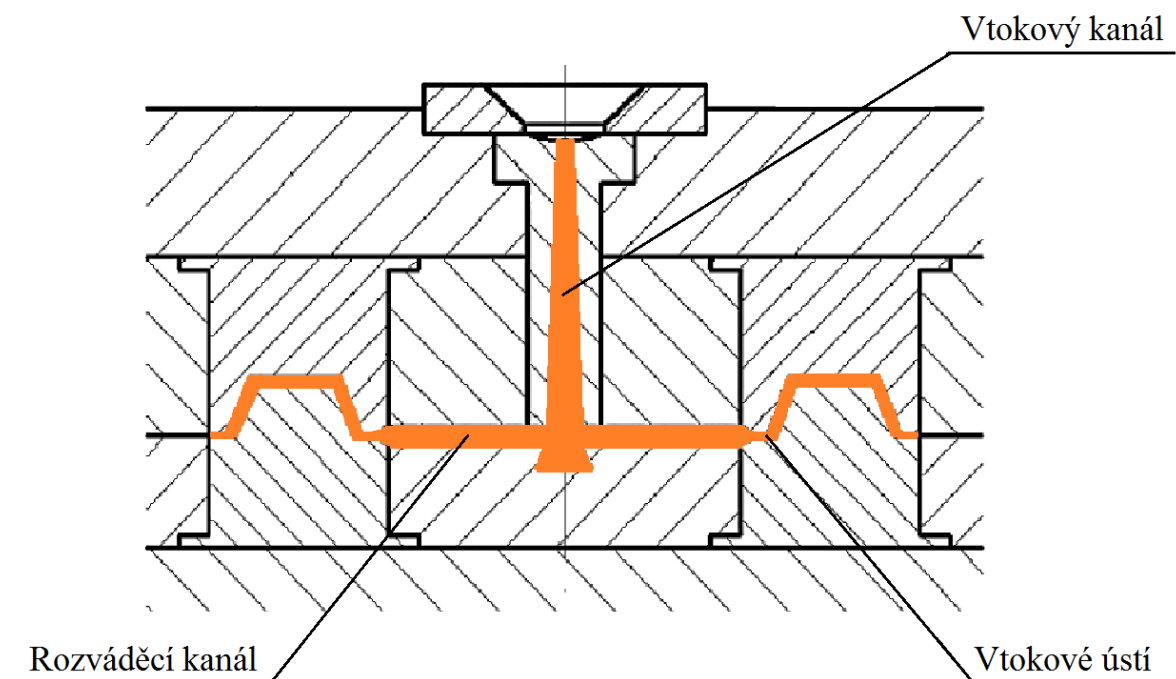
- množství výrobků, které se mají vyrobit a také doba jejich dodání,
- velikost, složitost, hmotnost a přesnost vstříkovaného výrobku,
- parametry vstříkovacího stroje, který máme k dispozici.

5.2 Vtokové systémy

Vtoková soustava má za úkol zajistit spolehlivou dopravu polymerní taveniny ze stroje do dutiny formy. Celý systém by měl být navrhnut tak aby docházelo k rovnoměrnému plnění dutiny. Vtokové soustavy můžeme rozdělit na studené, vyhřívané a kombinované. [3], [8], [13]

5.2.1 Studená vtoková soustava

Studená vtoková soustava (SVS) se skládá z vtokového kanálu (vločky), rozváděcího kanálu a vtokového ústí (viz. Obr. 21). Hlavní zásadou u SVS je aby tavenina dorazila ke všem dutinám vstřikovací formy současně a měla při tom konstantní tlak. Nevýhodou tohoto typu vtokové soustavy je vznik velkého odpadu materiálu díky vtokovým zbytkům. [9]



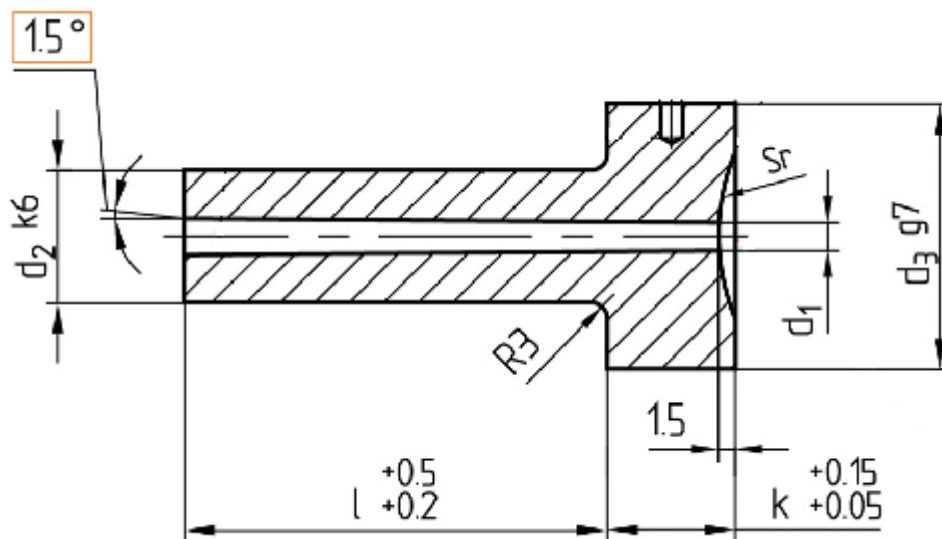
Obr. 21 Studená vtoková soustava [9]

Vtokové kanály

Tato část studené vtokové soustavy musí být vyrobena z pevné tepelně upravené oceli, jelikož v této části dochází ke styku s roztaveným materiálem a také zde dochází k velkému mechanickému namáhání. Nejběžnějším vtokovým kanálem je vtokový kanál kuželový. V praxi je tento typ vtokového kanálu používán nejvíce z důvodu snadného vyjmutí vtokového zbytku z formy. [3], [8], [13]

Kuželový vtokový kanál může ústít do rozvodných kanálů nebo může ústít přímo do dutiny formy. Kužel by měl být vyroben s úkosem alespoň $1,5^\circ$. Průměr vtokového kanálu, kde materiál vstupuje ze stroje, bývá zpravidla o 0,5 až 1 mm větší, než průměr otvoru trysky u vstřikovacího stroje. Maximální průměr kanálu je závislý na tloušťce výstřiku a měl by být alespoň o 1,5 mm větší, než je největší tloušťka vstřikovaného dílce. [3], [8], [13]

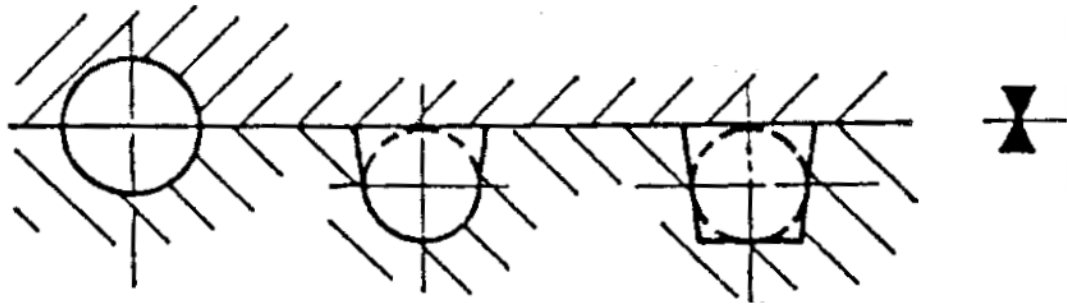
Při ústění vtokového kanálu do rozváděcích kanálů se zpravidla konstruuje ještě jímka, která zachycuje chladnější čelo taveniny a napomáhá také snadnějšímu vyjmutí vtokového zbytku. [3], [8], [13]



Obr. 22 Vtokový vložka od firmy Hasco [21]

Rozváděcí kanály

Rozváděcí kanály vedou taveninu z vtokové vložky ke vtokovým ústím. Kanály by měly být co nejkratší, aby nevznikaly tlakové ztráty a nadměrné ochlazení taveniny. Průřez kanálu by měl mít co nejmenší povrch z důvodu dosažení minimálních odporů proti toku taveniny. Nejvýhodnější jsou tedy kanály s kruhovým průřezem, které jsou ale náročné na výrobu. V praxi se tedy nejčastěji používají kanály půlkruhového nebo lichoběžníkového průřezu. Velikost průřezu je závislá na hmotnosti výstřiku, délce toku taveniny a tekutosti hmoty. A proto, s rostoucí hmotností výstřiku se zvyšuje průřez kanálů. [3], [8], [13]



Obr. 23 Vhodné průřezy rozváděcích kanálů [8]

Vtoková ústí

Na rozvodný kanál navazuje zužující se vtokové ústí, které je zúženo z důvodu zvýšení teploty taveniny před vstupem do dutiny formy a snížení tvorby defektů na povrchu výstřiku.

Konstrukce a umístění vtokového ústí je důležitá a hraje významnou z hlediska mechanických vlastností a rozměrové stability výstřiku. Při návrhu se lze řídit doporučenými zásadami:

- průřez vtokového ústí volit co nejmenší v závislosti na technologii, typu materiálu a požadavku na výrobek,
- délku ústí volit co nejkratší,
- musí být umožněno spolehlivému naplnění dutiny formy a následnému doplňování.

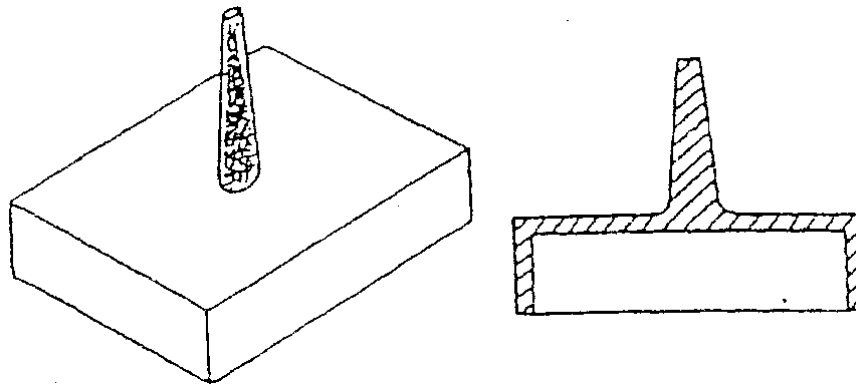
Co se týče samotné polohy vtokového ústí, umísťuje se zpravidla:

- na nepohledovou stranu výstřiku,
- do nejtlustšího místa na výstřiku,
- do geometrického středu tvarové dutiny,
- na co nejméně mechanicky namáhaná místa,
- tak, aby tavenina proudila z většího průřezu do menšího,
- tak, aby tavenina po vstupu do dutiny co nejrychleji narazila na nějakou překážku, aby nedošlo k volnému toku taveniny,
- tak, aby tavenina proudila ve směru orientace žeber,

- tak, aby se v dutině neuzavíral vzduch a vznikalo minimum studených spojů. [3], [8], [13]

Plný kuželový vtok

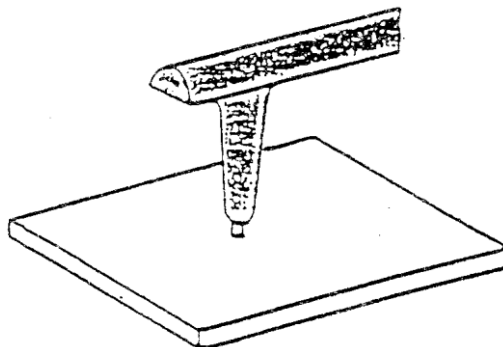
Tavenina je přivedena přes vtokové ústí, které není zúženo. Význam nachází zejména u jednonásobných forem a u výstřiků, kde stopa po odstranění vtoku nenarušuje jeho vzhled. [13], [15]



Obr. 24 Plný kuželový vtok [13]

Bodové vtokové ústí

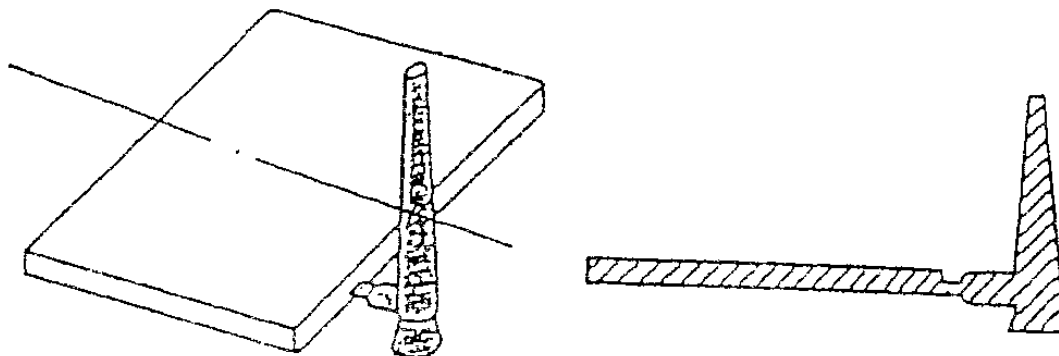
Vtok převážně kruhového průřezu, který vyžaduje použití třídeskového systému forem. Třídeskový systém má dvě dělicí roviny a umožňuje rychlé a snadné odtržení vtokových zbytků přímo ve formě. Výhodou je snadnější plnění tvarové dutiny a její odvzdušnění, avšak nevýhodou je dražší výroba a obtížnější údržba. [13], [15]



Obr. 25 Bodový vtok [13]

Boční vtokové ústí

Tento typ vtokového ústí patří v praxi mezi nejpoužívanější. Ústí je přímo napojeno na rozváděcí kanály a je umístěno v dělicí rovině. Vtokový zbytek je odstraněn až po vyhození výstříku z formy, což je ekonomicky nevýhodné. [13], [15]

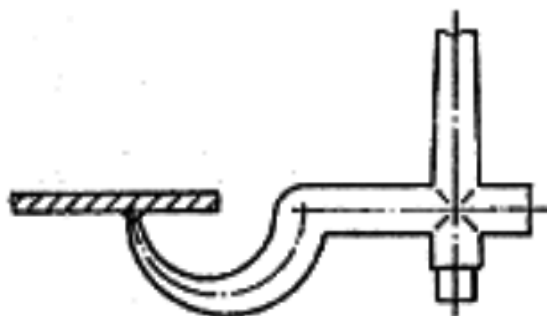


Obr. 26 Boční vtokové ústí [13]

Tunelový vtok

Jedná se o vtokové ústí, které je zvláštním případem bodového vtokového ústí. Používá se převážně pro tenkostěnné výstříky. Výhodou oproti bodovému vtokovému ústí je, že není potřeba třídeskového systému forem. K oddělování vtokového zbytku dochází buď ve fázi otevírání formy, nebo ve fázi vyhazování výstříku. Při použití tunelového vtoku musí být forma opatřena přidržovačem vtoku. Nevýhodou použití tohoto typu vtokového ústí je náročnější výroba. [13], [15]

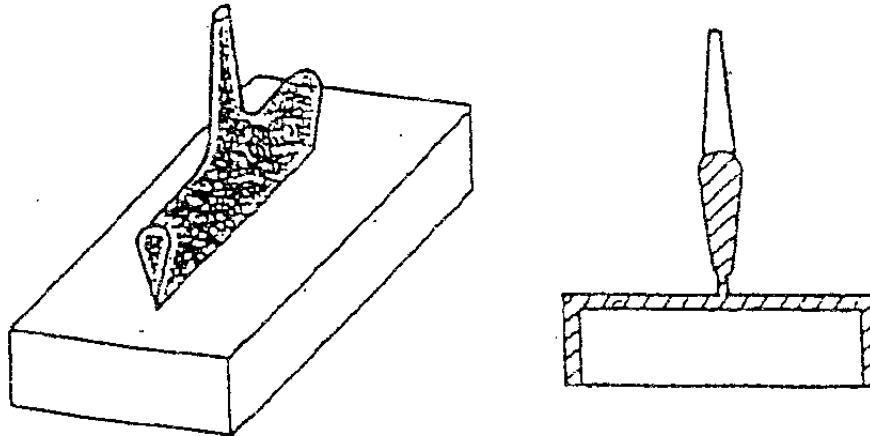
Zvláštním případem tunelového vtokového ústí je vtok srpkovitý. Výhodou srpkovitého vtokového ústí je možnost umístění do částí výstříku. [13], [15]



Obr. 27 Srpkovité vtokové ústí [13]

Filmové vtokové ústí

Jedná se o typ bočního vtokového ústí, který se používá zejména pro kruhové výstřiky. U použití tohoto typu se vyžaduje vznik minima studených spojů, malé vnitřní pnutí a dodržení tvarové přesnosti výstřiku [13], [15]



Obr. 28 Filmové vtokové ústí [13]

5.2.2 Vyhřívání vtokové soustavy

Při vstřikování s použitím studených vtokových soustav vzniká velké množství odpadu z vtokových a rozváděcích kanálů. Odpadu lze využít pro opětovné vstřikování jen u málo namáhaných výrobků (max. 15%). Kromě vzniku odpadu dochází také u studených vtokových soustav ke zbytečným energetickým a časovým ztrátám. Proto bylo snahou vyvinout systém vstřikování, které tyto nevýhody odstraňují. Tyto nedostatky spolehlivě řeší vyhřívání vtokové soustavy (VVS), při jejichž použití se jedná o tzv. bezvtokové vstřikování. Nevýhodou při použití vyhřívání vtokové soustavy je však nutnost přesné výroby a montáže formy a vyšší ekonomické náklady na pořízení i provoz. [13], [15]

Vyhřívání vtoková soustava se skládá z centrální vtokové vložky, rozvodného bloku a trysky. Vtokové a rozváděcí kanály jsou umístěny přímo ve vyhřívacím bloku, díky tomu tavenina při průchodu v kanálech netuhne. [15]

Horký rozvodný blok

Horký rozvodný blok je umístěn ve vybrané desce s požadovanou izolací tepla, jehož úkolem je rozvést taveninu do tvarové dutiny formy. Blok může být vytápěn zevnitř nebo z vnějšku. Vytápění zevnitř je provedeno za pomoci topných patron a z vnějšku pomocí měděného (tzv. hadovitého) topení. Horké rozvodné bloky jsou konstruovány v různých

tvarech (X,H,X,I,Y, atd.) podle potřeby polohy rozváděcích kanálů a podle potřeby uložení a počtu trysek. [13]



Obr. 29 Ukázka horkých rozvodných bloků [19]

Horké trysky

Horká tryška zajišťuje spojení vstřikovacího stroje s tvarovou dutinou formy a je potřeba vlastním topným článkem. Může však být ohřívána i jiným zdrojem vtokové soustavy např. horkým rozvodným blokem. Trysky můžeme rozdělit na přímo a nepřímo vytápěné, které dále mohou být: otevřené, uzavíratelné, tvarované a trysky s hrotem. [8],[13]



Obr. 30 Horký rozvodný blok s horkou tryskou [20]

5.3 Temperační systémy

Temperační systém je v podstatě soustava malých kanálků kruhového průřezu a dutin, ve kterém proudí temperační médium (nejčastěji voda, olej). Jeho cílem je odvádět teplo z dutiny formy vzniklé přítomností taveniny o vysoké teplotě, udržovat konstantní teplotní pole formy a ochladit výstřik na vyhazovací teplotu. [13], [18]

Temperace je jednou z hlavních částí celého vstřikovacího cyklu, která má zásadní vliv na kvalitu a vlastnosti výstřiků. Proto je velmi důležité, aby byl celý systém vhodně vyřešen. [13], [18]

Při konstrukci temperačního systému je třeba se řídit několika pravidly:

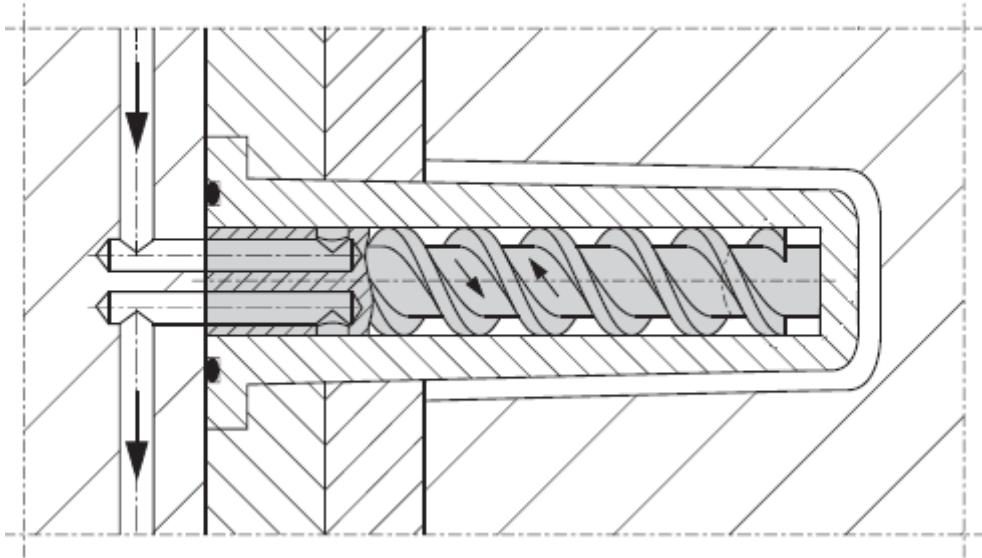
- z hlediska intenzity chlazení volit větší počet menších kanálků,
- temperační soustava by neměla obsahovat taková místa, kde neproudí kapalina (tzv. mrtvé kouty) jinak hrozí vznik tvorby vodního kamene v těchto místech,
- intenzitu chlazení zvýšit v místech poblíž vtoku a vtokového ústí,
- rozmístění temperačních kanálků volit s ohledem na pevnost a tuhost formy,
- temperační kanály by se neměly nacházet poblíž hran výstřiku,
- temperační médium by mělo proudit od nejteplejšího místa formy k nejchladnějšímu,
- teplotní spád by měl být 3-5 °C, aby bylo eliminováno smrštění a prnutí,
- vhodnou geometrií kanálků zajistit aby bylo dosaženo turbulentního proudění temperačního média.

Teplota temperačního média je závislá na druhu materiálu a bývá doporučována jeho výrobcem, nejčastěji se teploty pohybují v rozmezí 20 až 120 °C. Nejčastěji se používá voda a pro vyšší teploty než 90 °C se používá olej. [13], [18]

Temperační prostředky můžeme rozdělit na aktivní a pasivní prostředky. Mezi aktivní temperační prostředky se řadí prostředky, které působí přímo ve formě nebo teplo z formy odvádí (kapaliny, vzduch, topné elektrické články). Pasivní prostředky jsou pak takové, které pomocí svých fyzikálních vlastností ovlivňují tepelný chod formy a vedou teplo nebo vedením tepla zabraňují. Do této skupiny můžeme zařadit tepelně izolační ma-

teriály (např. materiály na bázi reaktoplastů) a tepelně vodivé materiály (měď a jeho slitiny). [13], [18]

Kromě odvodu tepla temperačním systémem je dále teplo odváděno díky vedení tepla do rámu vstřikovacího stroje, vyzářením do okolí a okolním vzduchem. [13], [18]

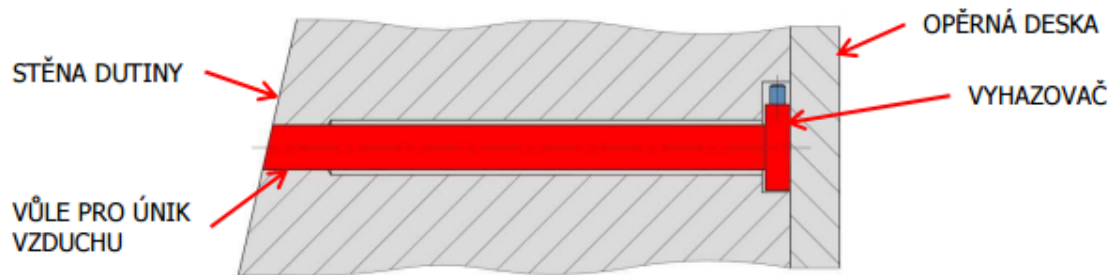


Obr. 31 Temperace tvárníku pomocí dvouchodého spirálového jádra [24]

5.4 Odvzdušnění forem

Při vstřikování taveniny do dutiny formy se může uzavírat vzduch, který má negativní vliv na vzhled a mechanické vlastnosti výstřiku. Z tohoto důvodu je snahou tento vzduch z dutiny formy odvádět a to pomocí odvzdušňovacích kanálků. Vzduch z dutiny nemusí být odváděn jen pomocí odvzdušňovacích kanálků, ale vzduch může také unikat i přes dělicí rovinu, vůli u posuvných částí a místy kolem vyhazovačů. [8], [13]

Odvzdušňovací kanálky bývají obvykle plochého průřezu, jejichž tloušťka by měla být taková aby vzduch unikal a zároveň aby do kanálku nevtékala tavenina. K zjištění míst kde by se vzduch mohl uzavírat, nám může pomoci např. Moldflow analýza. Zpravidla se ale odvzdušňovací kanálky umísťují tam, kde tavenina zatéká nejpozději. Velikost kanálků závisí na druhu použitého materiálu a délce dráhy toku, nejčastěji bývá velikost od 0,05 mm po 0,1 mm. [8], [13]



Obr. 32 Odvzdušnění pomocí vůle mezi uložením vyhazovače [17]

5.4.1 Vady výstřiků spojené s nedostatečným odvzdušněním

Spálená místa

Uzavřený vzduch se v místě špatného odvzdušnění tlakem taveniny stlačuje a zahřívá se, což vede ke vzniku spálených míst na výstřiku (tzv. Dieselův efekt). [9]

Vzduchové bubliny

Vzduch z formy nestíhá utéct, tavenina vzduch pohlcuje a dochází k tvorbě bublin na výstřiku. K této vadě dochází především u výrobků s tlustými stěnami. [9]

Nedotečení materiálu

Vzduch ve špatně odvzdušněném místě brání roztavenému materiálu k zatečení v tomto místě. [9]

5.5 Vyhazovací systémy

Vyhazovací systémy zajišťují vyhození výstřiků z tvarové dutiny formy mimo stroj a formu. Pro bezpečné vyjmutí výstřiku z formy je třeba zajistit spolehlivé konstrukční řešení formy a celého vyhazovacího systému. Pro snadné vyhození výstřiku jsou stěny tvarové dutiny opatřeny úkosy ve směru vyhazování (1° až 2°) a povrch dutiny se upravuje na požadovanou kvalitu (broušení, leštění). Na povrch se také nanáší separační prostředek, aby se plastická hmota na povrch dutiny nelepila. [3]

Po otevření formy zůstává výstřik ve většině případů v levé části formy a je tak snahou ho z této části určitou silou vyhodit. Síla, která je potřebná pro vyhození výstřiku z formy, závisí: na smrštění výstřiku v tvarové dutině, na tvaru výstřiku, na kvalitě povrchu

dutiny formy, na technologických podmínkách vstřikování a na pružných deformacích formy.

