

# Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu elektrotechnického dílu

Šimon Zaccpal

---

Diplomová práce  
2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Šimon Zaccpal**  
Osobní číslo: **T20125**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Konstrukce vstříkovací formy pro výrobu elektrotechnického dílu**

## Zásady pro vypracování

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

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

Seznam doporučené literatury:

- KENNEDY, Peter a Rong ZHENG. *Flow analysis of injection molds*. 2nd ed. Cincinnati: Hanser Publishers, [2013], 1 online zdroj (xxviii, 349 p.). ISBN 9781569905227
- SCHILLER, Gary F. *A practical approach to scientific molding*. Munich: Hanser Publishers, [2018], xiv, 176 s. ISBN 9781569906866
- STAUBER, R. a L. VOLLRATH. *Plastics in automotive engineering: exterior applications*. Munich: Hanser Publishers, 2007, xv, 407 s. ISBN 978-1-56990-406-0
- BEAUMONT, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3

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

Datum zadání diplomové práce: **3. ledna 2022**  
Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2022**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 18. února 2022

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

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

### **Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce je zaměřena na návrh vstřikovací formy, je rozdělena na část teoretickou a praktickou.

Teoretickou částí je literární rešerše popisující oblasti týkající se tématu práce, tj. polymery, vstřikování a konstrukci vstřikovacích forem. Jsou zde popsána témata jako polymery pro vstřikování, jejich vlastnosti, proces vstřikování, vstřikovací cyklus, vstřikovací stroj, konstrukce vstřikovacích forem a využití výpočetní techniky (CAD, CAE systémy) při konstrukci forem.

V praktické části diplomové práce je vytvořen 3D model vstřikovaného výrobku, je navržena vstřikovací forma pro tento výrobek a návrh je ověřen pomocí simulačního softwaru. Konstrukce proběhla v programu Catia V5R19, analýzy jsou provedeny v softwaru Moldflow Synergy. Na závěr je zhotovena výkresová dokumentace vstřikovací formy.

Klíčová slova: vstřikování, konstrukce vstřikovací formy, termoplastické polymery, simulace

## **ABSTRACT**

This diploma thesis' aim is to design an injection mold, the thesis consists of two main parts, a theoretical and a practical part.

The theoretical part focuses on topics related to the topic of this thesis. Theoretical part provides overview of polymers for injection molding and their properties, injection molding process and injection molding cycle, injection molding machine, design of injection molds and use of computers (CAD, CAE software) in design.

Practical part of the thesis is focused around designing the injection mold for given plastic part. First the 3D model of the part is created, then injection mold for this part is designed and this design is verified using a simulation software. The design of the part and the mold is made in Catia V5R19 program and flow simulations are done in Moldflow Synergy program. In the end drawings of the mold and parts list are created.

Key words: injection molding, injection mold design, thermoplastic polymers, simulation

Velmi bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce prof. Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za jeho odborný přístup, konzultace i ochotu, kterou mi věnoval. Také chci poděkovat celému Ústavu výrobního inženýrství za možnost vzdělání, kterého jsem mohl dosáhnout. Na závěr bych chtěl poděkovat mé rodině za nemalou podporu během celého studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>11</b>
<b>1 POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>12</b>
1.1 TERMOPLASTY .....	12
1.1.1 Amorfnní termoplasty .....	13
1.1.2 Semikrystalické termoplasty .....	14
1.1.3 Rozdělení plastů dle použití .....	15
1.2 ADITIVA DO POLYMERŮ.....	16
<b>2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>18</b>
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	18
2.1.1 Vstřikovací fáze .....	18
2.1.2 Vstřikovací fáze .....	19
2.1.3 Dotlaková fáze .....	19
2.1.4 Fáze ochlazovací .....	19
2.2 PROCES VSTŘIKOVÁNÍ V P-V-T DIAGRAMU.....	20
2.2.1 Popis pVt chování materiálu během vstřikování: .....	20
2.3 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	22
2.3.1 Parametry vstřikovacího stroje.....	22
2.3.2 Vstřikovací jednotka .....	23
2.3.3 Šnek.....	24
2.3.4 Uzavírací jednotka .....	24
2.4 SIMULACE PROCESU VSTŘIKOVÁNÍ.....	26
<b>3 VSTŘIKOVACÍ FORMA .....</b>	<b>27</b>
3.1 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	27
3.1.1 Využití normálíí při konstrukci vstřikovací formy .....	28
3.1.2 Konstrukce a výroba forem s podporou počítače.....	29
3.2 VTOKOVÝ SYSTÉM .....	29
3.2.1 Studené vtokové systémy .....	29
3.2.2 Vyhříváné vtokové soustavy .....	34
3.3 VYHAZOVCÍ SYSTÉM.....	36
3.3.1 Mechanické vyhazování.....	37
3.3.2 Pneumatické vyhazování.....	38
3.3.3 Hydraulické vyhazování.....	39
3.4 ODVZDUŠNĚNÍ.....	39
3.4.1 Způsoby odvzdušněnání.....	39
3.5 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	40
3.5.1 Aktivní temperační prostředky.....	41

3.5.2	Konformní provedení teploty.....	42
3.5.3	Pasivní teploty.....	43
3.6	SENZORY VE VSTŘIKOVACÍCH FORMÁCH.....	44
3.6.1	Měření tlaku .....	44
3.6.2	Měření teploty .....	44
3.7	MATERIÁLY PRO VÝROBU VSTŘIKOVACÍCH FOREM .....	45
3.7.1	Oceli .....	45
3.7.2	Slitiny hliníku.....	47
3.7.3	Slitiny mědi .....	47
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>48</b>
<b>4</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>POUŽITÉ PROGRAMY .....</b>	<b>50</b>
5.1	CATIA V5R19 .....	50
5.2	AUTODESK MOLDFLOW SYNERGY 2016 .....	50
5.3	THREAD DEMOULDING - Z1500 .....	50
<b>6</b>	<b>VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....</b>	<b>51</b>
6.1	MATERIÁL VÝROBKU .....	52
<b>7</b>	<b>KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>	<b>53</b>
7.1	VOLBA NÁSOBNOSTI FORMY .....	54
7.2	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....	54
7.3	PRVKY TVAROVÉ DUTINY .....	55
7.4	ODFORMOVÁNÍ ZÁVITŮ .....	56
7.4.1	Odformování závitu rovnoběžného s osou formy .....	56
7.4.2	Odformování závitu kolmého s osou formy.....	58
7.5	VTOKOVÝ SYSTÉM .....	59
7.5.1	Zhodnocení návratnosti vyhřívaného vtokového systému.....	61
7.6	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	63
7.7	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	64
7.8	PRAVÁ STRANA FORMY .....	66
7.9	LEVÁ STRANA FORMY .....	67
<b>8</b>	<b>VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....</b>	<b>68</b>
<b>9</b>	<b>ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU .....</b>	<b>69</b>
9.1	NASTAVENÍ OKRAJOVÝCH PODMÍNEK .....	69
9.1.1	Síť modelu a její vlastnosti.....	69
9.2	ANALÝZA GATE LOCATION .....	70
9.3	VTOKOVÝ SYSTÉM .....	72
9.4	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	72



9.5	NASTAVENÍ PROCESNÍCH PODMÍNEK ANALÝZY .....	74
9.6	ANALÝZA FÁZE PLNĚNÍ A DOTLAKU .....	76
9.6.1	Doba plnění (Fill time).....	77
9.6.2	Čas pro dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature) .....	77
9.6.3	Uzavírací síla (Clamp force) .....	78
9.6.4	Místa uzavřeného vzduchu (Air traps).....	79
9.6.5	Studené spoje (Weld lines).....	80
9.6.6	Propadliny (Sink marks) .....	81
9.6.7	Orientace vláken (Orientation at skin) .....	82
9.7	ANALÝZA TEMPERAČNÍHO SYSTÉMU .....	83
9.7.1	Reynoldsovo číslo temperačního média (Circuit Reynolds number) .....	83
9.7.2	Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature) .....	83
9.7.3	Tlak temperačního média (Circuit pressure).....	84
9.8	ANALÝZA SMRŠTĚNÍ A DEFORMACÍ .....	85
9.8.1	Celková deformace (Deflection all effects) .....	85
9.8.2	Deformace vlivem smrštění (Deflection differential shrinkage) .....	87
9.8.3	Deformace od ochlazování (Deflection differential cooling) .....	88
	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>89</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>97</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>99</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>102</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>103</b>

## ÚVOD

Plasty jsou v moderní společnosti všudypřítomné a jsou zastoupeny ve všech oblastech průmyslu. Oproti tradičním materiálům mají výhodné některé fyzikální a chemické vlastnosti jakožto např.: nízkou hustotu, chemickou odolnost či tepelnou a elektrickou nevodivost. Výhodou některých plastů je i jejich relativně snadná výroba. Plastové výrobky nachází využití v obalovém průmyslu, ve stavebnictví, v elektrotechnice a jsou také součástí dopravních prostředků, zejména automobilů. [1]

V současnosti se pohybuje světová výroba plastů okolo 335 miliónů tun a na rok 2050 je odhadovaná spotřeba plastů až 700 milionů tun. Největší zastoupení na celkové spotřebě plastů mají polyolefiny (PP a PE) společně s PVC, PS, EPS a PET. Plastikářský průmysl v České republice prožívá v posledních letech nebývalý rozvoj a jeho postavení v rámci domácího zpracovatelského průmyslu posiluje. Význam odvětví vzrostl díky vazbě na rozvíjející se automobilový a elektrotechnický průmysl a stavebnictví. V roce 2017 byla spotřeba plastů v České republice 1,3 milionu tun. [2]

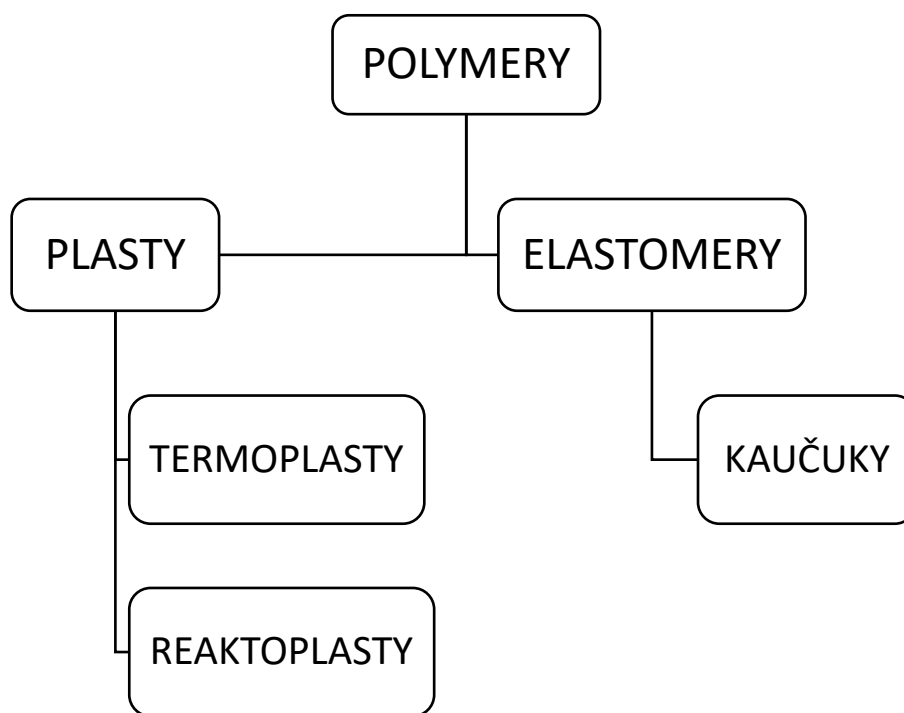
Technologií vstřikování je možné zpracovávat jak termoplasty, tak reaktoplasty a elastomery. Proces vstřikování probíhá na vstřikovacím stroji a nástrojem, jenž dává požadovaný tvar výrobku, je vstřikovací forma. Podstata procesu spočívá v přípravě taveniny, která je vstříknuta pod tlakem do tvarové dutiny vstřikovací formy. Technologie vstřikování, vstřikovací formy, vstřikovací stroje i periferní zařízení se nadále rozvíjí. Mezi moderní technologie odvozené od tradičního procesu vstřikování patří vícekomponentní vstřikování, vstřikování strukturně lehčených plastů, vstřikování s využitím tlaku vody či plynu nebo vstřikování s regulací plnění dutiny. [1]

Vstřikovací forma je komplexním systémem, který je cyklicky zatěžován a skládá se z mnoha prvků. Forma by měla být navrhována s ohledem na požadovaný účel, což znamená, že by měla umožnit výrobu dílů s co nejmenšími náklady na cyklus, a návrh formy by měl být co nejméně časově a finančně náročný. Vstřikovací forma musí splňovat vícero požadavků. Forma musí umožnit transport taveniny do tvarové dutiny formy, forma také musí účinně odvádět (případně přivádět) teplo. Je také vyžadováno, aby forma umožnila spolehlivé vyhození dílu z formy. Konstrukce vstřikovací formy přímo ovlivňuje kvalitu vstřikovaných výrobků a produktivitu výroby. [3]

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ

Polymery jsou materiály tvořené makromolekulami, které vznikly opakovaným spojením základní jednotky (meru), odvozené od výchozí molekuly (monomeru). Makromolekuly jsou nejčastěji složeny z atomů uhlíku, vodíku, kyslíku, dusíku či chloru. Tyto atomy v makromolekule drží kovalentními vazbami. Vlastnosti polymerů závisí především na atomech tvořících makromolekuly, vazbách mezi atomy, fázovém stavu polymeru a molekulové hmotnosti. Dle struktury jsou polymery rozdělovány na polymery lineární, rozvětvené a zesíťované. Základním rozdělením se polymery dělí na plasty a elastomery. Do skupiny plasty patří termoplasty a reaktoplasty. Základní rozdělení polymerů je na obrázku č. 1. [5] [4]



Obr. 1 Základní rozdělení polymerních materiálů [6]

Plasty jsou obvykle tvrdé, často i křehké. Za zvýšených teplot se stávají plastickými a tvarovatelnými. Pokud je tato změna vratná, jsou nazývány termoplasty. Pokud je tato změna nevratná a vytvrzením dojde k vytvoření chemických vazeb, jde o reaktoplasty. [4]

### 1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou polymerní materiály jejichž řetězce drží pohromadě pouze relativně slabými van der Waalsovými silami. Pokud se zvýší teplota termoplastů, dojde k oslabení

sil mezi řetězci, čímž se materiál stane tvárným a při dosažení určitých teplot přejde materiál do stavu taveniny. Při ochlazení se materiál vrací zpět do tuhého stavu. Termoplastické polymery se rozdělují na základě uspořádanosti jejich struktury na amorfnní a krystalické. [7]

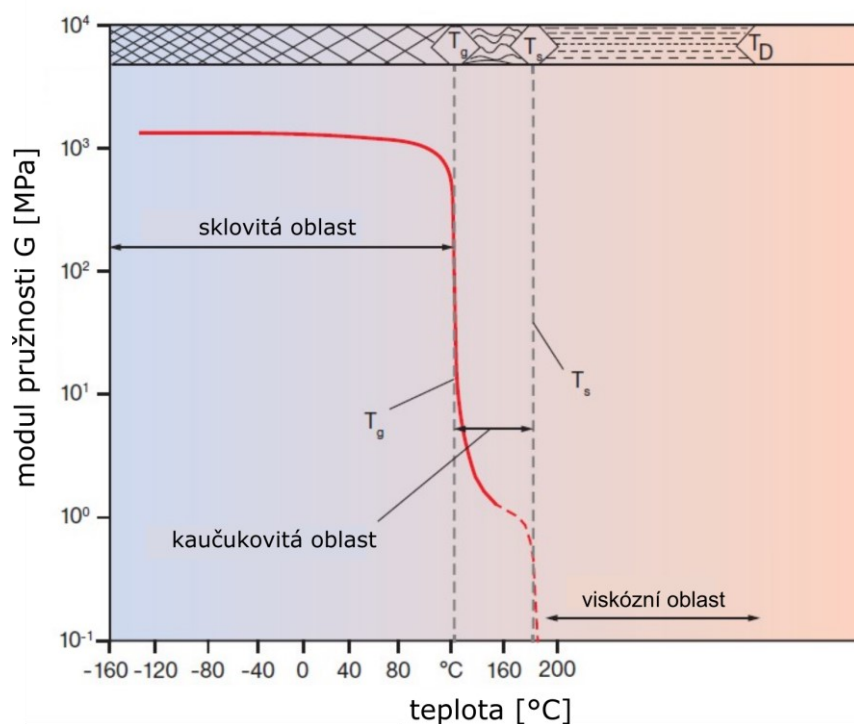
Se změnou teploty dochází u termoplastů k výrazným změnám vlastností. Tyto změny jsou spojeny s charakteristickými (přechodovými) teplotami. Je rozlišována tzv. teplota skelného přechodu  $T_g$ , teplota viskózního toku  $T_f$  a teplota tání  $T_m$ . [6] [5]

Při teplotách nižších, jak  $T_g$  jsou termoplasty tvrdé a křehké, tento stav je označován jako stav sklovitý. V tomto stavu jsou termoplasty tuhé a při působení zatížení u nich dojde pouze k pružné deformaci. Pokud dojde ke zvýšení teploty nad  $T_g$  dostává se termoplast do tzv. kaučukovitého stavu. Při zatížení dochází k rozvinutí řetězců, po uvolnění zatížení se řetězce vrací do původního stavu. Tyto deformace se označují jako viskoelastické a nastávají s časovým zpožděním. Při teplotách nad  $T_f$  u amorfnních plastů a  $T_m$  u semikrystalických plastů nastává plastický stav, ačkoli pro oba typy polymerů odlišný. [6] [5]

### 1.1.1 Amorfnní termoplasty

Řetězce amorfnních polymerů jsou charakteristické náhodným uspořádáním, tj. jejich struktura není uspořádaná na větší vzdálenosti. Řetězce mají tvar klubek. U amorfnních termoplastů jsou charakteristickými teplotami teplota skelného přechodu a teplota tečení. Amorfnní termoplasty tak mohou existovat v již zmíněných třech stavech, a to stavu sklovitém, kaučukovitém a ve stavu viskózní taveniny. Amorfnní termoplasty se vyznačují, nižším smrštění v porovnání se semikrystalickými termoplasty, často jsou transparentní a mají nízkou odolnost vůči opotřebení. Graf na obrázku č. 2 zobrazuje vztah teploty na vlastnostech amorfnního termoplastu. [8]

Mezi zástupce amorfnních termoplastů se řadí: polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), akrylonitril butadien styren (ABS), styren akrylonitril (SAN), polymethylmetakrylát (PMMA) nebo polykarbonát (PC). [9]



Obr. 2 Zobrazení tepelného chování amorfních termoplastů [8]

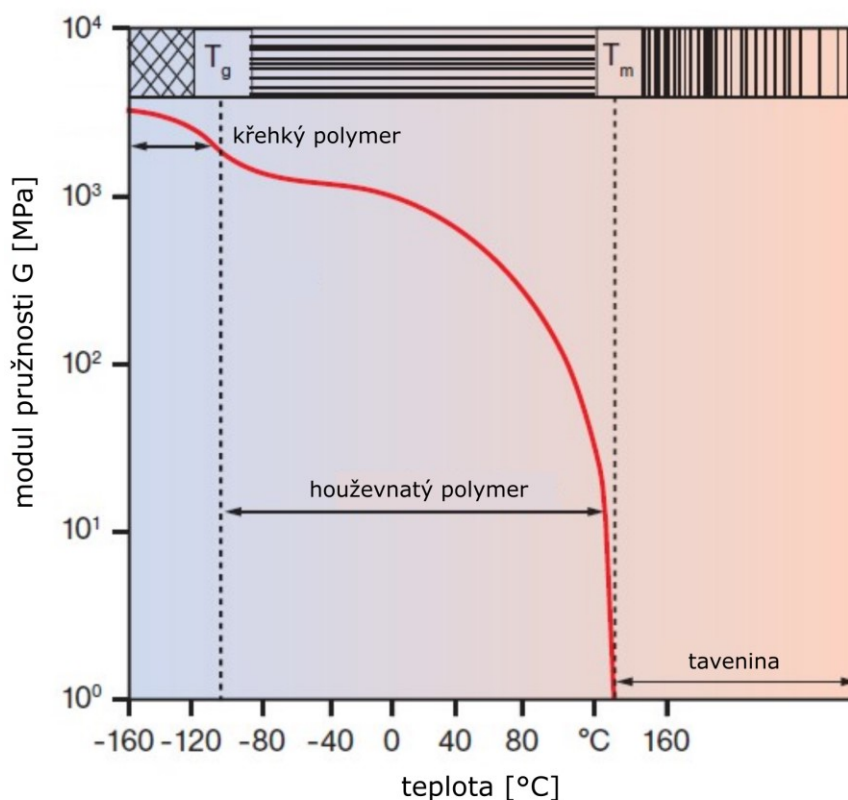
### 1.1.2 Semikrystalické termoplasty

Struktura semikrystalických termoplastů je tvořena amorfními a krystalickými fázemi. V krystalických fázích jsou polymerní řetězce na rozdíl od fází amorfních pravidelně uspořádány. Makromolekuly se skládají a vytváří lamely, které se shlukují do vyšších celků označovaných jako sférolity. Jelikož je velikost sférolitů mnohem větší než vlnová délka světla, nebývají semikrystalické materiály průhledné ale pouze průsvitné. Obecně se obsah krystalického podílu pohybuje v rozmezí 60 % až 80 %. [5] [7]

Charakteristickou teplotou pro čistě krystalické materiály je teplota tání  $T_m$ . Jelikož se ale stavu 100 % krystalinity u termoplastů nedosahuje, a jejich strukturu tvoří krystalické i amorfni oblasti, je pro tyto materiály charakteristická teplota jak  $T_m$ , tak i do určité míry  $T_g$ . Amorfni fáze semikrystalického termoplastu opět mohou existovat ve stavu sklovitém, kaučukovitém či plastickém. Při překročení teploty tání dojde k rozpadu krystalických struktur na viskózní taveninu. Graf na obrázku č. 2 zobrazuje vztah teploty na vlastností semikrystalického termoplastu. [5] [6]

Semikrystalické termoplasty jsou často pouze průsvitné nebo úplně neprůhledné, mají větší smrštění, je u nich jasný přechod mezi pevnou fází a taveninou  $T_m$ , a mají dobrou odolnost vůči opotřebení a lepší chemickou odolnost oproti amorfním termoplastům. [9]

Mezi zástupce semikrystalických termoplastů patří: nízkohustotní polyethylen (LDPE), polyethylen s vysokou hustotou (HDPE), polypropylen (PP), polyamid (PA), polyoxymethylen (POM), polyethylentereftalát (PET), polybutylentereftalát (PBT), polyetherketon (PEK) či polytetrafluorethylen (PTFE). [9]



Obr. 3 Zobrazení tepelného chování semikrystalických termoplastů [8]

### 1.1.3 Rozdělení plastů dle použití

Plasty lze dle jejich vlastností a použití rozdělit do tří skupin. Jsou rozlišovány komoditní plasty, konstrukční plasty a speciální (high performance) plasty. [10]

Největší spotřeba je plastů komoditních. Tyto plasty se kromě častého využívání vyznačují širokou škálou použití, nízkou cenou a omezenými vlastnostmi. Mezi komoditní plasty patří polystyren (PS), polyethylen (PE), polyvinylchlorid (PVC), polypropylen (PP), akrylonitril-butadien-styren (ABS), styren-akrylonitril (SAN). Některé literatury rozlišují čtyři skupiny

plastů a zařazují takzvanou přechodnou skupinu plastů mezi plasty komoditní a konstrukční. Do této skupiny se řadí PP, ABS či SAN. [10]

Konstrukční plasty, mají oproti komoditním plastům vyšší hodnoty pevnosti v tahu a vyšší modul pružnosti. Patří sem polyamidy (PA), polykarbonát (PC), polybutylen-tereftalát (PBT), polyethylen-tereftalát (PET), PP se skleněnými vlákny a další. [10]

Poslední skupinu tvoří speciální plasty, které si udržují vysoké mechanické vlastnosti i za zvýšených teplot a často jsou také nehořlavé. Do této skupiny patří: polysulfon (PSU), fluoropolymery, polyetherimidy (PEI) či polyaryletherketony (PAEK). [10]

## 1.2 Aditiva do polymerů

Polymerní materiály dodávané pro vstřikování jsou obvykle složeny ze základního polymeru a aditiv. Aditiva jsou přidávána k základním polymerům, neboť těm chybí řada vlastností vhodných pro technologii vstřikování. Mezi nejčastější přísady patří: přísady pro zlepšení zpracovatelnosti polymerních tavenin, vnitřní maziva, stabilizátory, změkčovadla, antistatické přísady, retardéry hoření, nadouvadla, barviva a plniva. Účinnost přísady závisí na její rozpustnosti v základním polymeru, což ovlivňuje především chemické složení a struktura polymeru. [6] [8]

### *Antioxidanty*

Jako ochrana proti degradaci vlivem kyslíku jsou často do polymerů přidávány antioxidanty. [6]

### *Tepelné stabilizátory*

Pro zvýšení teplotní stability, doby prodlevy taveniny ve vstřikovací jednotce či vyhříváním vtokovém systému formy jsou přidávány tepelné stabilizátory. [6][8]

### *UV stabilizátory*

Slouží ke zlepšení odolnosti materiálu vůči atmosférickému stárnutí, čímž prodlužují životnost výrobku. UV záření způsobuje vznik radikálů, které zapříčiňují degradační reakce v polymeru, ty v kombinaci s působením kyslíku či vody způsobují žloutnutí polymeru, ztrátu průhlednosti, praskliny aj. [6]



### ***Maziva***

Pro zlepšení tokových vlastností tavenin, pro jejich lepší zatékavost, snadné vyjímání z tvarové dutiny či zvýšení lesku výrobku, jsou přidávány maziva (lubrikanty). Maziv je více druhů, jako maziva vnitřní jsou označovány ty maziva, které snižují viskozity taveniny. [8]

### ***Antistatické přísady***

Termoplasty mají typicky vysoký elektrický odpor, což zapříčiňuje vznik elektrostatického náboje na jejich povrchu. Ten pak může způsobovat ulpívání prachu či vznik jiskry. Pro zmenšení tvorby povrchového náboje jsou přidávány k polymeru antistatika. [6]

### ***Retardéry, zpomalovače hoření***

Retardéry hoření snižují hořlavost až při vyšších koncentracích (od cca 5 %) a sami zhoršují zpracovatelské vlastnosti polymerních tavenin. Jako retardér hoření se často používá hydroxid hlinitý. [6]

### ***Barviva a pigmenty***

Pro dosažení požadovaného barevného odstínu polymeru slouží barviva a pigmenty. Ty se od sebe liší rozpustností, barviva jsou rozpustná v polymeru, pigmenty jsou nerozpustné. [6]

### ***Plniva***

Směs základního polymeru a plniva je možné chápat jako kompozit. Plniva se přidávají z vícero důvodů. Jsou přidávána jednak kvůli snížení spotřeby základního polymeru, zlepšení tuhosti a pevnost výrobku, zlepšení teplotní odolnosti, elektrické vodivosti nebo rozměrové stability. Jsou rozlišována plniva částicová, vyztužující (vláknitá) a nanoplňiva. Mezi částicová plniva patří: skleněné kuličky, talek, kaolin, křemenec, vápenec a další minerály. Mezi vyztužující plniva, která slouží v kompozitu ke zvýšení tuhosti, pevnosti a tvarové stálosti patří skleněná a uhlíková vlákna. [6] [8]

## 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování je nejdůležitějším způsobem výroby plastových dílů. V dnešní době je přibližně jedna třetina všech termoplastů zpracovávána technologií vstřikování. Proces vstřikování je vhodný pro sériovou výrobu dílů komplexních tvarů. Výhodou vstřikování je jeho všestrannost, možnost masové produkce plastových výrobků s relativně přesnými tolerancemi. Technologie vstřikování polymerních materiálů vychází z tlakového lití kovů. Začátky technologie vstřikování přišly v roce 1872 s patentem stroje na vstřikování celluloidu, tehdejší koncepci pístových vstřikovacích strojů v současnosti nahradili šnekové vstřikovací stroje. [7] [11]

Termoplast ve formě granulátu je z násypky dávkován do válce vstřikovacího stroje, kde je materiál roztaven. Tavenina je vstříknuta do temperované formy, je dopravována vtokovým systémem formy až do tvarové dutiny, v níž polymer ochladne a získá požadovaný tvar. Po vyhození výrobku se proces opakuje. Technologie vstřikování je tedy cyklický tvářecí proces. [12] [13]

### 2.1 Vstřikovací cyklus

Technologie vstřikování patří mezi cyklické výrobní procesy. Podmínky procesu jako teplota vstřikovací formy, teplota polymerní taveniny, velikost smykového napětí nebo rychlost smykové deformace se rámci cyklu rychle mění a jsou odlišné i v různých částech formy. Vlastnosti výsledného výrobku jsou pak závislé na historii změn zmíněných podmínek. Proto je nutné zajistit, aby každý vstřikovací cyklus měl identický průběh. Na obrázku č. 4 je diagram znázorňující činnosti vstřikovací formy a stroje během vstřikovacího cyklu. [12] [14]

#### 2.1.1 Vstřikovací fáze

Je nutné, aby byla připravená tavenina homogenní, jak z hlediska teploty, tak i viskozity. Toho se dosahuje optimálním nastavením: teplot pásem válce, zpětného odporu šneku a otáček šneku. [14]

Šnek koná rotační pohyb a dopravuje nový materiál z násypky dál do pracovního válce vstřikovací jednotky. Teplo potřebné k plastikaci polymeru je dodáno jak topnými tělesy po obvodu válce, tak třením materiálu o šnek a o povrch válce. [12]

### 2.1.2 Vstřikovací fáze

Hlavním úkolem vstřikovací fáze je naplnění tvarové dutiny homogenní taveninou. Rychlost vstřikování má vliv především na povrchové vady výrobku, je proto vhodné ji nastavit spolu s teplotou taveniny a formy tak, aby nevznikala příliš vysoká smyková napětí. [14]

Nejprve je vstřikovací forma otevřená a její tvarová dutina je prázdná. Následně dostane vstřikovací stroj impuls a dojde k uzavření vstřikovací formy. Po uzavření formy začne uzavírací jednotka vstřikovacího stroje působit uzavírací silou, aby nedošlo k pootevření formy během vstřikování. S uzavřením formy může také dojít k přiblížení vstřikovací jednotky stroje. Následuje vstřikovací fáze. Ta je uskutečněna axiálním pohybem šneku, kterým dojde ke vstříknutí taveniny, která se nahromadila před čelem šneku. Tavenina vstupuje do formy vtokovou vložkou a je vedena vtokovým systémem formy. [13] [14]

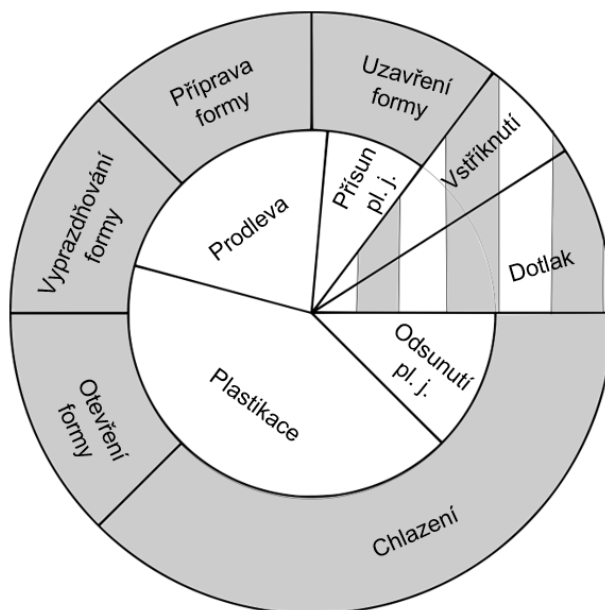
### 2.1.3 Dotlaková fáze

Dotlaková fáze je zařazena do vstřikovacího cyklu, aby se dosáhlo korekce smrštění a rozměrů, odstranění propadlin a lunkrů, trhlin, bublin a lepšího vykopírování povrchu tvarové dutiny formy. [14]

Dotlak může mít stejnou hodnotu tlaku jako vstřikovací tlak, nebo může po zvolené době klesnout. Aby bylo možné působit dotlakem, je třeba aby před čelem šneku zůstal jistý objem taveniny, obvykle méně než jednonásobek průměru šneku. Po skončení fáze dotlaku začíná plastikace nové dávky taveniny. [12]

### 2.1.4 Fáze ochlazovací

Ochlazování výrobku probíhá po celou dobu od začátku plnění tvarové dutiny až po vyhození výrobku. Ochlazování trvá do té doby, než je výrobek ochlazen natolik, aby mohl být vyhozen z formy bez deformace. Parametry procesu ovlivňující ochlazovací fázi jsou teplota formy a doba ochlazování. Po ochlazení proběhne vyhození výrobku z formy, forma se uzavře a cyklus se opakuje. [14]



Obr. 4 Schéma zobrazující vstříkovací cyklus; činnost vstříkovací formy (vnější kruh) a vstříkovací jednotky stroje (vnitřní kruh) [8]

## 2.2 Proces vstříkování v p-v-T diagramu

Znalost termodynamických charakteristik polymerů, jako je jejich hustota, měrné teplo, tepelná vodivost a zejména pvT diagramy slouží k pochopení fyzikálních procesů ve tvarové dutině vstříkovací formy. Kromě porozumění procesu vstříkování, umožňuje znalost uvedených veličin stanovit změnu měrného objemu, a tak určit smrštění. Diagram pvT zobrazuje vztah veličin tlaku, měrného (specifického) objemu a teploty. Diagram tak popisuje jak kompresibilitu (změnu měrného objemu v závislosti na tlaku), tak tepelné chování (změnu měrného objemu v závislosti na změně teploty). [6][12]

### 2.2.1 Popis pvT chování materiálu během vstříkování:

Diagram pvT popisující proces vstříkování je zobrazen na obrázku č. 4.

Bod 0: Šnek působí na taveninu příslušné teploty a vyvolá v tavenině vstříkovací tlak, který požadovanou vstříkovací rychlostí umožní dopravu taveniny vtokovým systémem formy.

Bod 0-1: Probíhá objemové plnění tvarové dutiny formy taveninou.

Bod 1-2: Po naplnění tvarové dutiny je tavenina stlačována.

Bod 2: Nastává přepnutí ze vstříkovacího tlaku na dotlak (tj. začíná fáze dotlaku).

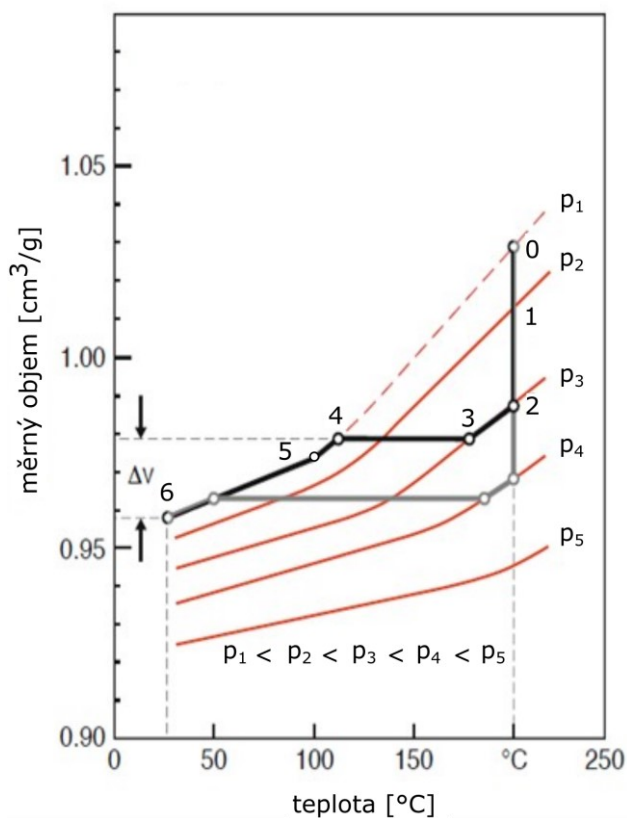
Bod 2-3: Při ochlazení taveniny dochází k její objemové kontrakci. Tlak dotlakové fáze doplňuje další taveninu ze vstříkovací jednotky stroje a umožňuje tak kompenzovat objemovou ztrátu.

Bod 3: V bodu 3 dojde k zatuhnutí vtokového systému. Dále už není možné dodávat taveninu do tvarové dutiny.

Bod 3-4: Výrobek se ochlazuje za konstantního objemu a tlak klesá na výchozí hodnotu tlaku.

Bod 4-5: Výrobek je dále ochlazován za konstantního tlaku, v bodě 5 je již dostatečně tuhý natolik, aby mohl být vyhozen.

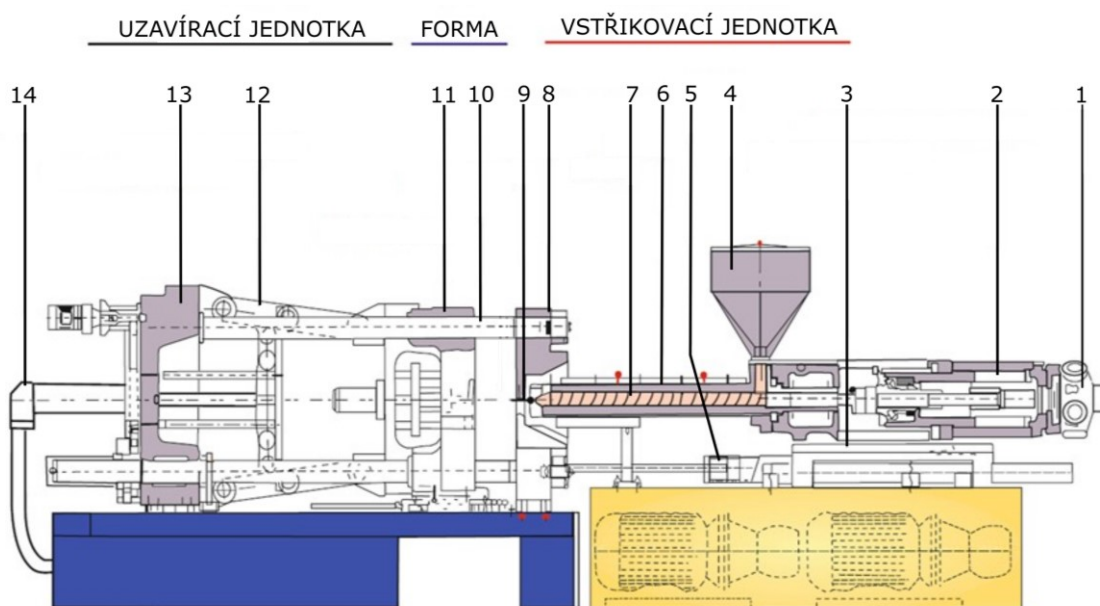
Bod 5-6: Dochází k ochlazení výrobku mimo formu. [6]



Obr. 5 Průběh vstříkovacího procesu v diagramu pVT pro materiál polystyren [11]

## 2.3 Vstřikovací stroj

Proces vstřikování probíhá na vstřikovacích strojích. Cena vstřikovacích strojů i nástrojů je značná, a proto je technologie vstřikování vhodná pouze pro sériovou výrobu. Vstřikovací stroj se skládá z jednotky uzavírací, vstřikovací a řídicí. Schéma vstřikovacího stroje je na obrázku č. 6. [13]



Obr. 6 Popis vstřikovacího stroje [11]

1 - rotační hydromotor šneku, 2 - přímočarý hydromotor šneku, 3 - vedení vstřikovací jednotky, 4 - násypka, 5 - pohon vstřikovací jednotky, 6 - válec, 7 - šnek, 8 - upínací deska, 9 - tryska vstřikovacího stroje, 10 - vodící sloup, 11 - pohyblivá deska, 12 - mechanismus uzavírací jednotky, 13 - podpěrná deska, 14 - pohon uzavírací jednotky

### 2.3.1 Parametry vstřikovacího stroje

#### *Uzavírací síla*

V průběhu vstřikování působí tavenina vysokým tlakem na plochu tvarové dutiny. Takto vzniklá síla může způsobit otevření formy během vstřikování. Aby tomuto bylo zabráněno, působí uzavírací jednotka silou opačného směru. Maximální takto vyvinutá síla je označována jako uzavírací síla a bývá udávána v tunách nebo kilonewtonech. [15]

#### *Velikost vstřikované dávky*

Maximální velikost vstřikované dávky bývá často udávána jako maximální hmotnost polystyrenu (PS) vstříknutého jedním zdvihem šneku vstřikovací jednotky. Hustota

polystyrenu je brána jako  $1,06 \text{ g/cm}^3$ . V dnešní době se často používají objemové jednotky namísto hmotnosti vstříknuté dávky polystyrenu. [15]

### ***Průměr šneku a poměr L/D***

Velikost šneku udává průměr šneku v mm a délka šneku vyjádřená v násobcích průměru šneku. Je zaváděn poměr délky šneku ku jeho průměru L/D a platí, že s vyšším poměrem L/D (tj. s rostoucí délkou šneku) se zlepšuje homogenita taveniny. [16]

### ***Kapacita vstřikovací jednotky***

Kapacita vstřikovací jednotky bývá vyjadřována jako maximální hmotnost taveniny polystyrenu, kterou vstřikovací je jednotka schopná připravit. Kapacita bývá udávána v kilogramech polystyrenu za hodinu. [15]

### ***Maximální vstřikovací tlak***

Pro vstřikování je nutné znát i maximální vstřikovací tlak, jenž je vstřikovací jednotka schopna vyvinout. Například u tenkostěnných výrobků je často třeba vyšší vstřikovací tlak než u výrobků se stěnami větších tloušťek. Tlak bývá udáván většinou v jednotkách bar nebo megapascal. [15]

## **2.3.2 Vstřikovací jednotka**

Základním úkolem vstřikovací jednotky je připravit dostatečné množství homogenní taveniny, vstříknout taveninu do vstřikovací formy a udržet požadovaný tlak. Z počátku byly vstřikovací jednotky konstruovány jako pístové a vycházely z technologie tlakového lití kovů. Od 50. let 20. století byly nahrazovány šnekovými vstřikovacími jednotkami, které jsou dnes v drtivé většině vstřikovacích strojů. [7]

Vstřikovací jednotku tvoří pracovní válec s násypkou, ve válci je pracovní člen – šnek (nejčastěji). Na konci šneku je zpětný ventil bránící zpětnému toku taveniny během vstřikování a dotlaku. Okolo válce jsou topné pásy, které pomáhají k roztavení polymeru. Válec je zakončen tryskou, která dosedá na vtokovou vložku vstřikovací formy. Materiál do jednotky vstupuje násypkou, vstupní pásmo šneku jej dopravuje dále do válce, kde je roztaven a homogenizován. Potřebné teplo je dodáváno ze dvou zdrojů, a to vlivem tření (až 80 %) a z topných pásů. [7][16]

### 2.3.3 Šnek

Šnek je pracovním členem ve válci vstřikovací jednotky vstřikovacího stroje a bývá rozdělen na tři pásma a to pásma: vstupní (plnicí), přechodné (kompresní) a výstupní. Jak bylo zmíněno, velikost šneku udává poměr  $L/D$ , který se u vstřikovacích strojů obvykle pohybuje v rozmezí 15–20. Důležitý je také kompresní poměr, který vyjadřuje podíl hloubky kanálu ve výstupní části šneku ku hloubce kanálu ve vstupní části šneku. Hodnota kompresního poměru se pohybuje od 1,5: 1 až po 5: 1. Šnek vstřikovací jednotky, jeho jednotlivé zóny a průběh tavení polymeru znázorňuje obrázek č. 7. [16]

#### Vstupní zóna šneku

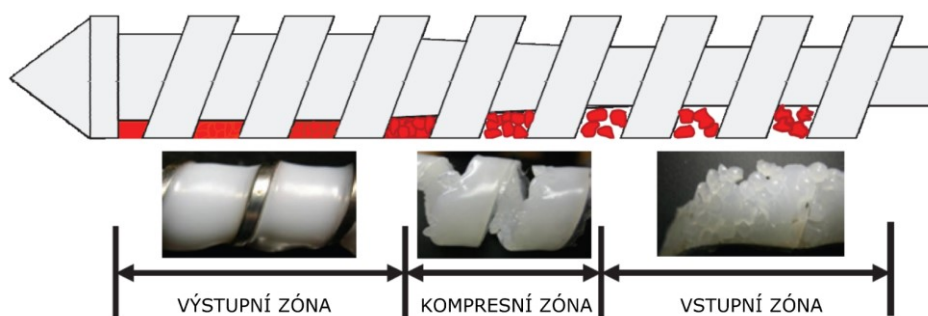
Vstupní pásmo slouží k dopravě polymeru z hrdla násypky dále do pracovního válce. Kanál je v tomto pásmu hluboký a má konstantní průměr. Materiál se ve vstupní zóně začíná ohřívat, ale nesmí dojít k jeho úplnému roztavení, což by znemožnilo přísun dalšího materiálu. [15]

#### Přechodná zóna šneku

V této zóně dochází ke zmenšování hloubky kanálu, polymer je stlačován a dochází k jeho tavení. Proto je tato zóna také označovaná jako tavicí. [15]

#### Výstupní zóna šneku

Zde je hloubka kanálu konstantní a je ze všech zón nejmenší. Úkolem této zóny je další homogenizace a doprava taveniny. [15]



Obr. 7 Šnek plastikační jednotky se zobrazením průběhu tavení materiálu [16]

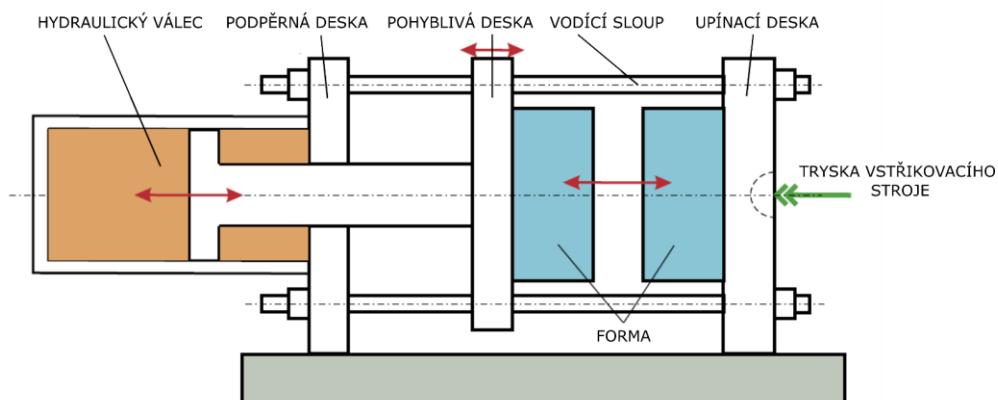
### 2.3.4 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky vstřikovacího stroje je zavírat a otevírat vstřikovací formu a v průběhu vstřikování působit dostatečnou uzavírací silou, aby nedošlo k otevření formy. Uzavírací jednotka je obvykle třídesková, tj. skládá se z opěrné desky pevně spojené s ložem

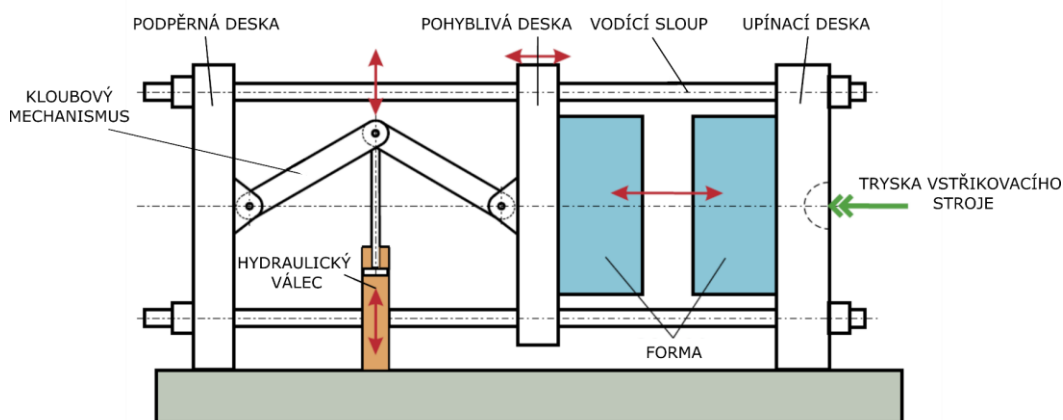


stroje, pohyblivé desky s pohyblivou polovinou formy a upínací desky s otvorem pro trysku vstřikovacího stroje. [13]

Uzavírací jednotky lze rozdělit podle druhu pohonu na hydraulické, hydraulicko-mechanické a elektrické. U hydraulického provedení uzavírací jednotky je píst hydraulického válce spojen přímo s pohyblivou deskou nesoucí levou polovinu formy. Tento způsob uzavírání je vhodný pro případy, kdy je třeba vyšší uzavírací síla. Při vstřikování menších výrobků, kdy je třeba menší uzavírací síla se využívají mechanické či hydraulicko-mechanické jednotky. Jejich nevýhodou je, že maximální uzavírací síla působí pouze tehdy, je-li mechanismus plně napřímený, zatímco u hydraulických jednotek je maximální uzavírací síla dosažena v každé poloze. Nevýhodou elektrických pohonů je vyšší pořizovací cena, jejich výhodou je naopak nižší energetická náročnost, přesné a dobře reprodukovatelné pohyby a nižší hlučnost. Schéma znázorňující základní části tvořící hydraulickou a hydraulicko-mechanickou uzavírací jednotku zobrazují obrázky č. 8 a č. 9. [7] [11]