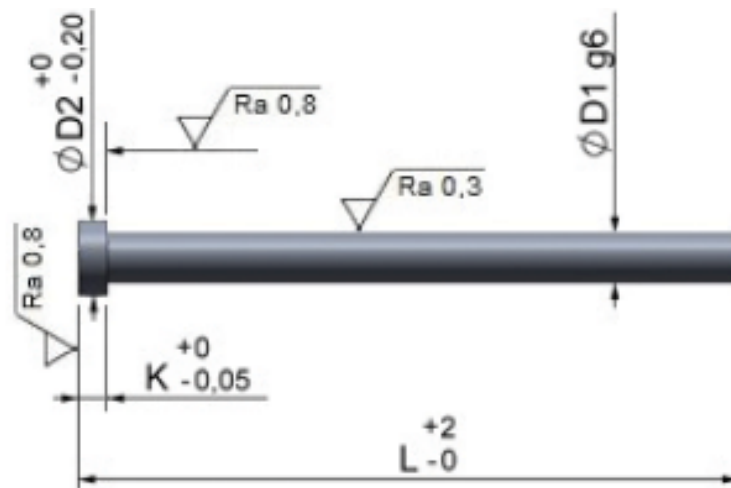
Vyhození výstřiku z dutiny formy může být provedeno mechanickým, pneumatickým a hydraulickým způsobem. [16], [18]

5.5.1 Mechanické vyhazování

Mechanické vyhazování je nejpoužívanějším způsobem vyhazování a je výhodný zejména pro svou jednoduchost a cenovou dostupnost.

Vyhazovací kolíky

Vyhazování výstřiku pomocí vyhazovacích kolíků patří k základním prvkům mechanického vyhazování. Jedná se o nejlevnější a nejjednodušší způsob vyhazování. Kolíky jsou nejčastěji válcové a musí být dostatečně tuhé a lehce vyrobitelné. Uplatňují se u výstřiků, u kterých je možné kolík umístit proti ploše výstřiku. Kolíky by se měli opírat o stěnu nebo žebro, které se nesmí bortit a pokud možno o nepohledovou stranu výstřiku. Kolíky, které jsou opatřeny tvarovou částí, se musí zajistit proti pootočení (např. vhodným zřezáním hran). Vyhazovací kolíky jsou ukotveny ve vyhazovacích deskách, které jsou opatřeny táhlem vyhazovačů. [3], [16], [18]

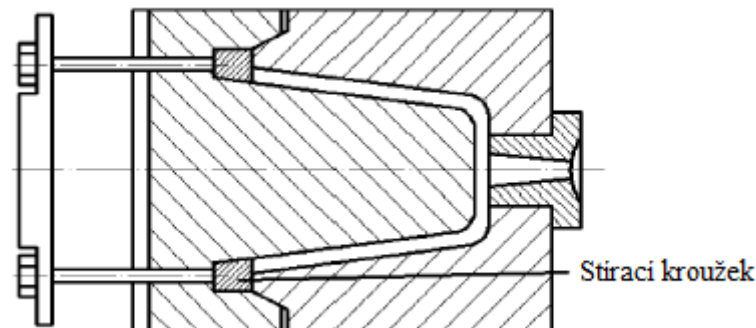


Obr. 33 Válcový vyhazovač [22]

Stírací deska (kroužek)

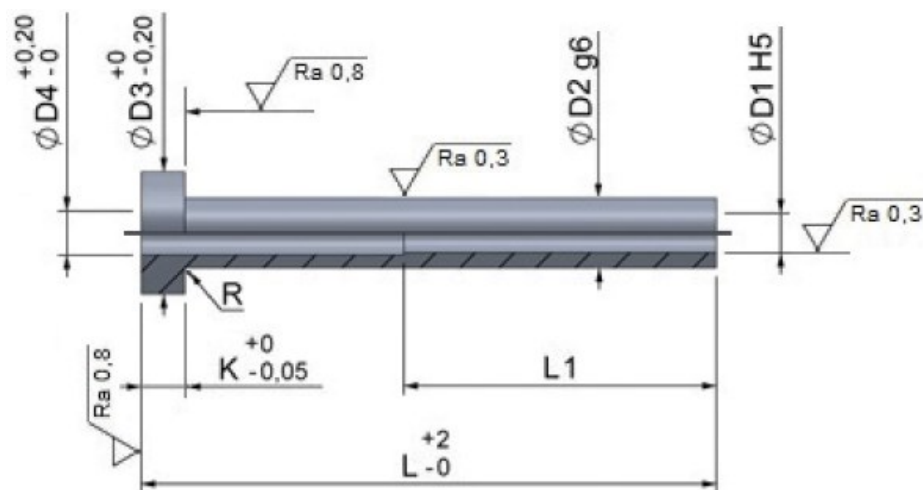
Jedná se o typ vyhazování, kde vyhazovací síla nepůsobí bodově jako u vyhazovacích kolíků ale působí plošně. Z tohoto důvodu se vyhazování pomocí stíracích desek vyu-

žívá především u tenkostěnných a rozměrnějších výrobků. Díky velké styčné ploše také nevzniká stopa na výstřiku.



Obr. 34 Vyhazování pomocí stíracího kroužku [18]

Do této skupiny lze také zařadit trubkový vyhazovač, který je zvláštním případem stírací desky. Je obdobou jak stírací desky, tak i vyhazovacího kolíku. [3], [16], [18]



Obr. 35 Trubkový vyhazovač [22]

Dvoustupňové vyhazování

Díky tzv. dvoustupňovému vyhazování lze dosáhnout vyhození výstřiků s časovým posunem a s rozdílnou velikostí zdvihu. Dvoustupňové vyhazování se používá zejména u tenkostěnných výrobků, které jsou výstřiky vyhazovány kombinací vyhazovacích kolíků a stíracích desek. Také lze použít při vyhazování pomocí šikmých vyhazovačů a k oddělení vtokových zbytků. [16]

Celý systém při oddělování vtokových zbytků je tvořen dvěma vyhazovacími systémy, které na sebe navzájem působí. Jedna skupina je tvořena zdvojenými vyhazovači,

díky kterým se odstříhnou vtoky a druhá skupina, která má zpožděný zdvih, vyhodí výstřiky. [16]

5.5.2 Pneumatické vyhazování

K vyhození výstřiků z formy se využívá stlačeného vzduchu, který je přiveden mezi výstřik a tvárník. Při použití pneumatického vyhazování je dosaženo rovnoměrného oddělení výstřiku, je zabráněno nadměrnému místnímu zatížení a nevznikají stopy po vyhazovačích. Mezi nevýhody lze zařadit vyšší nároky na přesnost výroby formy, v místech kde je vzduch veden. Pneumatického vyhazování se využívá zejména u rozměrnějších tenkostěnných výrobků. [16]

5.6 Odformování pomocí posuvných čelistí

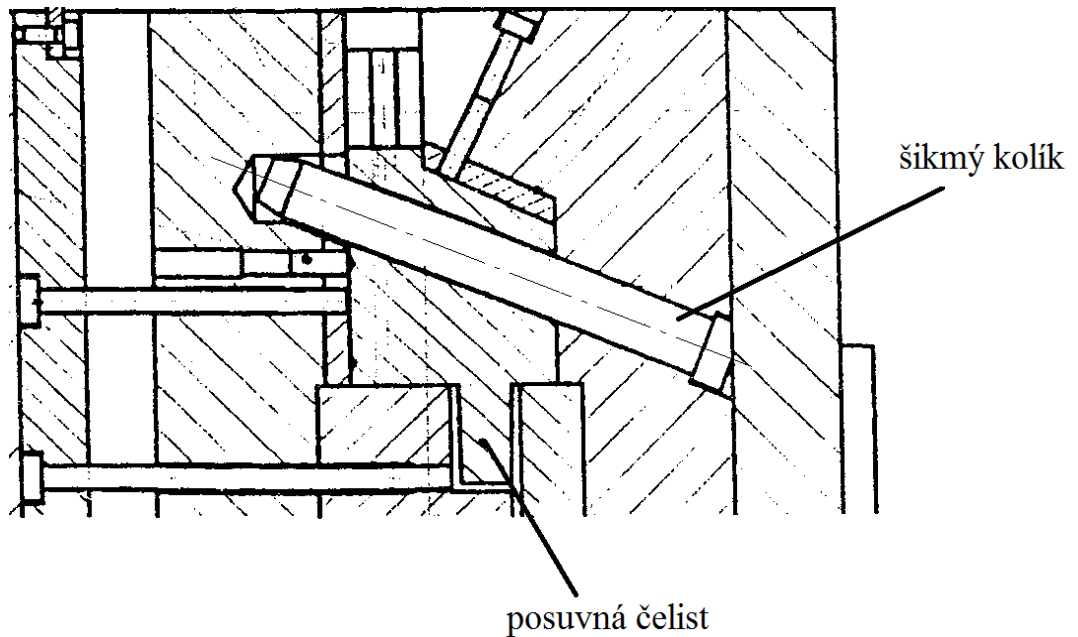
Odformování pomocí bočních čelisti nachází uplatnění především u výstřiků, na kterých je potřeba vyrobít zápichy nebo otvory kolmé k dělicí rovině. U takových výrobků tedy vznikají boční dělicí roviny, které lze odformovat pomocí posuvných čelistí. [18]

Pohyb posuvných čelistí může být ovládán pomocí:

- šikmých kolíků,
- lomených kolíků,
- pneumatických a hydraulických tahačů.

5.6.1 Šikmé kolíky

Šikmé kolíky jsou válcové kolíky, které nejsou kolmé k dělicí rovině, ale jsou uloženy pod úhlem 15° až 25° . Díky šikmému kolíku dochází k vysouvání a zasouvání tvarové čelisti při otevírání a zavírání formy. K zajištění tvarové čelisti v otevřené poloze se používá pružná kulička. [16]



Obr. 36 Vedení posuvné čelisti pomocí šikmého kolíku [13]

5.6.2 Lomené kolíky

Lomené kolíky pracují na stejném principu jako šikmé kolíky s tím rozdílem, že lze zpozdít odsunutí posuvných čelistí při otvírání vstřikovací formy. Výhodou je také menší sklon, který bývá v rozmezí od 12° až 20° . Vůle mezi kolíkem a posuvnou čelistí se pohybuje od 0,2 do 0,5 mm. Lomené kolíky jsou nejčastěji obdélníkového průřezu. [18]

5.6.3 Pneumatické a hydraulické tahače

Použití hydraulických tahačů zajišťuje rovnoměrný chod při odformování těžkých a dlouhých jader. Výhodou tohoto druhu odformování je zejména možnost ovládnutí posuvných čelistí i při otevřené i zavřené formě. U pneumatických tahačů je menší nevýhodou možnost vzniku trhavého pohybu čelistí vlivem stlačení vzduchu. [18]

5.7 Materiály forem

Na materiály, které se používají pro výrobu forem je kladen důraz zejména na životnost a požadovanou kvalitu s ohledem na pořizovací náklady. Volba materiálu musí také zohledňovat druh vstřikovaného polymeru, přesnost a jakost výstřiku, podmínky vstřikování a vstřikovací stroj. Nejčastěji používané materiály při výrobě forem jsou oceli dále pak neželezné slitiny kovů (měď, hliník) a ostatní materiály k výrobě izolačních desek (např. pryž, sklolaminát). [18]

Vzhledem k tomu, že jsou na jednotlivé části forem kladeny různé nároky, je třeba použít více druhů ocelí. Na tvarové vložky a části přicházející do styku s taveninou, které musí mít vysokou pevnost, teplotní odolnost a ošetrivost se používají ušlechtlejší oceli (třída 19). U prvků, které jsou více mechanicky namáhány, se provádí chemické a tepelné zpracování. [18]

Neželezné slitiny kovů se používají především pro výrobu kluzných členů a částí, které mají odvádět teplo a při výrobě prototypových forem. [18]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro diplomovou práci byly stanoveny tyto cíle:

- vypracujte literární studii na dané téma,
- vytvořte 3D model zadaného plastového dílu
- proved'te konstrukci vstřikovací formy ve 3D,
- návrh formy ověřte pomocí tokové analýzy,
- nakreslete výkres 2D sestavy vstřikovací formy.

V literární studii, která je zahrnuta v teoretické části, jsou probrány zpracovávané materiály vhodné ke vstřikování, samotná technologie vstřikování, vstřikovací stroje a také požadavky na konstrukci plastových výrobků a konstrukci vstřikovacích forem.

V praktické části je úkolem, vytvořit model zadaného plastového dílu a návrh konstrukce vstřikovací formy na základě poznatků z teoretické části. Konstrukce vstřikovací formy bude probíhat v programu CATIA V5R19 za pomoci použití normálií od firem Hasco a Meusburger. Součástí praktické části je také ověření návrhu formy tokovými analýzami v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 a doložení konstrukce 2D sestavou s kusovníkem.

7 POUŽITÉ PROGRAMY

7.1 CATIA V5R19

Pro konstrukci výrobku, který se bude vstříkovat a konstrukci vstříkovací formy byl použit počítačový software Catia V5R19. Tento konstrukční software byl vyvinut ve Francii firmou Dassault Systèmes a z počátku byl používán převážně pro letecký průmysl. Nyní nabízí Catia širokou škálu použití nejen pro letecký průmysl ale také např. pro strojírenský a automobilový průmysl. Kromě tvorby modelu lze vytvářet sestavy, výkresovou dokumentaci, simulace pevnostních analýz, simulace obrábění a mnoho dalších.

7.2 AUTODESK MOLDFLOW SYNERGY 2016

Pro následné ověření navržené vstříkovací formy z hlediska tokových vlastností byl použit program Moldflow Synergy 2016 od společnosti Autodesk. Software Moldflow slouží zejména pro kompletní analýzu procesu vstříkování termoplastů, reaktoplastů a jiných speciálních způsobů vstříkování. Dokáže také analyzovat a optimalizovat vstříkovaný díl. Tento software nachází velké uplatnění především v automobilovém průmyslu.

7.3 HASCO DAKO MODUL

Jedná se o knihovnu normálií společnosti Hasco, která umožňuje generování 3D normálií a jejich ukládání v různých formátech. Knihovna také udává informace o rozměrech, ceně a použití normálií.

7.4 MEUSBURGER KATALOG

Jedná se o knihovnu normálií společnosti Meusburger, která umožňuje generování 3D normálií a jejich ukládání v různých formátech. Knihovna také udává informace o rozměrech, ceně a použití normálií.

8 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Zadaný díl, pro který je vstřikovací forma navržena, je kryt elektromotoru. Jedná se o díl nepohledový a jeho základní rozměry jsou 143 x 90 x 93 (délka x šířka x výška). Díl byl vymodelován v softwaru CATIA V5R19 ve dvou verzích. První verze modelu má rozměry totožné se zadaným výrobkem. Druhý model výrobku byl zvětšen o průměrnou hodnotu smrštění materiálu.



Obr. 37 Zadaný vstřikovaný výrobek

8.1 Materiál vstřikovaného výrobku

Materiál, který byl vybrán pro vstřikování zadaného výrobku, je PA6 s obsahem 35% skelných vláken od výrobce BASF Engineering Plastics s obchodním názvem Ultramid B3G7 HS Q16.

Polyamid 6 je termoplastický krystalický polymer, který se řadí do skupiny polyamidů. Polyamidy jsou nejčastěji používány v mnoha aplikacích díky své vysoké pevnosti a odolnosti vůči vysokým teplotám. Mezi další přednosti polyamidů patří také dobrá odolnost proti hoření a výborné elektroizolační vlastnosti. Další podrobnější informace o tomhle materiálu jsou uvedeny v materiálovém listě vlastnosti, který je vložen v příloze PI. Doporučené zpracovatelské podmínky z databáze Moldflow jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Tab. 3 Doporučené zpracovatelské podmínky materiálu Ultramid B3G7 HS Q16 z databáze Moldflow

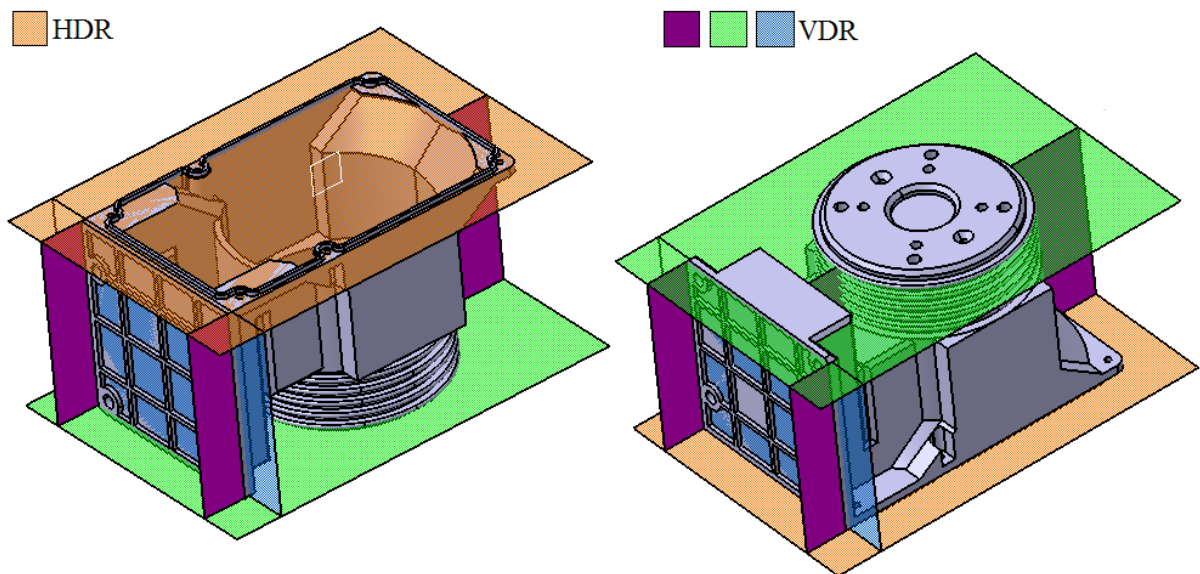
Procesní parametr materiálu	Hodnota	Jednotka
Teplota povrchu formy	85	°C
Teplota taveniny	280	
Doporučená minimální teplota formy	80	
Doporučená maximální teplota formy	90	
Doporučená minimální teplota taveniny	270	
Doporučená maximální teplota taveniny	290	
Maximální možná teplota taveniny	300	
Vyhazovací teplota	160	
Maximální smykové napětí	0,5	MPa
Maximální rychlost smykové deformace	60000	s ⁻¹

9 NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY

Návrh vstřikovací formy je řešen pro studený vtokový systém a pro výrobu jednoho výstřiku v jednom pracovním cyklu (jednonásobná forma). Návrh formy dále obsahuje také temperaci formy, odformovací mechanismus a vyhazovací systém pro vyhození výrobku z formy. S ohledem na rychlost výroby formy a s tím související ekonomické náklady je snahou o co největší využití normálií od firem Hasco a Meusburger.

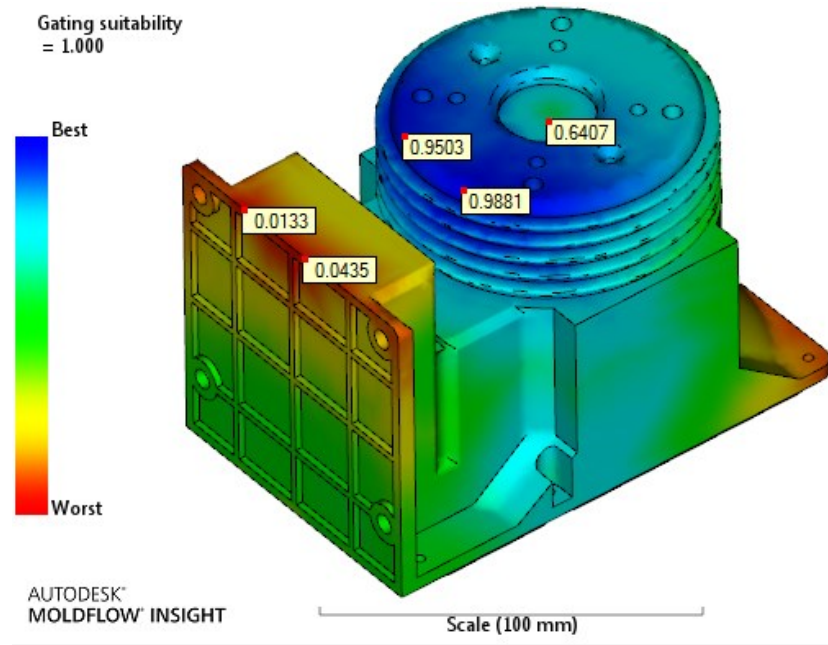
9.1 Umístění vstřikovaného dílu do formy

Vstřikovaný díl je ve formě umístěn ve vertikální poloze a z důvodu snadného odformování výrobku, je zaformování provedeno pomocí několika dělicích rovin. Mezi tvárníkem a posuvnými tvarovými čelistmi se nachází hlavní dělicí rovina (HDR). Vedlejších dělicích rovin (VDR) je celkem čtyři. Jedna VDR se nachází mezi tvárnicí a posuvnými tvarovými čelistmi, další tři se nachází mezi tvárníkem a posuvnými tvarovými čelistmi. Všechny dělicí roviny jsou barevně vyobrazeny na obrázku č. 38.



Obr. 38 Zaformování dílce do dělicích rovin

Pro určení umístění výrobku do formy byla také provedena analýza vhodnosti umístění vtokového ústí. Analýza vhodnosti umístění vtoku udává nejvhodnější polohu pro umístění vtokového ústí na výstřiku pomocí barevné škály.

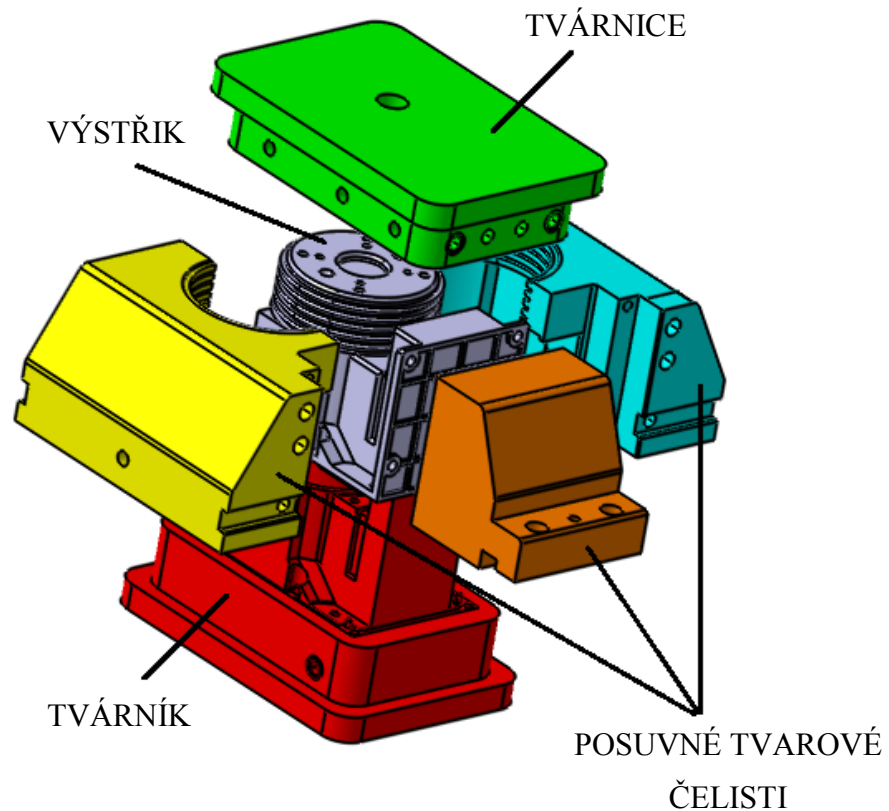


Obr. 39 Vhodnost umístění vtokového ústí (Gating suitability)

Z obrázku vyplývá, že optimální místo pro umístění vtokového ústí je graficky vyjádřeno sytě modrou barvou, což je na horní straně dílce. Vzhledem k bezproblémovému odformování je však vtokové ústí v tomto případě zvoleno do středu kruhové části dílce, kde procentuální vhodnost umístění vtoku dosahuje hodnoty téměř 65%. Tato hodnota může být považována za dostačující.

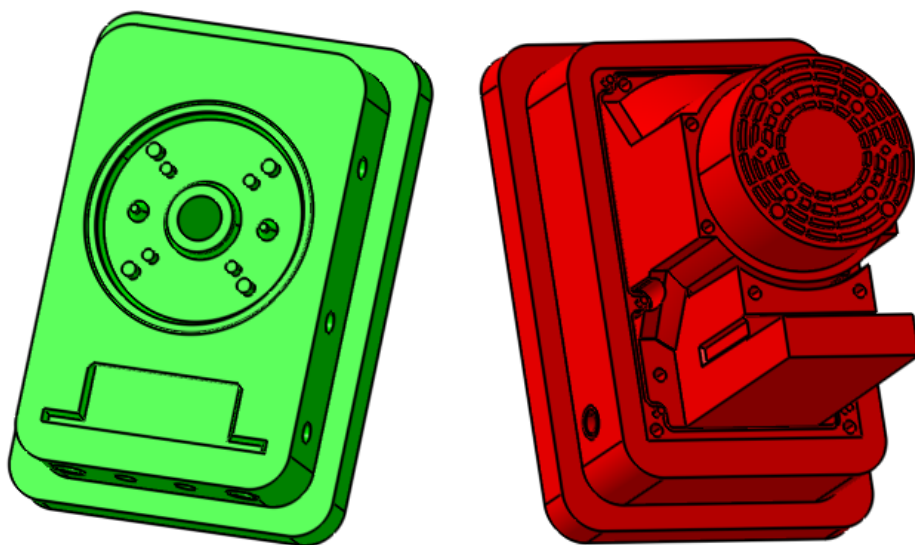
9.2 Tvarové části vstřikovací formy

Tvarové části formy spolu tvoří tvarovou dutinu, která po vstříknutí taveniny udává výsledný tvar vstřikovanému výrobku. Tvarová dutina je zvětšena o průměrnou hodnotu smrštění materiálu Ultramid B3G7 HS Q16 a to o 2 %. Části, které tvoří tvarovou dutinu, jsou tvárnice, tvárník a tři posuvné tvarové čelisti. Všechny tvarové části jsou z oceli 1.2343 a jsou cementovány a kaleny na 55 HRC.



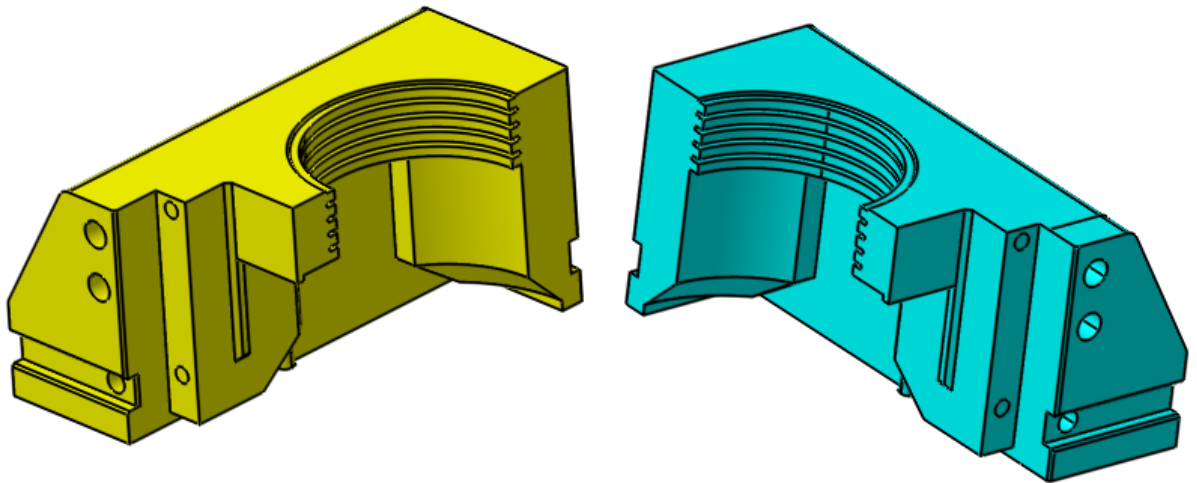
Obr. 40 Tvarové části s výstřikem

Tvárnice (obrázek č. 41 vlevo) i tvárník (obrázek č. 41 vpravo) jsou řešeny jako tvarové vložky z důvodů usnadnění jejich výměny v případě opotřebení. Jednotlivé tvarové vložky mají výšku odpovídající výšce tvarových desek, ve kterých jsou uloženy. Délka a šířka částí vložek, které jsou uloženy v tvarových deskách, je 190 x 130 mm.

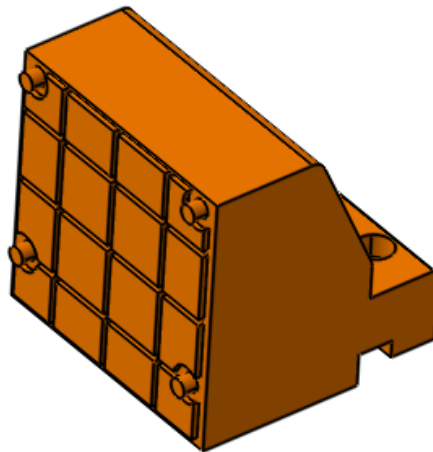


Obr. 41 Tvarové vložky (tvárnice a tvárník)

Boční stěny výrobku jsou vytvarovány pomocí tří posuvných tvarových čelistí. Dvě posuvné tvarové čelisti jsou ovládány pomocí hydraulických tahačů z důvodů velké hmotnosti. Obě tvarové čelisti jsou temperovány vrtanými kanálky. Třetí čelist má menší hmotnost, a proto je ovládána pouze dvěma šikmými kolíky. Díky menším rozměrům, není tato tvarová čelist temperována.



Obr. 42 Posuvné tvarové čelisti velké

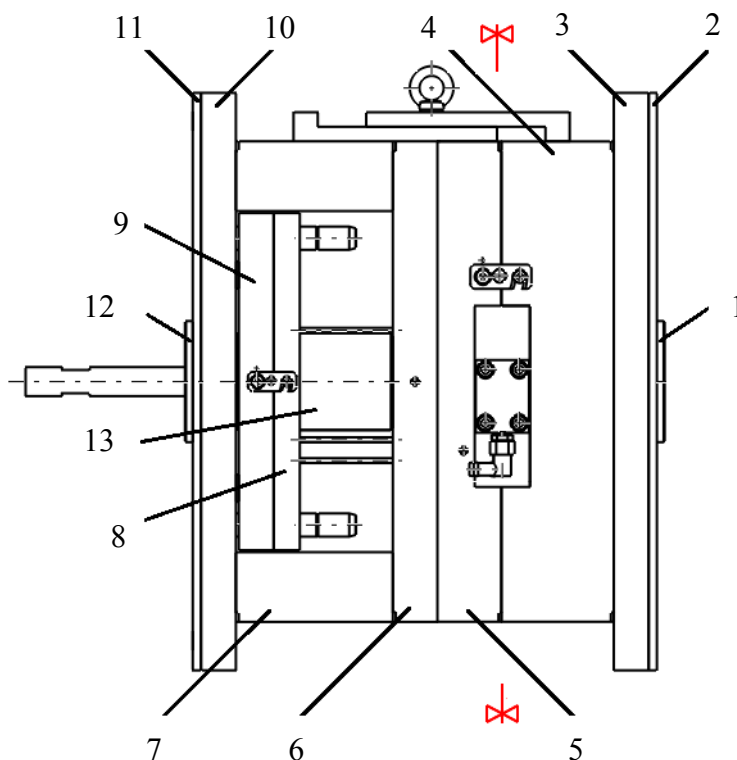


Obr. 43 Posuvná tvarová čelist malá

9.3 Rám formy

Rám celé vstřikovací formy o velikosti 596 x 496 x 479 mm je složen z normalizovaných desek od firmy Hasco. Celá sestava se skládá ze tří hlavních částí (podsestav): pravá vstřikovací strana (pevná), levá vyhazovací strana (pohyblivá) a vyhazovací systém.

Vstřikovací forma je pomocí pravého (1) a levého středícího kroužku (12) vystředěna na stroj. Středící kroužky o průměru 125 mm jsou od firmy Meusburger s označením E 1360 a E 1375.



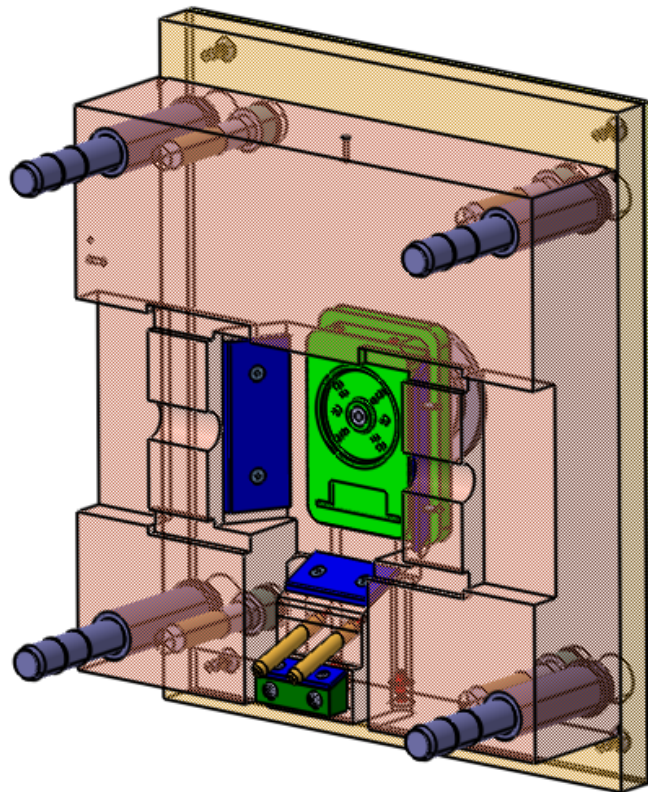
Obr. 44 Rám navržené vstřikovací formy

Vstřikovací strana, která je nepohyblivá, se skládá z pravé izolační desky (2), pravé upínací desky (3) a pravé kotevní desky (4).

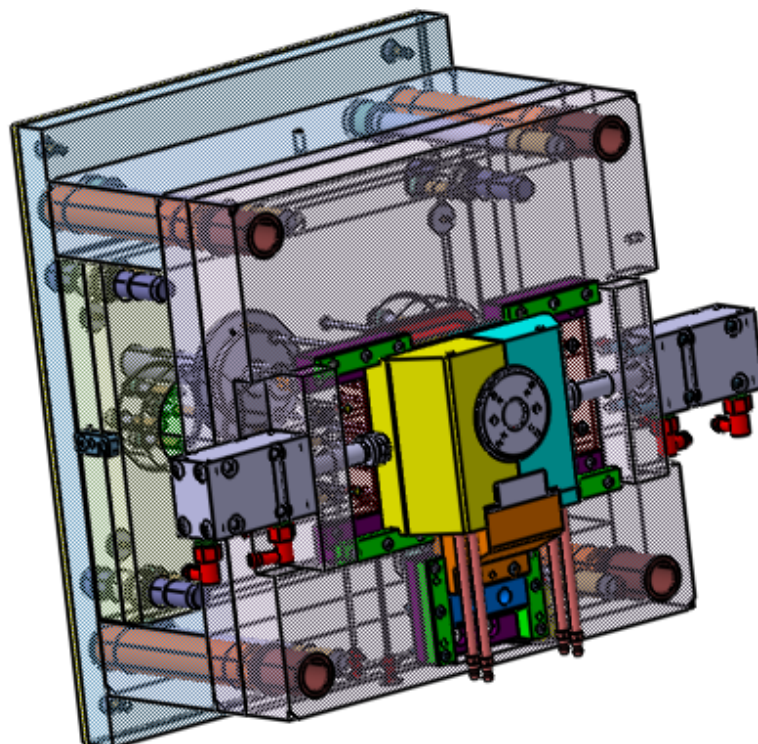
Vyhazovací strana, která je pohyblivá, se skládá z levé kotevní desky (5), levé opěrné desky (6), dvou rozpěrných desek (7), levé upínací desky (10), dvou podpěrných válců a levé izolační desky (11).

Vyhazovací systém se skládá z vyhazovací desky kotevní (8) a opěrné (9). Součástí vyhazovacího systému jsou také vyhazovače a táhlo vyhazovačů (viz. kapitola 9.8).

Všechny desky kromě levé a pravé izolační desky jsou vyrobeny z oceli 1.1730. Izolační desky jsou vyrobeny z polyesterové pryskyřice obsahující skelná vlákna.



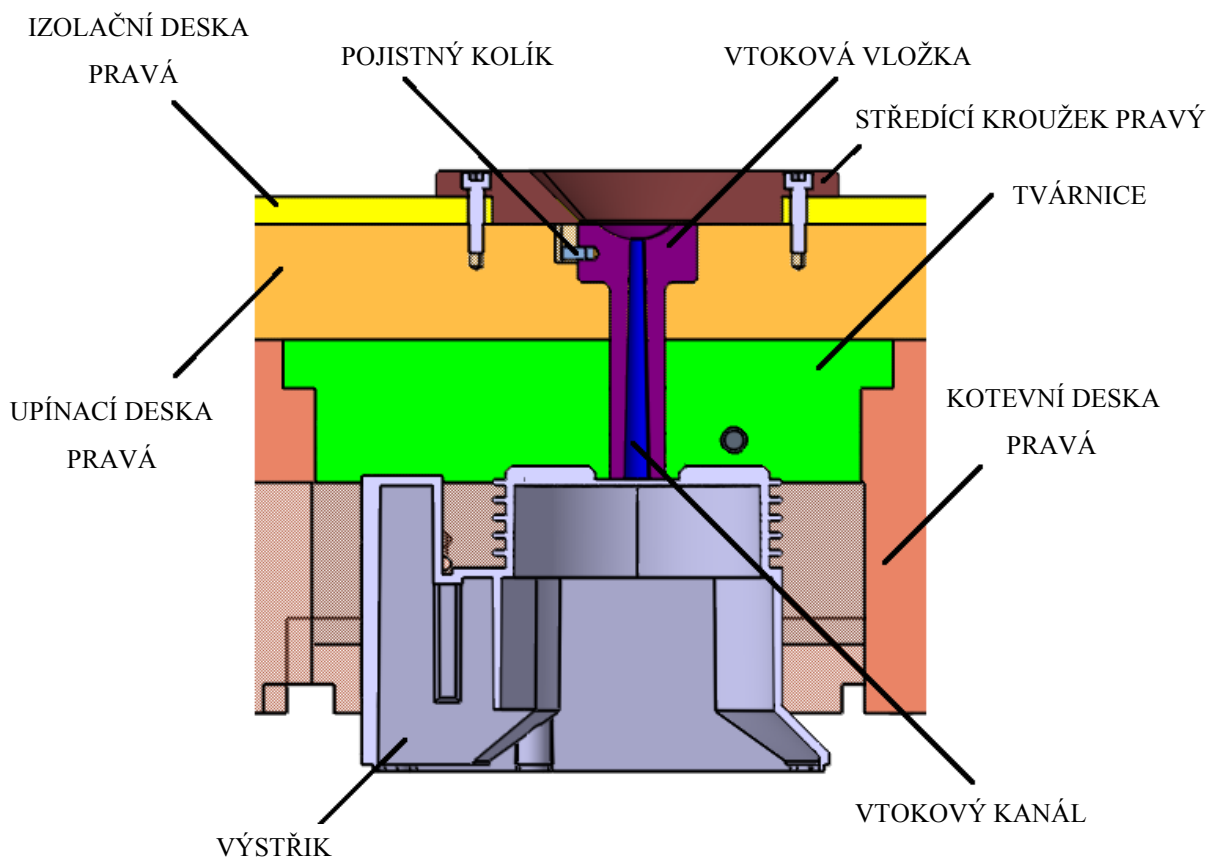
Obr. 45 Pravá vstřikovací strana formy



Obr. 46 Levá vyhazovací strana formy

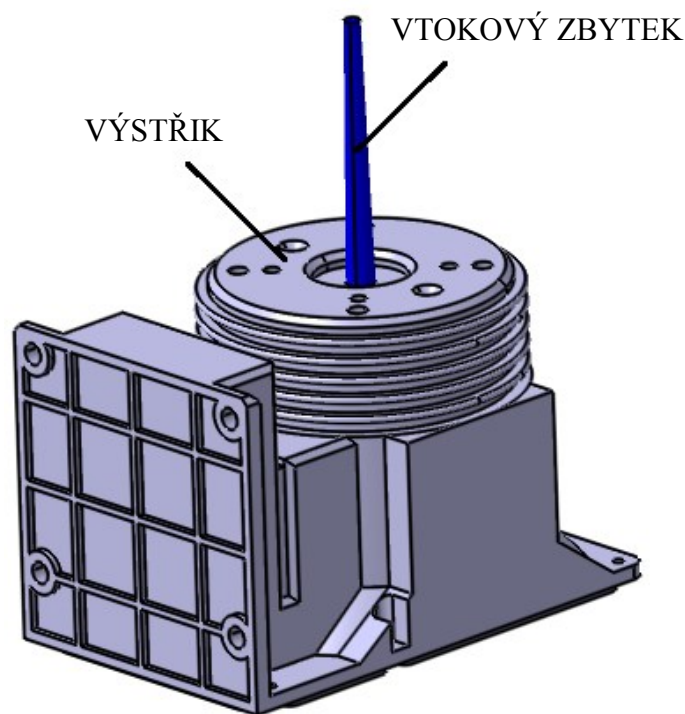
9.4 Vtokový systém vstříkovací formy

Jelikož se jedná o jednonásobnou formu, je vtokový systém poměrně jednoduchý. Tavenina je do dutiny vstříknuta přes vtokovou vložku Z51/18x66/4,5/3/4 od firmy Hasco, která je uložena v pravé upínací desce a je zajištěna proti pootočení kolíkem $\varnothing 4 \times 10$. Vtoková vložka má vstupní průměr o velikosti 4,5 mm a výstupní průměr o velikosti 8 mm. Vložka je vyrobena z oceli 1.2826 a je cementována a kalena na 55 HRC.



Obr. 47 Pohled na vtokový systém vstříkovací formy

Jedná se tedy o studenou vtokovou soustavu (SVS). Výhodou oproti použití horké vtokové soustavy jsou nižší pořizovací náklady a nižší energetické náklady na provoz. Nevýhodou je však tvorba vtokového zbytku, který musí být po vyhození výrobku z formy dodatečně odstraněn a tím pádem vzniká také odpad. V tomhle případě se jedná o nepohledový díl, tudíž stopa po odstranění vtokového zbytku není problémem. Objem vtokového zbytku je v porovnání s objemem výstříku malý, tudíž k velkým ztrátám materiálu nedochází. Objem výstříku určený z programu CATIA V5 R19 je $184,2 \text{ cm}^3$ a objem vtokového zbytku je $2,35 \text{ cm}^3$.



Obr. 48 Vtokový zbytek

9.5 Odvzdušnění vstříkovací formy

Při vstříkování taveniny do dutiny formy dochází k uzavírání vzduchu, a proto je třeba tento vzduch z dutiny formy odvést. Nedostatečné odvzdušnění by mohlo vést ke zhoršení kvality výstříků např. spálená místa nebo nedotečení materiálu.

U navržené vstříkovací formy odvzdušnění není řešeno z důvodů předpokladu, že se vzduch ve formě uzavírat nebude. Vzduch bude z formy s největší pravděpodobností unikat přes dělicí roviny, vůlemi mezi posuvnými tvarovými čelistmi a také vůlemi mezi vyhazovači a tvárníkem. V případě, že by se vzduch ve formě přece jenom uzavíral, musely by se v daném místě vyrobit odvzdušňovací kanálky.

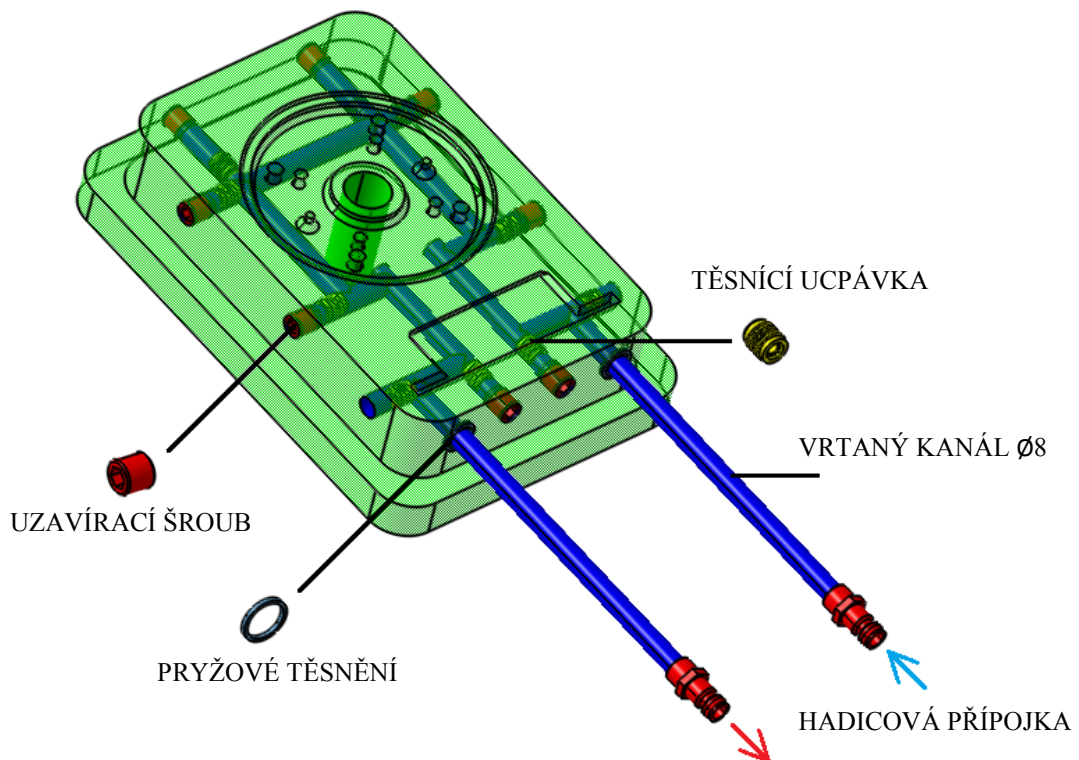
9.6 Temperační systém vstříkovací formy

Na kvalitu budoucího výrobku má významný vliv temperační systém, proto je snahou dosáhnout co nejrovnoměrnějšího teplotního pole na stěnách tvarové dutiny vstříkovací formy.

Navržená vstříkovací forma obsahuje celkem čtyři temperační okruhy, v kterých proudí voda o teplotě 70 °C. Temperační médium u všech temperačních okruhů vstupuje a

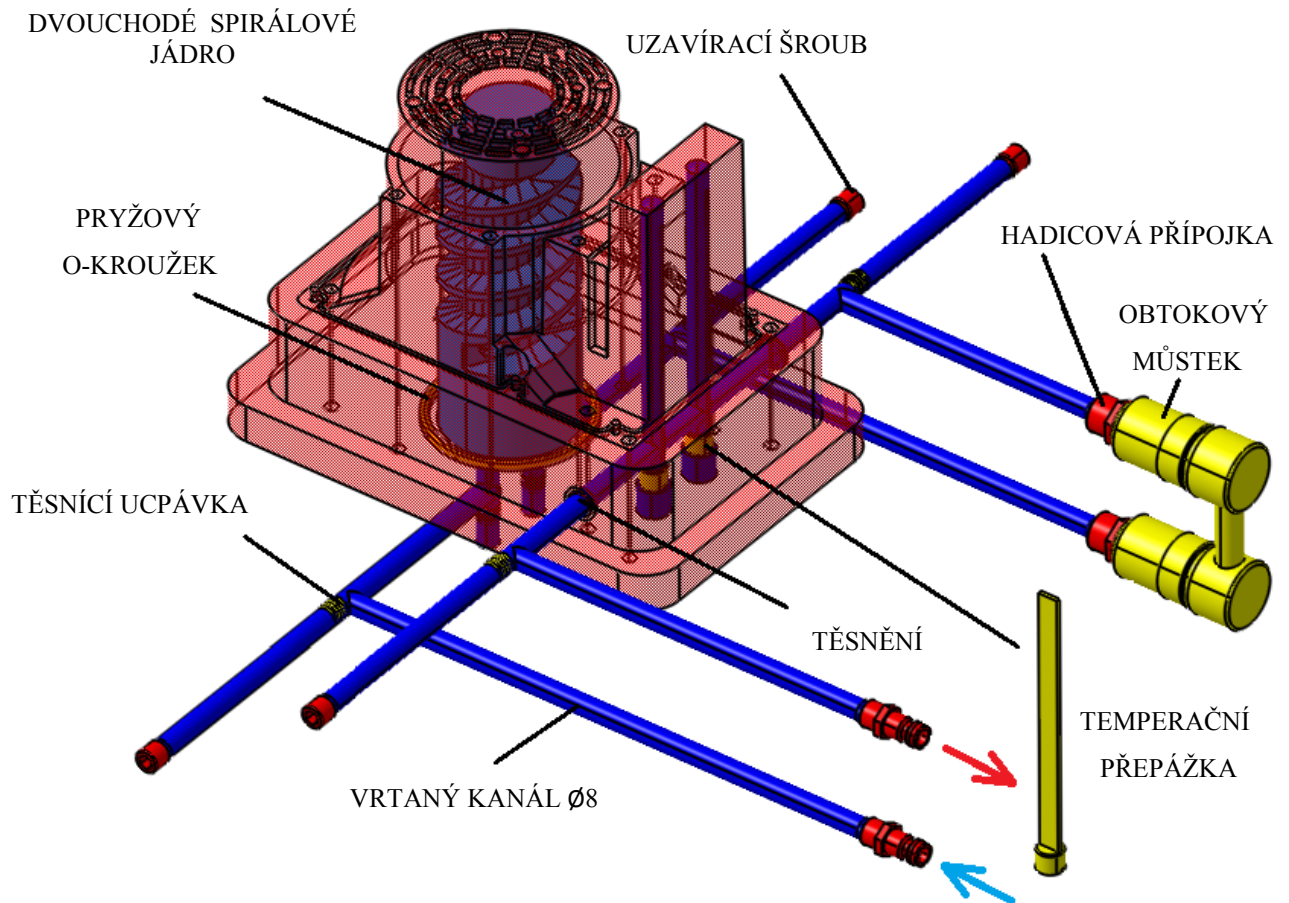
vystupuje do vyvrtaných kanálů přes hadicové přípojky E2000/9/10. Vrtané kanály u všech temperačních okruhů jsou uzavřené těsnícími ucpávkami E2078/8 a těsnost přechodů mezi kotevními deskami a tvarovými vložkami je zajištěna pryžovým těsněním Z98/9,8/1,5

V pravé vstříkovací straně formy se nachází temperační okruh tvárnice, který je tvořen vrtanými kanály o průměru 8 mm. Médium vstupuje přes hadicovou přípojku a pravou kotevní desku do tvárnice.



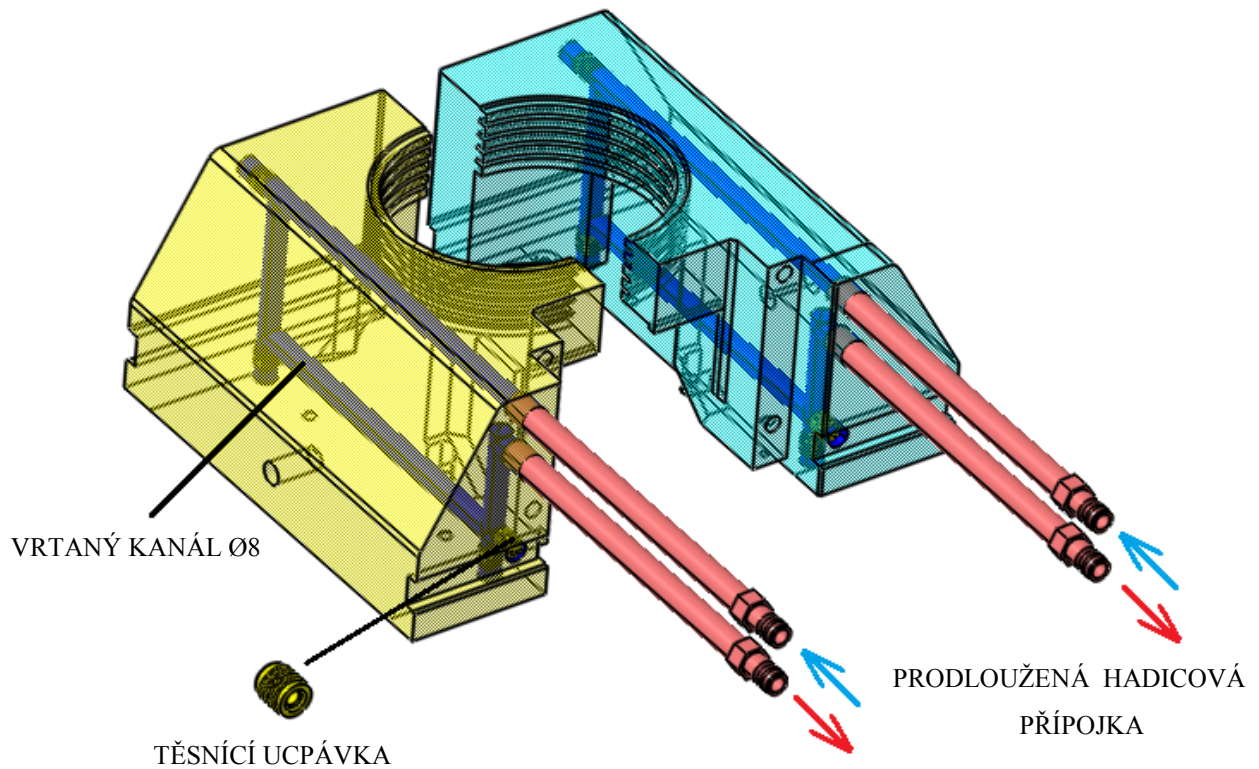
Obr. 49 Temperační okruh tvárnice

Temperační okruh tvárnice je složen z vrtaných kanálů o průměru 8 mm, z dvou temperačních přepážek a z dvouchodého spirálového jádra. Temperační médium vstupuje do levé opěrné desky přes hadicové přípojky E2000/9/10 do vrtaných kanálů až do dvouchodého spirálového jádra E2122/50/130. Těsnost dvouchodého spirálového jádra a levé opěrné desky je zajištěna pryžovým O-kroužkem E2130/56/3. Po protečení média přes spirálové jádro proudí médium přes obtokový můstek E2252/13/50 z levé opěrné desky do levé kotevní desky, odkud kanály proudí až do temperačních přepážek E2100/10/110.