Obr. 8 Hydraulická uzavírací jednotka [7]



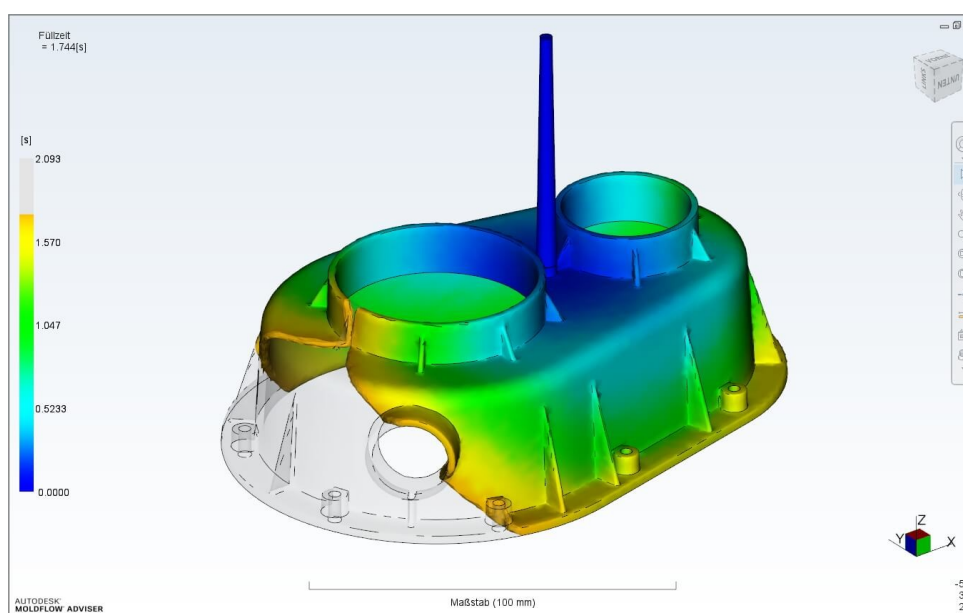
Obr. 9 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka [7]

## 2.4 Simulace procesu vstřikování

Podstatou simulací je využití výpočetní techniky pro řešení souboru rovnic a k nim náležejících okrajových podmínek, které dohromady tvoří matematický model procesu vstřikování. Simulace jsou založeny na numerických metodách, a to buďto na metodě konečných diferencí (FDM, starší metoda) nebo na metodě konečných prvků (FEM). Důvodem používání softwarů pro simulaci procesu vstřikování je fakt, že je snazší a méně nákladné řešit problém ve fázi konstrukce než při zavádění formy do provozu. Zavedení softwarů simulujících technologii vstřikování je jedním z milníků v oblasti zpracování plastů. Z fází vstřikovacího cyklu se simulace obvykle zaměřují především na děj vstřikování, působení dotlaku a ochlazování. [17] [19] [20]

Výsledkem takových analýz je pak informace o průběhu plnění, vstřikovacích tlacích, o smykovém namáhání taveniny, o teplotách taveniny aj. Tyto výsledky umožňují zjistit smrštění a deformaci dílu, potřebnou uzavírací sílu, orientaci řetězců atd. Mezi dalšími výsledky jsou zjištění předpokládaného místa vzniku studených spojů a místa uzavírání vzduchu, nedotečená místa atd. [18] [19]

Použití simulačních softwarů tedy přispívá k nižším nákladům. Dochází ke snížení dodatečných úprav formy, zkrácení zkoušek formy, celkový vývoj a konstrukce formy je kratší, může také dojít k úspoře materiálu a zkrácení času vstřikovacího cyklu. [19] [20]



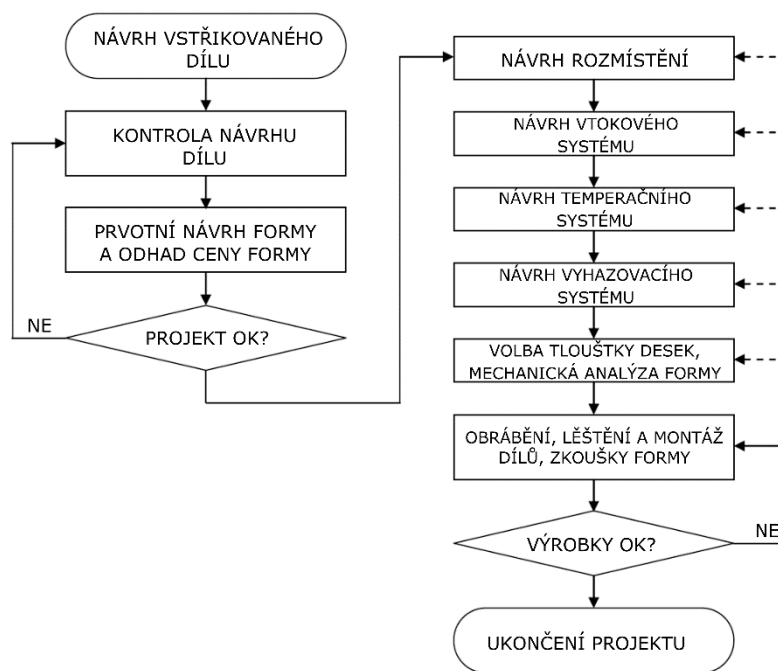
Obr. 10 Příklad výsledku simulace vstřikování provedené v softwaru Moldflow [21]

### 3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

#### 3.1 Konstrukce vstřikovací formy

Vstřikovací forma představuje komplexní celek, jenž musí současně splňovat vícero požadavků. Primárním úkolem vstřikovací formy je umožnit naplnění tvarové dutiny formy polymerní taveninou tak, aby vzniknul výrobek odpovídající tvaru dutiny. Forma také musí účinně odvádět teplo taveniny a udržovat tak ekonomickou délku vstřikovacího cyklu. Další z funkcí formy je nutnost vyhodit výrobek z formy, aby se mohl vstřikovací cyklus opakovat. [3] [22]

Na obrázku č. 11 je zobrazeno schéma postupu při návrhu vstřikovací formy. Za účelem úspory času často probíhá návrh výrobku a vstřikovací formy současně. Na obrázku č. 12 je zobrazen rám vstřikovací formy. [3]

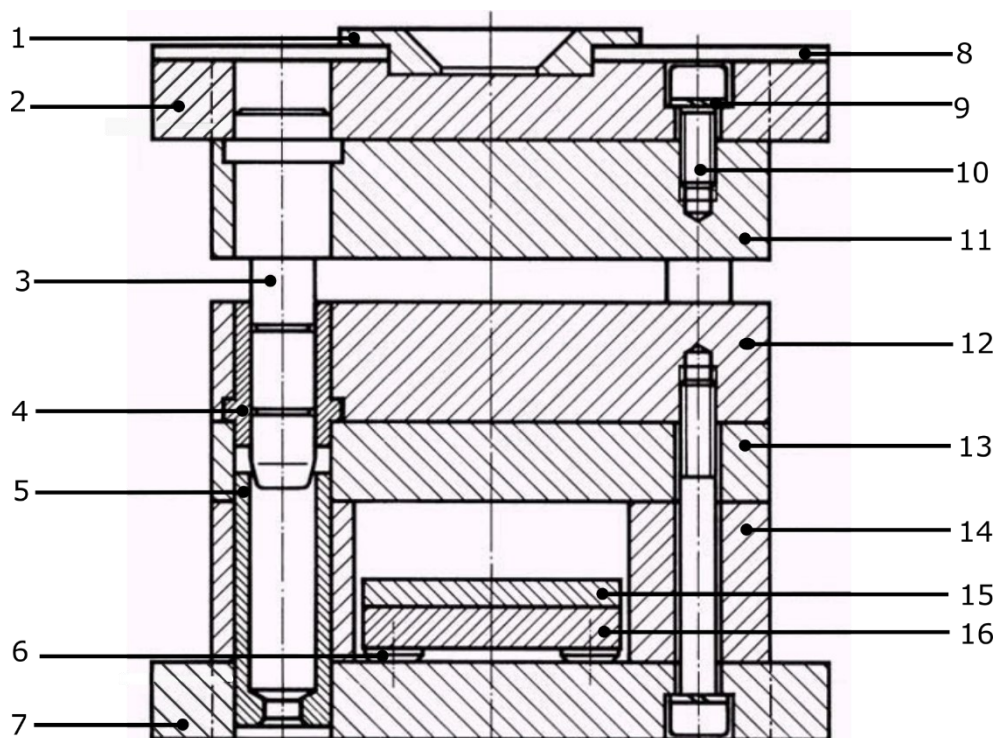


Obr. 11 Schéma postupu návrhu vstřikovací formy [3]

Vstřikovací formy je možné rozdělovat dle různých hledisek:

- podle počtu tvarových dutin: jedno násobné a vícenásobné formy,
- podle vstřiku: vstřikování do osy formy, vstřikování do dělicí roviny formy, kombinace,

- podle uspořádání: dvoudeskové, třideskové, dvoudeskové s vyhřívaným rozvodným systémem,
  - podle konstrukce: jednoduché, čelist'ové, s posuvnými jádry, závitové, etážové atd,
  - podle vstřikovaného materiálu: formy pro termoplasty, reaktoplasty či elastomery.
- [6]



Obr. 12 Zobrazení základních částí tvořících rám vstřikovací formy [19]

1 - středící kroužek, 2 - upínací deska pravá, 3 - vodící čep, 4 - vodící pouzdro,  
 5 - středící trubka, 6 - dorazová podložka, 7 - upínací deska levá, 8 - izolační deska,  
 9 - podložka, 10 - šroub, 11 - kotevní deska pravá, 12 - kotevní deska levá, 13 - opěrná  
 deska, 14 - rozpěrná deska, 15 - vyhazovací deska kotevní, 16 - vyhazovací deska opěrná

### 3.1.1 Využití normálií při konstrukci vstřikovací formy

Efektivita výroby dílů vstřikováním mimo jiné závisí na minimalizaci času potřebného ke konstrukci a výrobě vstřikovací formy. Proto je pro konstrukci vstřikovací formy výhodné používat standardizované díly (normálie). Široké spektrum dostupných normálií umožňuje rychlejší a ekonomicky výhodnou konstrukci formy. Velkou výhodou standardizovaných dílů je jejich zaměnitelnost, která umožňuje snadnou výměnu opotřebovaných dílů. Systémy normálií obvykle obsahují: rámy forem, součásti studených a vyhřívaných vtokových

systemů, součásti vyhazovacího systému, ovládací mechanismy (hydraulické a pneumatické válce, vytáčeční mechanismy atd.), součásti rozvodu temperačního média a jiné. Výrobci normálí poskytují systémy těchto standardizovaných dílů zákazníkům ve formě katalogů, flash pamětí, elektronických databázích či databázích přidružených ke konstrukčním CAD softwarům. [6] [19]

### 3.1.2 Konstrukce a výroba forem s podporou počítače

Pro konstrukci a výrobu forem, ale i samotných vstřikovaných výrobků, jsou čím dál častěji používány softwary typu CAD (Computer Aided Design, počítačem projektované projektování/konstrukce), CAM (Computer Aided Manufacturing, počítačem podporovaná výroba) a CAE (Computer Aided Engineering, počítačem podporované inženýrství, sem spadají např. simulační softwary). Použití těchto programů stejně jako použití normalizovaných dílů umožňuje zkrácení výrobního cyklu vstřikovacích forem. Mezi používané softwary patří Catia, SolidEdge, SolidWorks, Autodesk Inventor aj. [6]

## 3.2 Vtokový systém

Cíle vtokového systému:

- přivést taveninu ze vstřikovací jednotky do tvarové dutiny,
- spotřebovat co nejméně materiálu, docílit co nejmenšího odpadu (vtokového zbytku),
- zajistit dopravu taveniny o stejné kvalitě do všech tvarových dutiny u vícenásobných forem,
- umožňovat působení dotlaku. [3]

### 3.2.1 Studené vtokové systémy

Tavenina je vedena z trysky vstřikovacího stroje do vtokové vložky formy, následně je vedena z vtokového kanálu do rozvodných kanálů a skrze vtokové ústí do tvarové dutiny. Všechny tyto prvky ovlivňují jak proces vstřikování, tak kvalitu vstřikovaného dílu. [3][23]

U vstřikovacích forem se studeným vtokovým systémem je vtokový zbytek ochlazen a vyhozen spolu s výrobkem. Okolo 70 % všech vstřikovacích forem mají studený vtokový systém. Systém se skládá ze vtokového kanálu, rozvodných kanálů a alespoň jednoho

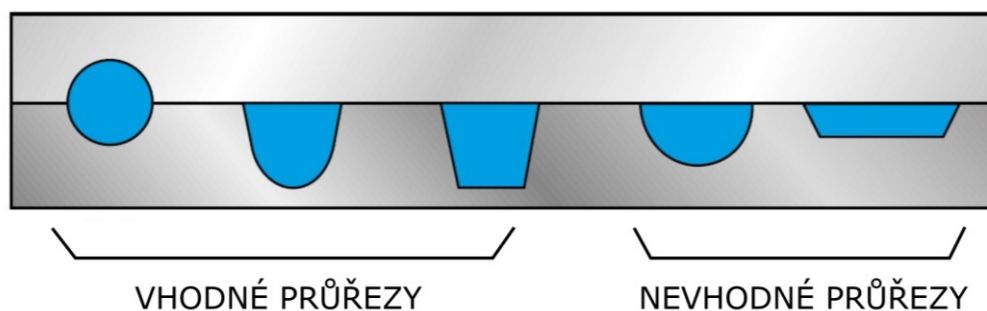
vtokového ústí. Formy se SVS jsou nejjednodušší a nejrozšířenější. Ačkoliv má vtokový systém zásadní vliv na úspěšný proces vstřikování je jeho vliv často podceňován.[3] [23]

### ***Vtokový kanál***

Vtoková vložka přivádí taveninu ze vstřikovací jednotky vstřikovacího stroje do rozvodných kanálů či přímo do tvarové dutiny v případě jednonásobných forem. Vtokový kanál bývá vytvořen ve vtokové vložce. Ta bývá pořizována jakožto normálie od výrobců standardizovaných komponentů forem. Vyměnitelná vtoková vložka musí být odolná vůči opotřebení vlivem taveniny vstřikované vysokou rychlostí a pod velkým tlakem. Proto jsou vtokové vložky obvykle vyráběny z kalených ocelí. V případě studených vtokových systému musí vložka umožňovat snadné vyhození vtokového zbytku, proto bývá vtokový kanál kuželového tvaru a je leštěn pro nízkou drsnost povrchu.[3][23]

### ***Rozvodné kanály***

Optimální průřez rozvodných kanálů je kruhový. Ten je ale z výrobního hlediska velmi obtížný, neboť vyžaduje velmi přesnou výrobu kanálů, který by se zhotovoval v obou deskách. Z tohoto důvodu se častěji používají jiné průřezy, například lichoběžníkový, parabolický nebo půlkruhový. Tyto tvary jsou snazší na výrobu, nejsou zde problémy se slícováním obou desek, nicméně jsou méně efektivní (mají větší poměr obvodu ku průřezu kanálu). Průřez kanálu by měl být dostatečně velký, aby umožňoval naplnění tvarové dutiny a působení dotlaku. Naopak by kanály neměly být příliš velké, aby se nezvětšoval vytvářený odpad a neprodlužoval vstřikovací cyklus. [3] [23]



Obr. 13 Zobrazení možných průřezu rozvodných kanálů [23]

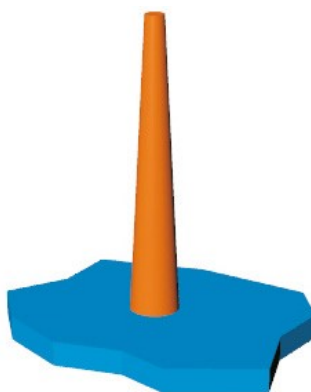
### ***Vtokové ústí***

Vtokové ústí propojuje rozvodný kanál s tvarovou dutinou. Jedná se obvykle o zúžené místo, v němž dochází k oddělení vtokového zbytku od výrobku. Velikost, tvar a umístění ústí výrazně ovlivňuje schopnost kvalitního vstříknutí výrobku. Vtokové ústí by jednak mělo dovolit naplnění tvarové dutiny taveninou a působení dotlaku a zároveň by ústí mělo

umožňovat snadné oddělení vtokového zbytku od dílu. Doporučená velikost ústí (respektive průměr) je v intervalu 40 % až 70 % tloušťky stěny sousedící s ústím. Menší velikost by sice umožňovala snazší oddělení vtokového zbytku, ale mohla by způsobovat přehřátí taveniny vlivem tření. Stejně tak délka vtokového ústí by měla být, pokud možno co nejmenší, zpravidla by se délka měla pohybovat mezi 0,5 mm až 1 mm. [23]

### **Kuželový vtok**

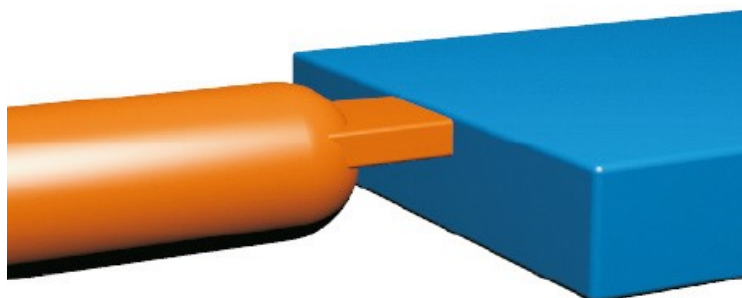
Plný kuželový vtok je používán v případě jednonásobných forem, kde vtokový kanál ve vtokové vložce je zároveň i samotné ústí. Tímto typem vtokového ústí je tavenina přiváděna do středu dutiny. Tento způsob plnění dutiny je vhodný pro vstřikování válcových a symetrických výrobků jako jsou kbelíky, kelímky apod. [23]



Obr. 14 Kuželové vtokové ústí [23]

### **Boční vtok**

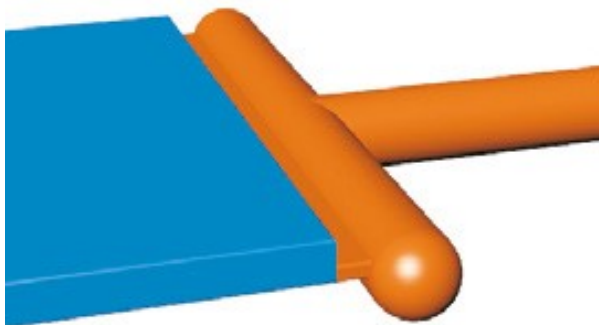
Mezi nejjednodušší typy vtokových ústí patří boční vtok. Obvykle bývá obdélníkového průřezu a ústí do výrobku v dělicí rovině. Tento typ vtokového ústí neumožňuje oddělování vtokového zbytku ve formě a je tak nutné zbytek dodatečně odstranit. Fakt, že vtokový zbytek zůstává spojen s výrobkem po vyhození zaručuje orientaci výrobku a usnadňuje následnou případnou montáž či kontrolu. Tloušťka průřezu by se měla pohybovat mezi 0,5 až 0,7 násobkem tloušťky stěny výrobku. [23]



Obr. 15 Boční vtokové ústí [23]

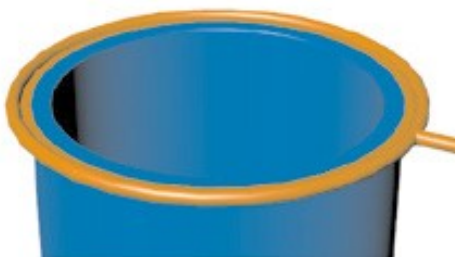
### Filmový vtok

Filmové vtokové ústí se stejně jako boční vtokové ústí napojuje do výrobku v dělicí rovině a taktéž vyžaduje dodatečné oddělení vtokového zbytku mimo formu. Filmový vtok se odlišuje tvarem, ústí bývá široké a tenké čímž se dosahuje plnění dutiny nižší rychlostí, snížení napětí v místě ústí a nižší riziko jettingu. I zde platí, že by výška ústí měla být v rozmezí 50 % až 70 % tloušťky stěny výrobku. [23]



Obr. 16 Filmové vtokové ústí [23]

Při vstřikování válcových výrobků je často používáno prstencové vtokové ústí, jež by se dalo zařadit jako druh filmového ústí. Výhodou tohoto typu ústí je eliminace studených spojů na výrobku, dosažení rovnoměrného plnění dutiny a jednotné působení na tvárník. [23]

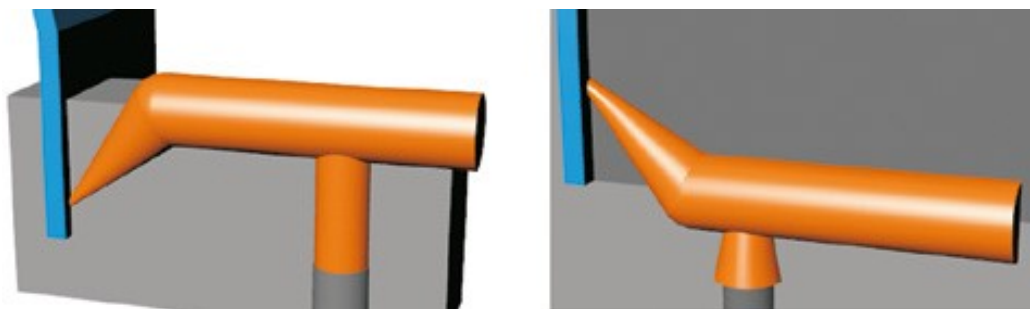


Obr. 17 Prstencové vtokové ústí [23]

### Tunelový vtok

Tunelové vtokové ústí má tvar kužele, jenž se zužuje směrem k výrobku. Výhodou tohoto typu ústí je fakt, že dochází již ve formě k oddělení vtokového zbytku, jenž leží v hlavní dělicí rovině. Vtokový zbytek bývá odštípen ostrou hranou, která je umístěna u ústí. Průřez ústí v místě styku s dílem by měl být 30 % až 70 % tloušťky stěny výrobku. [23]

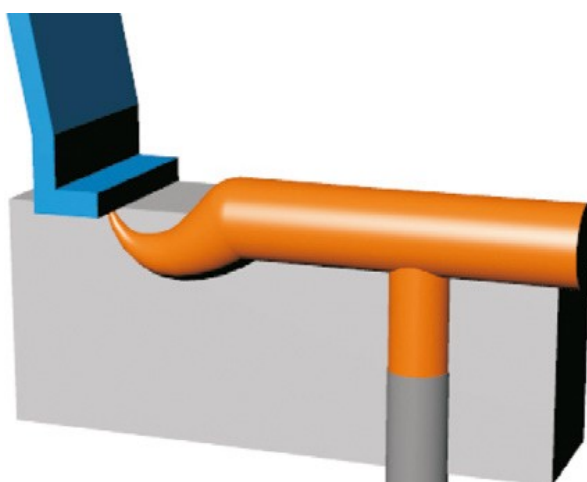




Obr. 18 Tunelové vtokové ústí **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

### Srpkovitý / banánový vtok

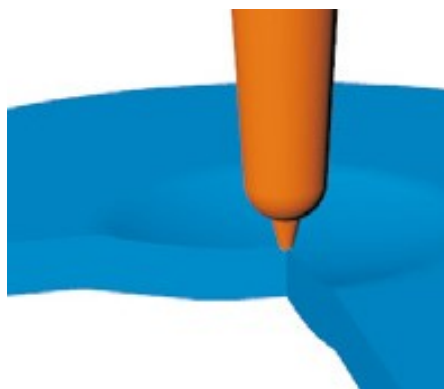
Srpkovité vtokové ústí je podobné tunelovému ústí, ale jeho výhodou je, že ústí do části výrobku, kam by tunelovým vtokem nebylo možné dosáhnout. V případě použití tohoto typu ústí je nutné, aby byl vstříkovaný materiál dostatečně elastický, aby nedošlo při vyhazování k jeho zlomení. Vzhledem ke komplexnímu tvaru ústí bývá často do formy instalována vtoková vložka jakožto normálie vyráběná specializovanou firmou s již vytvořeným ústím. [23]



Obr. 19 Srpkovité vtokové ústí [23]

### Bodové vtokové ústí

Bodové vtokové ústí bývá používáno u vstříkovacích forem s třideskovým systémem, ve kterých vtokový zbytek leží ve vedlejší dělicí rovině. Jak název napovídá, vtokové ústí musí být, pokud možno co nejmenšího průřezu, aby jej bylo možno snadno oddělit již ve formě bez poškození samotného dílu. [23]



Obr. 20 Bodové vtokové ústí [23]