Obr. 50 Temperační okruh tvárníku

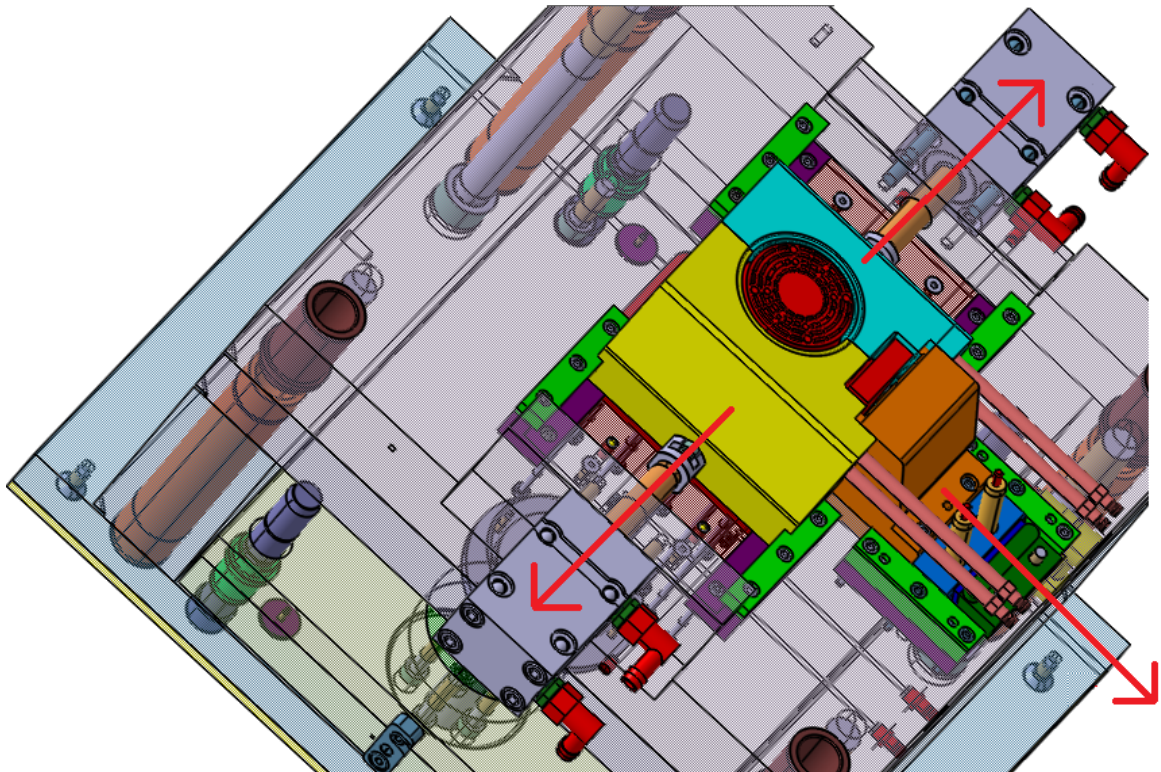
Zbylé dva temperační okruhy, zajišťují temperování posuvných tvarových čelistí. Temperace v tvarových čelistích je zajištěna taktéž vrtanými kanály o průměru 8 mm. Médium je přivedeno do tvarových čelistí přes prodloužené hadicové přípojky E2018/10/115.



Obr. 51 Temperační okruhy posuvných tvarových čelistí

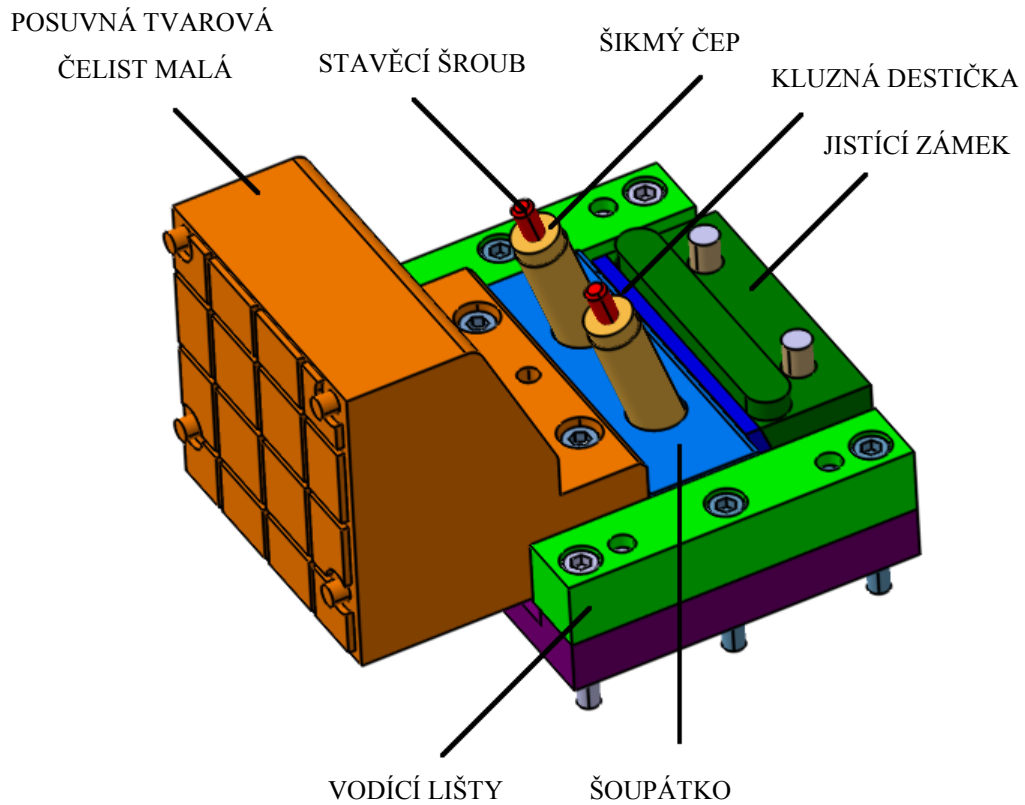
9.7 Odformovací systém vstřikovací formy

Po vstříknutí taveniny do dutiny, jejím ztuhnutí a následném ochlazení na vyhazovací teplotu, jsou tvarové čelisti odsunuty a výrobek je odformován. Dvě tvarové čelisti jsou odformovány pomocí hydraulických válců (tahačů) a jedna tvarová čelist, je odformována pomocí šikmých čepů.



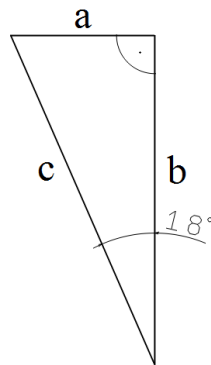
Obr. 52 Odformovací systém vstřikovací formy

Posuvná tvarová čelist malá je odformována pomocí posuvné sestavy přes dva šikmé čepy Z010/14x90, které jsou uchyceny stavěcími šrouby k pravé straně formy. Šikmé čepy jsou uloženy pod úhlem 18° a jejich délka je vypočtena tak, aby došlo k potřebnému vysunutí tvarové čelisti. K pravé straně formy je také přišroubován jisticí zámek E 3025/24/80, který má za úkol zajistit posuvnou tvarovou čelist během vstřikování. K tomuto zámku je pomocí dvou šroubů přišroubována kluzná destička E 3030/24/80. Celá posuvná sestava od firmy Hasco je pomocí šroubů uchycena k levé straně vstřikovací formy a skládá se z šoupátka, vodících lišt a kluzné desky. Po odsunutí levé části formy a odsunutí tvarové čelisti dochází k vyhození výstřiku. Tvarová čelist je ve vysunuté poloze jistěna proti posunutí pomocí dvou šroubů s kuličkou E1250/10-25.



Obr. 53 Odformování posuvné tvarové čelisti malé

Výpočet délky šikmého čepu:



a_1 – potřebná délka posunutí tvarové čelisti, aby šel výstřik vyhodit = 5 mm

a – zvolená délka posunutí tvarové čelisti = 15 mm

b – minimální vzdálenost, o kterou se musí forma otevřít:

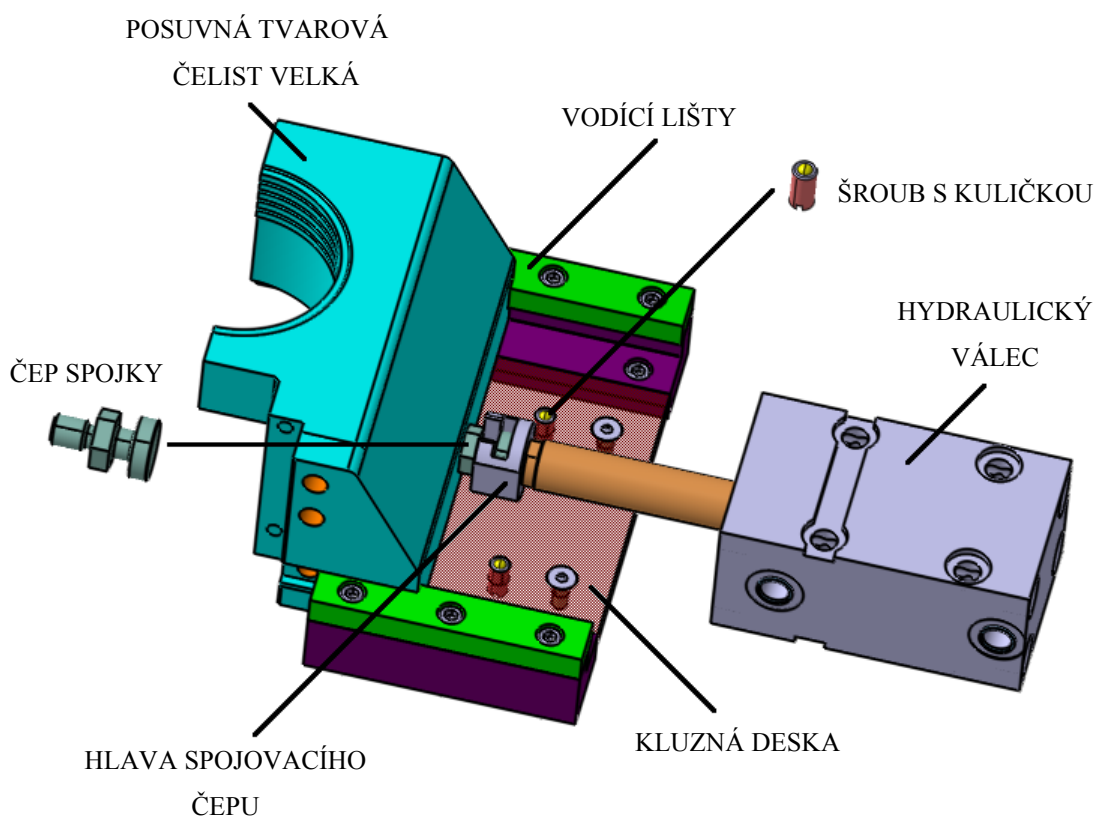
$$\frac{a}{\operatorname{tg} 18^\circ} = \frac{15}{\operatorname{tg} 18^\circ} = 46,3 \text{ mm} \quad (9.1)$$

c – délka čepu:

$$\sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{15^2 + 46,3^2} = 48,5 \rightarrow 50 \text{ mm} \quad (9.2)$$

Z výpočtů je patrné, že vysunutá délka šikmého čepu je 50 mm.

Obě posuvné tvarové čelisti jsou odformovány pomocí dvou hydraulických válců (tahačů) E7000/32/75, které jsou uchyceny čtyřmi šrouby M10x135 k levé kotevní desce vstřikovací formy. Posuvné tvarové čelisti jsou k pístní tyči hydraulického tahače připojeny přes čep spojky E70841/10 a hlavy spojovacího čepu E70842/10. Vedení čelistí po kluzné desce o rozměrech 129 x 110 x 8 mm je zajištěno vodíci lištami. Aby nedošlo ke kolizi mezi pravou kotevní deskou a prodlouženou hadicovou přípojkou, probíhá otevírání i uzavírání tvarových čelistí v otevřené poloze vstřikovací formy. Tvarové čelisti jsou ve vysunutě poloze jištěny pomocí dvou šroubů s kuličkou E1250/8-20.

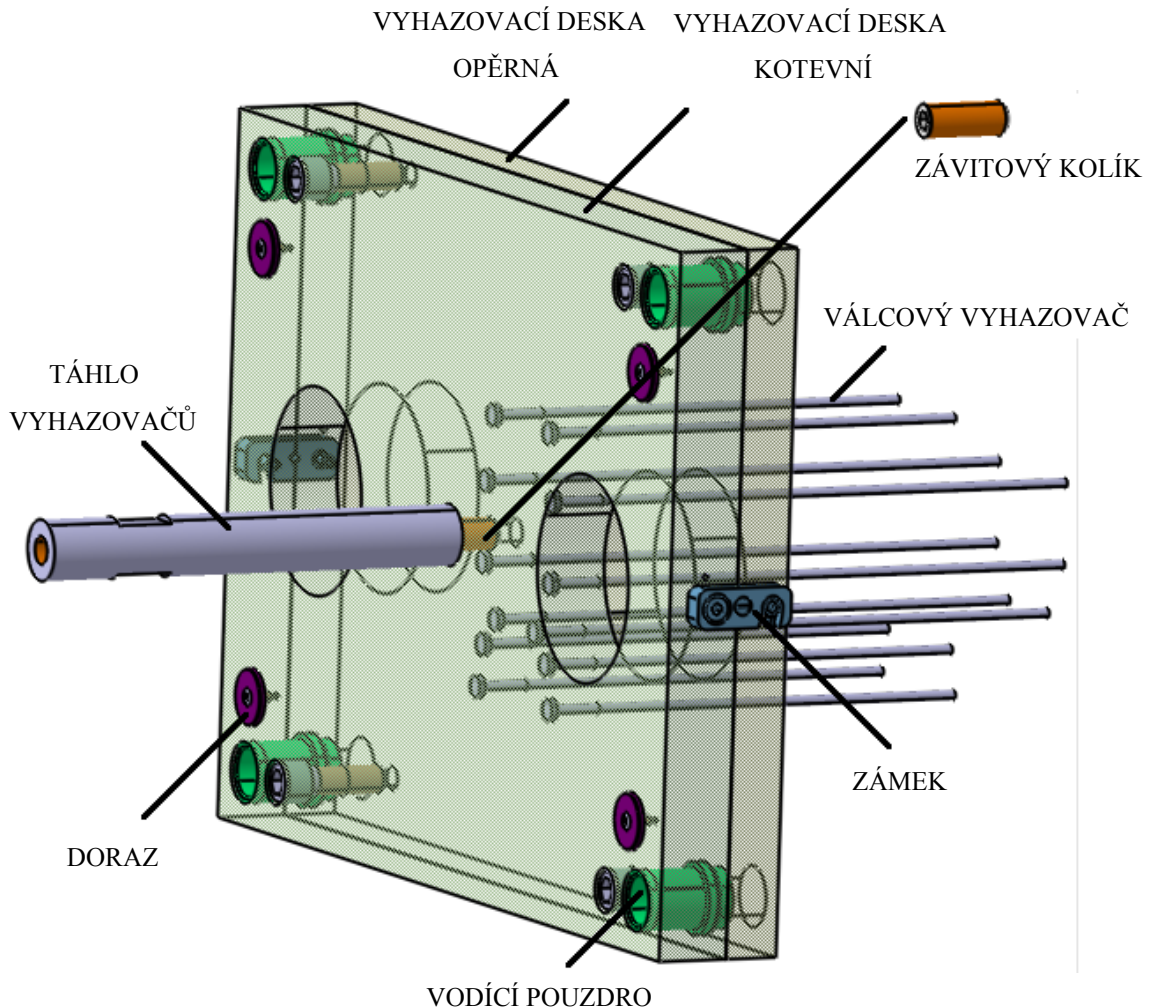


Obr. 54 Odformování posuvné tvarové čelisti velké

9.8 Vyhazovací systém vstřikovací formy

Vyhazovací systém zajišťuje vyhození výstřiku z formy po jeho ochlazení na vyhazovací teplotu. Vyhození výstřiku probíhá za pomoci 12 válcových vyhazovačů o průměru 5 mm, které jsou uloženy v kotevní vyhazovací desce. Pohyb vyhazovačů je zajištěn táhlem Z02/30x220, který je s kotevní vyhazovací deskou spojen pomocí závitového kolíku Z35/16x40. Vodící pouzdra Z10/36/24 a vodící čepy Z011/24x160 zajišťují přesné vedení vyhazovacích desek. K opěrné vyhazovací desce jsou přišroubovány dorazy Z55/28x3

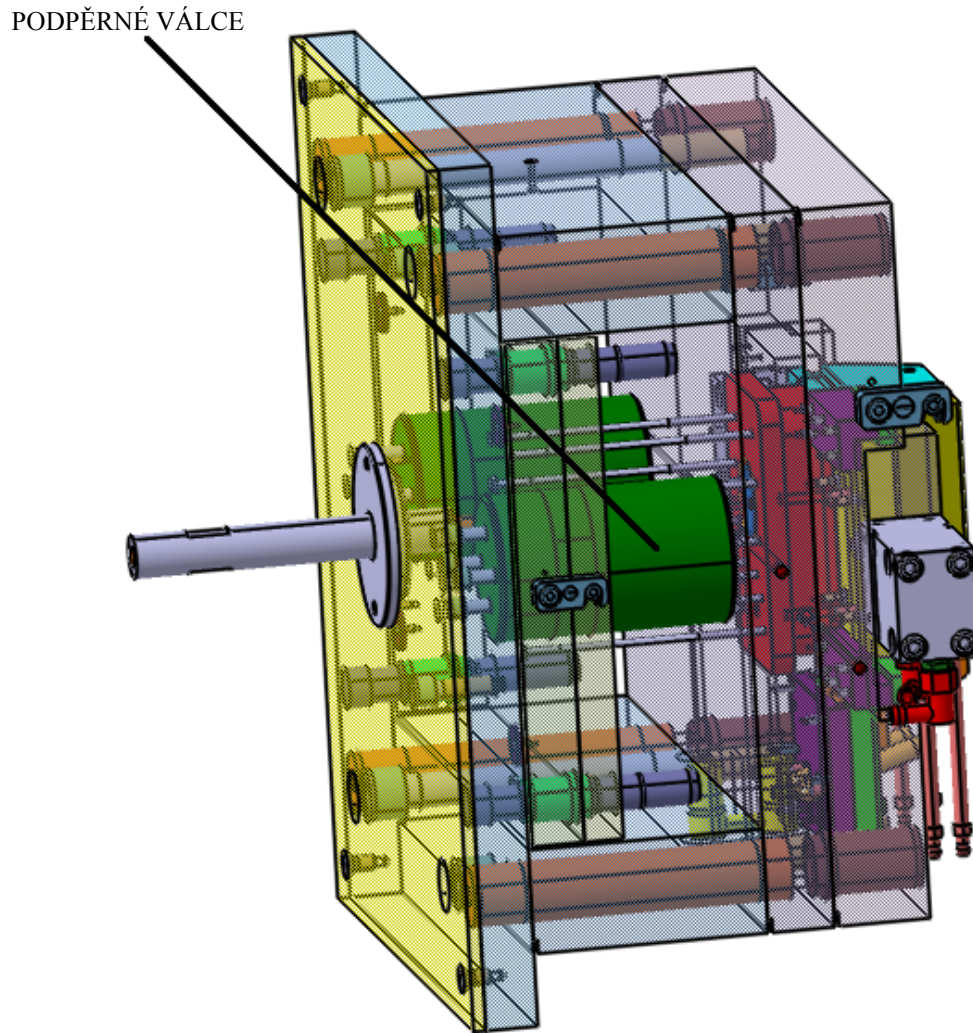
pro dosednutí vyhadzovacích desek na levou část formy při zpětném pohybu vyhadzovacího systému. Vyhadzovací desky jsou opatřeny zámky Z73/12x20x50, z důvodů případné bezproblémové přepravy vyhadzovacího systému při demontáži.



Obr. 55 Vyhadzovací systém vstřikovací formy

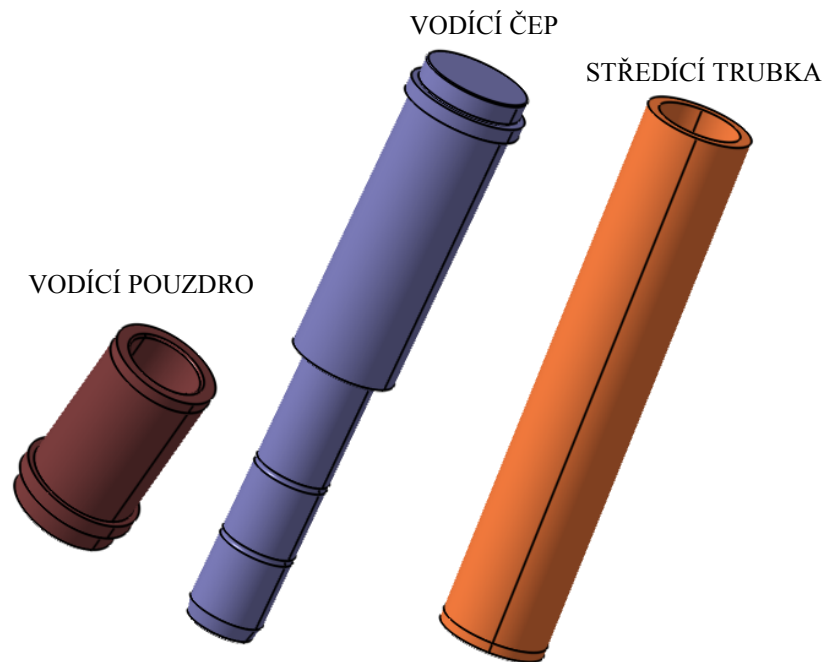
9.9 Ostatní součásti vstřikovací formy

Protože je zapotřebí velkého zdvihu vyhadzovačů pro vyhození výrobku z formy, je levá vyhadzovací strana formy opatřena dvěma podpěrnými válci z důvodu vyztužení. Oba podpěrné válce jsou uchyceny k levé upínací desce pomocí čtyř šroubů Z31/10x50. Podpěrné válce o průměru 100 mm a délce 162 mm jsou vyrobeny z oceli 1.1730.



Obr. 56 Pohled na podpěrné válce vstřikovací formy

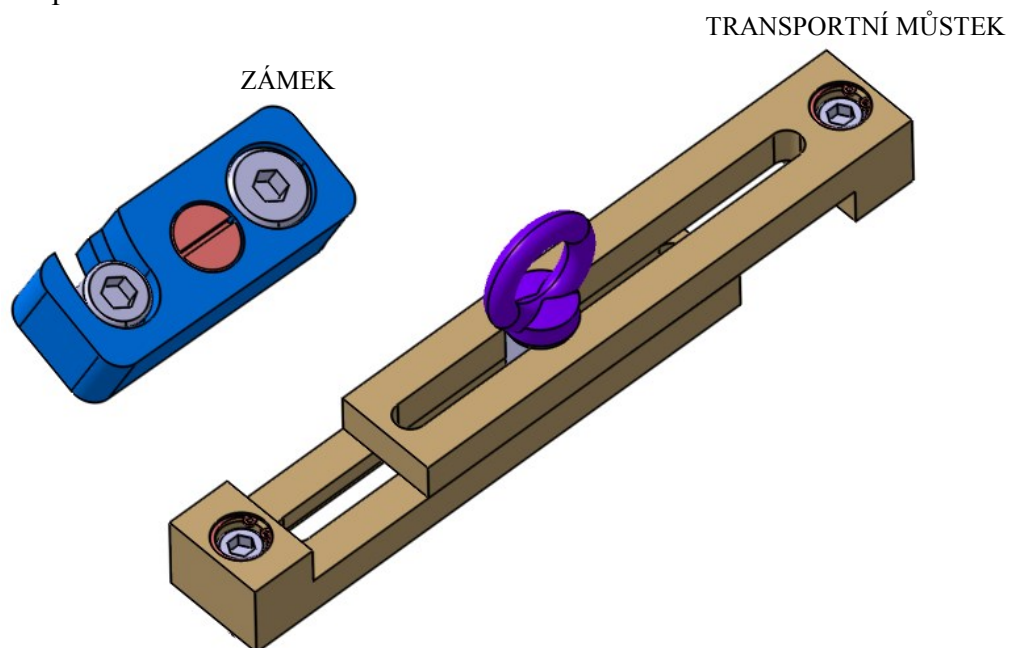
K vystředění jednotlivých desek mezi sebou jsou použity středící elementy od firmy Hasco. Desky v pravé vstřikovací straně jsou vystředěny pomocí čtyř vodících čepů Z00/116/30x115. V levé vyhazovací straně formy, jsou desky vystředěny pomocí čtyř středících trubek Z20/42x220 a čtyř vodících pouzder Z10/66/30. Desky, které jsou součástí vyhazovacího systému, jsou vystředěny s vyhazovací stranou formy pomocí čtyř vodících čepů Z011/24x160 a čtyř vodících pouzder Z10/36/24. Všechny součásti jsou vyrobeny z oceli 1.1731 a následně cementovány a kaleny na 60 HRC.



Obr. 57 Vodící a středící elementy vstříkovací formy

Vstříkovací forma je také vybavena transportním můstkem Z70 pro usnadnění manipulace s formou. Transportní můstek je přichycen k pravé opěrné desce a rozpěrné desce pomocí dvou šroubů Z31/10x30.

Pro usnadnění manipulace s formou během transportu je forma vybavena také zámky Z73/16x25x63. Zámky zabraňují možnému otevření vstříkovací a vyhazovací strany formy při jejím transportu.



Obr. 58 Prvky pro manipulaci s formou

10 TOKOVÉ ANALÝZY

Tato část práce se zabývá ověřením navržené vstřikovací formy za pomoci tokových analýz.

Nejprve byla na modelu upraveném pro program Moldflow vytvořena v tomto programu síť o délce stran trojúhelníku 3 mm. Následně byla provedena analýza o vhodné poloze umístění vtoku a předběžná celková analýza navržené vstřikovací formy. Po předběžné analýze, byl na základě výsledků zvolen stroj a byly upraveny procesní podmínky. Upravené procesní podmínky byly ověřené ve finální celkové analýze. Celková analýza v programu Moldflow zahrnuje: ověření navrženého temperačního systému, ověření vtokového systému, průběh plnění a dotlaku, výpočet předpokládaných deformací na výrobku.

10.1 Kvalita vytvořené sítě

Po vytvoření sítě na modelu výrobku určeném pro analýzy, byla tato síť upravena a následně ověřena její kvalita.

Triangles			Edge details:	
-----			Free edges	0
Entity counts:			Manifold edges	75942
Triangles	50628		Non-manifold edges	0
Connected nodes	25276			
Connectivity regions 1			Orientation details:	
Invisible triangles	0		Elements not oriented	0
Area:			Intersection details:	
(Mold blocks and cooling channels are not included)			Element intersections	0
Surface Area:	1235.85 cm ²		Fully overlapping elements	0
Volume by element types:			Match percentage:	
Triangle:	181.906 cm ³		Match percentage	89.2%
			Reciprocal percentage	89.4%
Aspect Ratio:				
Maximum	Average	Minimum		
10.45	2.01	1.16		

Obr. 59 Statistika vytvořené sítě

Vytvořená síť je optimální, protože splňuje všechny podmínky pro optimální síť:

- Poměr stran trojúhelníku (Maximum Aspect Ratio) = 6 až 15,
- volné hrany (Free edges) = 0,
- zdvojené hrany (Non-manifold edges) = 0,
- neorientované elementy (Elements not oriented) = 0,
- průsečíky mezi elementy (Element intersections) = 0,

- překryté elementy (Fully over-lapping elements) = 0,
- kvalita modelu (Match percentage) $\geq 90\%$.

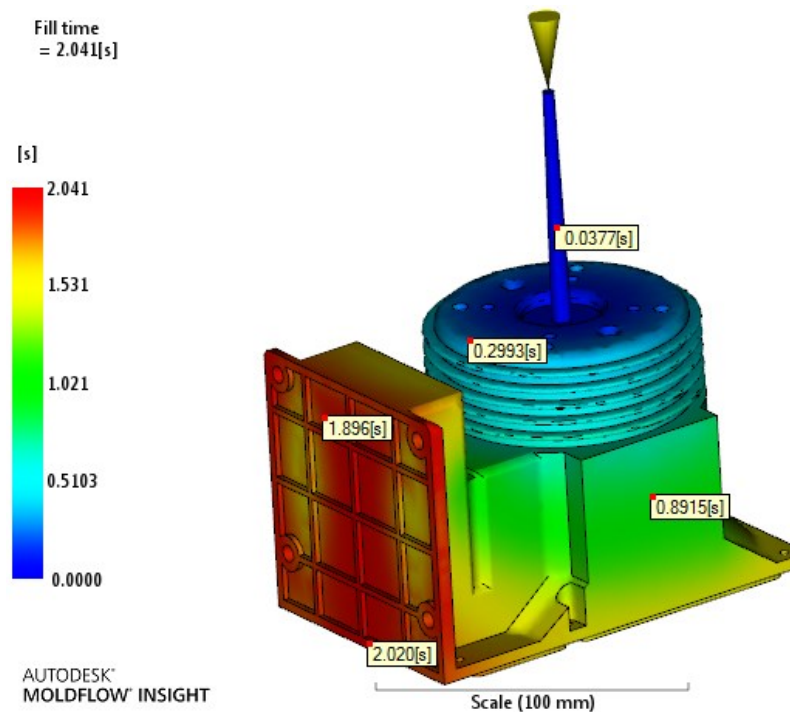
10.2 Předběžná (defaultní) analýza

Defaultní analýza je analýza, která ověřuje již navrženou vstřikovací formu při výchozích zpracovatelských podmínkách dané materiálem. Všemi čtyřmi temperačními okruhy proudila voda o teplotě 70 °C rychlostí 25 litrů za minutu.

10.2.1 Čas plnění (Fill time)

Výsledek znázorňuje průběh plnění a dobu, za kterou se dutina formy celá zaplní. Čas na vyplnění dutiny formy taveninou je závislý na konstrukci vtokového systému, zpracovatelských podmínkách, druhu materiálu a složitosti výrobku. Pokud by došlo k nezatečení materiálu, bylo by nutné některé parametry upravit (např. teplotu taveniny, vstřikovací tlak).

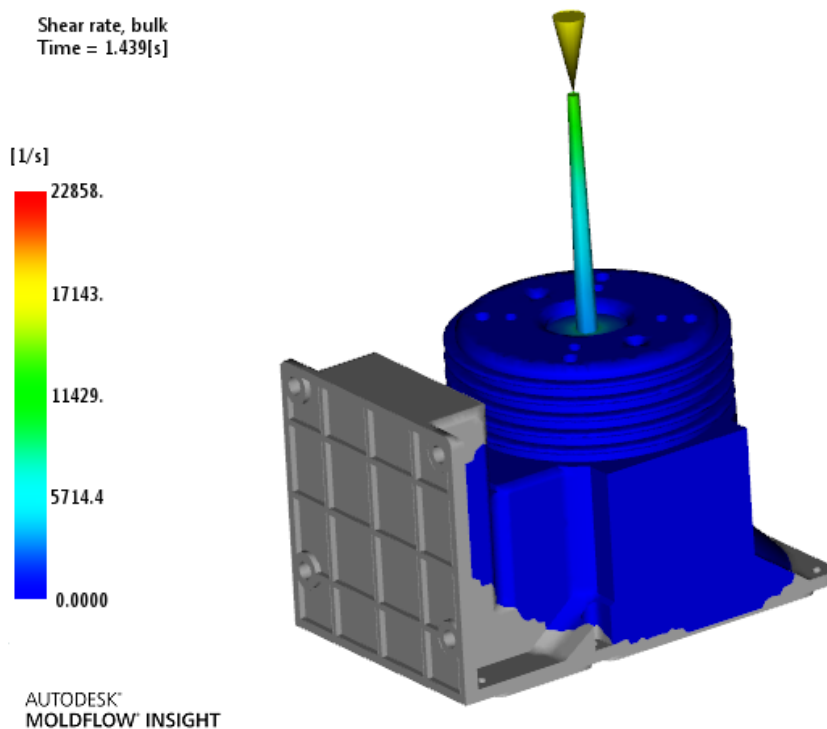
V tomto případě (obrázek č. 60) je zřejmé, že tavenina spolehlivě vyplní celou dutinu formy za 2,04 sekund.



Obr. 60 Čas plnění (Fill time)

10.2.2 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

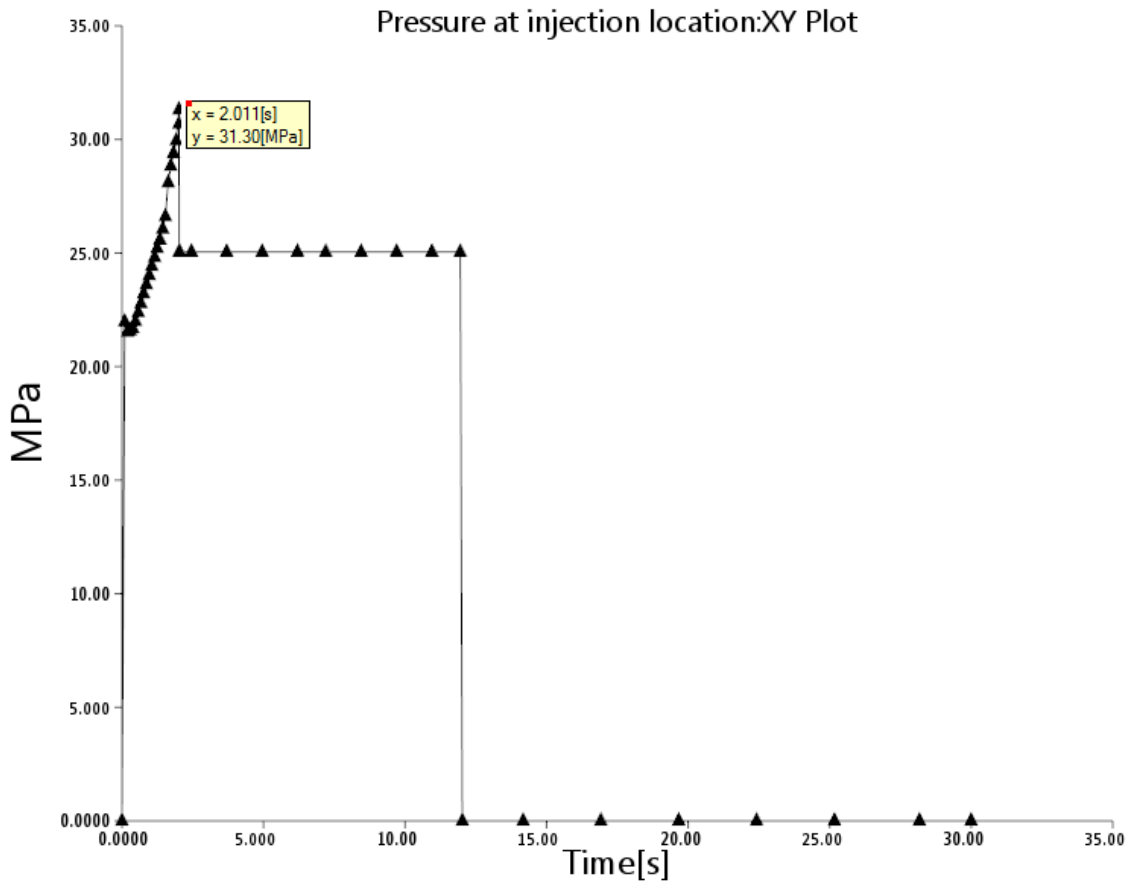
Výsledek této analýzy podává informace o rychlosti smykové deformace při plnění dutiny formy taveninou. Nejkritičtější místo bývá zpravidla ve vtokovém systému, a proto je důležité tomuto místu věnovat pozornost. Hodnota rychlosti smykové deformace by pro zvolený materiál neměla překročit hodnotu $60\,000\text{ s}^{-1}$. Z výsledku je patrné, že tato podmínka byla splněna, protože hodnota smykové deformace je v tomto případě $22\,828\text{ s}^{-1}$.



Obr. 61 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

10.2.3 Vstřikovací tlak ve vtokovém systému (Pressure at injection)

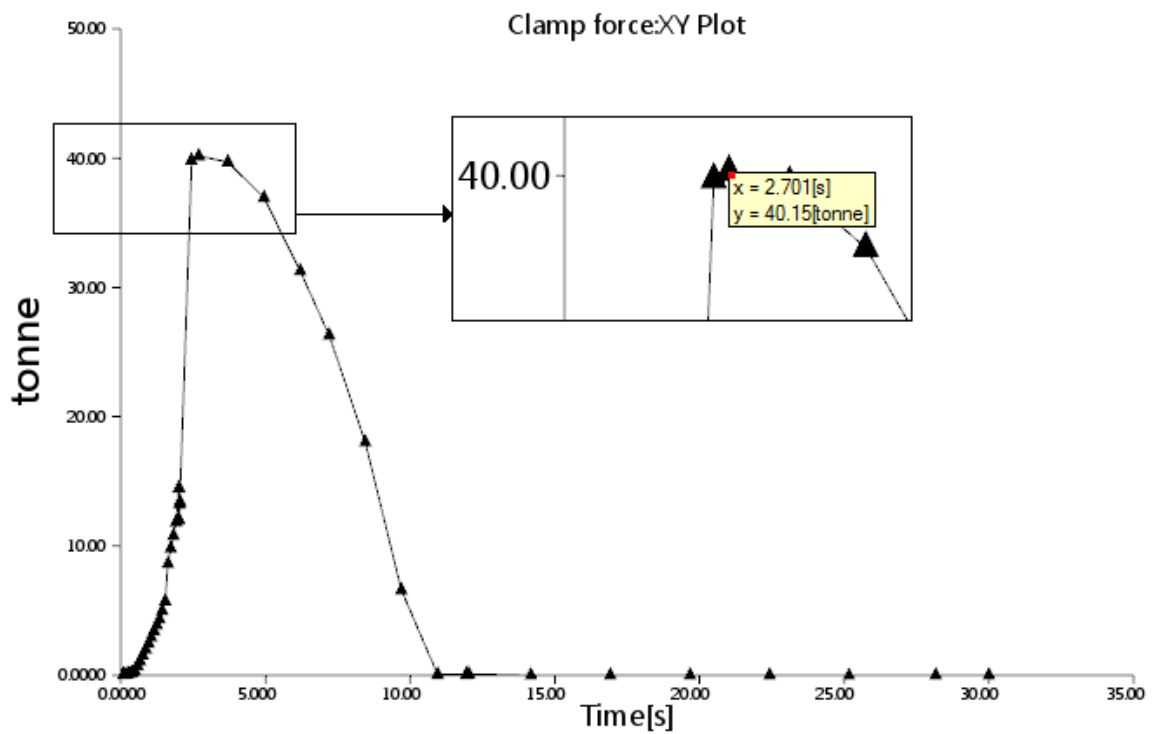
Na obrázku je vykreslen průběh vstřikovacího tlaku a dotlaku ve vtokovém systému při vstřikovacím procesu. Graf je závislostí tlaku na čase. Velikost vstřikovacího tlaku je jeden z parametrů pro volbu vhodného vstřikovacího stroje. V tomto případě dosahuje maximální hodnota vstřikovacího tlaku na konci plnění a to $31,3\text{ MPa}$.



Obr. 62 Průběh vstřikovací tlaku ve vtakovém systému (Pressure at injection)

10.2.4 Uzavírací síla (Clamp force)

Posledním uvedeným výsledkem v předběžné analýze je průběh uzavírací síly během vstřikovacího cyklu, který je velmi důležitým parametrem pro následnou volbu vstřikovacího stroje. Graf popisuje závislost uzavírací síly na čase. Nejvyšší hodnota uzavírací síly je 40,15 tun tedy 401,5 kN. Tato hodnota je na konci fáze plnění, protože je zde i největší hodnota vstřikovacího tlaku. Obecně platí, že velikost uzavírací síly nesmí být menší než velikost vstřikovacího tlaku, aby nedošlo k pootevření formy během vstřikování.



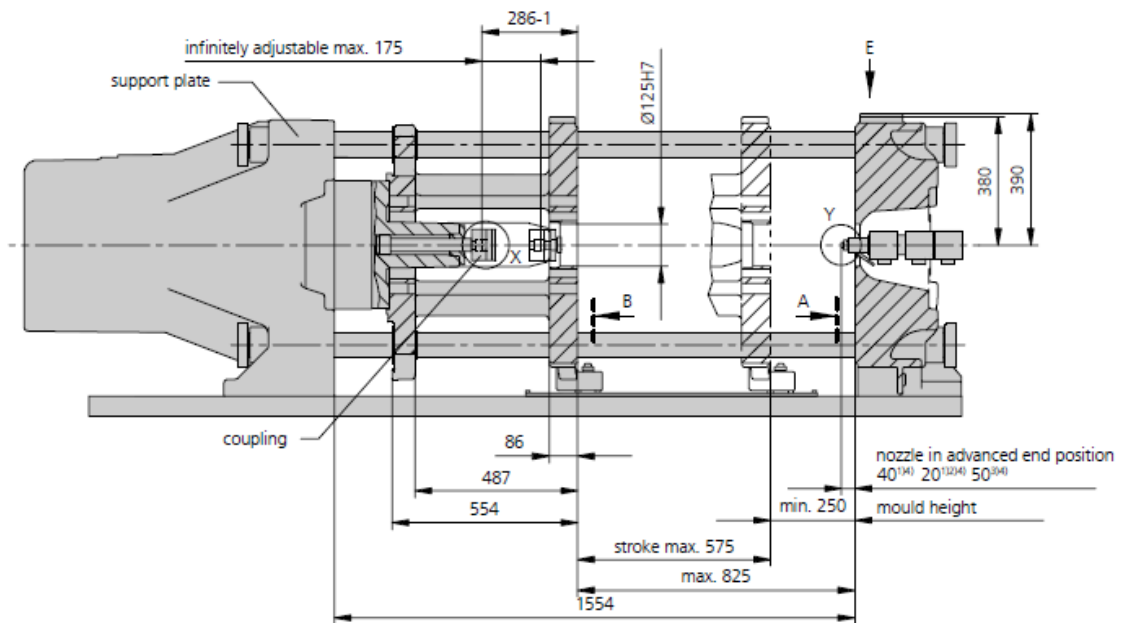
Obr. 63 Uzavírací síla (Clamp force)

10.3 Volba vstřikovacího stroje

Na základě výsledků z předběžné analýzy a technických parametrů navržené vstřikovací formy byl vybrán hydraulický vstřikovací stroj ALLROUNDER 520 S – 1600-400 (45 mm) od firmy Arburg.

Tab. 4 Srovnání požadovaných technických parametrů formy a stroje

Technický parametr	Hodnota formy	Hodnota stroje	Jednotka
Rozměry formy	596x496	520x520	mm
Uzavírací síla	401,5	1600	kN
Objem vstřiku	203	254	cm ³
Středicí kroužek	125	125	mm
Vstřikovací tlak	31,3	158	Mpa
Maximální rychlost tečení taveniny	-	212	cm ³ /s
Maximální vyhazovací síla	-	50	kN
Průměr šneku	-	45	mm



Obr. 64 Rozměrové možnosti uzavírací jednotky vstřikovacího stroje

Výhodou použití stroje Arburg je snadná demontáž vodícího sloupu stroje při manipulaci s formou, což umožňuje použití formy větších rozměrů než je vzdálenost mezi vodícími sloupy stroje. V tomto případě je vzdálenost mezi vodícími sloupy stroje 520 x 520 mm a rozměr formy je 596 x 496 mm.

Z obrázku č. 64 vyplývá, že maximální možná výška formy pro uložení do vstřikovacího stroje Arburg ALLROUNDER 520 S je 825 mm, což znamená, že navržená vstřikovací forma tento limit splňuje, neboť její minimální výška v uzavřené poloze je 479 mm. Minimální výška, potřebná pro vyhození výstřiku z formy, v rozevřené poloze je pak 660 mm. Potřebný posuv vyhazovačů pro bezpečné vyhození výstřiku z formy je 95 mm, přičemž maximum zvoleného vstřikovacího stroje je 175 mm. Ostatní parametry stroje ALLROUNDER 520 S jsou přiloženy v příloze P II.

10.4 Finální upravená analýza

Upravená analýza obsahuje stejný vtokový i temperační systém jako u předběžné analýzy. Ke změnám došlo pouze v nastavení procesních podmínek, které proběhlo na základě výsledků z předběžné analýzy. Hodnoty nastavených procesních parametrů jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 5 Nastavené procesní parametry pro upravenou analýzu

Procesní parametr	Hodnota	Jednotka
Teplota taveniny	270	°C
Doba otevření formy	5	s
Teplota povrchu formy	85	°C
Vyhazovací teplota	160	°C
Procento zamrzlých vrstev při vyhození	99	%
Vstřikovací čas	1,5	s
Přepnutí na dotlak po zaplnění dutiny z:	98	%

Nastavení dotlakové fáze bylo pak dle hodnoty maximálního vstřikovacího tlaku v procentech. Dotlak působil 10 sekund velikostí 100 % a poté klesl na hodnotu 95 % z maximální hodnoty vstřikovacího tlaku.

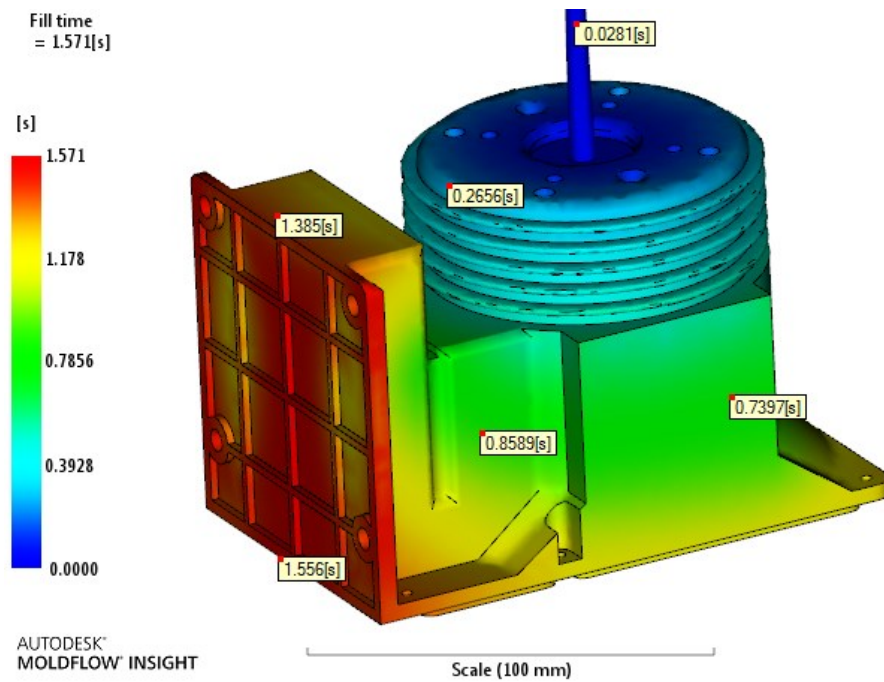
V záložce pro nastavení procesních podmínek byl také nastaven zvolený vstřikovací stroj a materiál formy Tool steel P-20. Dále bylo nastaveno, aby program sledoval teplotní roztažnost vstřikovací formy a izoloval příčiny deformace.

Byla také nastavena velikost bloku vstřikovací formy pro přesnější výpočet tepelných pochodů ve formě.

Dalším krokem v nastavení bylo nastavení temperačního systému. Temperační médiem proudící ve všech čtyřech temperačních okruzích byla voda o teplotě 70 °C a průtoku 25 litrů za minutu.

10.4.1 Čas plnění (Fill time)

V procesních podmínkách byl nastaven vstřikovací čas na 1,5 sekund, ke kterému se měl tento výsledek přiblížit. Z následujícího obrázku lze vyhodnotit, že odchylka od nastaveného času je minimální, a že dojde k bezproblémovému zatečení taveniny do dutiny formy. Dále lze sledovat, která část dutiny vstřikovací formy bude zaplněna nejpozději.

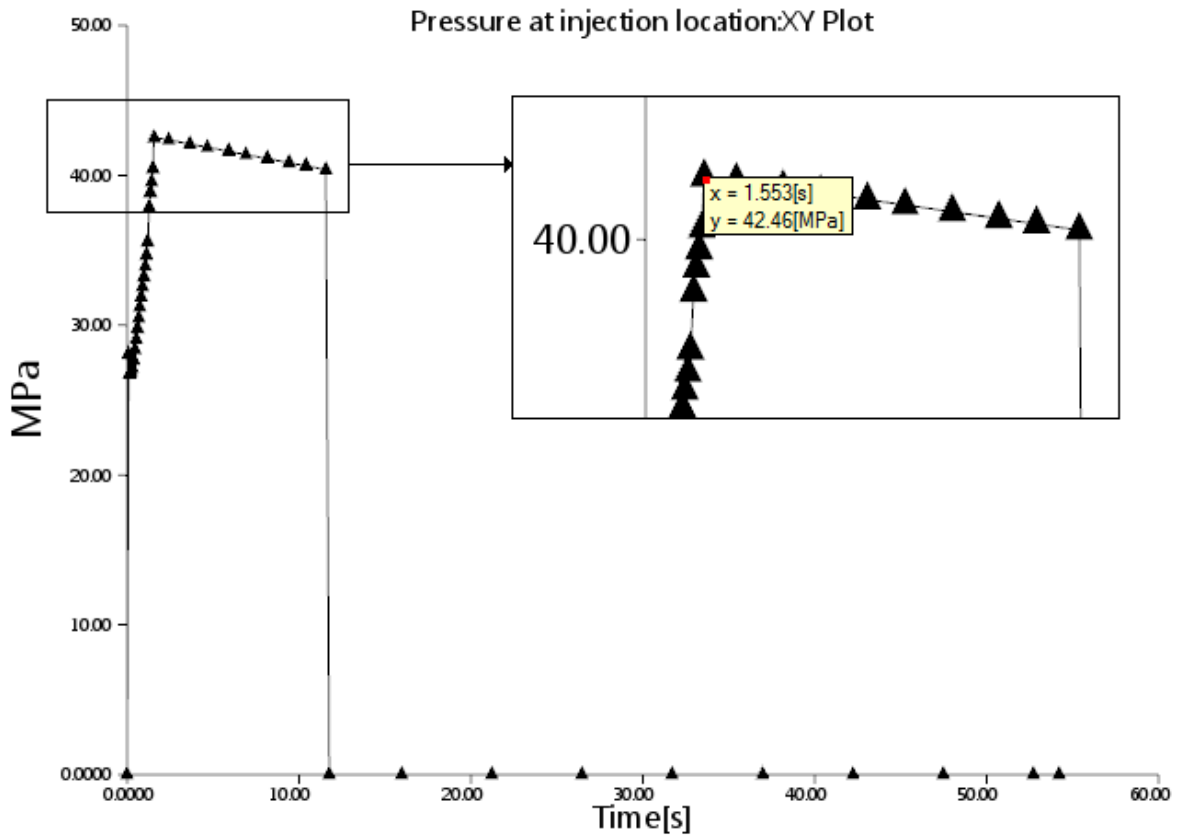


Obr. 65 Čas plnění (Fill time)

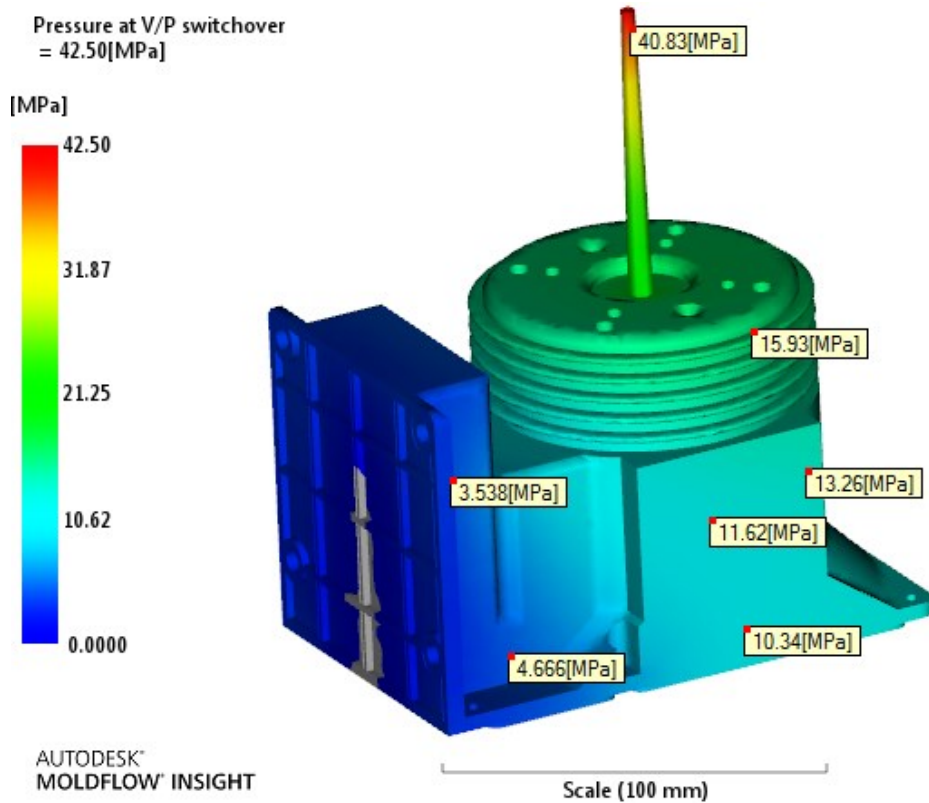
10.4.2 Průběh vstřikovacího tlaku ve vtokovém ústí (Pressure at injection)

Z grafu lze vidět, že během plnění začne prudce narůstat tlak až na hodnotu přibližně 42,5 MPa. Poté dojde k přepnutí na dotlak, při kterém dochází v dutině formy ke kompresi taveniny (mírný pokles tlaku). Po ukončení dotlakové fáze, dochází k prudkému poklesu tlaku na hodnotu, na které setrvává po celou dobu fáze chlazení. Po zchlazení výstřiku na vyhazovací teplotu následuje vyhození výstřiku z formy.

V případě, že by nedošlo k celkovému zatečení materiálu do dutiny formy, bylo by nutné zvýšit vstřikovací tlak. Pokud by po vstříknutí materiálu docházelo k velkému smrštění výstřiku, musela by se zvýšit doba působení dotlaku a nebo zvýšit hodnota dotlaku.