### 3.2.2 Vyhřívání vtokové soustavy

Podstata vyhřívání vtokové soustavy formy spočívá v propojení vstřikovací jednotky stroje s tvarovou dutinou formy, zde je ale polymer na rozdíl od SVS celou dobu ve stavu taveniny. Tavenina se tedy ve vtokovém systému neochlazuje a nevzniká tedy vtokový zbytek. Použití vyhřívání vtokových soustav umožňuje flexibilní návrh vtokového systému (tj. především umístění vtokových ústí). Nevýhodou použití VVS je především vyšší energetická a ekonomická náročnost. Také provedení vstřikovací formy je konstrukčně náročnější. [24]

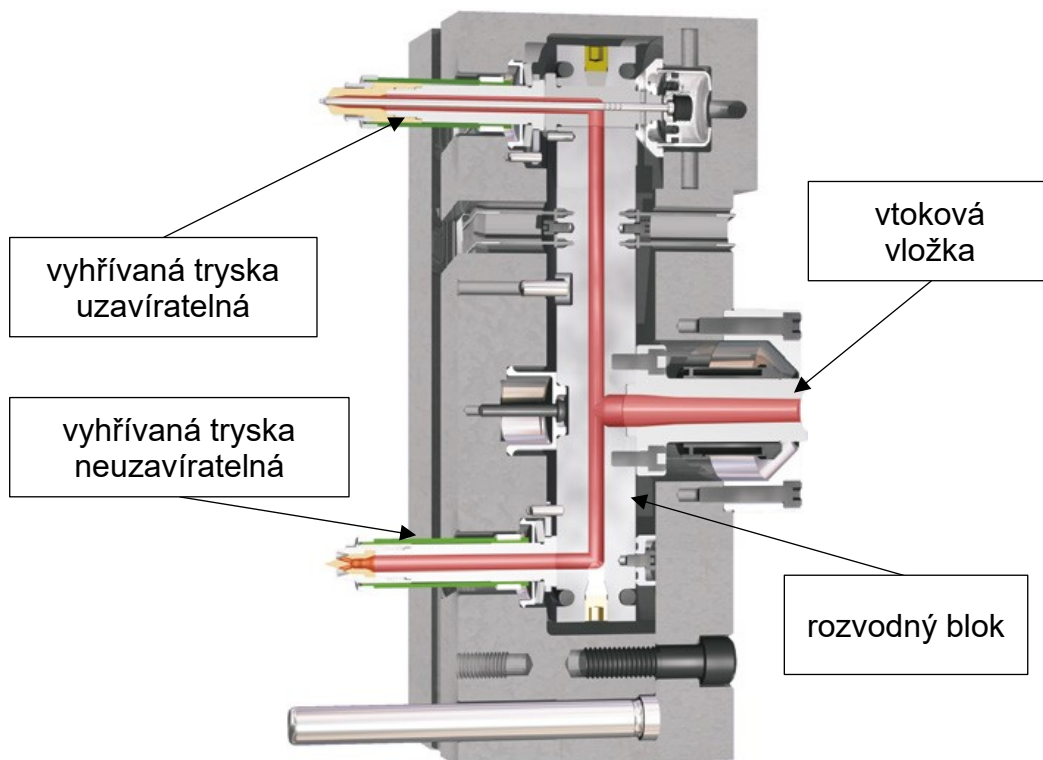
Výčet nejčastěji uváděných výhod použití VVS:

- menší spotřeba polymeru a s tím související kratší doba plastikace (není třeba plastikovat polymer, který by u SVS tvořil vtokový zbytek),
  - menší uzavírací síla, kterou musí vstřikovací stroj vyvodit,
  - není třeba dodatečně odstraňovat vtokový zbytek, tj. absence dokončovacích operací,
  - není třeba chladit i vtokový zbytek (a tím pádem kratší doba vstřikovacího cyklu).
- [23] [24]

### Vyhřívání bloky

V případě vícenásobných forem je možné použít vyhřívání bloků v nichž je vedena tavenina mimo dělicí rovinu formy, tavenina se při průchodu kanály na rozdíl od SVS neochlazuje a nevzniká zde vtokový zbytek. Kanály vyhřívání bloku jsou zakončeny vyhříváními tryskami, které ústí do tvarové dutiny formy. Bloky mohou být vyhřívány vnitřně nebo externě. Je zásadní, aby byl blok dobře izolován od zbytku formy z důvodu velkého rozdílu teplot formy a bloku. Mezi vyhříváním blokem a deskami vstřikovací formy bývá mezera několika milimetrů. Tavenina by měla mít při průchodu kanály bloku všude

stejnou teplotu a vyhříváný blok nesmí obsahovat mrtvá místa, ve kterých by se mohla tavenina zdržovat a degradovat. Vyhříváné bloky jsou vyráběny v mnoha tvarech s různým počtem trysek a umožňují tak velkou řadu konstrukčních vtokového systému formy. Na obrázku č. 21 je vyhříváná vtoková soustava tvořená rozvodným blokem s vyhřívánými tryskami (pro názornost je jedna tryska uzavíratelná a druhá neuzavíratelná). [24]



Obr. 21 Řez vyhříváným vtokovým systémem tvořeným rozvodným blokem s vyhřívánými tryskami [23]

### Vyhříváné trysky

Vyhříváné trysky vedou taveninu z vyhříváného rozvodného bloku ke vtokovému ústí. Nemělo by docházet k vedení tepla z trysek na části tvarové dutiny. Trysky lze rozdělovat dle způsobu vyhřívání na trysky vnitřně a externě vyhříváné. Je také možno trysky rozdělovat na trysky otevřené a trysky uzavíratelné, které jsou konstrukčně náročnější. Nejčastější je kombinace externě vyhříváného rozvodného bloku s externě vyhřívánými tryskami. [24]



Obr. 22 Vyhříváné vtokové trysky od firmy Ewikon [26]

### 3.3 Vyhazovací systém

U vstříkovaného výrobku dochází při ochlazení ke smrštění na tvarovou dutinu formy, výrobek obvykle zůstává na pravé straně vstříkovací formy. Vzniká tedy potřeba výrobek z formy vyhodit. K vyhození dojde, když působí vyhazovací systém silou na výrobek. K vyhození mohou sloužit vyhazovací kolíky (válcové vyhazovače), ploché vyhazovače, stírací deska či stírací trubka, pneumatické vyhazování nebo vyhazování podporované hydraulickými tahači. [3] [10]

Potřebná vyhazovací síla závisí mimo jiné na jakosti povrchu tvarové dutiny formy. Případný dezén na tvarových částech funguje jako podkos. Pro vyhození výrobku bez deformace je zapotřebí aby měli tvarové části úkos alespoň  $1^\circ$ . [3]

Vyhazovací systém je třeba navrhnout tak, aby bylo na výrobek působeno co nejmenším tlakem, aby působila vyhazovací síla na výrobek rovnoměrně a tím, aby se zabránilo trvalým deformacím výrobku. Jelikož je pohyb vyhazovacího systému součástí vstříkovacího cyklu, je kladen důraz, aby byly pohyby rychlé a čas cyklu co nejkratší. [3]

Vyhazovací systém má vliv i na temperaturaci a správné ochlazování výrobku. Jelikož jsou vyhazovače ve formě uloženy s jistou vůlí, nedochází u nich k výraznějšímu přenosu tepla do formy. Toto může způsobovat problémy s ochlazováním výrobku v místě styku s vyhazovačem. Tento problém je výraznější u větších vyhazovačů a je tedy vhodné volit větší počet menších vyhazovačů. Stejně jako u jiných částí formy i zde je snaha, aby byl vyhazovací systém co nejjednodušší a nejméně nákladný. [3][19]

### 3.3.1 Mechanické vyhazování

#### Vyhazovací kolíky

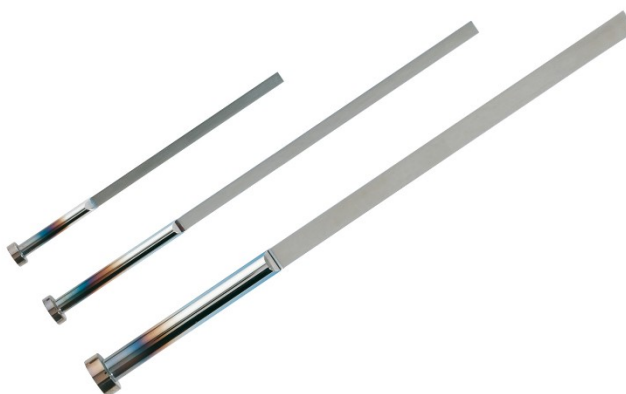
Válcové vyhazovače jsou obvykle vyráběny kováním, pak jsou broušeny, následně nitridovány nebo kaleny a na závěr leštěny pro dosažení velmi tvrdého a hladkého povrchu. Vyhazovací kolíky jsou vyráběny ve standardizovaných průměrech a délkách. Pro použití v konkrétní vstřikovací formě jsou jejich konce zbrušeny na potřebnou délku či tvar. Vyhazovače jsou namáhány na vzpěr, toto je třeba mít na paměti zejména u vyhazovačů větších délek a menších průměrů. [3]



Obr. 23 Válcový vyhazovací kolík [27]

#### Ploché vyhazovače

Ploché vyhazovače se vyrábí obráběním klasických válcových vyhazovačů tak aby část, která je ve styku s výrobkem měla obdélníkový průřez. Je výhodné umisťovat ploché vyhazovače pod žebra. A to jednak protože mají dobrou tuhost a také protože je tak vyhazovací síla aplikovaná v místě vzniku třecí síly mezi výrobkem a tvárníkem. Žebra také bývají typicky na nepohledové straně výrobku, a tak případné stopy po vyhazovačích nejsou závažným problémem. Obdélníkový otvor ve tvárníku bývá zhotoven elektroerozivním obráběním. Ploché vyhazovače musí být zajištěny proti pootočení kolem vlastní osy. [3]



Obr. 24 Plochý vyhazovač [27]

### Stírací deska

Vyhazování pomocí stírací desky je založeno na setření výrobku působením na obvod výrobku. Jelikož stírací deska působí vyhazovací silou na relativně velkou plochu výrobku, je vyhazovací síla aplikovaná rovnoměrně, ve výrobku tak nevznikají velká napětí a deformace. K pohybu stírací desky dochází při otevírání formy vlivem táhel či šroubů uchycených na nepohyblivé straně formy, které posunou stírací deskou. [3]

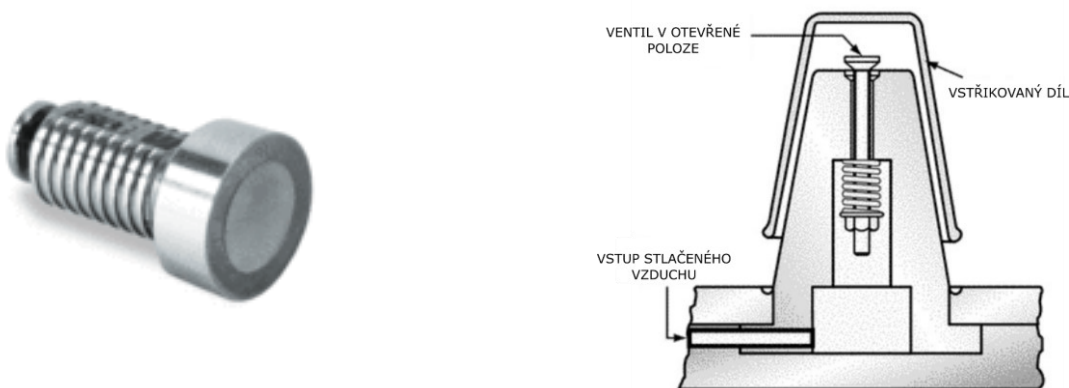
Jako speciální případ stírací desky je možné považovat stírací trubky (respektive trubkové vyhazovače). Jedná se o vyhazovače tvaru trubky, v nichž bývá válcové jádro, po němž se stírací trubka pohybuje. Válcové jádro zasahuje do tvarové dutiny a vytváří zde otvor. [3]



Obr. 25 Stírací trubka [28]

### 3.3.2 Pneumatické vyhazování

Při pneumatickém vyhazování působí vyhazovací silou stlačený vzduch, který je přiváděn k výrobku pomocí vzduchového ventilu. Tato metoda je vhodná zvláště pro výrobky ve tvaru nádob, boxů. Ventil pneumatického vyhazování a schéma principu tohoto způsobu vyhazování zobrazuje obrázek č. 26. [10]



Obr. 26 Vlevo: ventil pro pneumatické vyhazování; vpravo: schéma principu pneumatického vyhazování [10][27]

Ventil usazený v díře může být přidržován pružinou. V momentu vyhazování je k ventilu přiveden tlakový vzduch, ten překoná sílu pružiny a pohyblivá část ventilu se vysune. Tím se lokálně přeruší přilnutí výrobku na tvárník a do vzniklé mezery je přiveden vzduch otevřeným ventilem. Pneumatické vyhazování je někdy používáno společně s mechanickým vyhazováním. Nejprve dojde pomocí tlakového vzduchu k oddělení výrobku od tvárníku a následně je výrobek vyhozen vyhazovacími kolíky. Výhodou pneumatického vyhazování je, že nezanechává na výrobku výraznější stopy a také je možnost vyhazovací systém instalovat do obou stran formy. [10]

### 3.3.3 Hydraulické vyhazování

V některých případech je vhodné, když je vyhazovací systém ovládán přídatným hydraulickým pohonem. Tyto hydraulické jednotky ovládají mechanické vyhazovače a jejich výhodou je pružnější pohyb a možnost vyvodit velkou vyhazovací sílu. [29]

## 3.4 Odvzdušnění

Tvarová dutina je po zavření formy naplněna vzduchem, který musí vstříkovaná tavenina z dutiny vytlačit. Pokud vzduchu není umožněno opustit tvarovou dutinu, dojde k jeho prudkému stlačení. Náhle zvýšený tlak způsobí zvýšení teploty v dutině, která může způsobit spálená místa na výrobku. Tento jev je nazýván Dieselovým efektem. Kromě poškození výrobku Dieselův efekt poškozuje i povrch tvarových dílů vstříkovací formy. [10] [31]

Z tohoto důvodu je při konstrukci formy nutno myslet na odvzdušnění tvarové dutiny. Odvzdušnění musí umožňovat únik vzduchu z dutiny, a naopak musí zabránit zatékání taveniny. Druh a umístění odvzdušnění závisí na tvaru výrobku, konstrukci formy, vstříkovacími stroji, údržbě formy, zpracovatelské požadavky polymeru aj. Nedostatečné odvzdušnění může vést k mnoha vadám na výrobku. Hrozí vznik spálených míst, nedotečených výrobků, studených spojů, propadlin či lunkrů. [10] [31]

### 3.4.1 Způsoby odvzdušnění

#### Odvzdušnění v dělicí rovině

Dělicí rovina je místo, kde typicky dochází ke shromažďování vzduchu vytlačovaného taveninou a často je zde řešeno odvzdušnění pomocí odvzdušňovacích kanálů. Kolem dělicí roviny je zhotovena drážka jejíž výška závisí na vstříkovaném polymeru, obvykle se ale

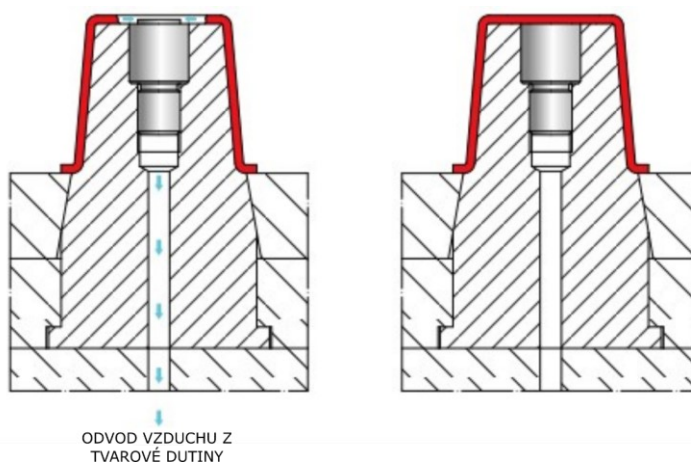
pohybuje v setinách milimetrů, za drážkou je zhotoven odvzdušňovací kanál s podstatně větší hloubkou, kudy vzduch uniká ven ze vstřikovací formy. [10]

### Odvzdušnění pomocí vyhazovačů

Odvzdušnění lze často řešit pomocí vyhazovačů. Každý vyhazovač je uložen ve tvárníku s určitou vůlí, a tak vždy do jisté míry přispívá k odvzdušnění. Tuto vůli vybraných vyhazovačů je možno zvětšit pro dosažení lepšího odvzdušnění v konkrétních místech. Případná stopa spojená s mírným přetokem v místě vyhazovače obvykle není na obtíž, neboť vyhazovače bývají umístěny na nepohledových stranách výrobku. [10]

### Použití odvzdušňovacího ventilu

Ventil se umísťuje na místa ve tvarové dutině, kde dochází ke vzniku vzduchových kapes. Během vstřikování udržuje pružina ventilu jezdec v otevřené pozici, což umožňuje únik vzduchu otvorem v horní části ventilu. Jakmile tavenina dosáhne ventilu, jezdec se působením taveniny posune do uzavřené pozice čímž dojde k uzavření ventilu. [30]



Obr. 27 Zabudování odvzdušňovacího ventilu [30]

## 3.5 Temperační systém

Temperační systém formy má za úkol dosáhnout pracovní teploty formy a je jednou ze složek odvodu tepla z tvarové dutiny formy, do níž je teplo přiváděno polymerní taveninou. Teplota vstřikovací formy by měla zajistit stejnou a rovnoměrně rozloženou teplotu stěnám tvarové dutiny. Odchyly od teplotní homogenity formy mohou vést k anizotropním vlastnostem výrobku např. anizotropii smršťení či deformací, nerovnoměrné orientaci molekul, rozdílnému lesku či dezénu na výrobku. Je známo, že fáze ochlazování výrobku zabírá často až polovinu času celého vstřikovacího cyklu, a je proto zásadní navrhnout



temperační systém tak, aby nedocházelo k zbytečnému prodlužování doby vstřikovacího cyklu. [3] [10]

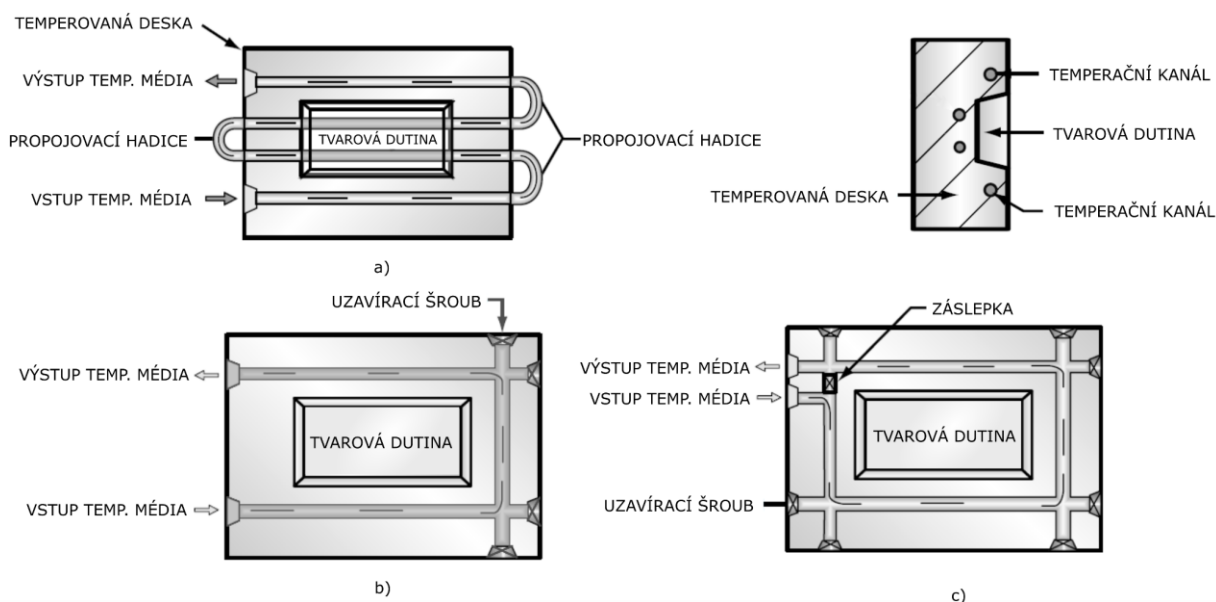
Cíle při navrhování temperačního systému:

- maximalizovat množství odvedeného tepla,
- nezvyšovat nezbytně cenu formy,
- systém by neměl být zbytečně rozměrný, aby neomezoval jiné systémy (vyhazování, spojovací součásti, vtokový systém atd.),
- konstruktér musí brát zřetel na snižování tuhosti formy. [3]

Teplu se ve vstřikovací formě šíří třemi způsoby: vedením, konvekcí a radiací. V polymerní tavenině se teplo sdílí pomocí konvekce, následně tavenina předá vedením teplo do formy. Teplo je následně odváděno temperačním médiem. Část tepla odchází ze vstřikovací formy vedením do upínacích ploch vstřikovacího stroje a také vyzářením (radiací) do okolí. Temperaci vstřikovací formy je možné rozdělit na aktivní a pasivní. [10] [29]

### 3.5.1 Aktivní temperační prostředky

Aktivní temperace je založená na odvádění případně přivádění tepla do formy médiem nesoucím teplo. Temperace vstřikovacích forem obvykle spočívá v systému vrtaných či frézovaných kanálků nimiž je vedeno temperační médium odvádějící či přivádějící teplo formě. Jako temperační médium se nejčastěji používá voda, olej, glykol či směs glykolu s



Obr. 28 Možné návrhy kanálů temperačního systému [3]

vodou nebo vzduch. Temperační médium je vedeno systémem kanálků, které jsou navzájem propojeny ucpávkami, hadicemi či propojovacími můstky. [10]

Obrázek č. 28 zobrazuje tři příklady řešení temperace tvarové dutiny vstřikovací formy. Řešení *a* a *b* zobrazují nevhodně navržené temperační systémy, u kterých dochází k nerovnoměrnému ochlazení tvarové dutiny. Příklad řešení *b*, zobrazuje vhodně navrhnutou temperaci. [3]

### Zásady navrhování kanálů

Je lepší volit větší počet menších kanálů než naopak. Kanály by měly mít průměr minimálně 6 mm. Temperační systém by měl být navrhnutý tak, aby protékající médium proudilo turbulentně, tzn. aby bylo Reynoldsovo číslo média větší než 4000. Systém by měl být nastaven tak, aby rozdíl teploty média na vstupu a výstupu nepřekračoval 3 °C. U vícenásobných forem by všechny tvarové dutiny měly být temperovány stejně. [29]

Při chlazení tvárnků s větším poměrem výšky ku průměru je často nutné pro účinnou temperaci vést kanál středem tvárnku. Pro tyto účely se používají různé přepážky či spirálové trny. Tvárnky či jiné tvarové části malých rozměrů, do kterých nelze uložit temperační přepážky či spirály je možné chladit vzduchem. [10]

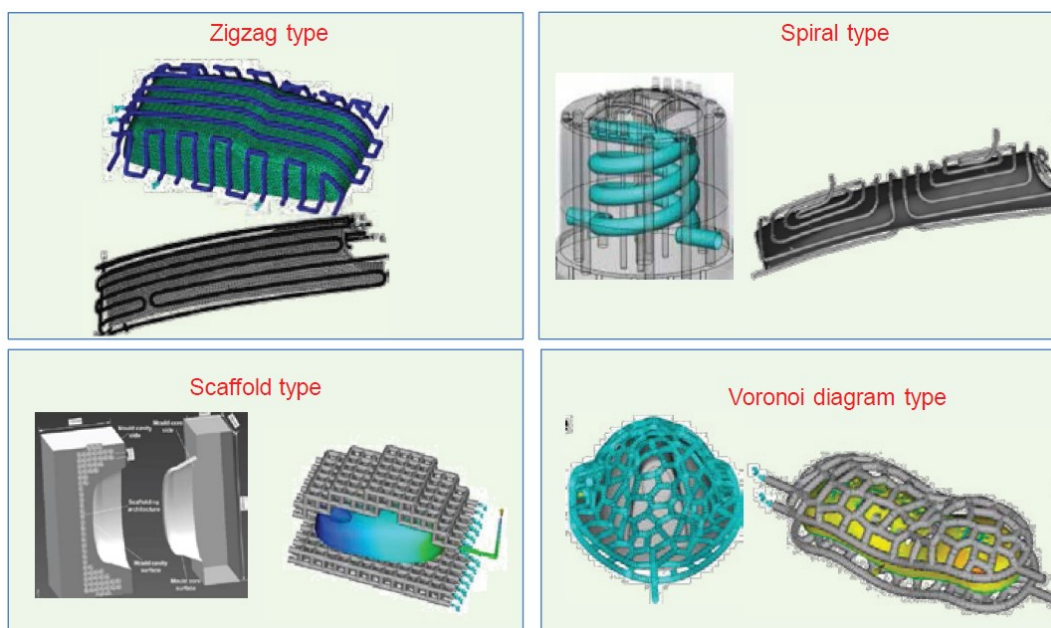


Obr. 29 Příklady různých druhů přepážek používaných pro temperaci vysokých tvárnků [27] [30]