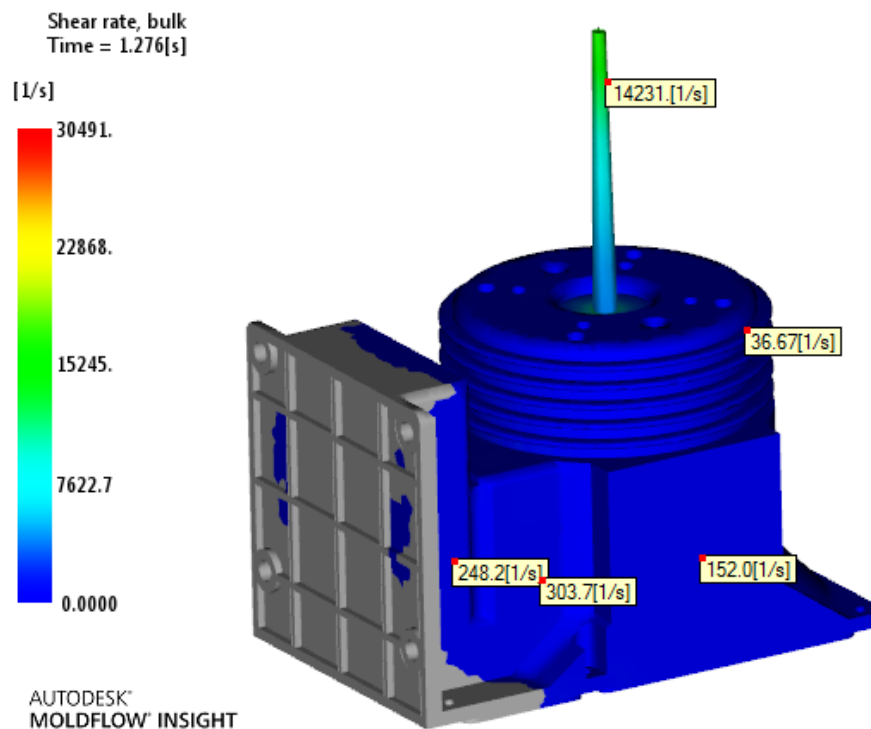
Obr. 66 Průběh vstřikovacího tlaku ve vtokovém ústí (Pressure at injection)



Obr. 67 Tlak taveniny v dutině formy během plnění (Pressure at V/P switchover)

10.4.3 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

Stejně jako u předběžné analýzy je i v upravené analýze třeba dodržet aby rychlost smykové deformace nepřesáhla hodnotu $60\,000\text{ s}^{-1}$, která je dána vstřikovaným materiálem. Pokud by došlo k překročení této hodnoty v jakékoliv části dutiny formy, hrozila by zde degradace materiálu, což by vedlo k zhoršení mechanických vlastností výstřiku. Z obrázku vyplývá, že tato hodnota nebyla překročena, jelikož maximální dosažená hodnota je $30\,491\text{ s}^{-1}$.

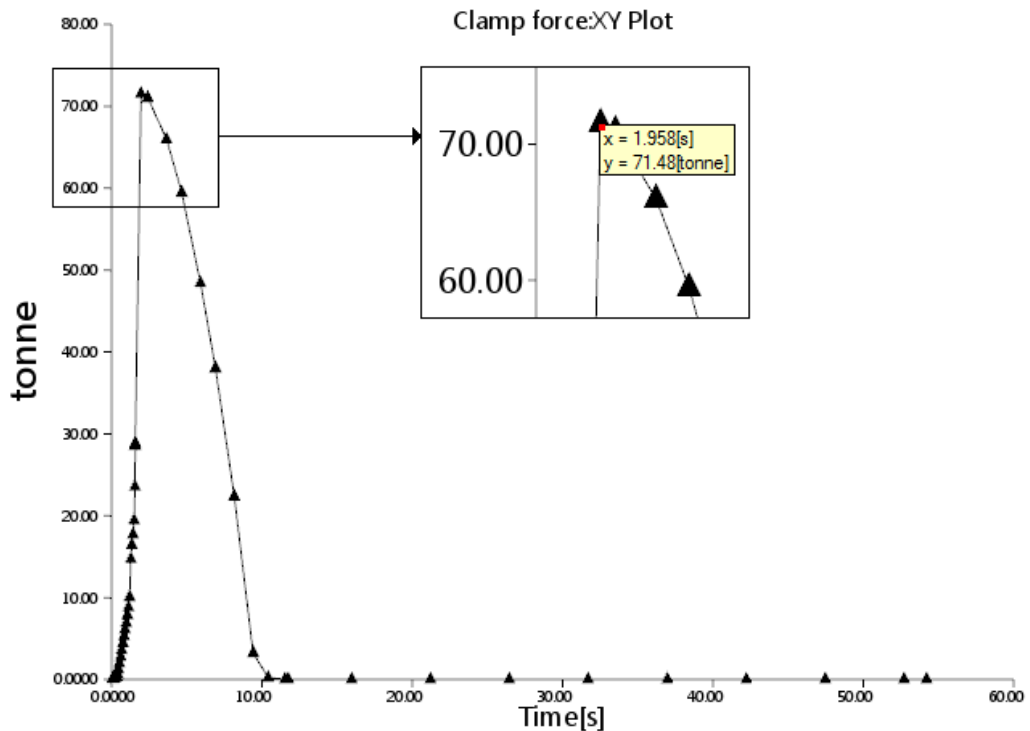


Obr. 68 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

10.4.4 Uzavírací síla (Clamp force)

Potřebná uzavírací síla nesmí být menší, než je síla vzniklá během procesu vstřikování. Velikost síly vzniklé při vstřikování (vstřikovací síla) je závislá na velikosti vstřikovacího tlaku a na velikosti plochy dutiny formy.

Uzávěrací síla je jedním ze základních parametrů při volbě vstřikovacího stroje. Pokud by uzavírací síla vstřikovacího stroje byla menší, než je síla vstřikovací, mohlo by dojít k pootevření vstřikovací formy při vstřikování. V tomto případě je maximální uzavírací síla dosažená během vstřikování přibližně 71,5 tun, což je 715 kN. Zvolený stroj Arburg ALLROUNDER 520 S má maximální uzavírací sílu 1600 kN, tudíž požadavek na potřebnou uzavírací sílu splňuje.

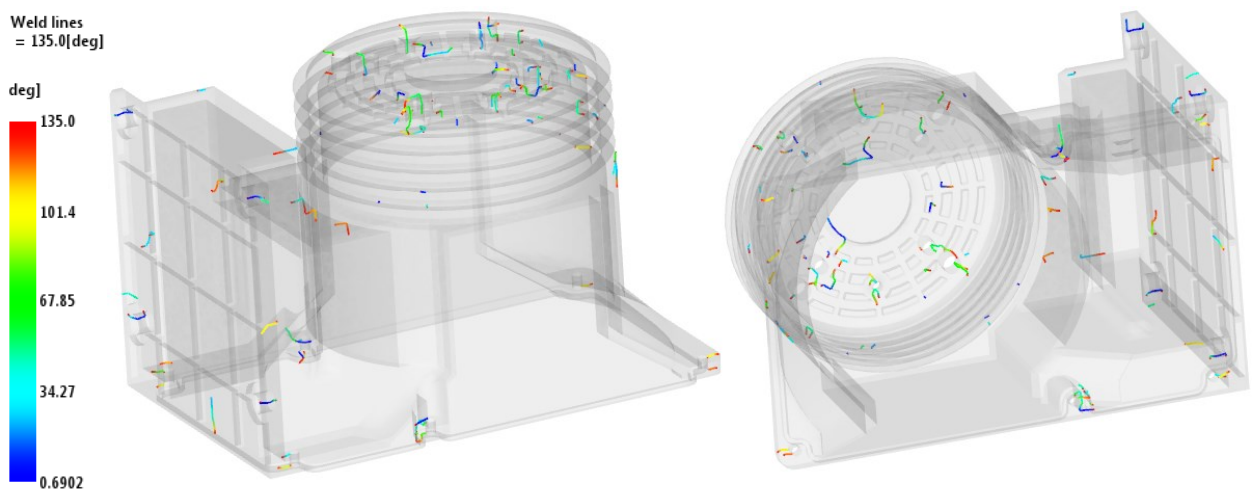


Obr. 69 Uzavírací síla (Clamp force)

10.4.5 Studené spoje (Weld lines)

Tato analýza poskytuje informace o výskytu míst, ve kterých se můžou vytvářet studené spoje. Studené spoje jsou jevem, který vzniká při setkání dvou chladnějších čel taveniny. Tento jev je nežádoucí z hlediska zhoršení mechanických a vzhledových vlastností budoucího výrobku. Vzniku studených spojů může také napomáhat např. nízká teplota taveniny nebo formy, malá rychlost taveniny nebo dlouhá dráha jejího toku.

Z obrázku č. 70 je patrné, že největší výskyt studených spojů je v horní části krytu motoru.

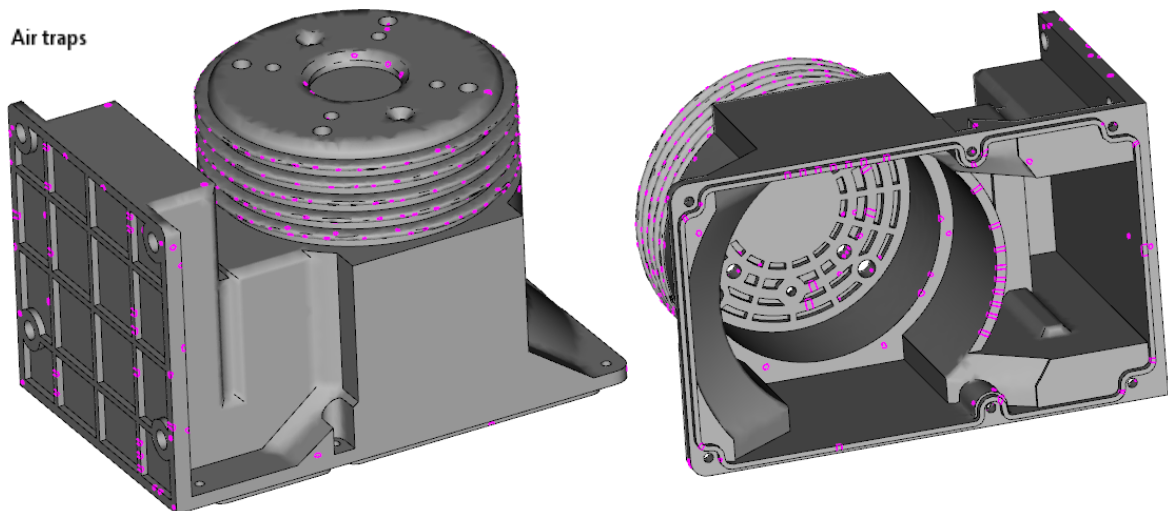


Obr. 70 Studené spoje (Weld lines)

10.4.6 Vzduchové kapsy (Air traps)

Výsledek této analýzy pomáhá určit místa, ve kterých je vysoké riziko uzavírání vzduchu, což může vést k nezatečení materiálu do těchto míst. Kromě nedotečení materiálu hrozí také vznik nežádoucího Dieslova efektu. Při Dieslově efektu dochází k prudkému stlačení a zahřátí vzduchu, což následně vede až ke spálení taveniny.

Místa, ve kterých by se mohl uzavírat vzduch, jsou na obrázku č. 71 znázorněny růžovou barvou. V tomto případě je kritických míst poměrně hodně, avšak je předpoklad, že většina vzduchu bude z dutiny formy vytlačena. Předpokládáný únik vzduchu z dutiny formy je přes dělicí roviny posuvných tvarových čelistí a přes vůle mezi vyhazovači a tvárníkem. Pokud by však při zkoušení formy s těmito kritickými místy vznikaly problémy, musela by se vstřikovací forma opatřit odvzdušňovacími kanálky.

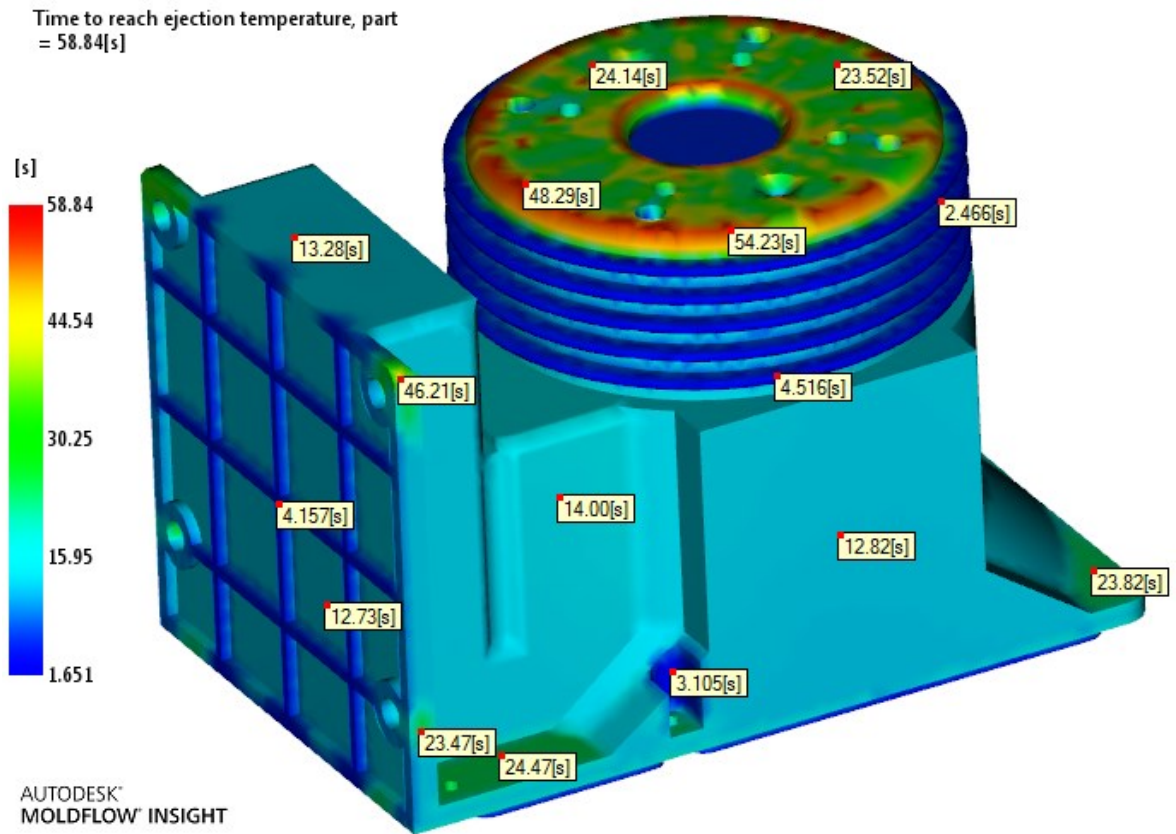


Obr. 71 Vzduchové kapsy (Air traps)

10.4.7 Čas potřebný k ochlazení výstřiku na vyhazovací teplotu (Time to reach ejection temperature – part)

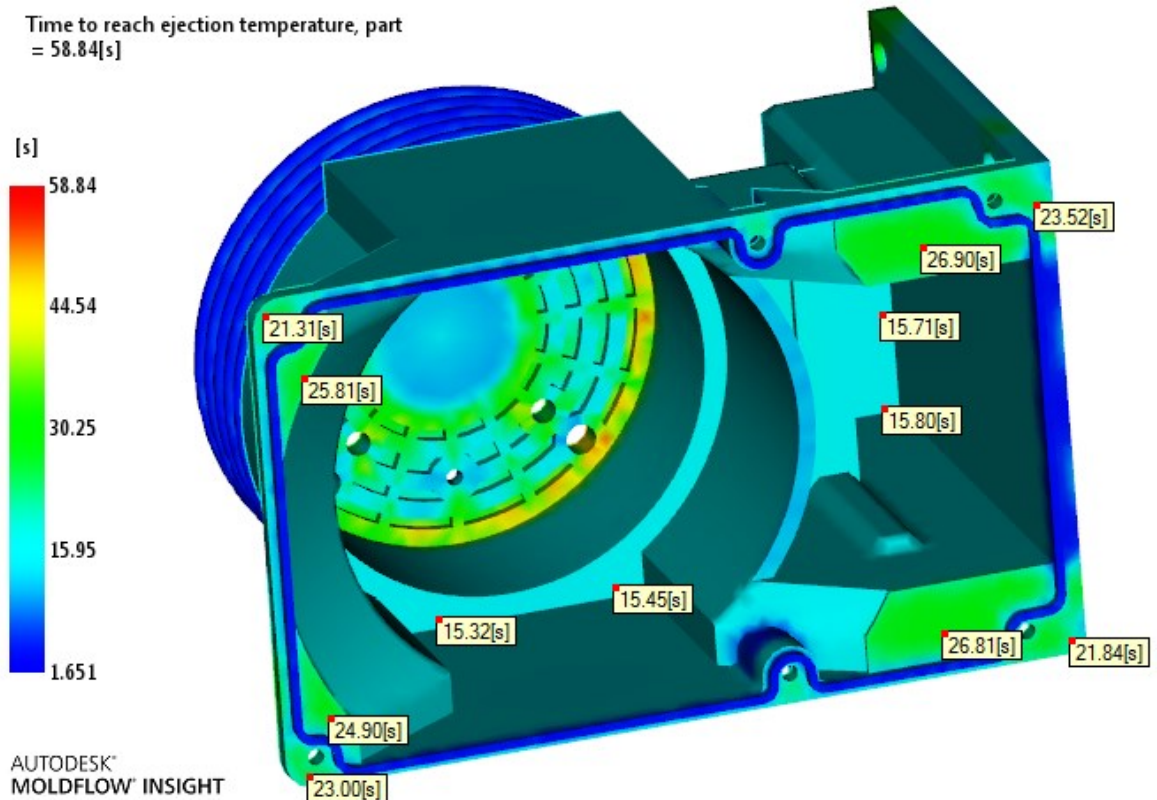
Vyhození výstřiku ze vstřikovací formy dochází až po ochlazení na vyhazovací teplotu, která je dána typem vstřikovaného materiálu. Vyhazovací teplota je teplota, při které je výstřik dostatečně ztuhlý na to, aby došlo k jeho vyhození bez poškození. Z hlediska produktivity práce je v praxi snahou, aby tento čas byl pokud možno co nejkratší.

Pro použitý polymer Ultramid B3G7 HS Q16 je vyhazovací teplota 160 °C. Výsledek analýzy nám ukazuje, že tato teplota celého výrobku je dosažena za necelých 60 sekund. Jsou to místa v okolí ústí vtokového systému.



Obr. 72 Čas potřebný k ochlazení výstřiku na vyhazovací teplotu (Time to reach ejection temperature – part) I

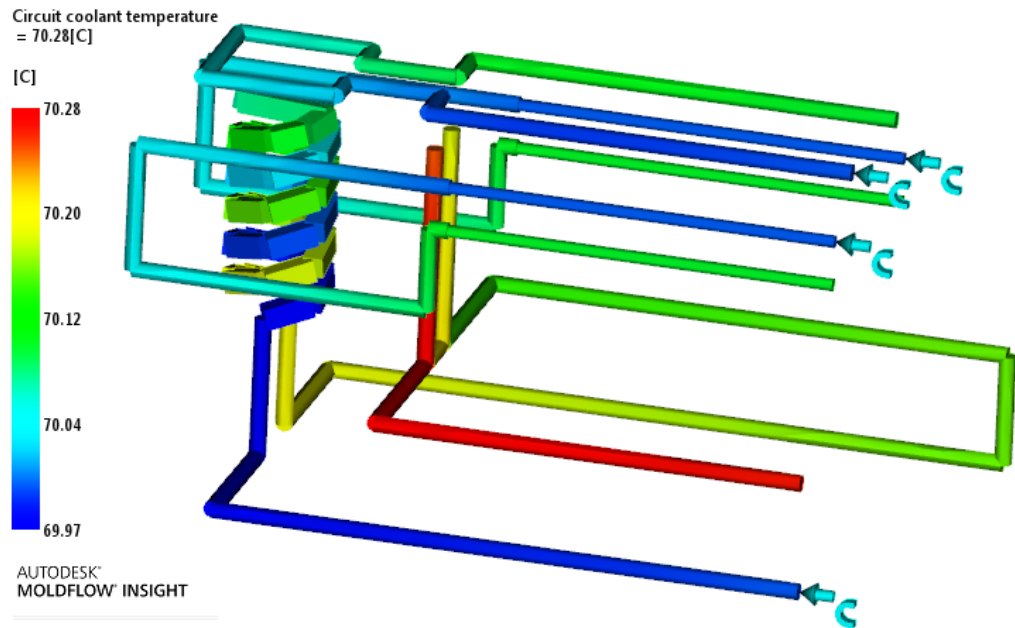
Válcové vyhazovače se opírají o spodní stranu výrobku, tudíž je možné výrobek z formy vyhodit už po přibližně 27 sekundách (viz. obrázek č. 73).



Obr. 73 Čas potřebný k ochlazení výtříku na vyhazovací teplotu (Time to reach ejection temperature – part) II

10.4.8 Teplota v temperačních okruzích (Circuit coolant temperature)

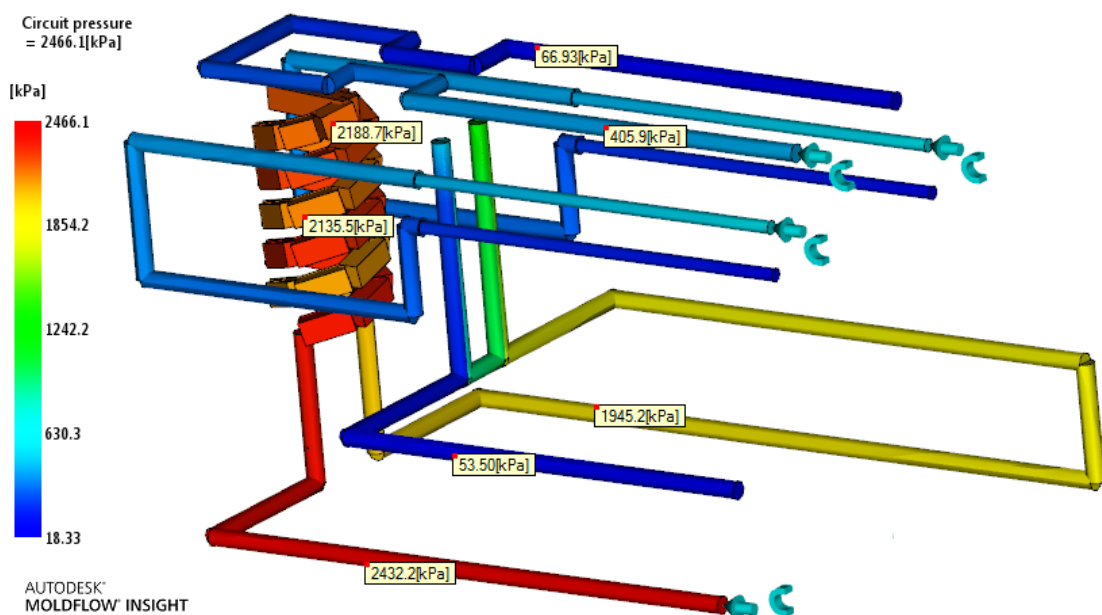
Na obrázku č. 74 jsou zobrazeny teploty v jednotlivých místech temperačního okruhu. Zásadou pro konstrukci forem, co se týče temperačních kanálů, je že teplotní spád na vstupu a výstupu temperačního média z temperačních kanálů by neměl přesáhnout hodnotu 3 až 5 °C. V tomto případě byla tato zásada splněna, jelikož teplotní spád je přibližně jen 0,3 °C.



Obr. 74 Teplota v temperačních okruzích (Circuit coolant temperature)

10.4.9 Tlak v temperačních okruzích (Circuit pressure)

Vypočtené hodnoty dávají informace o tom, jak se bude měnit tlak v temperačních kanálech. Tlak na vstupu má největší hodnotu a s rostoucí délkou kanálu klesá. Tlak klesá také se změnou průřezu kanálu. Cílem je, aby v žádném místě temperačního kanálu nebylo místo kde by byl tlak nulový (tzv. mrtvé místo). Mrtvé místo by znamenalo, že by zde nedocházelo k proudění temperačního média. Z výsledku vyplývá, že navržený temperační systém žádné mrtvé místo neobsahuje.

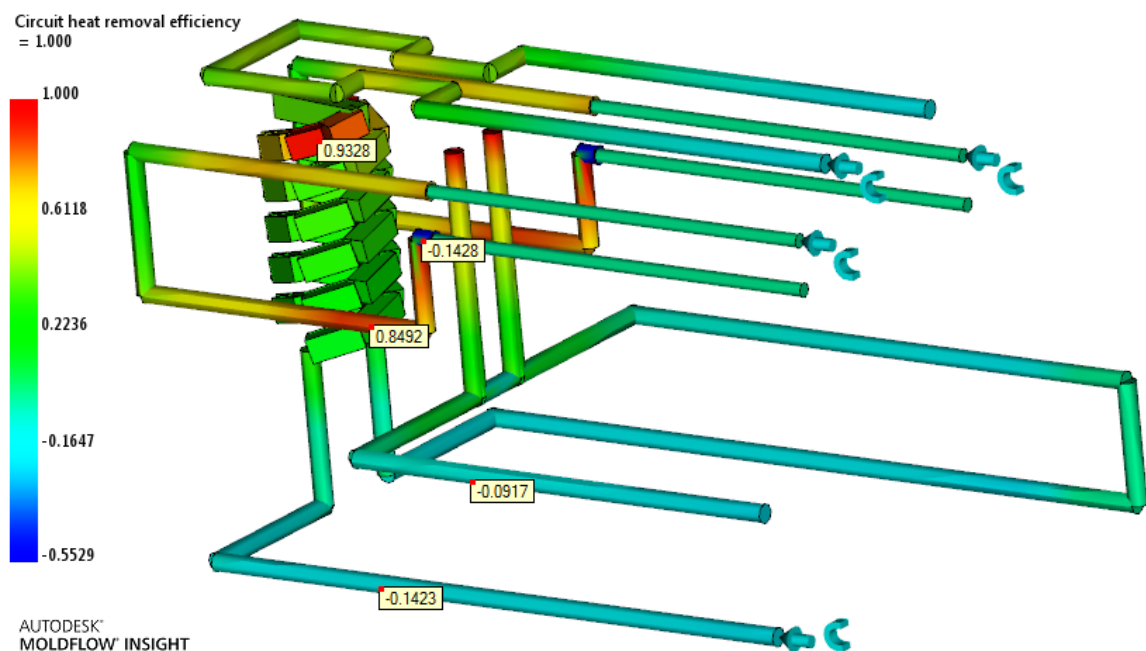


Obr. 75 Tlak v temperačních okruzích (Circuit pressure)

10.4.10 Účinnost odvodu tepla v temperačních kanálech (Circuit heat removal efficiency)

Výsledek zobrazuje poměrné množství odvedeného tepla temperačními kanály. Množství odvedeného tepla je v různých částech temperačního systému odlišné. Je to dáno zejména konstrukcí temperačních kanálů, jejich vzdáleností od povrchu formy, druhem temperačního média a jeho objemovým průtokem.

Místa s nejvyšší účinností odvodu tepla jsou znázorněna červenou barvou a je to zejména v místech, která jsou co nejbližší k dutině vstřikovací formy. Zvýšení účinnosti odvodu tepla by se dosáhlo úpravou konstrukce temperačních kanálů nebo úpravou procesních parametrů.



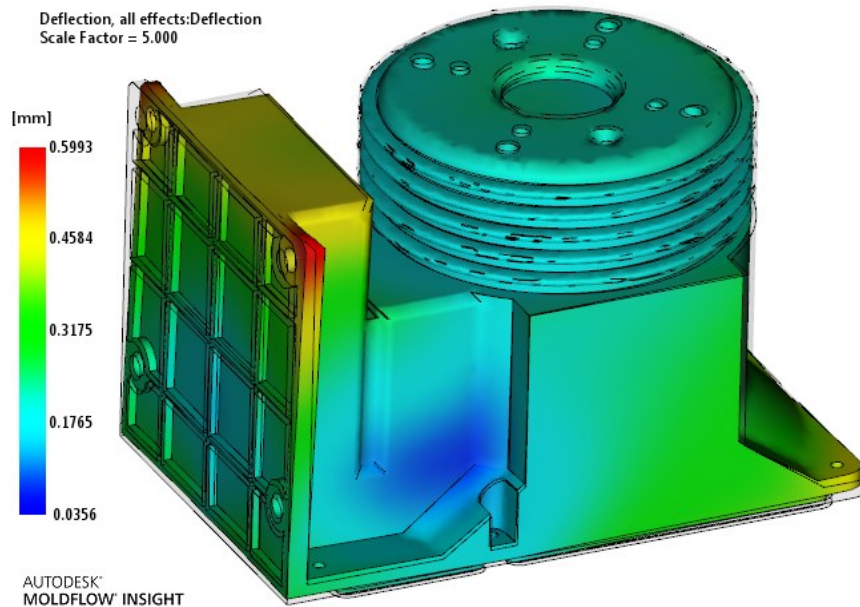
Obr. 76 Účinnost odvodu tepla v temperačních kanálech (Circuit heat removal efficiency)

10.4.11 Celková deformace od všech vlivů (Deflection, all effects: Deflection)

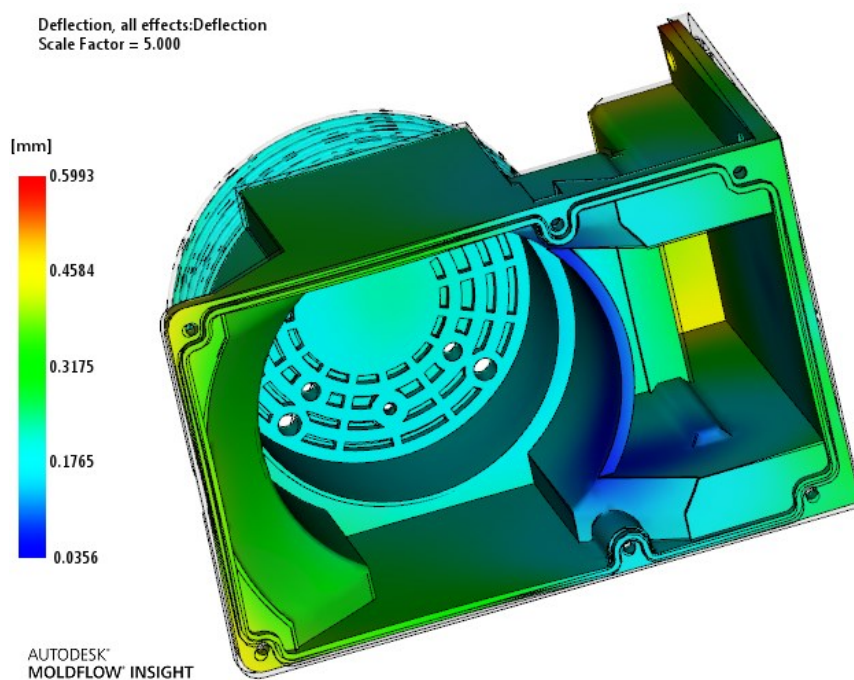
Výsledek udává celkovou deformaci vstřikovaného výrobku, která je způsobena mnoha efekty. V této analýze jsou zahrnuty deformace způsobené tepelnou roztažností vstřikovaného materiálu a jeho orientací, dále pak deformace způsobené při ochlazování výstřiku. Velikost celkové deformace je důležitá při návrhu rozměrů tvarové dutiny vstřikovací formy, která by měla být o tuto hodnotu zvětšena. Pokud by rozměry výrobku po vystříknutí nebyly v souladu s rozměry uvedenými ve výkresové dokumentaci, bylo by

nutné upravit některé procesní parametry (velikost a doba působení dotlaku, teplota vstříkované taveniny, teplota temperačního média) nebo upravit konstrukci vstříkovací formy.

Na obrázku č. 77 je zobrazena deformace od všech vlivů, která je pro názornost pětikrát zvětšena. Nejvyšší hodnoty celkové deformace jsou na obrázku zobrazeny červenou barvou. Velikost celkové deformace v těchto místech dosahuje hodnoty necelých 0,6 mm.



Obr. 77 Celková deformace od všech vlivů - zvětšeno 5x (Deflection, all effects: Deflection) I



Obr. 78 Celková deformace od všech vlivů - zvětšeno 5x (Deflection, all effects: Deflection) II

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem praktické části diplomové práce byl návrh konstrukce vstřikovací formy pro zadaný vstřikovaný výrobek, kterým byl kryt elektromotoru. Samotná konstrukce vstřikovací formy a zadaného vstřikovaného výrobku probíhala v programu CATIA VR19. Při konstrukci formy byly použity normalizované díly z digitálního katalogu firmy HASCO a MEUSBURGER.

S ohledem na velikost vstřikovaného dílu a jeho odformování, je vstřikovací forma pouze jednonásobná. Materiál vstřikovaného výrobku je Ultramid B3G7 HS Q16 od firmy BASF. Jedná se o PA6, který je plněn 35% skelných vláken.

Tvar výrobku je dán dutinou navržené vstřikovací formy, která je složena z několika tvarových částí. Všechny tvarové části, mezi které patří tvárnice, tvárník, dvě posuvné tvarové čelisti velké a tvarová posuvná čelist malá, byly zvětšeny o hodnotu smrštění vstřikovaného materiálu. Tvárnice a tvárník jsou řešeny jako tvarové vložky, které jsou snadno demontovatelné. Obě posuvné tvarové čelisti velké jsou ovládány hydraulickými válci od firmy Meusburger. Ovládání hydraulickými válci je voleno, protože při použití šikmých válcových kolíků by délka kolíků musela být velmi dlouhá. Posun velkých tvarových čelistí je realizován pouze v otevřené poloze vstřikovací formy, aby nedošlo ke kolizi s prodlouženými hadicovými přípojkami temperačního systému a pravou kotevní deskou. Posuvná tvarová čelist malá je z důvodů větší hmotnosti ovládána pomocí dvou šikmých kolíků, jejichž sklon je 18°.

Vtokový systém vstřikovací formy je řešen přes studenou vtokovou vložku. Studený vtokový systém je zvolen z důvodu, že se jedná pouze o jednonásobnou formu a objem vtokového zbytku není v porovnání s objemem výstřiku tak velký. Jedná se o nepohledový díl, tudíž ani stopa po odstranění vtokového zbytku není na závadu. Při analyzování vtokového systému bylo uvažováno také nad použitím horkého vtokového systému, ale výsledky přinesly jen nepatrné zlepšení oproti použití studeného vtokového systému. Navíc pořizovací náklady na horký vtokový systém jsou vyšší než na studený vtokový systém.

Temperační systém navržené vstřikovací formy je složen ze čtyř temperačních okruhů, ve kterých proudí voda o rychlosti 25 litrů za minutu. Temperační okruh tvárnice a velkých tvarových čelistí je řešen vrtanými kanály o průměru 8 mm. Pro temperaci tvárníku je použito dvouchodé spirálové jádro a dvě temperační přepážky. Jednotlivé temperační okruhy jsou k temperačnímu zařízení připojeny přes hadicové přípojky. Vrtané kanály u

všech temperačních okruhů jsou uzavřené těsníci ucpávkami a těsnost přechodů, mezi deskami a tvarovými vložkami, je zajištěna pryžovým těsněním.

Výrobek je z dutiny formy po ochlazení na vyhazovací teplotu vyhozen pomocí dvanácti válcových vyhazovačů o průměru 5 mm. Válcové vyhazovače jsou uloženy ve vyhazovacích deskách, které jsou ovládány táhlem vyhazovačů.

Navržená vstříkovací forma je také opatřena transportním můstkem a zámkou pro usnadnění manipulace s formou mimo stroj.

Návrh vstříkovací formy byl také podroben tokové analýze v programu Moldflow. Nejdříve byla provedena předběžná analýza, která pomohla ve výběru vstříkovacího stroje Arburg ALLROUNDER 520 S. Předběžná analýza také pomohla odhalit nedostatky, které byly v následující upravené analýze odstraněny. V upravené finální analýze se optimalizovala teplota vstříkované taveniny, vstříkovací čas, velikost a doba působení dotlaku. Z výsledků upravené analýzy je patrné, že dojde ke spolehlivému zaplnění celé tvarové dutiny formy a že hodnoty deformací jsou v přípustných mezích s porovnáním s rozměry výrobku.

ZÁVĚR

Diplomová práce byla rozdělena do několika částí a byla vypracována na základě požadavků oficiálního zadání.

V teoretické části práce byla vypracována rešerše na téma konstrukce vstřikovací formy. V této literární rešerši jsou probrány polymerní materiály vhodné ke vstřikování, samotná technologie vstřikování a vstřikovací stroje. Dále jsou zde popsány podmínky a kritéria při konstrukci vstřikovaného výrobku a vstřikovací formy.

V praktické části byl vytvořen model zadaného vstřikovaného výrobku a konstrukce vstřikovací formy. Pro zadaný vstřikovaný výrobek, kterým je kryt elektromotoru, byl zvolen materiál PA6 plněný 35% skelných vláken od firmy BASF. Vstřikovací forma byla zvolena jako jednonásobná, do které je tavenina přiváděna studenou vtokovou soustavou. Model výrobku pomohl k vytvoření tvarových částí vstřikovací formy. K jednotlivým posuvným tvarovým částem byly přiřazeny ovládací mechanismy. Následně byla vstřikovací forma opatřena čtyřmi temperačními okruhy, ve kterých proudí voda. Temperační okruhy byly řešeny soustavou vrtaných kanálů a použitím temperačních přepážek a dvouchodého spirálového jádra. Dále byl navrhnout mechanický vyhazovací systém, který se skládá z dvanácti válcových vyhazovačů.

V programu Moldflow byl návrh vstřikovací formy ověřen tokovou analýzou. Za pomoci výsledků z předběžné analýzy a technických parametrů navržené formy byl zvolen vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 520 S. Poté následovala úprava předběžné analýzy, ve které byly několikrát měněny některé procesní parametry. Výsledky z finální upravené analýzy poskytli důležité informace o navržené vstřikovací formě, co se týká např. bezproblémového zatečení materiálu do celé dutiny formy nebo dostatečného ochlazení celého výstřiku.

Model vstřikovaného výrobku a navržená vstřikovací forma je doložena výkresovou dokumentací. Ve výkresové dokumentaci se nachází výkres vstřikovaného výrobku, sestava vstřikovací formy společně s kusovníkem a také výkres pohledů do dělicí roviny.

Model vstřikovaného výrobku a konstrukce vstřikovací formy byla vytvořena v programu CATIA VR19 za pomoci použití normálií firmy Hasco a Meusburger. Tvorba výkresové dokumentace proběhla také v programu CATIA V5R19.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HUGO, Jiří. *Konstrukční plastické hmoty, jejich vlastnosti a využití ve strojírenství*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965, 525 s. Řada strojírenské literatury.
- [2] KOVAČIČ, Ludomír a Jaroslav BÍNA. *Plasty: vlastnosti, spracovanie, využitie*. Bratislava: Alfa, 1974, 339 s. Edícia chemickej literatúry.
- [3] NEUHÄUSL, Emil. *Vstřikování plastických hmot*. Praha: SNTL, 1973, 206 s. Knižnice dělníka v chemickém průmyslu.
- [4] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. [cit. 2017-1-3] Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
- [5] LENFELD, Petr. *Technologie II: Zpracování plastů* [online]. [cit. 2017-1-3] Dostupné z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/uvod.htm
- [6] BENÍČEK, Lubomír. *Plastikářská technologie - Přípravné operace při zpracování*. (přednáška). Zlín: UTB ve Zlíně, 14.11.2015
- [7] *Keramika, kompozity, polymery*. [online]. [cit. 2017-1-3] Dostupné z WWW: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm>
- [8] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. Díl 1. 2. opr. vyd. Brno: Uniplast, 1999, 133 s.
- [9] STANĚK, Michal. *Formy* (přednáška). Zlín: UTB ve Zlíně, 5.10.2016
- [10] *Arburg* [online]. [cit. 2017-1-5] Dostupné z WWW: <https://www.arburg.com/cs/cz/spektrum-sluzeb/vstrikovani/vstrikovaci-stroje/>
- [11] MAŇAS, Miroslav, František TOMIS a Josef HELŠTÝN. *Výrobní stroje a zařízení: gumářské a plastikářské stroje. Díl 2*. Brno: VUT, 1990, 199 s. ISBN 802140213X.
- [12] *VS PLASTIK* [online]. [cit. 2017-1-9] Dostupné z WWW: <http://www.vsplastik.cz/cz/1-o-nas/37-princip-prace-vstrikovaciho-lisu.html>
- [13] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 978-80-7204-833-5.

- [14] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 229 s.
- [15] HRABOVSKÝ, Oldřich. *Konstrukce výrobků z plastických hmot*: učební text pro 4. ročník středních průmyslových škol chemických. Praha: SNTL, 1962, 140 s. Řada chemické literatury.
- [16] KULHÁNEK, Jan. *Formy pro tváření plastických hmot*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 220 s.
- [17] *Odvzdušnění* [online]. [cit. 2017-1-20] Dostupné z WWW: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Odvzdušnění.pdf
- [18] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. Díl 2. Brno: Uniplast, 1999, 214 s.
- [19] *HRS Flow katalog* [online]. [cit. 2017-1-20] Dostupné z WWW: <http://www.hrsflow.com/eng/prodotti/hot-runner-systems-for-low-weight-applications/hot-runner.php>
- [20] *Guenther katalog* [online]. [cit. 2017-1-20] Dostupné z WWW: <http://www.guenther-heisskanal.de/en/products/hot-runner-manifolds/>
- [21] *Hasco katalog* [online]. [cit. 2017-1-20] Dostupné z WWW: <https://www.hasco.com/>
- [22] *Vyhazovače* [online]. [cit.2017-1-20] Dostupné z WWW: <http://www.jansvoboda.cz/Vyhazovace-c9601>
- [23] *Arburg* [online]. [cit.2017-1-21] Dostupné z WWW: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_THERMOLIFT100-2_TD_527880_en_GB.pdf
- [24] *Meusburger katalog* [online]. [cit.2017-3-19] Dostupné z WWW: http://www.meusburger.com/fileadmin/user_upload/dateien/Kataloge/Stanzwerkzeugbau-Einbauteile-2016-2017/

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PE	Polyethylen.
PP	Polypropylen.
PS	Polystyren.
PVC	Polyvynilchlorid.
PMMA	Polymethylmethakrylát.
PA6	Polyamid 6.
PC	Polykarbonát.
PET	Polyethylentereftalát.
%	Procenta.
°C	Stupeň Celsia.
hod	Hodina.
MPa	Megapaskal
p	Tlak [Pa]
v	Měrný objem [$\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$]
T	Teplota [°C]
t	Čas [s]
s	Tloušťka stěny [mm].
a	Tloušťka žebra [mm].
R_{\min}	Minimální rádius (poloměr) [mm]
°	Stupeň.
SVS	Studená vtoková soustava.
VVS	Vyhřívaná vtoková soustava.
3D	Trojrozměrný prostor.
s^{-1}	Reciproká sekunda.

HDR	Hlavní dělicí rovina.
VDR	Vedlejší dělicí rovina.
HRC	Tvrдость podle Rockwella.
cm ³	Centimetr krychlový.
kN	Kilonewton.
kg	Kilogram.
D	Průměr [mm].

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Schéma tvaru makromolekul [7]</i>	13
<i>Obr. 2 Základní rozdělení polymerů</i>	14
<i>Obr. 3 Amorfní struktura</i>	15
<i>Obr. 4 Semikrystalická struktura</i>	15
<i>Obr. 5 Schéma linky pro výrobu granulí za studena [4]</i>	17
<i>Obr. 6 Kruhový diagram vstřikovacího cyklu [9]</i>	20
<i>Obr. 7 Fontánový tok taveniny</i>	21
<i>Obr. 8 Průběh tlaku a teploty taveniny v čase při vstřikování [9]</i>	21
<i>Obr. 9 Průběh vstřikovacího cyklu v diagramu $p$$v$$T$ [9]</i>	22
<i>Obr. 10 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 570 H [10]</i>	24
<i>Obr. 11 Stroj s plastikací a vstřikováním pomocí šneku [12]</i>	25
<i>Obr. 12 Rozdělení uzavíracích jednotek podle druhu jejich pohonu</i>	26
<i>Obr. 13 Hydraulický uzavírací systém od firmy Arburg [10]</i>	27
<i>Obr. 14 Řídící panel Arburg Selogica [10]</i>	27
<i>Obr. 15 Příklady chybného a správného zaformování výrobků [13]</i>	28
<i>Obr. 16 Příklady správného řešení stěn výstřiků [8]</i>	29
<i>Obr. 17 Poměr tloušťky žebra k tloušťce hlavní stěny</i>	30
<i>Obr. 18 Příklady způsobů eliminace vzniku vtaženin [13]</i>	30
<i>Obr. 19 Poloměr zaoblení v závislosti na tloušťce stěny</i>	31
<i>Obr. 20 Základní části vstřikovací formy [9]</i>	32
<i>Obr. 21 Studená vtoková soustava [9]</i>	34
<i>Obr. 22 Vtokový vložka od firmy Hasco [21]</i>	35
<i>Obr. 23 Vhodné průřezy rozváděcích kanálů [8]</i>	36
<i>Obr. 24 Plný kuželový vtok [13]</i>	37
<i>Obr. 25 Bodový vtok [13]</i>	37
<i>Obr. 26 Boční vtokové ústí [13]</i>	38
<i>Obr. 27 Srpkovité vtokové ústí [13]</i>	38
<i>Obr. 28 Filmové vtokové ústí [13]</i>	39
<i>Obr. 29 Ukázka horkých rozvodných bloků [19]</i>	40
<i>Obr. 30 Horký rozvodný blok s horkou tryskou [20]</i>	40
<i>Obr. 31 Temperace tvárníku pomocí dvouchodého spirálového jádra [24]</i>	42
<i>Obr. 32 Odvzdušnění pomocí vůle mezi uložením vyhadzovače [17]</i>	43

<i>Obr. 33 Válcový vyhazovač [22]</i>	44
<i>Obr. 34 Vyhazování pomocí stíracího kroužku [18]</i>	45
<i>Obr. 35 Trubkový vyhazovač [22]</i>	45
<i>Obr. 36 Vedení posuvné čelisti pomocí šikmého kolíku [13]</i>	47
<i>Obr. 37 Zadaný vstříkovaný výrobek</i>	52
<i>Obr. 38 Zaformování dílce do dělicích rovin</i>	54
<i>Obr. 39 Vhodnost umístění vtokového ústí (Gating suitability)</i>	55
<i>Obr. 40 Tvarové části s výstřikem</i>	56
<i>Obr. 41 Tvarové vložky (tvárnice a tvárník)</i>	56
<i>Obr. 42 Posuvné tvarové čelisti velké</i>	57
<i>Obr. 43 Posuvná tvarová čelist malá</i>	57
<i>Obr. 44 Rám navržené vstříkovací formy</i>	58
<i>Obr. 45 Pravá vstříkovací strana formy</i>	59
<i>Obr. 46 Levá vyhazovací strana formy</i>	59
<i>Obr. 47 Pohled na vtokový systém vstříkovací formy</i>	60
<i>Obr. 48 Vtokový zbytek</i>	61
<i>Obr. 49 Temperační okruh tvárnice</i>	62
<i>Obr. 50 Temperační okruh tvárníku</i>	63
<i>Obr. 51 Temperační okruhy posuvných tvarových čelistí</i>	64
<i>Obr. 52 Odformovací systém vstříkovací formy</i>	65
<i>Obr. 53 Odformování posuvné tvarové čelisti malé</i>	66
<i>Obr. 54 Odformování posuvné tvarové čelisti velké</i>	67
<i>Obr. 55 Vyhazovací systém vstříkovací formy</i>	68
<i>Obr. 56 Pohled na podpěrné válce vstříkovací formy</i>	69
<i>Obr. 57 Vodící a středící elementy vstříkovací formy</i>	70
<i>Obr. 58 Prvky pro manipulaci s formou</i>	70
<i>Obr. 59 Statistika vytvořené sítě</i>	71
<i>Obr. 60 Čas plnění (Fill time)</i>	72
<i>Obr. 61 Rychlost smykové deformace (Shear rate)</i>	73
<i>Obr. 62 Průběh vstříkovací tlaku ve vtokovém systému (Pressure at injection)</i>	74
<i>Obr. 63 Uzavírací síla (Clamp force)</i>	75
<i>Obr. 64 Rozměrové možnosti uzavírací jednotky vstříkovacího stroje</i>	76
<i>Obr. 65 Čas plnění (Fill time)</i>	78

<i>Obr. 66 Průběh vstřikovacího tlaku ve vtokovém ústí (Pressure at injection)</i>	79
<i>Obr. 67 Tlak taveniny v dutině formy během plnění (Pressure at V/P switchover)</i>	79
<i>Obr. 68 Rychlost smykové deformace (Shear rate)</i>	80
<i>Obr. 69 Uzavírací síla (Clamp force)</i>	81
<i>Obr. 70 Studené spoje (Weld lines)</i>	81
<i>Obr. 71 Vzduchové kapsy (Air traps)</i>	82
<i>Obr. 72 Čas potřebný k ochlazení výstřiku na vyhazovací teplotu (Time to reach ejection temperature – part) I</i>	83
<i>Obr. 73 Čas potřebný k ochlazení výstřiku na vyhazovací teplotu (Time to reach ejection temperature – part) II</i>	84
<i>Obr. 74 Teplota v temperačních okruzích (Circuit coolant temperature)</i>	85
<i>Obr. 75 Tlak v temperačních okruzích (Circuit pressure)</i>	85
<i>Obr. 76 Účinnost odvodu tepla v temperačních kanálech (Circuit heat removal efficiency)</i>	86
<i>Obr. 77 Celková deformace od všech vlivů - zvětšeno 5x (Deflection, all effects: Deflection) I</i>	87
<i>Obr. 78 Celková deformace od všech vlivů - zvětšeno 5x (Deflection, all effects: Deflection) II</i>	87


SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Teplota a doba sušení vybraných polymerů [23]</i>	<i>17</i>
<i>Tab. 2 Doporučené velikosti úkosu</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 3 Doporučené zpracovatelské podmínky materiálu Ultramid B3G7 HS Q16 z databáze Moldflow</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 4 Srovnání požadovaných technických parametrů formy a stroje</i>	<i>75</i>
<i>Tab. 5 Nastavené procesní parametry pro upravenou analýzu</i>	<i>77</i>

SEZNAM PŘÍLOH

- PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST
- PŘÍLOHA P II: TECHNICKÉ PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE OD FIRMY ARBURG
- PŘÍLOHA III: 3D POHLEDY NA CELOU VSTŘIKOVACÍ FORMU
- PŘÍLOHA IV: 3D POHLED NA PRAVOU VSTŘIKOVACÍ STRANU (NEPOHYBLIVOU) VSTŘIKOVACÍ FORMY
- PŘÍLOHA V: 3D POHLED NA LEVOU VYHAZOVACÍ STRANU (POHYBLIVOU) VSTŘIKOVACÍ FORMY
- PŘÍLOHA VI: VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE:
- Sestava vstřikovací formy
 - Kusovník
 - Pohledy do dělicí roviny
 - Vstřikovaný výrobek
- PŘÍLOHA VII: DVD – DISK OBSAHUJÍCÍ:
- Diplomovou práci
 - Model vstřikovaného výrobku
 - Model konstrukce vstřikovací formy
 - Tokové analýzy (předběžná, upravená)
 - Výkresovou dokumentaci

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST

Product Information	Ultramid®	 BASF The Chemical Company
	B3G7 HS BL 21320 Q16	
01/2011	PA6-GF35	

Product description

Glass fibre reinforced injection moulding grade for powertool applications.

Physical form and storage

Ultramid® is supplied dry and ready to use in moisture-proof packaging in the form of cylindrical or flat pellets. Its bulk density is about 0,7g/cm³. Standard packs are the special 25kg bag and the 1000kg bulk container (octagonal IBC= intermediate bulk container made from corrugated board with a liner bag). Subject to agreement other forms of packaging and shipment in tankers by road or rail are also possible. All containers are tightly sealed and should be opened only immediately prior to processing. To ensure that the perfectly dry material delivered cannot absorb moisture from the air the containers must be stored in dry rooms and always carefully sealed again after portions of material have been withdrawn. Ultramid® can be kept indefinitely in the undamaged bags. Experience has shown that product supplied in IBCs can be stored for about 3 months without any adverse effects on processing properties due to moisture absorption. Containers stored in cold rooms should be allowed to equilibrate to normal temperature so that no condensation forms on the pellets.

Product safety

Ultramid® melts are thermally stable at the usual temperature for PA66, PA6 and PA66/6 up to 310°C and 330°C for PA6/6T and do not give rise to hazards due to molecular degradation or the evolution of gases and vapors. Like all thermoplastic polymers Ultramid® decomposes on exposure to excessive thermal load, e.g. when it is overheated or as a result of cleaning by burning off. In such cases gaseous decomposition products are formed. Decomposition accelerates above 310°C (PA6/6T >350°C) approximately, the initial products formed being mainly carbon monoxide and ammonia, and caprolactam too in the case of PA6. At temperatures above about 350°C (PA6/6T >400°C) small quantities of pungent smelling vapors of aldehydes, amines and other nitrogenous decomposition products are also formed. Further safety information see safety data sheet of the individual product.

Note

The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests; neither do these data imply any guarantee of certain properties, nor the suitability of the product for a specific purpose. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights etc. given herein may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the product. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed. In order to check the availability of products please contact us or our sales agency.