### 3.5.2 Konformní provedení temperace

Platí, že správně navrhnutý temperační systém formy zkracuje dobu vstřikovacího cyklu a eliminuje vady na výrobcích, rozdílné hodnoty smrštění, zbytková napětí a deformace. Z těchto důvodů je upřena pozornost na výrobu dílu vstřikovacích forem pomocí aditivních technologií jako jsou technologie Selective laser sintering (SLS) či Selective laser melting (SLM). [32] [33]

Zmíněné technologie, založené na spékání či tavení kovového prášku laserovým paprskem, umožňují vytvářet geometrie jinými technologiemi nedosažitelné. Pomocí zmíněných metod je možné vytvářet temperační kanály libovolného tvaru uvnitř tvarového dílu. Tyto kanály pak umožňují dosahovat mnohem lepší homogenity teploty vstřikovací formy a tím splňovat podmínky kladené na temperační systém zmíněné v úvodu. Na obrázku č. 30 jsou zobrazeny různé geometrie temperačních kanálů zhotovených aditivní technologií výroby. [32] [33]



Obr. 30 Příklad provedení konformní temperace tvarových částí formy zhotovených aditivními metodami výroby [34]

### 3.5.3 Pasivní temperace

Pasivní temperace spočívá v používání tepelně vodivých či tepelně izolačních materiálů. Použití materiálů s dobrou tepelnou vodivostí nachází využití při temperaci například částí tvarové dutiny malých rozměrů, které by nebylo možné jinak temperovat. Využívá se slitin mědi či hliníku. [29]

Izolačních materiálů je využíváno, aby se zamezilo tepelným ztrátám, nezvyšovala se energetická náročnost procesu, a aby se rychleji dosáhlo požadované pracovní teploty formy. K izolaci se používají izolační desky, ty se vyrábí například ze skelnými vlákny vyztužených reaktoplastů. Nejčastěji jsou izolovány upínací desky formy, popřípadě rozvodný blok vyhřívaného vtokového systému. [29]

### 3.6 Senzory ve vstřikovacích formách

V dnešní době takzvaného Průmyslu 4.0 roste potřeba získávat velké množství dat pro řízení výrobního procesu, aby bylo dosaženo vysoké a reprodukovatelné kvality výrobků. Cílem je výrobní proces, který snímá data (tj. měří vybrané parametry), vyhodnocuje je a na jejich základě je proces korigován. Kontrolu procesu vstřikování lze rozdělit na tři úrovně, a to na nastavení parametrů vstřikovacího stroje, nastavení parametrů vstřikovací formy a kontrolu kvality vstřikovaných výrobků. Nejpřesnější informace pochází z měření uvnitř samotné vstřikovací formy. Tyto data jsou měřena pomocí senzorů. Na trhu je jich dostupná celá řada, nicméně nejrozšířenější jsou senzory pro měření tlaku a teploty. [35] [36]

#### 3.6.1 Měření tlaku

Mezi nejčastěji používané senzory pro měření tlaku ve vstřikovacích formách patří senzory piezoelektrické, piezorezistivní a tenzometry. Podstatou piezoelektrických senzorů je tzv. piezoelektrický jev, jenž je založen na skutečnosti, že u některých druhů krystalů působením mechanické deformace vzniká elektrický náboj (el. napětí). Piezorezistivní senzory využívají změny elektrické vodivosti (respektive el. odporu) vlivem působení mechanického namáhání polovodiče. Tlakové tenzometry pracují na podobném principu, mechanická deformace tenzometrů způsobuje změnu jejich elektrického odporu, vyrábí se kovové či přesnější polovodičové tenzometry. [35]



Obr. 31 Senzor pro snímání tlaku v dutině vstřikovací formy od firmy KISTLER [38]

#### 3.6.2 Měření teploty

K měření teploty ve tvarové dutině vstřikovací formy se využívají nejčastěji termočlánky nebo IR snímače teploty. Termočlánky využívají tzv. termoelektrického jevu, u kterého dochází ke vzniku napětí v důsledku rozdílu teplot. Jejich nevýhodou je, že jsou schopny měřit teplotu pouze v místě dotyku taveniny s čidlem. Chybí tak informace o teplotě v celém

objemu taveniny. Tento problém překonávají IR snímače teploty, jenž měří teplotu z infračerveného záření taveniny. IR snímače teploty navíc poskytují informaci o teplotě taveniny bez nutnosti vzájemného kontaktu. [35] [36]

### 3.7 Materiály pro výrobu vstřikovacích forem

Výběr materiálu pro výrobu částí vstřikovací formy ovlivňuje mnoho faktorů např.: design vstřikovaného dílu (tvar, rozměry, tolerance), použití části formy, materiál výrobku, násobnost formy, požadovaná životnost formy, požadovaná jakost povrchu formy, podmínky procesu vstřikování či celková koncepce formy. Nejrozšířenějším materiálem pro výrobu součástí forem je ocel, mimo ni se používají např. slitiny hliníku či slitiny mědi. [12] [19]

#### 3.7.1 Oceli

Díky mimořádně výhodné kombinaci svých vlastností je ocel nejdůležitějším materiálem v oblasti výroby vstřikovacích forem. Existuje široká řada druhů ocelí vhodných k výrobě forem. Výhodných vlastností je u ocelí dosahováno legováním, tj. příměsí prvků zlepšujících vlastnosti materiálu a tepelným zpracováním. Jsou sledovány vlastnosti jako je obrobiteľnosť, lešiteľnosť, tvrdosť, prokaliteľnosť, oteruodolnosť, odolnosť agresívnym látkám (korozi), rozměrová stabilita, tepelná vodivost, pevnost, houževnatost, svařitelnost aj. Kromě těchto vlastností hraje při výběru materiálu roli i jeho cena. Zmíněné požadavky jsou často i protichůdné a neexistuje druh oceli, jenž by splňoval všechny nároky. Podle požadavků je možné rozdělit oceli na několik základních skupin a to na: zušlechťené (předtvrzené) oceli, kalitelné oceli, korozivzdorné (nerezové) oceli a oceli k cementování. [12][19]

#### *Zušlechťené oceli*

Oceli, které v ocelárnách projdou kalením a následným popouštěním (tj. zušlechťením), mají obvykle tvrdost pohybující se v rozmezí hodnot 29 až 44 HRC. U takto dodaných polotovarů již není nutné další tepelné zpracování po obrábění, čímž dochází k časové úspoře. S pokrokem v oblasti obrábění materiálů (např. technologie HSC – vysokorychlostní obrábění) je využívání těchto materiálů již běžné a bezproblémové. Do této skupiny patří například oceli: 1.2311 (40CrMnMo7), 1.2312 (40CrMnMoS8-6), 1.2738 (40CrMnNiMo8-6-4), 1.2316 (X38CrMo16) či 1.2711 (54NiCrMoV6). [19]

### ***Kalitelné oceli***

U této skupiny ocelí dochází k tepelnému zpracování po obrábění. Je zde také prováděno kalení s následným popouštěním. Tepelné zpracování má výrazný vliv na změnu vlastností materiálu. Oceli z této skupiny, vlivem obsahu legujících prvků, tak mohou dosáhnout tvrdosti v rozmezí 46 až 62 HRC. Podstatou kalení je vytvoření martenzitické struktury, v důsledku prudkého ochlazení po předchozí austenitizaci. Mezi prvky, které mají největší vliv na prokalitelnost (tj. na schopnost oceli získat po zakalení tvrdost v uvažované hloubce) patří chrom, molybden a nikl. Jelikož dochází k prokalení do větších hloubek, jádro součástí ztrácí houževnatost (na rozdíl v porovnání s povrchovým kalením) a součást je více náchylná k prasknutí. Výjimku představuje ocel 1.2767 s větším obsahem niklu, kvůli němuž si ocel zachovává potřebnou houževnatost. Proto jsou komponenty z forem, které byly kaleny v celém objemu vhodné pro formy s plytkými tvarovými dutinami. Do skupiny kalitelných ocelí patří především oceli 1.2343 (X37CrMoV5-1), 1.2379 (X153CrMoV12), 1.2767 (45NiCrMo16) a 1.2842 (90MnCrV8). [19]

### ***Nerezové oceli***

V speciálních případech, kdy vstřikovaný polymer obsahuje korozivní složky (například retardéry hoření na bázi chloru či bromu) je nutné zvolit materiál odolný korozi. Tohoto lze dosáhnout buďto pomocí pokovování vrstvou chromu či niklu nebo přímo zvolením korozivzdorného materiálu. Tyto nerezové oceli bývají dodávány již v zušlechťeném stavu s tvrdostí cca 30 HRC. Do této skupiny patří například oceli 1.2083 (X40Cr14), 1.2085 (X33CrS16) a 1.2316 (X38CrMo16). [19]

### ***Oceli pro cementování***

Procesem cementování a následným kalením je dosahováno výhodné kombinace vlastností součásti, kdy vznikne součást s povrchem o vysoké tvrdosti (58 až 62 HRC) a současně houževnatým jádrem. U ocelí s nízkým obsahem uhlíku dojde při cementaci ke zvýšení obsahu uhlíku v povrchových vrstvách součástí, které po zakalení získají vyšší tvrdost. Střed součástí ale zůstává houževnatý. Tento postup je používán u ocelí s obsahem uhlíku v rozmezí 0,15 až 0,25 %, po nauhličení se zvýší obsah uhlíku až na 0,8 % ve vrstvách 1–3 mm od povrchu součástí. K ocelím vhodným pro cementování patří oceli 1.2162 (21MnCr5) a 1.2764 (X19NiCrMo4). [19]

### 3.7.2 Slitiny hliníku

Mezi výhodné vlastnosti hliníku obecně patří jeho nízká hustota, dobrá teplotní a elektrická vodivost, hliník je možné tepelně upravovat a snadno obrábět. Mezi výhody součástí vstřikovacích forem ze slitin hliníku patří:

- mají čtyřikrát vyšší teplotní vodivost oproti oceli, což zkracuje dobu chlazení,
- jsou snadněji obrobitelné, což způsobuje úsporu času,
- jejich nízká hmotnost umožňuje snadnější manipulaci,
- dobře odolávají korozi. [19]

Jako legující prvek se do slitin hliníku přidává především hořčík, dále někdy také chrom, mangan, měď nebo zinek. Mezi zástupce těchto slitin patří například slitina 3.3547 či 3.4365. Jsou vhodné například pro vstřikovací formy při produkci menších sérií. [19]

### 3.7.3 Slitiny mědi

Využívání komponent vstřikovacích forem ze slitin mědi je čím dál častější. Výhody těchto slitin spočívají především v jejich výborné teplotní vodivosti. Tlak na zkracování vstřikovacího cyklu pak podporuje používání součástí z těchto slitin, mezi zástupce této skupiny slitin patří například slitiny CuBe, CuCoNiBe a CuNiSiCr. Jsou také využívány pro výrobu vodících a středících elementů, v důsledku jejich nízkého koeficientu tření, zástupcem je bronz CuAl-10Ni5Fe4. [19]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro tuto diplomovou práci byly zadány následující cíle:

- Vypracujte literární studii na dané téma.
- Proved'te konstrukci zadaného plastového dílu.
- Navrhněte 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu.
- Nakreslete 2D výkres sestavy a příslušných řezů.
- Návrh ověřte pomocí analýz.

Cílem teoretické části diplomové práce je literární studie popisující témata: polymery pro vstřikování, technologie vstřikování a konstrukce vstřikovacích forem. Část studie o polymerech má za úkol popsat jejich rozdělení, vlastnosti, aditiva do polymerů aj. Druhá část teoretické části je zaměřena na technologii vstřikování, popisuje samotný proces, vstřikovací cyklus a vstřikovací stroj. Poslední a nejrozsáhlejší kapitola je věnovaná konstrukci vstřikovací formy, cílem je popsat kroky při návrhu vstřikovací formy, jednotlivé systémy tvořící formu, ale i konstrukci forem s využitím konstrukčních a simulačních softwarů.

Úkolem praktické části je navrhnout vstřikovací formu pro zadaný výrobek, ověřit návrh pomocí simulačního softwaru a zhotovit výkresovou dokumentaci formy. Tvorba 3D modelu výrobku, návrh vstřikovací formy i výkresová dokumentace bude vytvořena v programu CATIA V5R19. Následné ověření analýzami procesu vstřikování proběhne v programu Moldflow Synergy 2016.

## **5 POUŽITÉ PROGRAMY**

### **5.1 CATIA V5R19**

Program Catia V5R19 (dále pouze Catia) od francouzské firmy Dassault Systèmes, jehož název je zkratkou anglického pojmenování Computer Aided Three-dimensional Interactive Application, je software pro práci ve 3D zahrnující systémy CAD, CAM a CAE (viz kapitola 3.1.2). Jde o jeden z nejrozšířenějších softwarů, používá se v leteckém či automobilovém průmyslu či při návrhu spotřebních výrobků. Program Catia obsahuje moduly pro konstrukci dílů, tvorbu výkresů a sestav, mechanické a kinematické simulace, konstrukci forem a mnoho dalších. [39]

### **5.2 Autodesk Moldflow Synergy 2016**

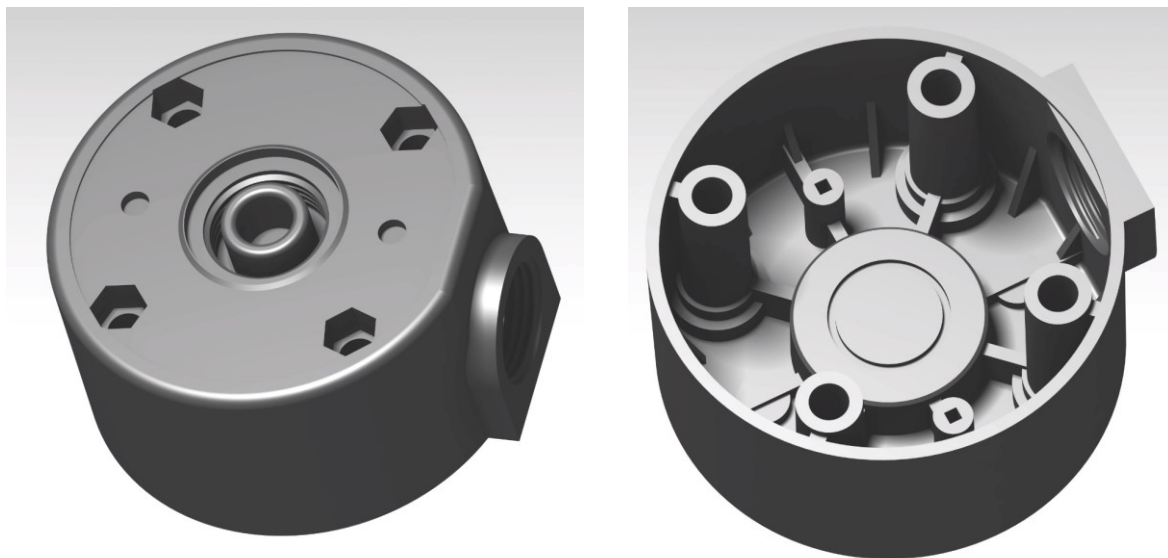
CAE software Autodesk Moldflow Synergy 2016 (dále pouze Moldflow) je simulační program procesu vstřikování plastů. Tento program poskytuje nástroje, jenž umožňují výrobcům predikovat, vyhodnotit a optimalizovat technologický design vstřikovaných dílů a vstřikovacích forem. [40]

### **5.3 Thread Demoulding - Z1500**

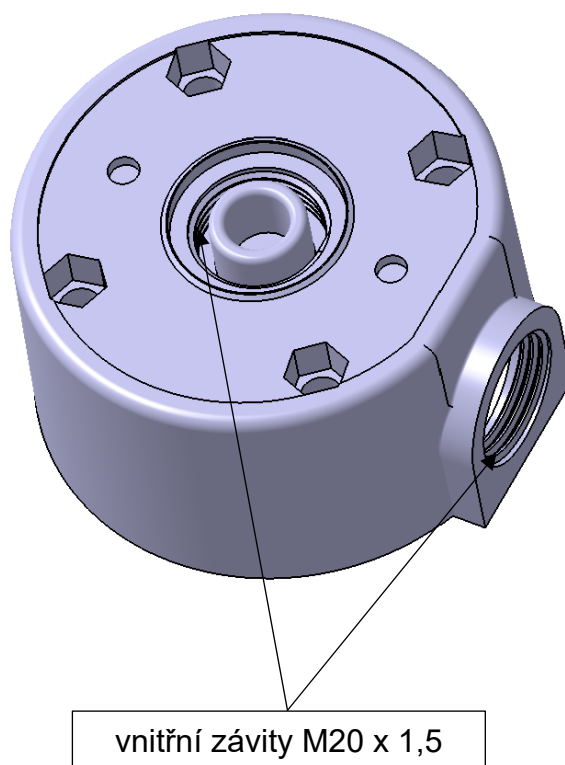
Byl použit program od firmy Hasco, která se specializuje na výrobu normálií pro konstrukci vstřikovacích forem. Tento jednoduchý program usnadňuje volbu komponent pro vytáčecí systémy formy. Po zadání vstupních parametrů popisující závit a způsob odformování program vygeneruje kusovník potřebných dílů (tj. ozubená kola, vytáčecí trny, pohybové šrouby, pera atd.)

## 6 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Zadaným výrobkem je základna světelného majáku signální věže stroje. Rozměry výrobku jsou:  $\varnothing 70$  mm x 37 mm a hmotnost výrobku je 47 g. Na dílu jsou dva vnitřní závity M20 x 1,5 mm. Plánovaná produkce je 500 000 kusů.



Obr. 33 Výrobek – podstava majáku signální věže



Obr. 32 Výrobek s vyznačenými závity

## 6.1 Materiál výrobku

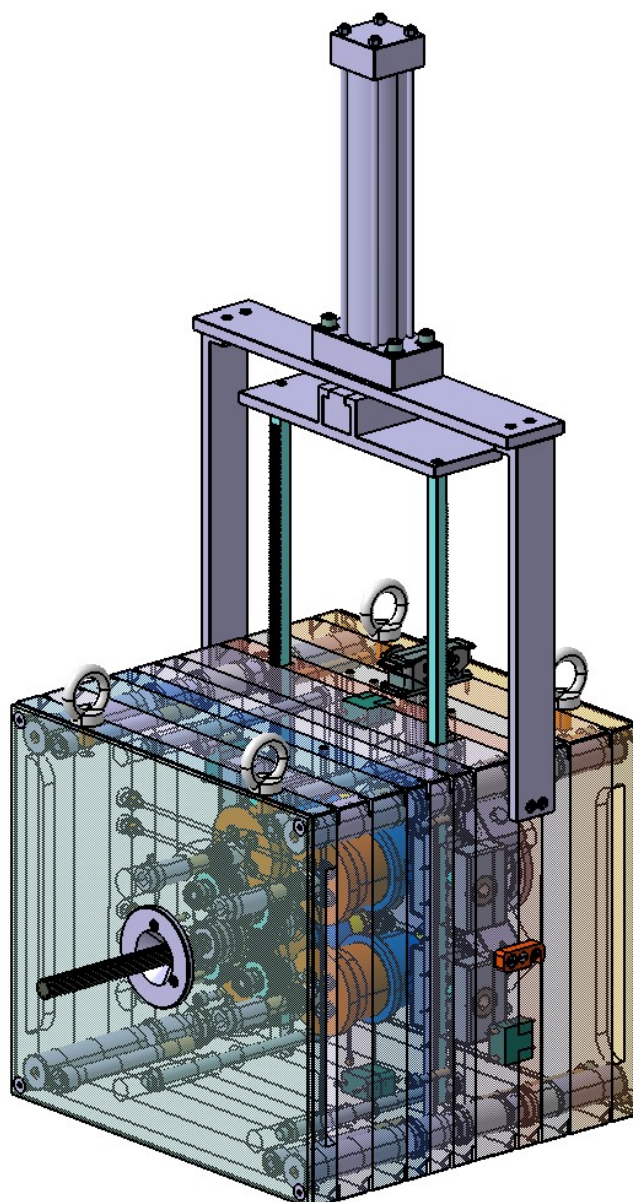
Zvolený materiál je konstrukční termoplast polykarbonát plněný z 10 % skelnými vlákny. Jde o materiál od firmy Covestro (dříve Bayer Material Science) s obchodním názvem Makrolon GF9002. Materiál obsahuje retardéry hoření a je výrobcem označován jako vhodný pro elektrotechnické díly. Materiál se vyznačuje vysokou pevností, tuhostí a dobrou zatékavostí (relativně vysoký index toku taveniny), materiál má také velice malou teplotní roztažnost a tím pádem relativně malé smrštění (0,5 %). Tabulka č. 1 shrnuje základní vlastnosti zvoleného materiálu, údaje o vyhazovací teplotě, maximální smykové rychlosti a smykovém napětí byly získány z materiálové databáze programu Moldflow. Kompletní materiálový list je přiložen v příloze P I.

Tabulka 1 Vlastnosti materiálu Makrolon GF9002 [41]

Parametr	Měřicí metoda	Hodnota	Jednotka
Hustota	ISO 1183-1	1,27	g / cm <sup>3</sup>
Index toku taveniny (300 °C/1,2 kg)	ISO 1133	16,5	g / 10 min
Pevnost v tahu	ISO 527-1	60	MPa
Modul pružnosti v tahu	ISO 527-1	3 900	MPa
Vrubová houževnatost Charpy	ISO 179-1	100	kJ / m <sup>2</sup>
Smrštění (rovnoběžné se směrem toku)	ISO 294-4	0,5	%
Smrštění (kolmé na směr toku)	ISO 294-4	0,45	%
Teplota měknutí dle Vicata (50 N; 50 °C/h)	ISO 306	141	°C
Teplota taveniny	-	280–320	°C
Teplota formy	-	80–120	°C
Vyhazovací teplota	-	140	°C
Maximální smyková rychlost	-	40 000	1/s
Maximální smykové napětí	-	0,5	MPa

## 7 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Konstrukce vstřikovací formy vycházela ze zadání navrhnout čtyřnásobnou vstřikovací formu s vyhřívaným vtokovým systémem pro zadaný výrobek. Konstrukce formy probíhala v programu Catia v modulech Part Design, Assembly Design, Core and Cavity Design a Mold Tooling Design. Modul Part Design byl používán pro vytváření modelu výrobku a dílů tvořících vstřikovací formu, modul Assembly Design slouží k vytváření sestav, modul Core and Cavity slouží k vytváření dílů tvarové dutiny na základě modelu výrobku a modul Mold Tooling design umožňuje pracovat s celou formou a vkládat normálie. Rozměry navržené vstřikovací formy jsou (délka x šířka x výška): 496 mm x 546 mm x 523 mm. Délka formy i s hydraulickým válcem je 1 347 mm.



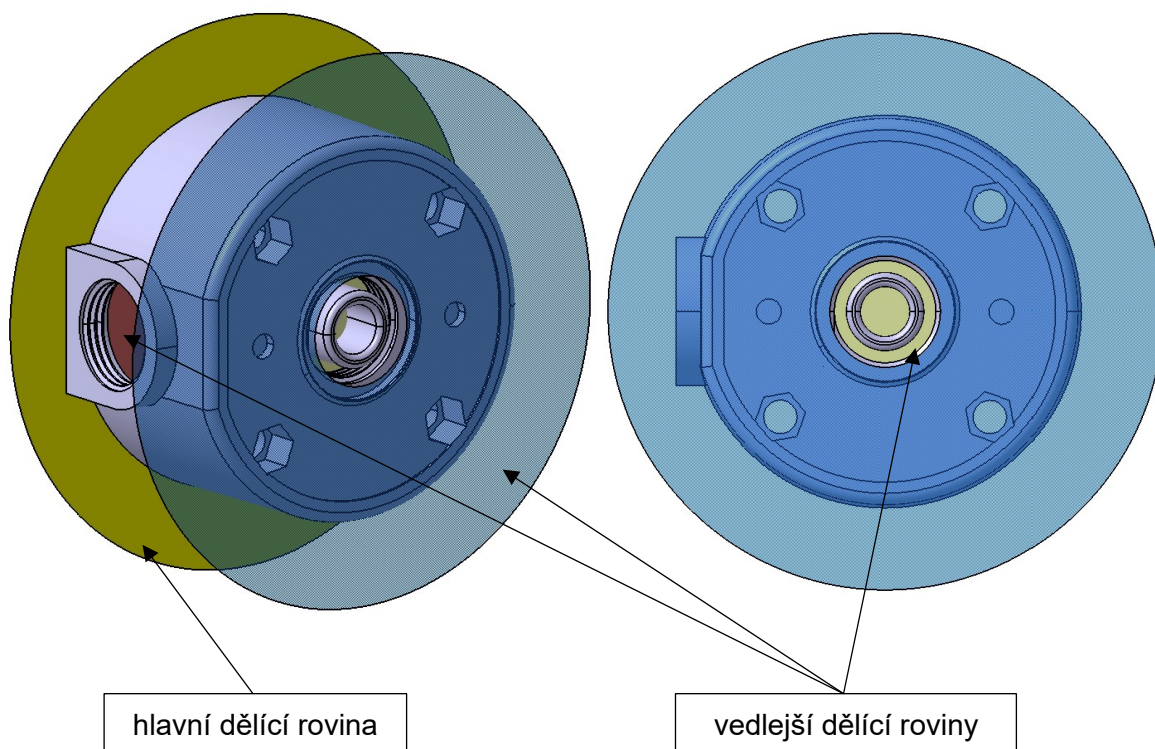
Obr. 34 Celková sestava navržené vstřikovací formy

## 7.1 Volba násobnosti formy

Jedním ze základních kroků při návrhu formy je zvolení její násobnosti, tj. počtu tvarových dutin. Na volbu násobnosti má vliv mnoho faktorů. Z hlediska efektivity je vhodné volit vyšší násobnost, naopak přesnost vstříkovaných výrobků s rostoucí násobností klesá. Volba násobnosti formy také musí brát ohled na rozmístění tvarových dutin, které by měly být uspořádány symetricky. Mezi faktory ovlivňující volbu násobnosti patří tedy: charakter výrobku a jeho přesnost, požadované množství výrobků, kapacita vstříkovacího stroje, termín dodávky aj. Vedoucím této práce byla zadána čtyřnásobná forma.