Ultramid® B3G7 HS BL 21320 Q16

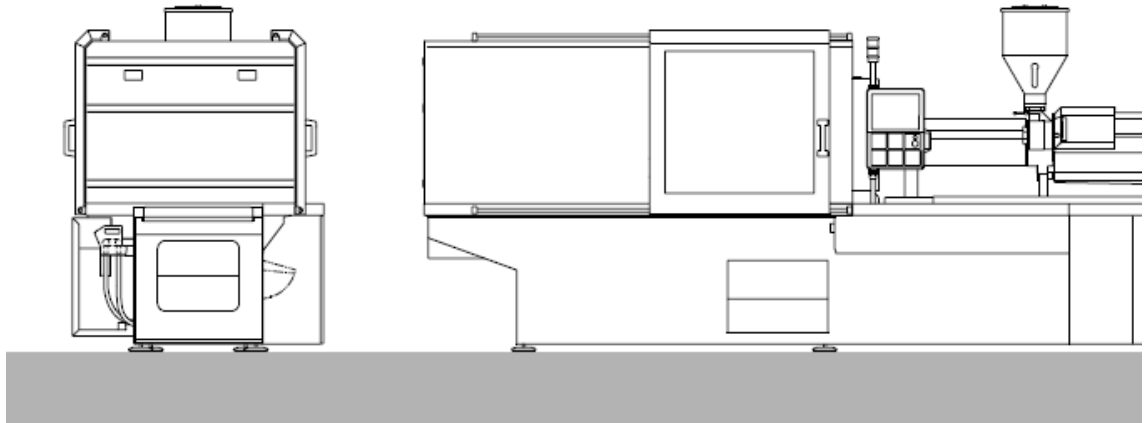


The Chemical Company

Product Information

Typical values for uncoloured product at 23 °C ¹⁾	Test method ²⁾	Unit	Values ³⁾
Properties			
Polymer abbreviation	-	-	PA6-GF35
Density	ISO 1183	kg/m ³	1410
Processing			
Melting temperature, DSC	ISO 11357-1/-3	°C	220
MVR 275 °C/5 kg	ISO 1133	cm ³ /10min	35
Melt temperature, injection moulding/extrusion	-	°C	270 - 290
Mould temperature, injection moulding	-	°C	80 - 90
Moulding shrinkage, constrained ⁴⁾	-	%	0.5
Mechanical properties			
Tensile modulus	ISO 527-1/-2	MPa	11000 / 6000
Stress at break	ISO 527-1/-2	MPa	190 / 110
Strain at break	ISO 527-1/-2	%	3.2 / 6.5
Flexural modulus	ISO 178	MPa	9500 / 5000
Flexural strength	ISO 178	MPa	280 / 160
Charpy unnotched impact strength (23°C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	95 / 100
Charpy notched impact strength (23°C)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	15 / 25
Thermal properties			
HDT A (1.80 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	200
HDT B (0.45 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	215

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÉ PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE OD FIRMY ARBURG

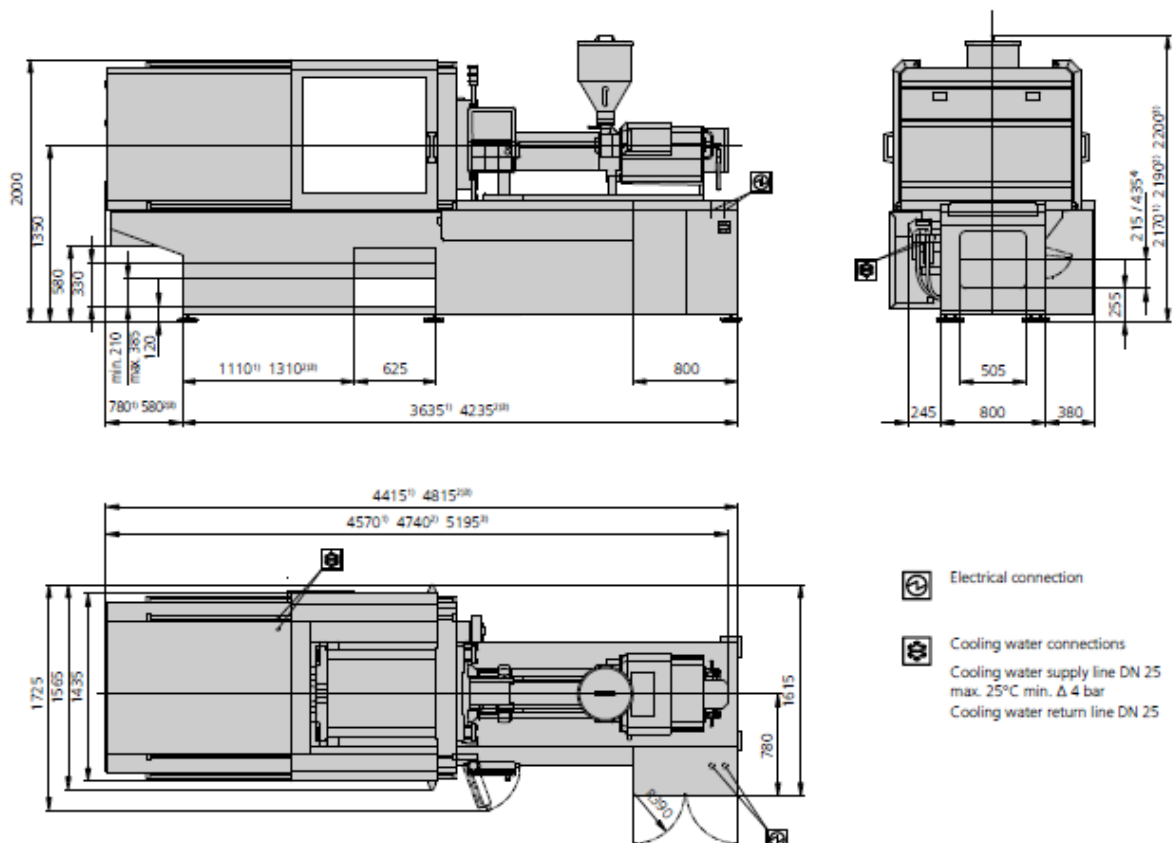


ALLROUNDER 520 S

Tie bar distance: 520 x 520 mm

Clamping force: 1300, 1500, 1600 kN

Injection unit (according to EUROMAP): 290, 400, 800



Machine model		520 S	520 S	520 S
EUROMAP size indication ¹⁾		1300-290 1500-290 1600-290	1300-400 1500-400 1600-400	1500-800 1600-800
Clamping unit				
Clamping force	max. kN	1300 1500 1600	1300 1500 1600	1500 1600
Closing force	max. kN	60	60	60
Opening force / increased	max. kN	40 / 365	40 / 365	40 / 365
Opening stroke	max. mm	575	575	575
Mould height	min. mm	250	250	250
Daylight	max. mm	825	825	825
Distance between tie bars	mm	520 x 520	520 x 520	520 x 520
Platen size (hor. x vert.)	mm	688 x 688	688 x 688	688 x 688
Weight of mov. mould half	max. kg	1050	1050	1050
Ejector force	max. kN	50	50	50
Ejector stroke	max. mm	175	175	175
Hydraulics, drive, general				
Drive power of the hydraulic pump	kW	22 22 30	22 22 30	30 30
Dry cycle time for opening stroke ²⁾	s/mm	2,5 (1,7-364) 2,5 (1,7-364) 1,9 (1,7-364)	2,5 (1,7-364) 2,5 (1,7-364) 1,9 (1,7-364)	2,4 (1,7-364) 1,9 (1,7-364)
Total connected load ³⁾	kW	30,9 30,9 38,9	33,9 33,9 41,9	52,4 52,4
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow				
Control cabinet				
Safety standard according to		DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204
Socket combination (1 single phase, 1 three-phase)		1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A
Injection unit				
		290	400	800
Screw diameter	mm	30 / 35 / 40	35 / 40 / 45	45 / 50 / 55
Effective screw length	L/D	23,3 / 20 / 17,5	23 / 20 / 18	22 / 20 / 18
Screw stroke	max. mm	150	160	200
Calculated injection volume	max. cm ³	106 / 144 / 188	154 / 201 / 254	318 / 392 / 474
Shot weight	max. g PS	97 / 132 / 172	141 / 184 / 232	291 / 359 / 434
Material throughput ⁴⁾	max. kg/h PS	17 / 20,5 / 24,5	25 / 29 / 35	46 / 53 / 59
	max. kg/h PA 6.6	8,5 / 10,5 / 12,5	12,5 / 15 / 17,5	23 / 27 / 30
Injection pressure ⁵⁾	max. bar	2500 / 2000 / 1530	2500 / 2000 / 1580	2470 / 2000 / 1650
Injection flow ³⁾	max. cm ³ /s	130 / 178 / 232 130 / 178 / 232	128 / 168 / 212 128 / 168 / 212	174 / 214 / 260
		130 / 178 / 232	160 / 210 / 266	174 / 214 / 260
Injection flow with accumulator	max. cm ³ /s	316 / 430 / 562	492 / 642 / 814	530 / 656 / 792
Back pressure positive/negative	max. bar	350 / 200	350 / 160	350 / 190
Circumferential screw speed	max. m/min	51 / 60 / 69 51 / 60 / 69	47 / 53 / 60 47 / 53 / 60	54 / 60 / 66 54 / 60 / 66
		51 / 60 / 69	53 / 60 / 68	880 / 880 / 880
Screw torque	max. Nm	320 / 380 / 430	480 / 550 / 610	70
Nozzle contact force	max. kN	60	60	400
Nozzle retraction stroke	max. mm	240	300	19,3 / 7
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	5,8 / 4	8,8 / 4	0,6
Installed nozzle heating power	kW	0,6	0,6	50
Material hopper capacity	l	50	50	140
Horizontal injection position	max. mm	170	170	
Machine dimensions and weights of the basic machine				240
Oil capacity	l	175	240	6350
Net weight	kg	5600	5900	125 125
Electrical connection ⁵⁾	A	80 80 100	80 80 100	

1) 1st figure: clamping force (kN), 2nd figure: max. dosage volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)

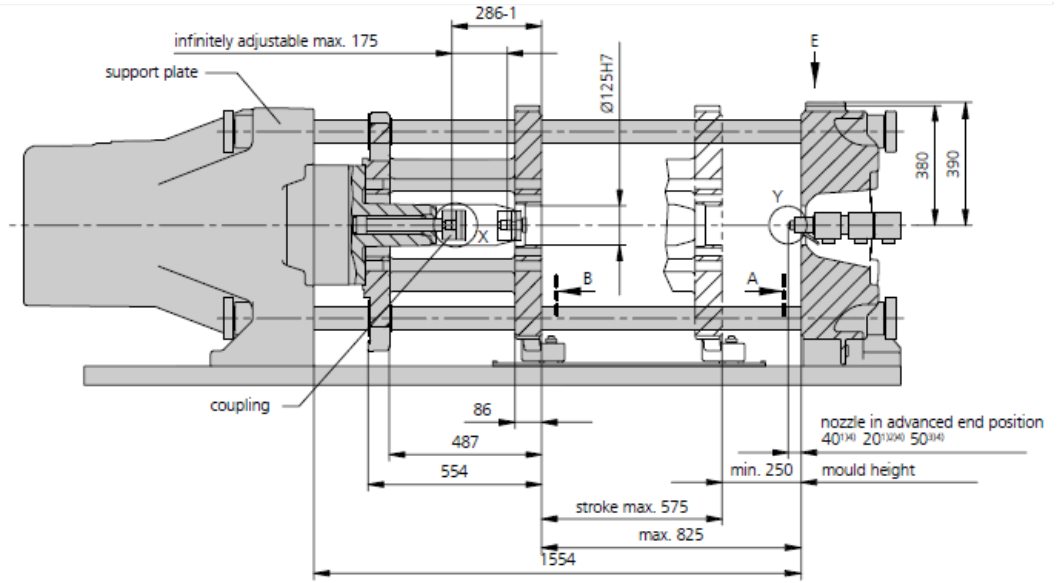
2) Values refer to 400 V/50 Hz. The load is symmetrically distributed on three phases (observe phase loading when installing new equipment).

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.

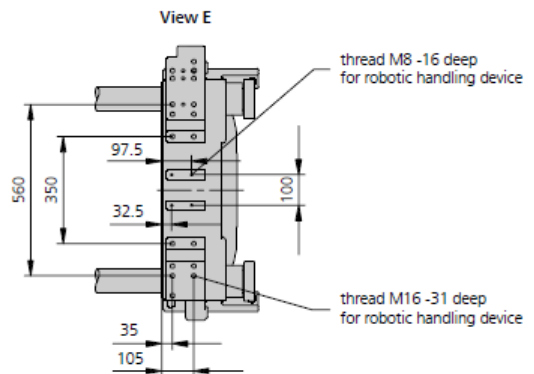
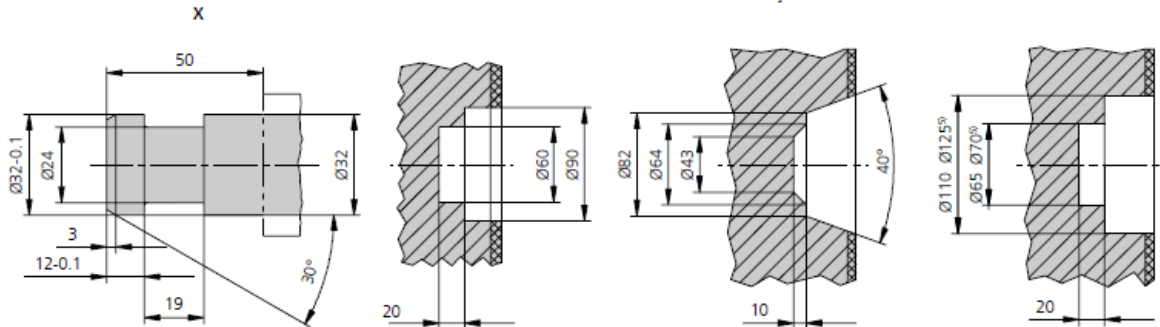
4) Deviations are possible depending upon process settings and material type

5) According to EUROMAP for the basic machine (values in brackets apply to hydraulic accumulator technology)

The shown specifications reflect the state at the time of printing. In the interest of a continuous development of our products, we reserve the right to modify specifications.



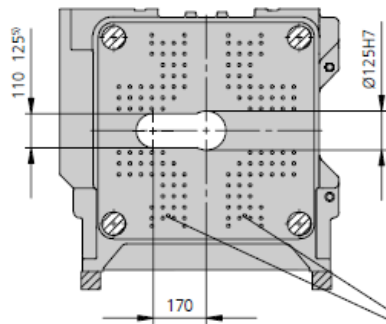
Y injection unit 400 / 800



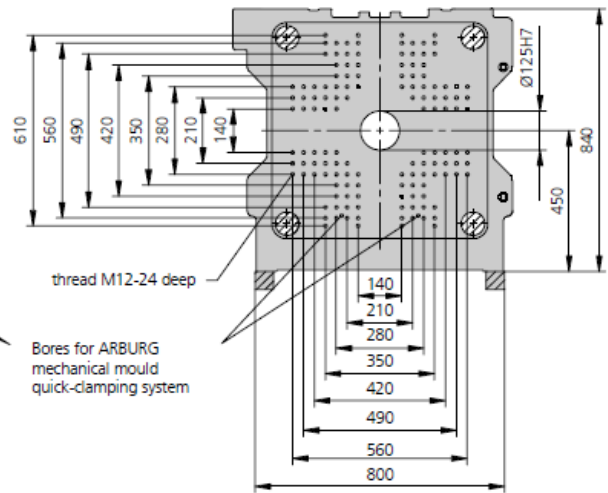
- 1) Dimension applies to injection unit 290
 - 2) Dimensions are valid for thermoset moulds
 - 3) Dimension applies to injection units 400 and 800
 - 4) Dimensions for horizontally-displaceable injection unit (VARIO principle) reduced by 20 mm
 - 5) Dimensions for injection unit 800 in thermoset version
- For parting line device see separate dimension sheet (on request)

Fixed platen

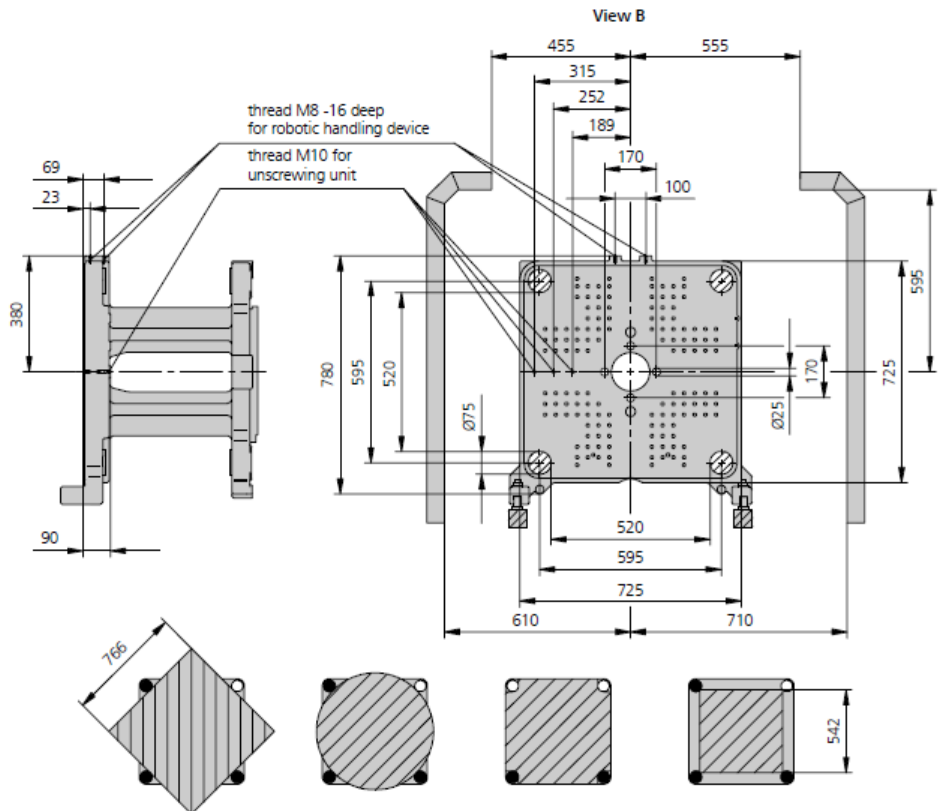
View A / for horizontally displaceable injection unit



View A / for central injection unit



Movable platen



5) Dimensions for injection unit 800 in thermoset version

Usable mounting surface with tie bars removed

Maximum theoretical shot weights for the most important injection moulding materials (in grams)									
Injection units according to EUROMAP		290	350	400	400	450	500	800	
Screw diameter	mm	30	35	40	35	40	45	45	50 55
Polystyrene	PS	97	132	172	141	184	232	291	359 434
Styrene heteropolymerizates	SB	95	129	168	137	179	227	284	350 424
	SAN, ABS ¹⁾	93	126	165	135	176	223	278	344 416
Cellulose acetate	CA ¹⁾	109	148	194	158	207	262	327	404 488
Celluloseacetobutyrate	CAB ¹⁾	101	138	180	147	192	243	304	375 454
Polymethyl methacrylate	PMMA	100	136	178	145	190	240	300	371 449
Polyphenylene ether, mod.	PPE	90	122	160	131	171	216	270	333 403
Polycarbonate	PC	102	139	181	148	193	244	305	377 456
Polysulphone	PSU	105	143	187	153	199	252	316	390 471
Polyamides	PA 6.6, PA 6 ¹⁾	96	131	171	140	183	231	289	357 431
	PA 6.10, PA 11 ¹⁾	90	122	160	131	171	216	270	333 403
Polyoximethylene (Polyacetal)	POM	120	163	213	174	227	287	359	443 536
Polyethylene terephthalate	PET	115	157	205	167	219	277	346	427 517
Polyethylene	PE-LD	73	100	130	106	139	176	219	271 328
	PE-HD	76	103	134	110	143	181	227	280 339
Polypropylene	PP	77	105	137	112	146	185	232	286 346
Fluoropolymerides	FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	155	211	276	225	294	372	465	574 695
	ETFE	136	185	242	196	256	324	408	504 609
Polyvinyl chloride	PVC-U	117	159	208	170	222	281	351	434 525
	PVC-P ¹⁾	108	147	192	157	205	260	324	401 485

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.



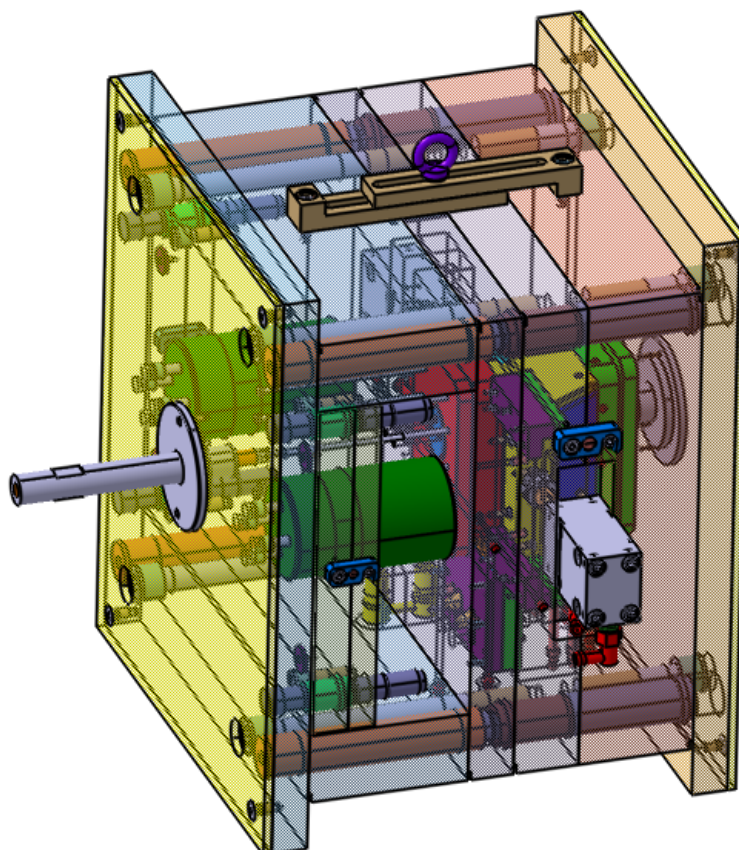
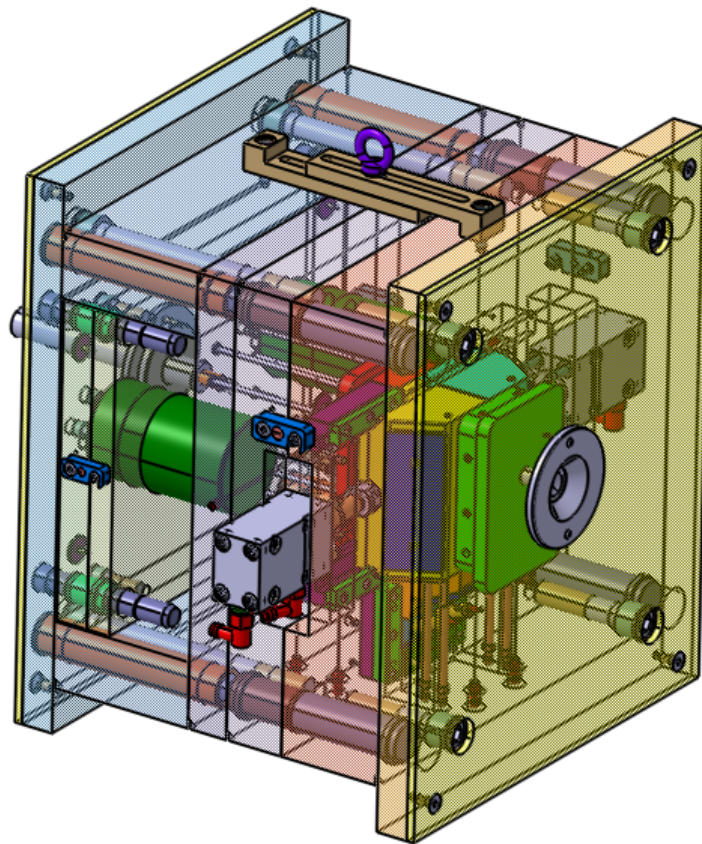
ARBURG GmbH + Co KG

DIN EN ISO 9001 + 14001 + 50001 certified

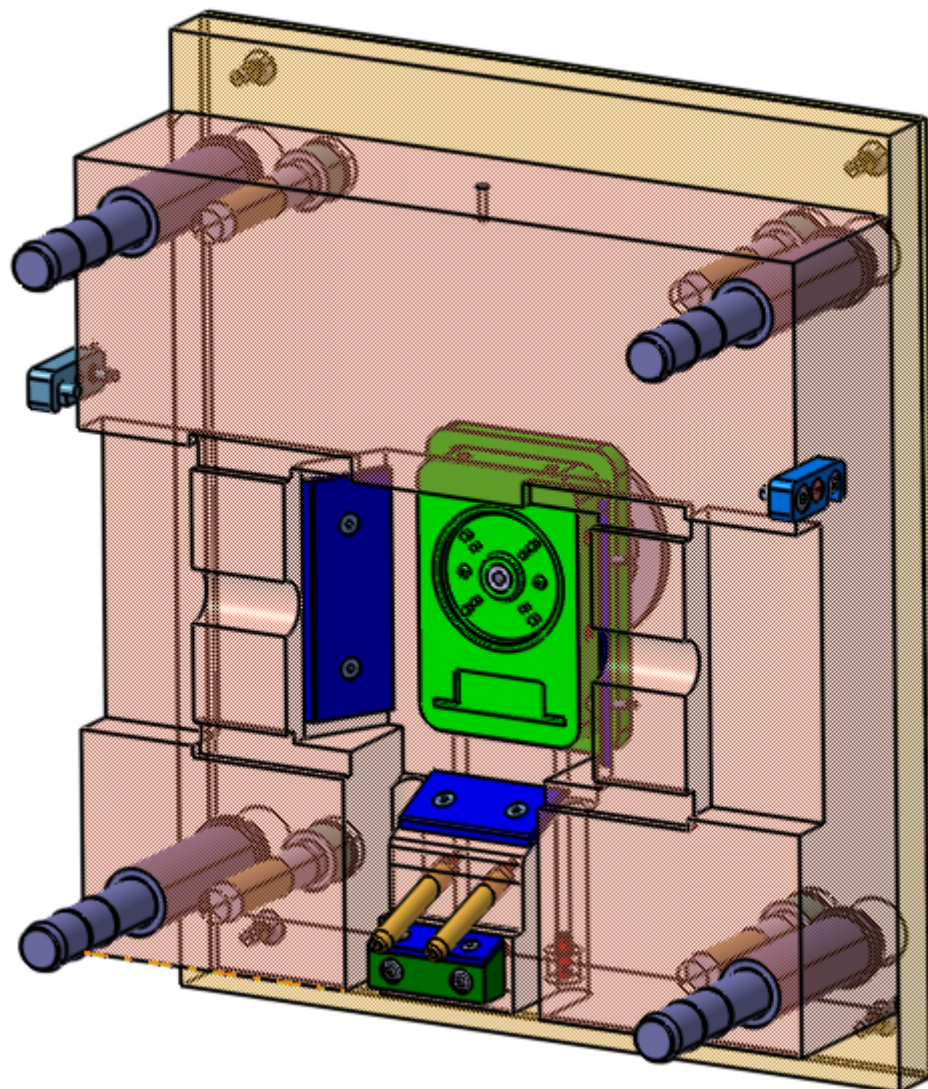


Partner of the Engineering Industry Sustainability Initiative

PŘÍLOHA P III: 3D POHLEDY NA CELOU VSTŘIKOVACÍ FORMU



**PŘÍLOHA P IV: 3D POHLED NA PRAVOU VSTŘIKOVACÍ STRANU
(NEPOHYBLIVOU) VSTŘIKOVACÍ FORMY**



**PŘÍLOHA P V: 3D POHLED NA LEVOU VYHAZOVACÍ STRANU
(POHYBLIVOU) VSTŘIKOVACÍ FORMY (VČETNĚ
VYHAZOVACÍHO SYSTÉMU)**