## 7.2 Zaformování výrobku

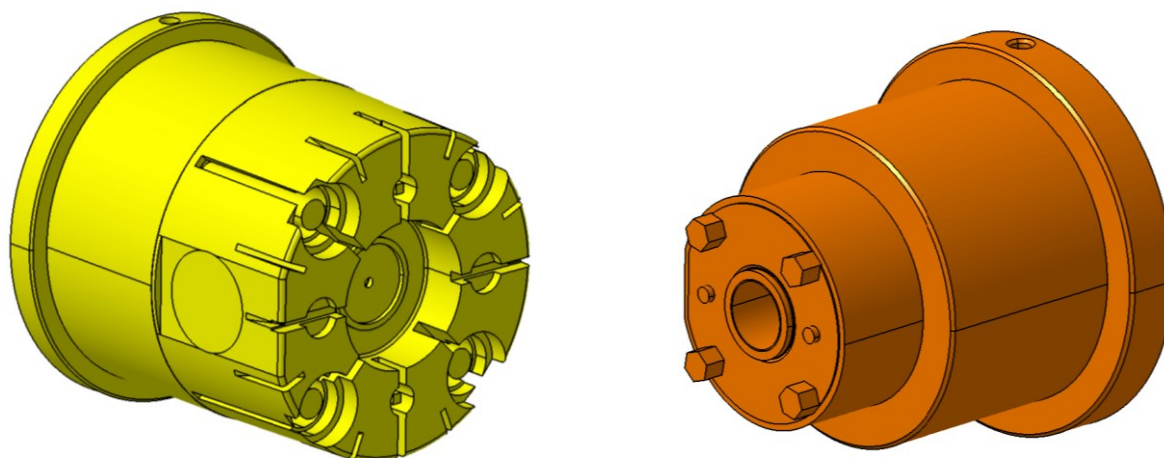
Zaformování výrobku spočívá ve zvolení dělicích rovin, tato volba musí zohledňovat především vtokový systém, odformování bočních dutin a vyhazovací systém formy. Kromě hlavní dělicí roviny byly k zaformování výrobku nutné i tři vedlejší dělicí roviny. Tvarovou dutinu formy tvoří tvárnice, tvárník, stírací kroužek a dva závitové trny. Hlavní dělicí rovina je mezi tvárnicí a stíracím kroužkem, první vedlejší dělicí rovina je mezi tvárnicí a tvárníkem, druhá a třetí vedlejší dělicí rovina je mezi stíracím kroužkem a závitovými trny.



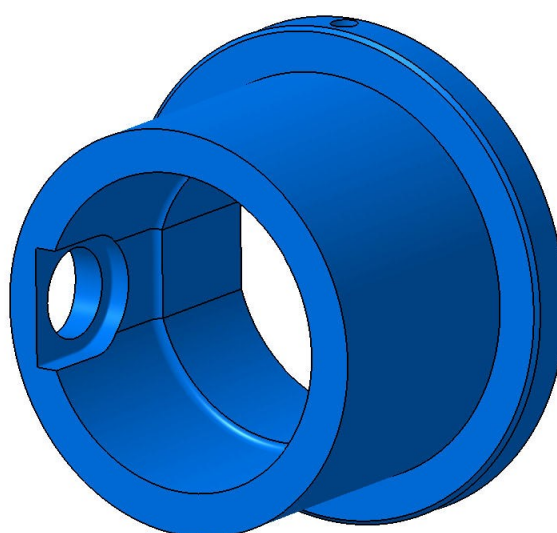
Obr. 35 Zaformování výrobku – zvolené dělicí roviny (1 hlavní a tři vedlejší DR.)

### 7.3 Prvky tvarové dutiny

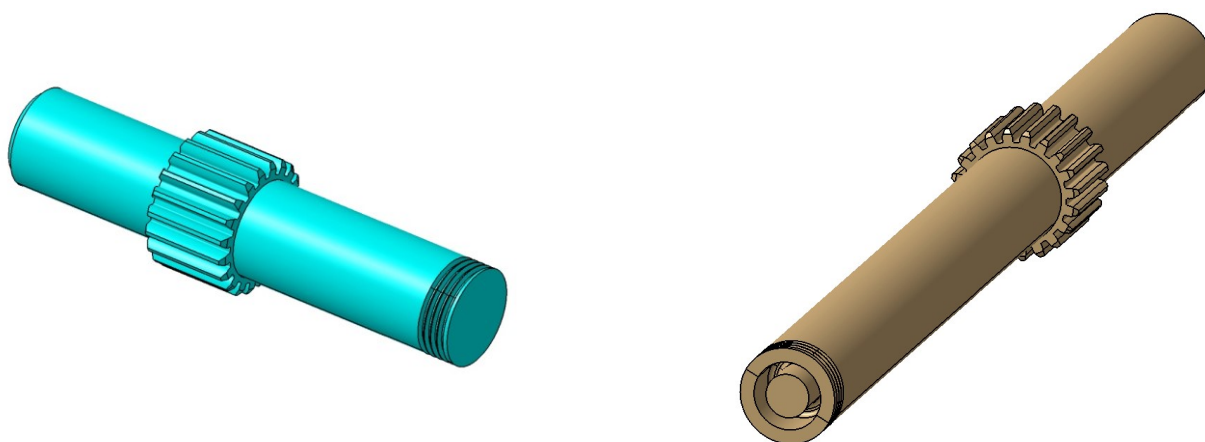
Výrobek získává požadovaný tvar ve tvarové dutině vstřikovací formy. Ta je zvětšena o hodnotu smrštění materiálu 0,5 %. Tvarovou dutinu tvoří tvárnice, tvárník, stírací kroužek a dva závitové trny. Všechny tyto části jsou z nástrojové oceli 1.2343 kalené na hodnotu tvrdosti 52 HRC. Tvárník, tvárnice a stírací kroužek jsou řešeny jako vyměnitelné vložky, které jsou snazší a méně nákladné na výměnu, než by byla výměna celé tvarové desky. Vložky jsou vyměňovány, neboť dochází k jejich opotřebení působením polymerní taveniny, které je znatelné zejména u zvoleného materiálu obsahujícího skelná vlákna. Tvárník, tvárnice i stírací kroužek jsou zajištěny proti pootočení pomocí kolíků.



Obr. 37 Tvárnice (vlevo) a tvárník



Obr. 36 Stírací kroužek



Obr. 38 Závité trny; vlevo závité trn pro odformování závitu kolmého k ose formy, vpravo trn pro odformování závitu rovnoběžného s osou formy

## 7.4 Odformování závitu

Na výrobku jsou dva vnitřní závity M20 x 1,5. První díra se závitem je rovnoběžná se směrem otevírání formy, druhá díra se závitem je kolmá na směr otevírání formy. Obě díry jsou vytvořeny závítovým vytáčecím trnem.

### 7.4.1 Odformování závitu rovnoběžného s osou formy

Díra se závitem rovnoběžná s osou otevírání formy je odformována pohybem otevírání formy, jenž roztáčí vytáčecí mechanismus. Tento mechanismus je tvořen pohybovým šroubem uloženým v pravé části formy, maticí s ozubenými koly, mezikoly, a nakonec závítovými trny. Otevíráním formy dochází k posunu šroubu maticí uloženou v ložiscích, matice s ozubenými koly je roztáčena, ozubená kola roztáčí menší ozubená kola (slouží k překlenutí vzdálenosti), která roztáčí závítové trny. Jeden konec trnu je součástí tvarové dutiny, uprostřed je trn uložen v kluzném ložisku a na druhém konci se trn zašroubovává do matice se stejným závitem jako má vstříkovaný výrobek. Následující výpočet udává minimální otevření formy pro vyšroubování závitu 143 mm.

### Výpočet potřebného otevření formy

Převodové poměry:

$$i_I = \frac{D_3}{D_2} = \frac{25}{50} = 0,5$$

$$i_{II} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{50}{75} = \frac{2}{3}$$



Kde:

$i_{II}$  je převod mezi závitovým trnem a malým ozubeným kolem

$i_{III}$  je převod mezi malým ozubeným kolem a oz. kolem na matici

$D_1, D_2, D_3$  jsou průměry velkého ozubeného kola, malého ozubeného kola a závitového trnu

Výpočet potřebných otáček závitového trnu:

$$n_3 = \frac{h}{P}$$

$$\frac{5}{1,5} = 3,3 \text{ ot}$$

Kde:

$n_3$  je počet otáček závitového trnu (je přidáno jedno otočení z důvodu bezpečného vyšroubování)

$h$  je hloubka díry se závitem

$P$  je stoupání závitu

Výpočet otáček malého ozubeného kola:

$$i_I = \frac{n_2}{n_3} \Rightarrow n_2 = i_I \cdot n_3$$

$$n_2 = 0,5 \cdot 4,3$$

$$n_2 = 2,15 \text{ ot}$$

Výpočet otáček velkého ozubeného kola (kola na matici):

$$i_{II} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow n_1 = i_{II} \cdot n_2$$

$$n_1 = \frac{2}{3} \cdot 2,15$$

$$n_1 = 1,43 \text{ ot}$$

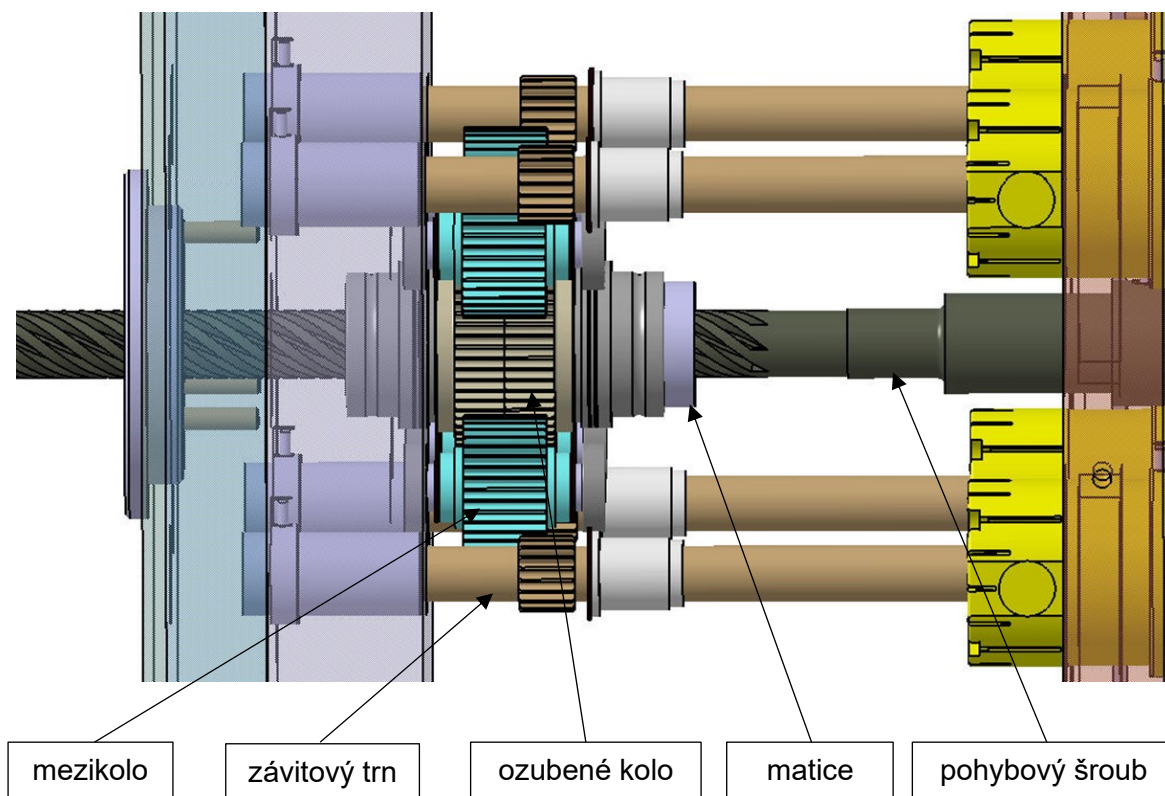
Výpočet potřebného otevření formy:

$$x = n_1 \cdot P_{\text{šroub}}$$

$$x = 1,43 \cdot 100$$

$$x = \mathbf{143 \text{ mm}}$$

$P_{\text{šroub}}$  je stoupání pohybového šroubu



Obr. 39 Mechanismus odformování závitu rovnoběžného s osou formy

#### 7.4.2 Odformování závitu kolmého s osou formy

K odformování díry se závitem, která je kolmá k ose otevírání formy, dochází pomocí závitového trnu poháněného hydraulickým motorem přes ozubený hřeben. Závitový trn je uložen v kluzném ložisku a jeho volný konec se zašroubovává do matice. Hřeben je uchycen na příčnicku, jenž je spojen s pístem hydraulického lineárního motoru. K zašroubování (resp. vyšroubování) závitového jádra dochází, když je forma uzavřena. Následující výpočet udává nutné posunutí ozubených hřebenů alespoň o 340 mm pro bezpečné vyšroubování závitových jader.

Výpočet potřebných otáček závitového trnu:

$$n = \frac{h}{p}$$

$$n = \frac{5}{1,5}$$

$$n = 3,3 \text{ ot}$$

Kde:

h je hloubka díry se závitem

$P$  je stoupání závitu

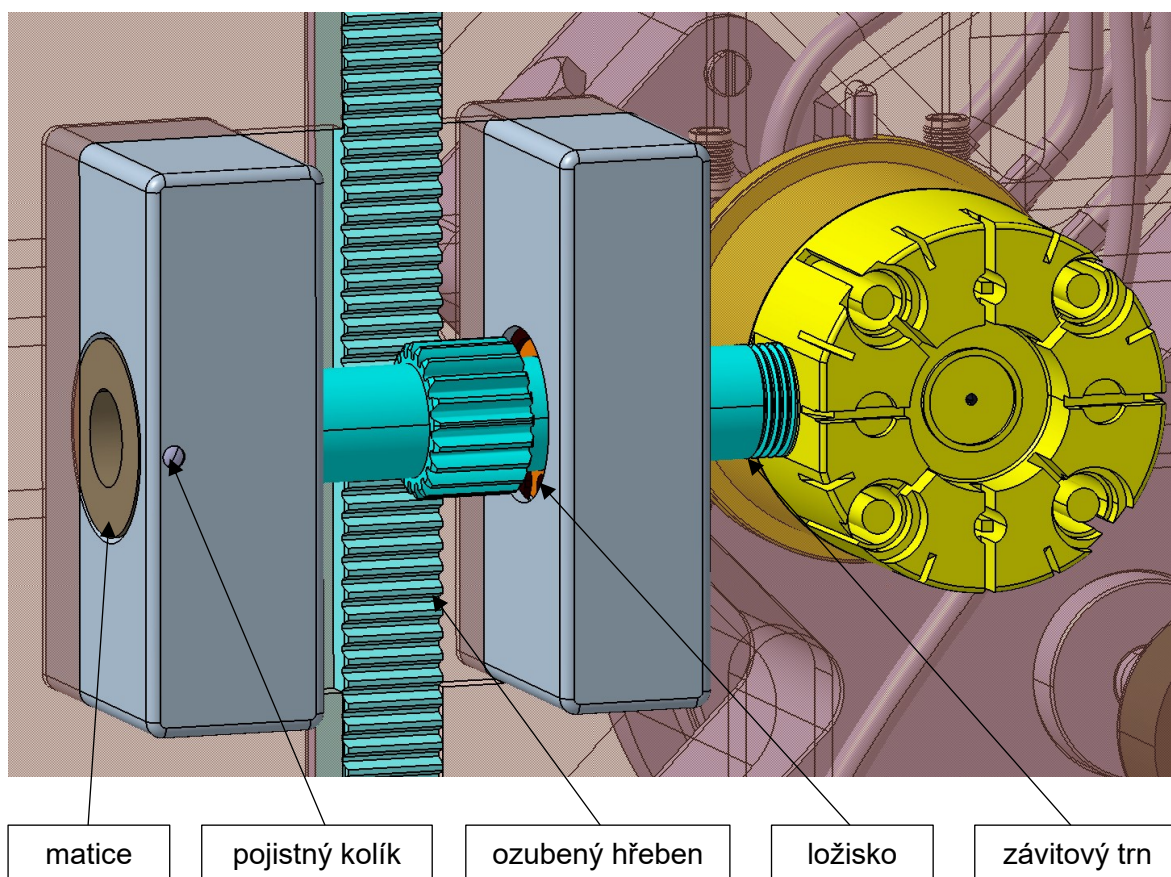
$n$  je počet potřebných otáček závitového trnu (pro spolehlivé vyšroubování byla přidána jedna otočka)

Výpočet posunutí ozubených hřebenů:

$$x = n \cdot \pi \cdot d_{\text{trn}}$$

$$x = 4,33 \cdot \pi \cdot 25$$

$$x = 340 \text{ mm}$$

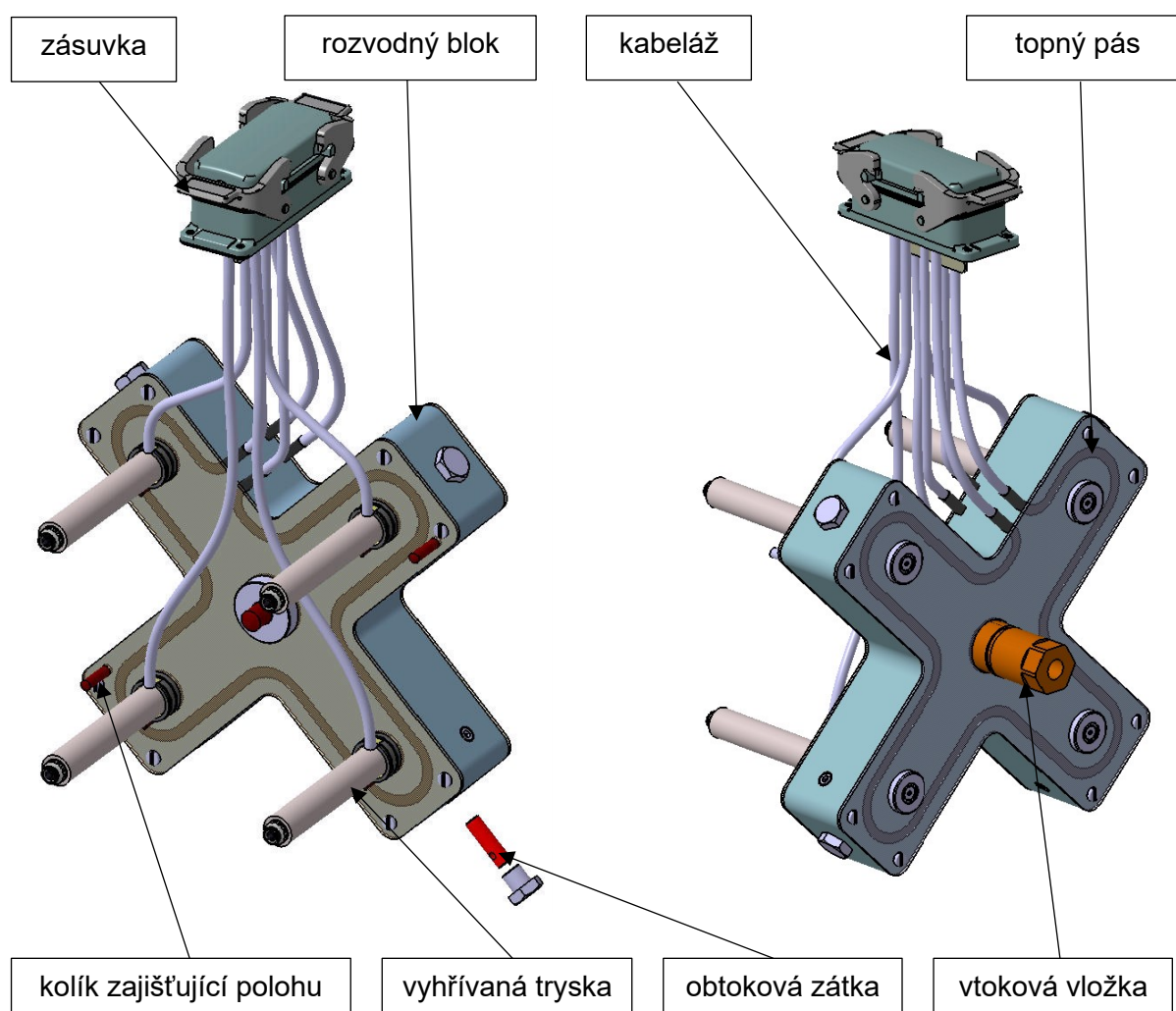


Obr. 40 Mechanismus odformování závitu kolmého k ose formy

## 7.5 Vtokový systém

Úlohou vtokového systému formy je přivést polymerní taveninu ze vstřikovací jednotky vstřikovacího stroje do tvarové dutiny formy. Vedoucím práce byl zadán vyhřívaný vtokový systém. Navržený vtokový systém se skládá z vyhřívaného rozvodného bloku se čtyřmi vyhřívanými tryskami. Tavenina je vedena ze vstřikovací jednotky do vstřikovací formy pomocí vtokové vložky. Rozvodný blok i trysky jsou vyhřívány externě. Vyhřívání umožňuje udržovat konstantní teplotu taveniny. Byla zvolena tryska s označením H6110.

Trysky i ostatní komponenty vtokového systému jsou od firmy Hasco. Trysky i rozvodný blok jsou zajištěny proti pootočení válcovými kolíky.

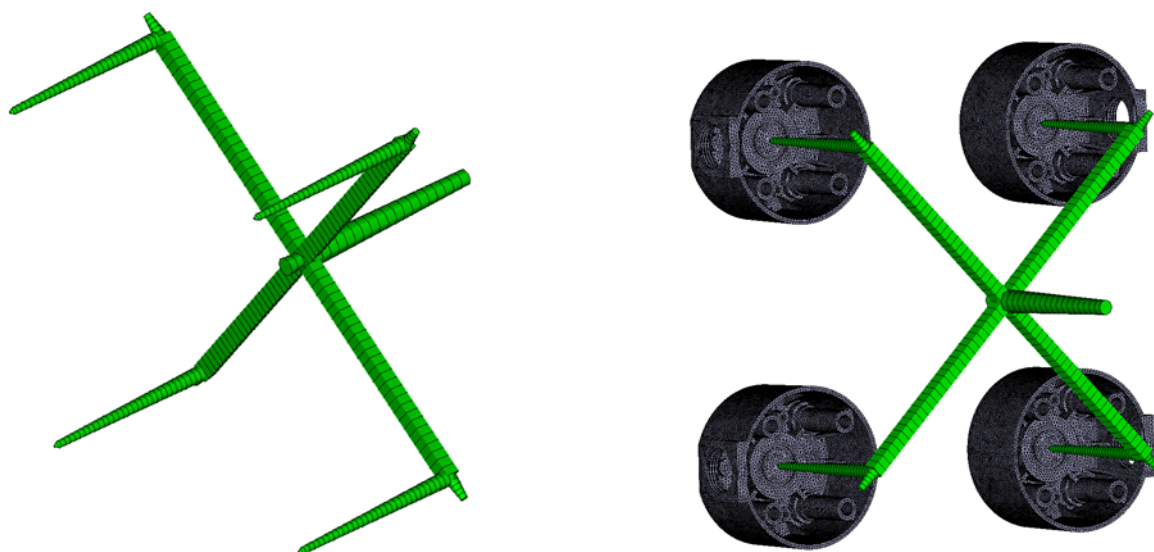


Obr. 41 Vyhřívaný vtokový systém

Tvarová dutina je plněna jedním vtokovým ústím, jenž je umístěno ve středu tvárnice. Vhodnost umístění byla posouzena výsledkem analýzy Gate location. Výsledky této analýzy jsou popsány v kapitole 9.2. Výsledek Gating suitability udává vhodnost umístění vtokového ústí na zvoleném místě cca 68 %.

### 7.5.1 Zhodnocení návratnosti vyhřívaného vtokového systému

Bylo vypracováno zhodnocení návratnosti investice do vyhřívaného vtokového systému formy. Pro zadaný výrobek byl navržen alternativní studený vtokový systém. Cena materiálu ušetřeného eliminací vtokového zbytku je porovnána s náklady na pořízení VVS. Jako studený vtokový systém byl zvolen systém s bodovým vtokovým ústím, používaný u vstřikovacích forem s třídeskovým systémem, systém je zobrazen na obrázku č. 42.



Obr. 42 Navrhnutý studený vtokový systém

Vtokový systém je tvořen vtokovým kanálem, rozvodnými kanály, přídržovačem vtoku, jímkou čela vtoku a vtokovým ústím. Rozměry jednotlivých částí vtokového systému zobrazuje tabulka č. 2. Celkový objem studeného vtokového systému (resp. vzniklého vtokového zbytku) je  $25,869 \text{ cm}^3$  (zjištěno v softwaru Catia). Při hustotě materiálu  $\rho = 1,27 \text{ g. cm}^{-3}$  je hmotnost vtokového zbytku  $32,853 \text{ g}$ .

Tabulka 2 Jednotlivé části studeného vtokového systému a jejich rozměry

Část vtokového systému	Rozměry průřezu [mm]	Délka [mm]
Vtokový kanál	kužel: $\text{Ø } 6,5 - \text{Ø } 10,5$	79
Rozvodný kanál	(horní podstava, dolní podstava, výška) 7,5;5,5;6	100
Komůrka	kužel: $\text{Ø } 6,5 - \text{Ø } 3$	73
Vtokové ústí	kužel: $\text{Ø } 3 - \text{Ø } 1,2$	2,2
Přídržovač vtoku	kužel: $\text{Ø } 5,5 - \text{Ø } 7,5$	10
Jímka čela	kužel: $\text{Ø } 5,5 - \text{Ø } 3$	10

Byl vytvořen odhad ceny vyhřívaného vtokového systému. Jednotlivé položky systému a jejich přibližná cena jsou uvedeny v tabulce č. 4. Je zde zobrazena jejich cena v eurech, přepočít z eur na české koruny byl proveden v kurzu 1 € = 24,4 Kč.

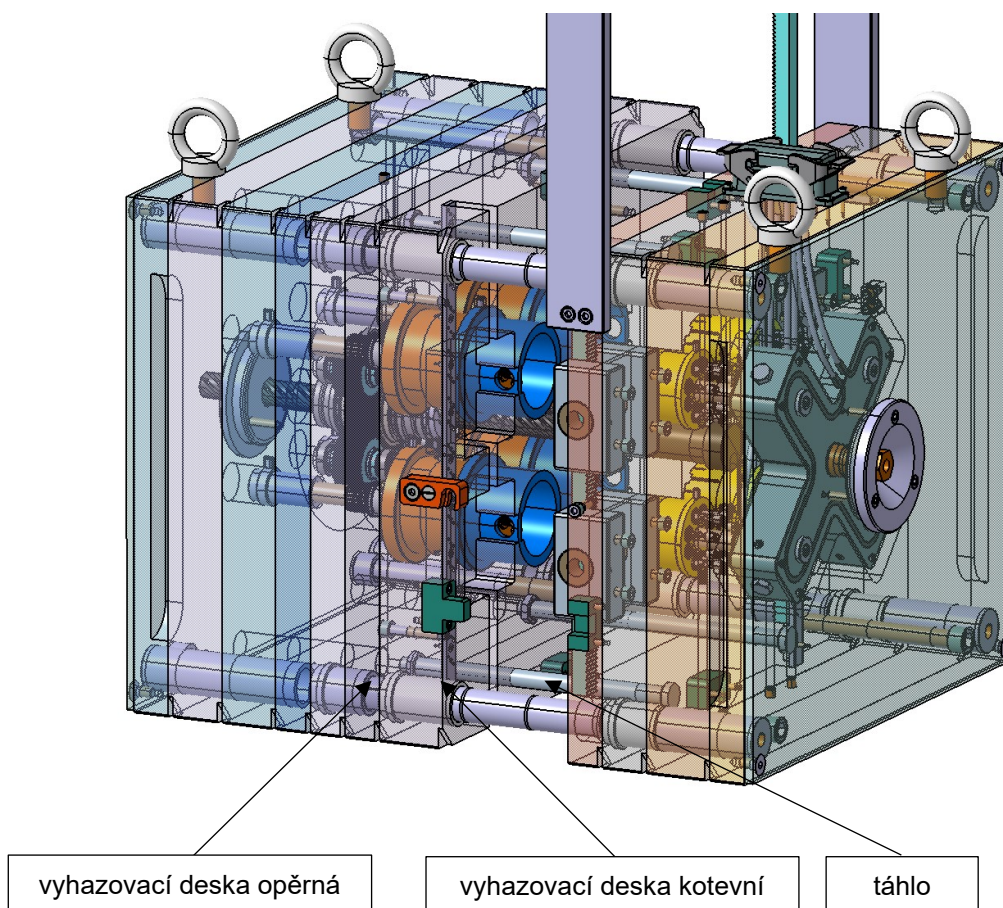
Tabulka 3 Součásti vyhřívaného vtokového systému a jejich cena

<b>Položka</b>	<b>Kusů</b>	<b>Cena za kus [EUR]</b>	<b>Cena celkem [Kč]</b>
Rozvodný blok H4000	1	223,80	5 461
Vyhřívaná tryska H6110/25x125	4	576,35	56 252
Vtoková vložka H1055/1/30x112x12	1	53,20	1 298
Obtoková zátka Z1061/5/9x45	4	15,77	1 539
Zásuvka H1227/16 x 16	1	86,10	2 101
Kabel H1164/1,5 x 4,8	8	18,40	3 592
Deska pro vyhřívání blok	1	550,52	13 433
<b>Celkem:</b>	-	-	<b>83 676</b>

Při ceně materiálu 150 Kč / kg, je investice 83 676 Kč rovna 560 kg materiálu. Vtokový zbytek vzniklý za dobu jednoho vstřikovacího cyklu má hmotnost 32,853 g. Hmotnost 560 kg odpovídá **17 187** vtokovým zbytkům, tj. **68 748** vyrobeným kusům. Z plánované produkce 500 000 kusů vyplývá, že se vyplatí použít vyhřívání vtokový systém.

## 7.6 Vyhazovací systém

Po ochlazení dílů na vyhazovací teplotu jsou výrobky vyhozeny z formy. Bylo zvoleno vyhazování pomocí stíracího kroužku. Výhodou tohoto řešení vyhazování je, že vyhazovací síla působí na relativně větší plochu (ve srovnání s vyhazovacími kolíky), na výrobku tak jsou minimální stopy po vyhození. Dochází také k menším deformacím výrobku. Stírací kroužky jsou uloženy v kotevní desce, ze zadní strany jsou opřeny o opěrnou desku. Obě vyhazovací desky (kotevní a opěrná) jsou spojeny šrouby a k jejich vysunutí dojde vlivem táhel, jež jsou uložena v pravé straně vstřikovací formy. Délka táhel je zvolena tak, aby k jejich záběru došlo až po úplném vyšroubování závitových trnů. V deskách jsou vodící pouzdra, desky se pohybují po vodících čepech. Stírací kroužky jsou z nástrojové oceli 1.2343 kaleny na hodnotu tvrdosti 52 HRC a jsou zajištěny proti pootočení válcovým kolíkem.

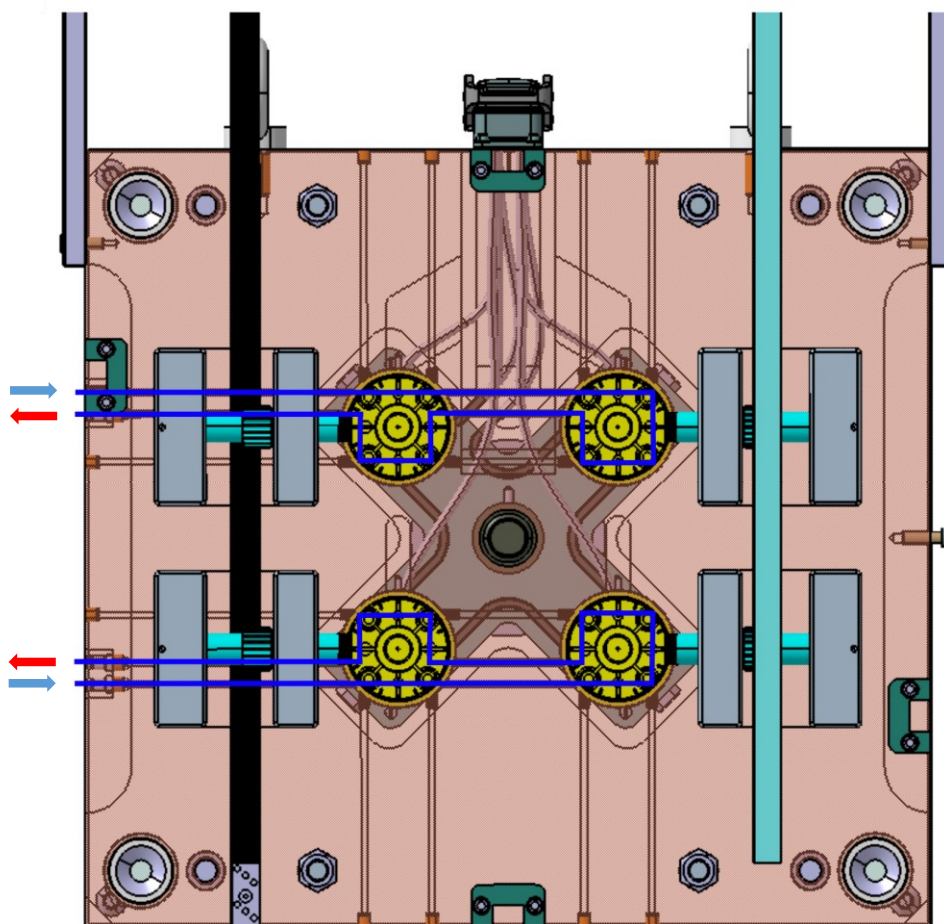


Obr. 43 Zobrazení vstřikovací formy při otevření v hlavní dělicí rovině; vlivem táhel dojde k vysunutí vyhazovacích desek se stíracími kroužky

## 7.7 Temperační systém

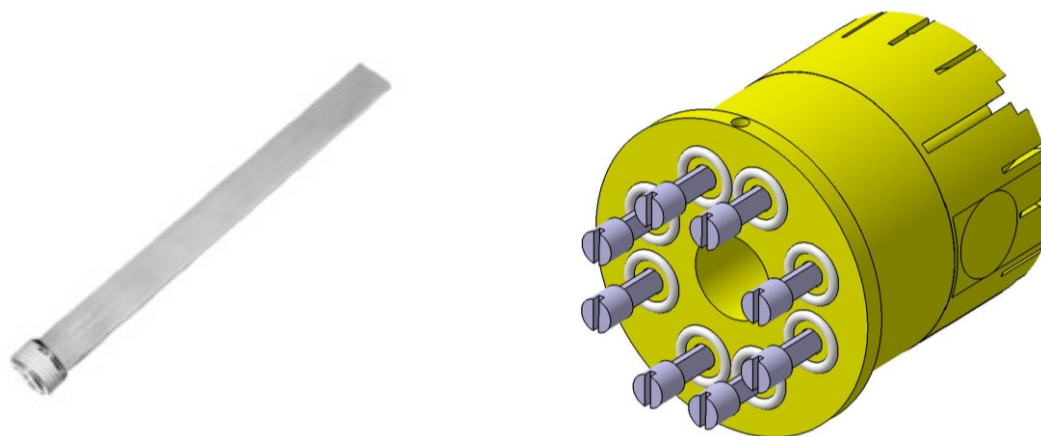
Úkolem temperačního systému je udržovat konstantní teplotní pole po celém povrchu tvarové dutiny vstřikovací formy. Temperace vstřikovací formy slouží k odvodu tepla z tvarové dutiny formy, aby bylo dosaženo optimální, tj. ekonomické délky vstřikovacího cyklu. Navržená vstřikovací forma má po dvou temperačních okruzích na levé i pravé straně formy. Temperační médium je voda o teplotě 75 °C.

Na pravé straně formy je temperace tvárnic řešena soustavou plochých přepážek spojených vrtanými kanály o průměru 8 mm. Jeden okruh zajišťuje temperaci dvou tvárnic, na každou tvárnici připadá osm přepážek. Byla zvolena přepážka od firmy Hasco s označením Z9650/1,7 x 6 x 180.



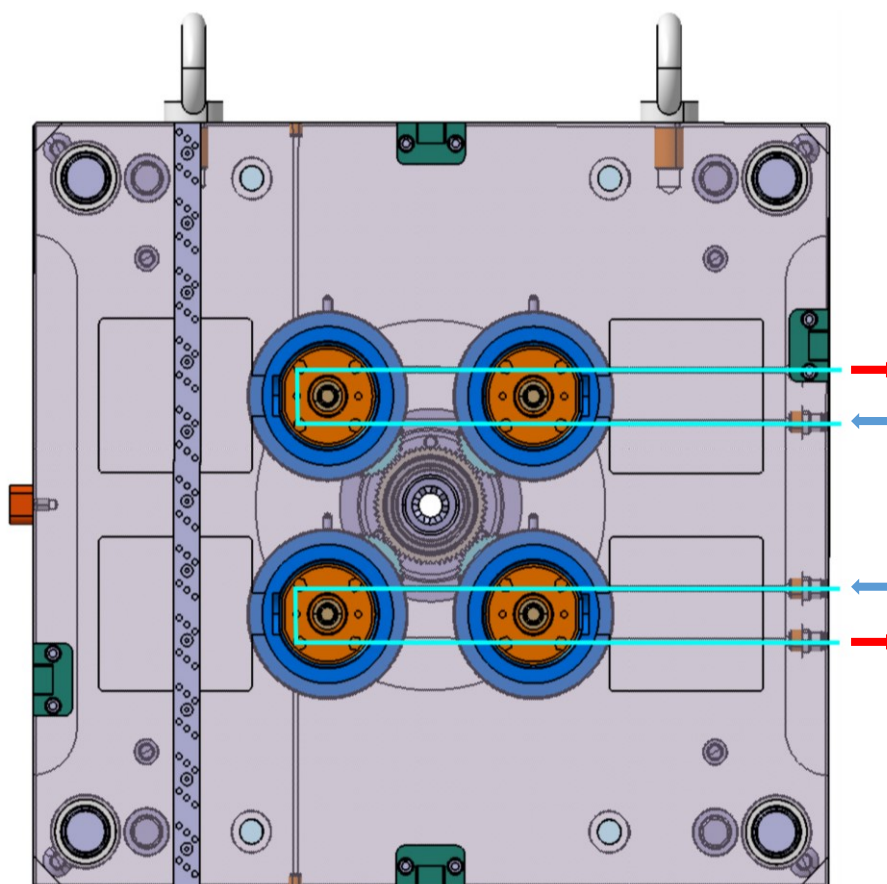
Obr. 44 Temperace pravé strany vstřikovací formy (znázorněny kanály propojující přepážky)



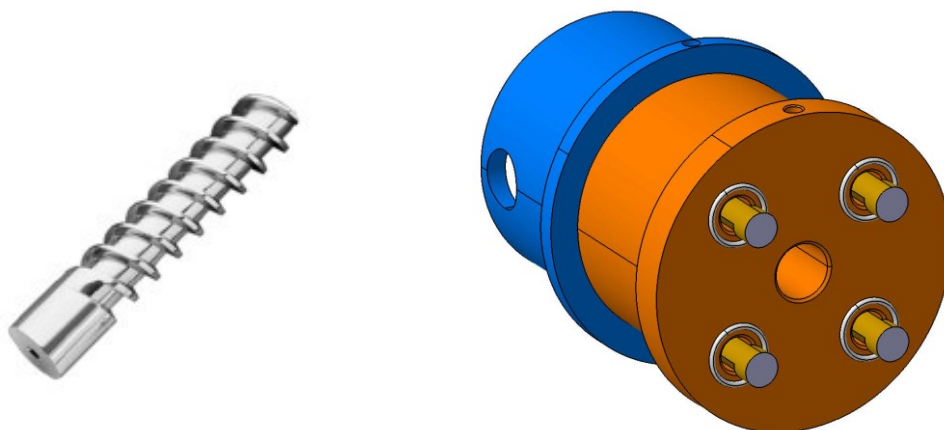


Obr. 45 Vlevo: Plochá přepážka Z9650; vpravo: tvárnice se znázorněným umístěním přepážek temperačního systému

Na levé straně navržené formy jsou tvárníky temperovány pomocí dvojchodých spirálových přepážek. Opět připadá jeden temperační okruh na dva tvárníky. V každém tvárníku jsou čtyři přepážky. Spirálová přepážka byla zvolena od firmy Hasco s označením Z961/ 12 x 125.



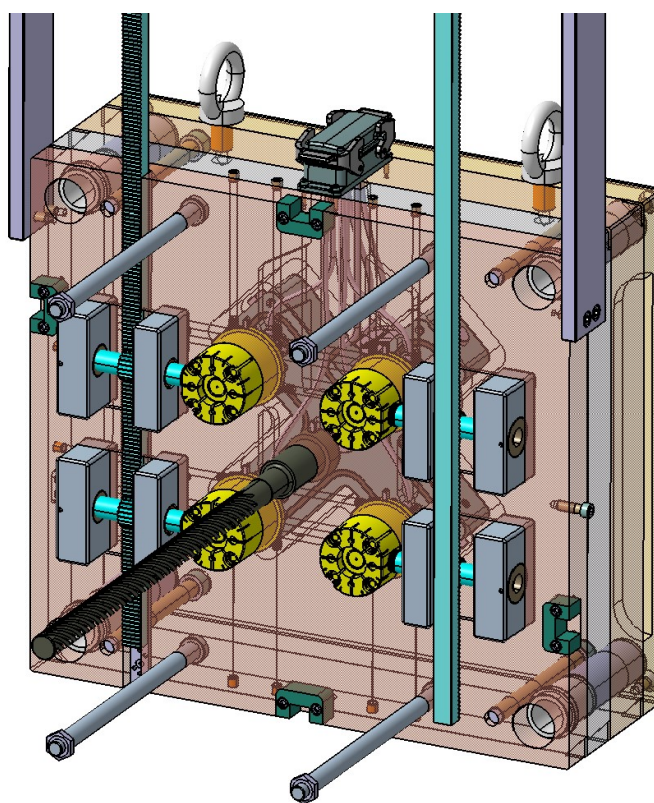
Obr. 46 Temperace levé strany formy (znázorněny kanály propojující přepážky)



Obr. 47 Vlevo: Dvouhoda spirálová přepážka Z961; vpravo: tvárník se znázorněným umístěním přepážek temperačního systému

## 7.8 Pravá strana formy

Pravou (nepohyblivou) stranu navržené vstřikovací formy tvoří celkem pět desek. Jde o izolační desku, upínací desku, desku pro vyhřívání blok, opěrnou desku a desku kotevní. Součástí pravé strany vstřikovací formy je sestava hydraulického válce sloužícího k vyšroubování závitových trnů.

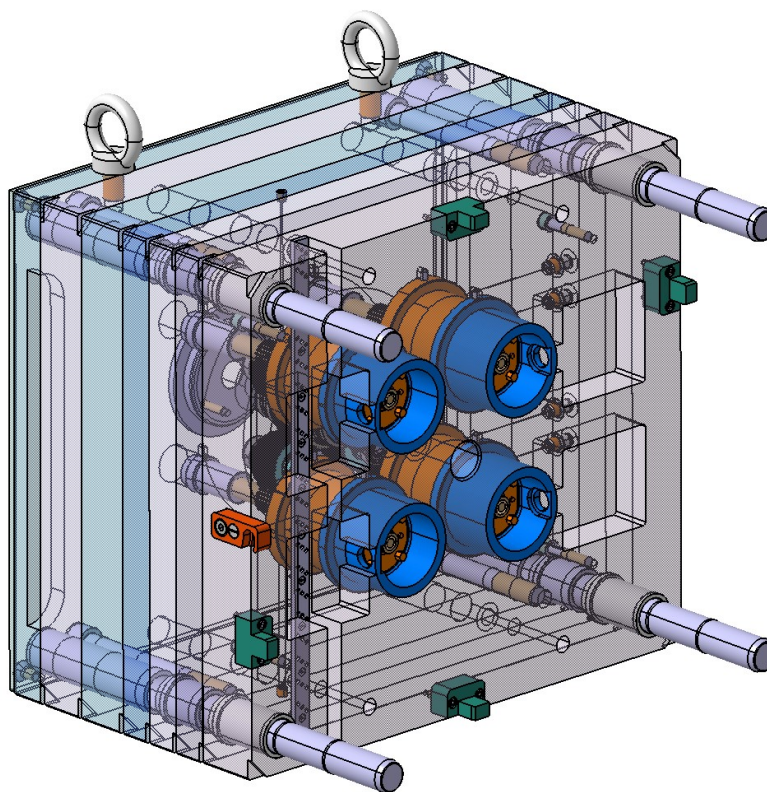


Obr. 48 Pravá (nepohyblivá) strana vstřikovací formy

Desky jsou středěny středícími trubkami a jsou zde také vodící pouzdra pro čepy. Za účelem přesného dosednutí obou polovin vstřikovací formy je kotevní deska opatřena středícími prvky Z072, jejichž protikus Z72 je na levé kotevní desce. U navržené vstřikovací formy nepřesahuje upínací deska ostatní desky, ale je v ní zhotoveno vybrání, kam je možné přidělat upínky pro upnutí formy ke vstřikovacímu stroji. Toto řešení bylo zvoleno, aby nebylo nutné zvolit větší vstřikovací stroj. Pro transport formy, např. pomocí jeřábu, je forma na levé i pravé straně osazena dvěma závěsnými oky.

### 7.9 Levá strana formy

Levá strana navržené vstřikovací formy je tvořena dohromady osmi deskami. Jde o izolační desku, upínací desku, desku s maticemi pro zašroubování závitových trnů, desku s vybráním pro ozubená kola, desku pro ložiska, kotevní desku s tvárníky, opěrnou vyhazovací desku a kotevní vyhazovací desku se stíracími kroužky. Také zde jsou desky středěny pomocí středících trubek, jsou zde také vodící pouzdra a čepy. Levá strana vstřikovací formy je osazena závěsnými oky umožňující transport formy. Je zde také přišroubován transportní pojistka, jenž brání otevření formy při její manipulaci. V rozích desek jsou zhotovena vybrání umožňující snadnější demontáž jednotlivých desek.



Obr. 49 Levá (pohyblivá) strana vstřikovací formy

## 8 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Na základě parametrů navržené vstřikovací formy a požadavků zjištěných předběžnou vtokovou analýzou byl zvolen vstřikovací stroj. Byl vybrán hydraulický vstřikovací stroj s označením Arburg Allrounder 570-C-2000-800(45). Byla zvolena varianta stroje se šnekem o průměru 45 mm. Tabulka č. 4 zobrazuje základní vlastnosti zvoleného vstřikovacího stroje porovnané s kladenými požadavky. Všechny vlastnosti a rozměry zvoleného stroje jsou uvedeny v příloze P II.

Tabulka 4 Srovnání požadavků s vlastnostmi zvoleného vstřikovacího stroje [42]

Parametr [jednotka]	Požadované hodnoty	Hodnoty stroje
Maximální uzavírací síla [kN]	815	2 000
Vzdálenost mezi vodičimi sloupy [mm]	496 x 546	570 x 570
Minimální výška formy [mm]	523	300
Maximální vzdálenost upínacích desek [mm]	667	950
Maximální vstřikovaný objem [cm <sup>3</sup> ]	162	318
Vstřikovací tlak [MPa]	67	247



Obr. 50 Zvolený vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 570-C-2000-800(45) [42]

## 9 ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

Dalším cílem praktické části této diplomové práce bylo ověřit navrženou vstřikovací formu pomocí analýz v simulačním programu Moldflow. Jak bylo zmíněno, simulační programy umožňují rychlejší a méně nákladnou konstrukci vstřikovacích forem. V programu byla provedena analýza Gate location a analýza Cool + Fill + Pack + Warp. Výsledky analýzy Gate location slouží k posouzení vhodnosti umístění vtokového ústí, respektive k celkovému návrhu vtokového systému. Analýza Cool + Fill + Pack + Warp zhodnocuje proces vstřiku, působení dotlaku, teploty a deformaci vstřikovaného výrobku.

### 9.1 Nastavení okrajových podmínek

#### 9.1.1 Síť modelu a její vlastnosti

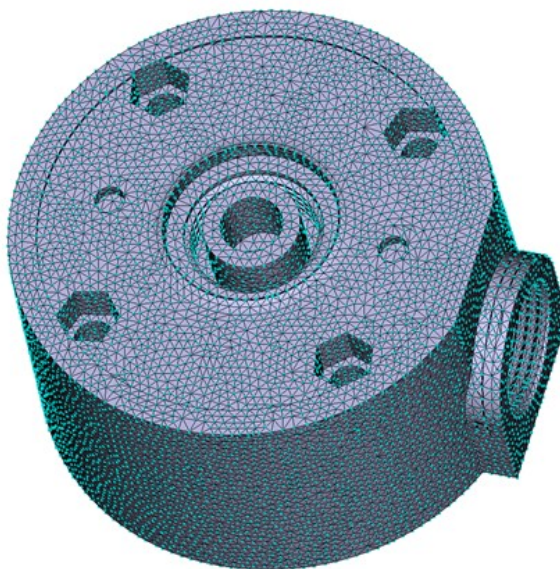
Pro potřeby analýzy byl použit upravený 3D model výrobku, tento model byl nahrán ve formátu .catpart. Model neobsahuje zaoblení menší, než je R2. Byla použita síť typu Dual-domain, ta rozdělí výrobek na trojúhelníkové elementy, aby mohla být použita metoda konečných prvků (FEM). Hodnota délky hrany elementu (global edge length) byla nastavena na hodnotu 1,5 mm. Po vytvoření sítě elementů byla kvalita sítě zkontrolována příkazem mesh statistic. Mezi kontrolované vlastnosti sítě patří:

- poměr stran trojúhelníku (aspect ratio): má být <20,
- počet volných hran (free edges): musí být 0,
- počet nepropojených hran elementů (non-manifold edges): musí být 0,
- počet neorientovaných elementů (elements not oriented): musí být 0,
- počet protínajících se elementů (elements intersection): musí být 0,
- počet překrývajících se elementů (fully overlapping elements): musí být 0,
- procentuální shoda (match percentage): musí být alespoň 50 % (optimálně > 80 %).

Výsledky kontroly:

- poměr stran trojúhelníku (aspect ratio – maximum): 16,27 %,
- počet volných hran (free edges): je 0,
- počet nepropojených hran elementů (non-manifold edges): je 0,

- počet neorientovaných elementů (elements not oriented): je 0,
- počet protínajících se elementů (elements intersection): je 0,
- počet překrývajících se elementů (fully overlapping elements): je 0,
- procentuální shoda (match percentage): 88,5 %.



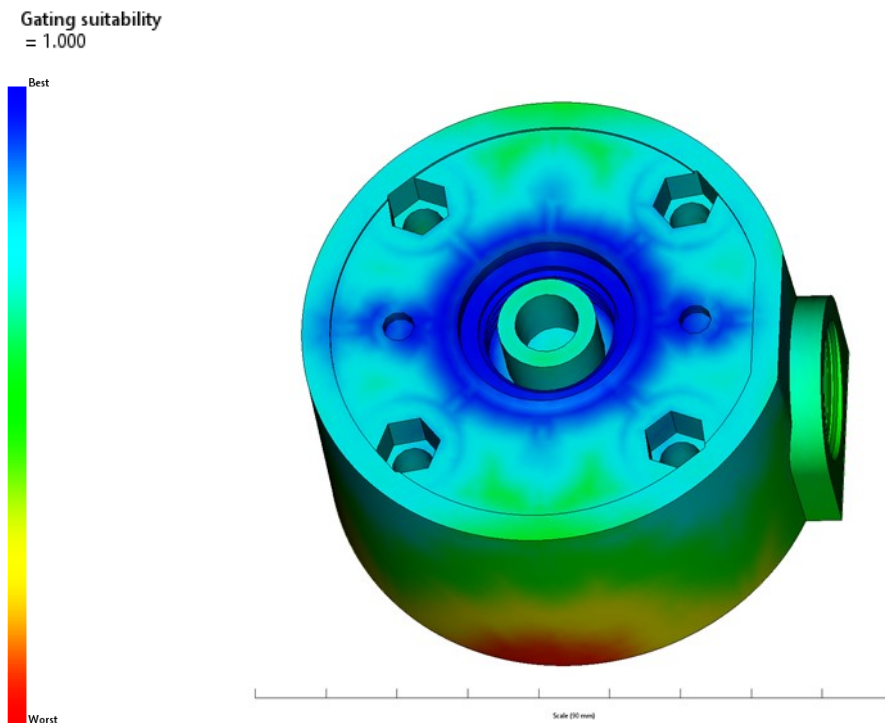
Obr. 51 3D model výrobku pokrytý sítí typu Dual domain tvořenou trojúhelníkovými elementy

## 9.2 Analýza Gate location

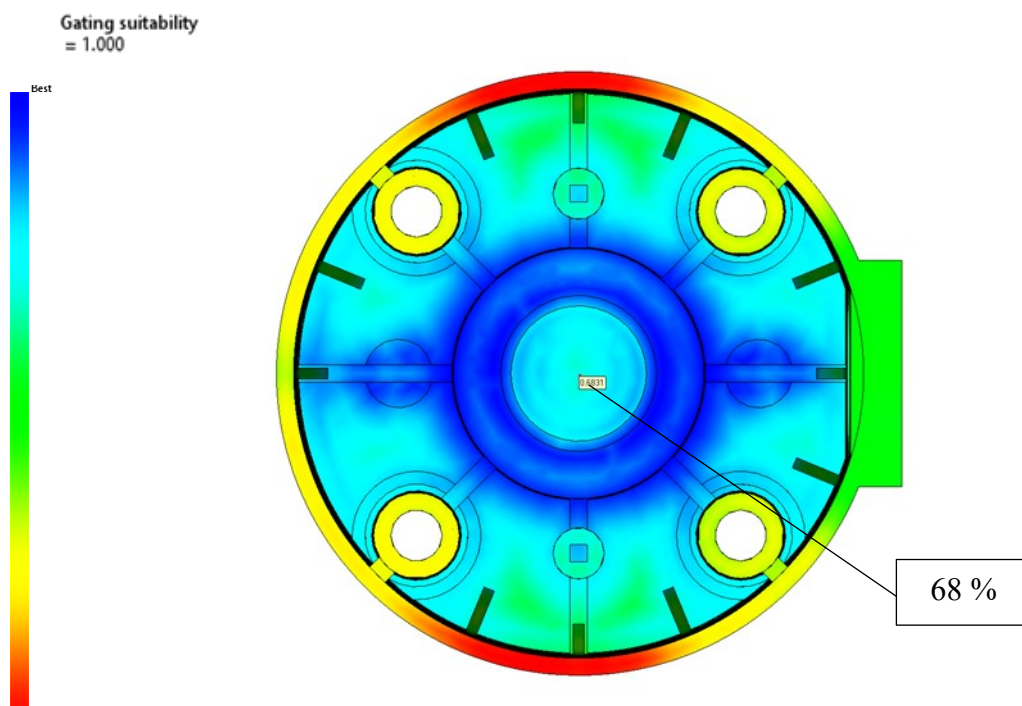
Cílem této analýzy je zhodnotit vstřikovaný díl z hlediska optimálního umístění vtokové ústí a celkové koncepce vtokového systému vstřikovací formy. Výsledky této analýzy přispěly při návrhu formy pro zadaný výrobek. Z analýzy Gate location jsou dostupné dva výsledky, a to vhodnost umístění vtokového ústí (Gating suitability) a indikátor odporu toku (flow resistance indicator). Výsledek Gating suitability byl použitý při výběru umístění vtokového ústí (viz kapitola 7.5). Pro analýzu bylo nutné zadat použitý materiál, vstřikovací stroj, teplotu taveniny a teplotu formy. Byl zvolen již popsáný materiál polykarbonát Makrolon GF9002 a stroj Arburg ALLROUNDER 570-C-2000-800(45). Teploty taveniny a formy byly ponechány na hodnotách navržených programem.

Na obrázcích č. 52 a č. 53 jsou zobrazeny výsledky Gating suitability, vlevo na obrázcích je osa zobrazující míru vhodnosti umístění ústí. Vtokové ústí bylo umístěno do místa, ve

kterém analýza předpovídá 68 % vhodnost. Výsledky je třeba brát pouze jako pomocné a orientační, neboť neberou ohled na zaformování dílu a celkovou koncepci vstřikovací formy.



Obr. 52 Výsledek Gating suitability zobrazující vhodnost umístění vtokového ústí



Obr. 53 Výsledek Gating suitability, je zobrazena hodnota vhodnosti v místě skutečného umístění vtokového ústí

### 9.3 Vtokový systém

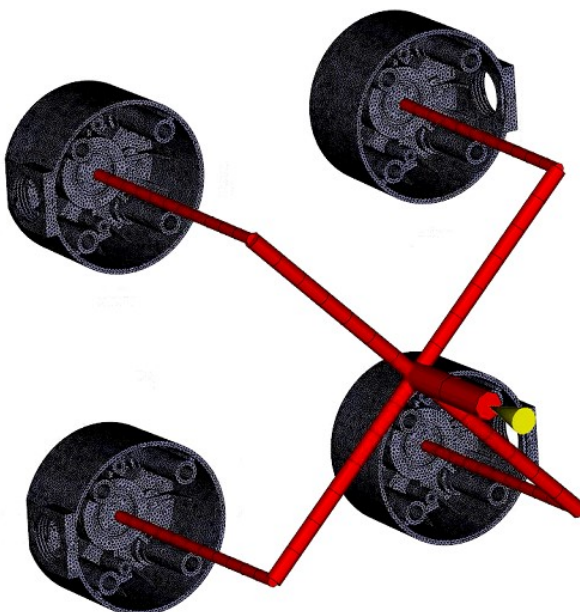
Vtokový systém je tvořen vtokovou vložkou, která přivádí taveninu do rozvodného bloku, který taveninu rozvádí do čtyř vyhřívaných trysek. Vtokový systém až na výjimku vtokového ústí byl nakreslen v softwaru Catia, uložen jako formát .igs a importován do softwaru Moldflow. Zde k němu bylo dokresleno vtokové ústí a systém byl vysítován beam elementy. Platí, že u beam elementů, což jsou elementy tvořící vtokový nebo temperační systém, by se měla hodnota poměru délka / průměr elementu pohybovat kolem 2,5. Byla provedena diagnóza sítě příkazem Mesh diagnostic: Beam L/D ratio zobrazující tento poměr.

Tabulka 5 Části vtokového systému a jejich rozměry

Část vtokového systému	Rozměry průřezu [mm]	Délka [mm]
Vtokový kanál	Ø 12	56
Rozvodný kanál 1	Ø 7	100
Vyhřívaná tryska	Ø 5	120
Vtokové ústí	kužel Ø 5→ Ø1,2	3,2

### 9.4 Temperační systém

Navržená vstřikovací forma má celkem čtyři temperační okruhy. Na levé straně formy je temperace řešena systémem plochých přepážek širokých 6 mm spojených vratným kanálem o průměru 8 mm. Na každou tvárnici připadá osm přepážek. Na levé straně formy zajišťuje temperaci systém spirálových přepážek o průměru 12 mm spojených kanálem o průměru 7

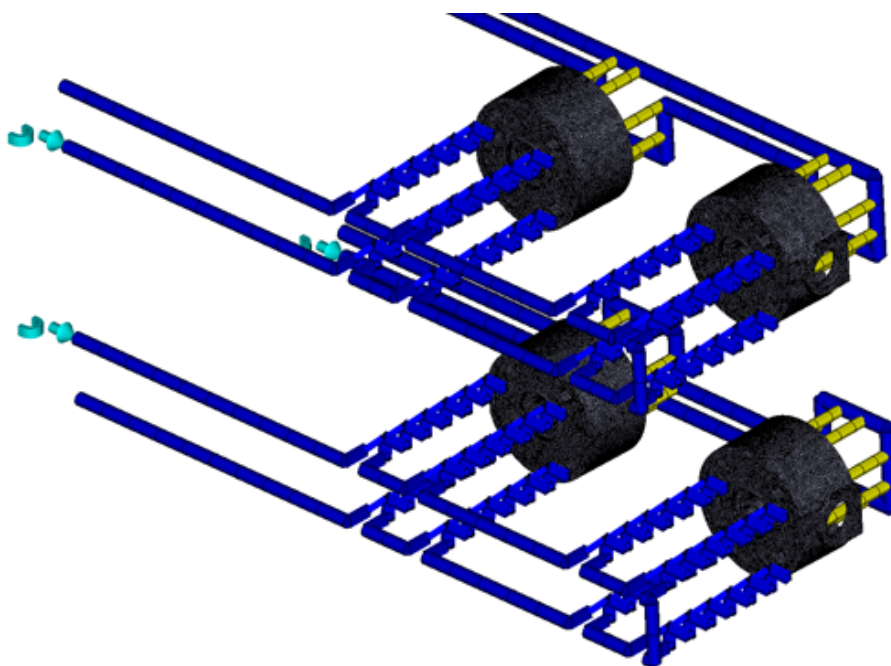


Obr. 54 Vtokový systém se sítí tvořenou beam elementy



mm. Na každý tvárník připadají čtyři přepážky. Jako temperační médium byla zvolena čistá voda, kterou je možné použít, neboť teplota formy nepřesahuje 100 °C (teplota formy byla nastavena na 80 °C). Teplota temperačního média na vstupu je 75 °C.

Temperační systém byl nakreslen v softwaru Catia, uložen jako formát .igs, importován do softwaru Moldflow. a zde byl vysít'ován beam elementy. Jelikož temperační systém je také složen z beam elementů, byla i zde provedena kontrola poměru L/D funkcí Beam L/D.



Obr. 55 Temperační systém se sítí tvořenou beam elementy

Temperace je celkem tvořena čtyřmi okruhy. Pro okruhy na pravé (nepohyblivé) straně formy bylo zvoleno následující nastavení:

- temperační médium: voda,
- teplota temperačního média: 75 °C,
- temperace řízena způsobem: podle průtoku 4 l/min.

Pro okruhy na levé (nepohyblivé) straně formy bylo zvoleno následující nastavení:

- temperační médium: voda,
- teplota temperačního média: 75 °C,
- temperace řízena způsobem: podle tlaku 6 bar.

Následně byl nastaven blok vstřikovací formy podle skutečných rozměrů navržené formy.

Tabulka 6 Rozměry bloku vstříkovací formy v programu Moldflow

Rozměr (směr souřadného systému)	Rozměr [mm]
Výška (osa z)	523
Šířka (osa x)	546
Délka (osa y)	496

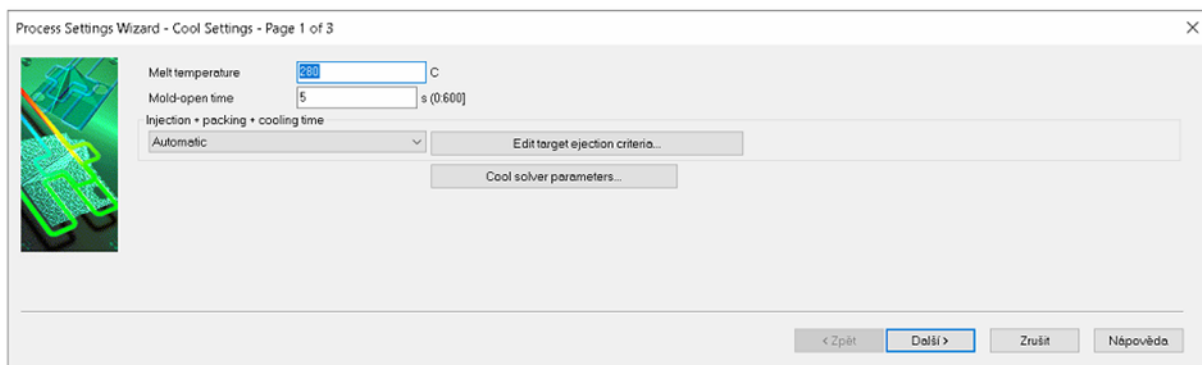
## 9.5 Nastavení procesních podmínek analýzy

V prvním kroku probíhá nastavení vztažené k teplotě (část cool). Je nutné zadat teplotu taveniny, dobu, po kterou je forma otevřená, teplotu povrchu formy, vyhazovací teplotu a minimální část ztuhlého výrobku v době vyhození.

Bylo zadáno následující nastavení:

- teplota taveniny: 280 °C,
- doba kdy je forma otevřená: 5 s,
- teplota povrchu formy: 80 °C,
- vyhazovací teplota: 140 °C,
- část ztuhlého výrobku při vyhození: 90 %.

Nastavení je zobrazeno na obrázcích č. 56 a č. 57.



Obr. 56 Nastavení parametrů pro analýzu cool + fill + pack + warp (část cool)

Obr. 57 Nastavení parametrů vyhození

V dalším kroku je zadáváno nastavení pro část vstříknutí a dotlaku (fill + pack). Je nutné zvolit způsob kontroly vstříkování, přepnutí z fáze plnění na dotlak a kontrolu dotlakové fáze. Bylo nastaveno následující:

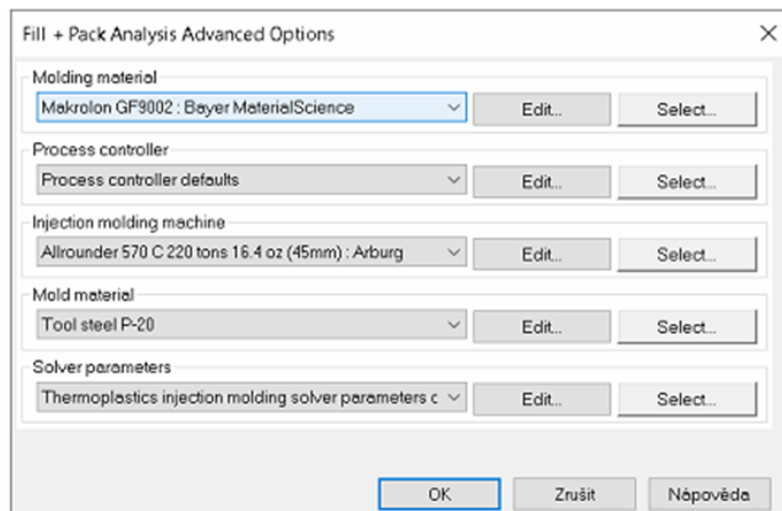
- kontrola plnicí fáze (fáze vstříknutí): pomocí času plnění 1,6 s,
- přepnutí z fáze plnění na fázi dotlaku: podle procenta objemového zaplnění 99 %,
- kontrola dotlakové fáze: podle závislosti vstříkovací tlaku na čase,
- nastavení fáze dotlaku: 70 % hodnota vstříkovacího tlaku po dobu 20 s.

Obr. 58 Nastavení parametrů pro analýzu cool + fill + pack + warp (část fill + pack)

	Duration s [0:300]	%Filling pressure % [0:200]
1	0	70
2	20	70
3		
4		

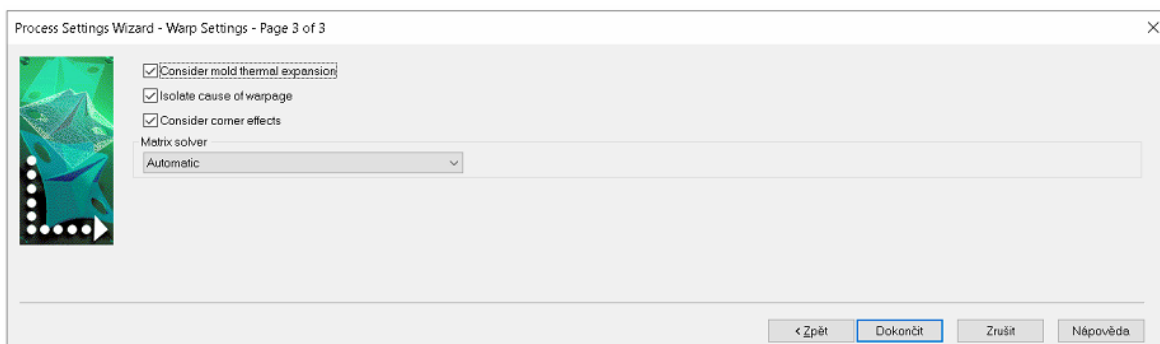
Obr. 59 Nastavení profilu závislosti vstříkovacího tlaku na čase

Dále jsou zvolena tzv. pokročilá nastavení. Je vybrán vstřikovací stroj, je potvrzena volba materiálu, ostatní volby zůstávají ve výchozím stavu. Volbu těchto parametrů zobrazuje obrázek č. 60.



Obr. 60 Volba pokročilých parametrů pro část analýzy fill + pack

Posledním krokem bylo nastavení pro část analýzy zabývající se deformacemi (warp). Zde bylo zvoleno ať analýza počítá s teplotní roztažností formy, izoluje důvody deformací a zohlední tzv. corner efekty. Na obrázku č.61 lze vidět nastavení analýzy warp.



Obr. 61 Nastavení parametrů pro analýzu cool + fill + pack + warp (část warp)

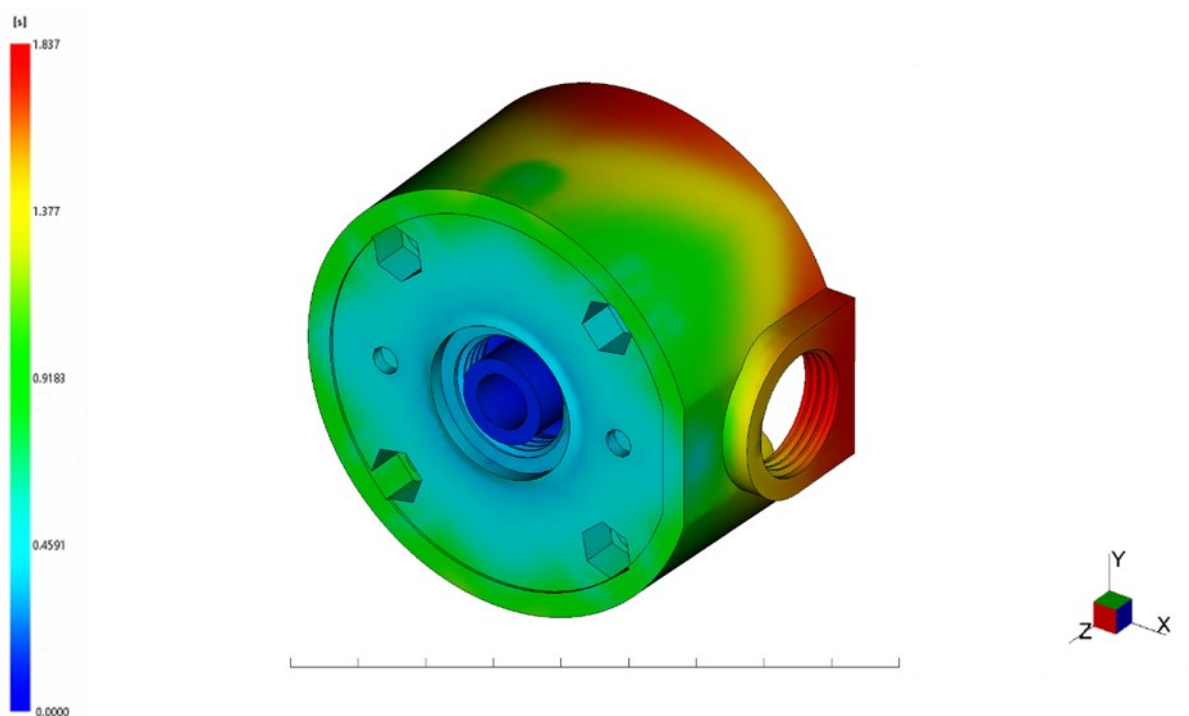
## 9.6 Analýza fáze plnění a dotlaku

Výsledky týkající se fáze plnění a dotlaku jsou brány ze skupiny výsledků fill. Z této skupiny byly vybrány pro popis následující výsledky: doba plnění (fill time), čas pro dosažení vyhazovací teploty (time to reach ejection temperature), uzavírací síla (clamp force), místa

uzavřeného vzduchu (air traps), studené spoje (weld lines) a orientace vláken (orientation at skin).

### 9.6.1 Doba plnění (Fill time)

Výsledek doba plnění znázorňuje, jak probíhal proces vstříknutí taveniny a její zaplňování dutiny. Nejdůležitější je zde, zda tavenina dotekla až do konce a výrobek tedy neměl nedotečená místa a také údaj o době, kterou zaplnění trvalo. Červená barva označuje místa, kam tavenina dotekla nejpozději. Lze pozorovat, že výrobek nemá nedotečená místa (byla by vyznačena šedou barvou). Naplnění celé tvarové dutiny trvá 1,837 s.

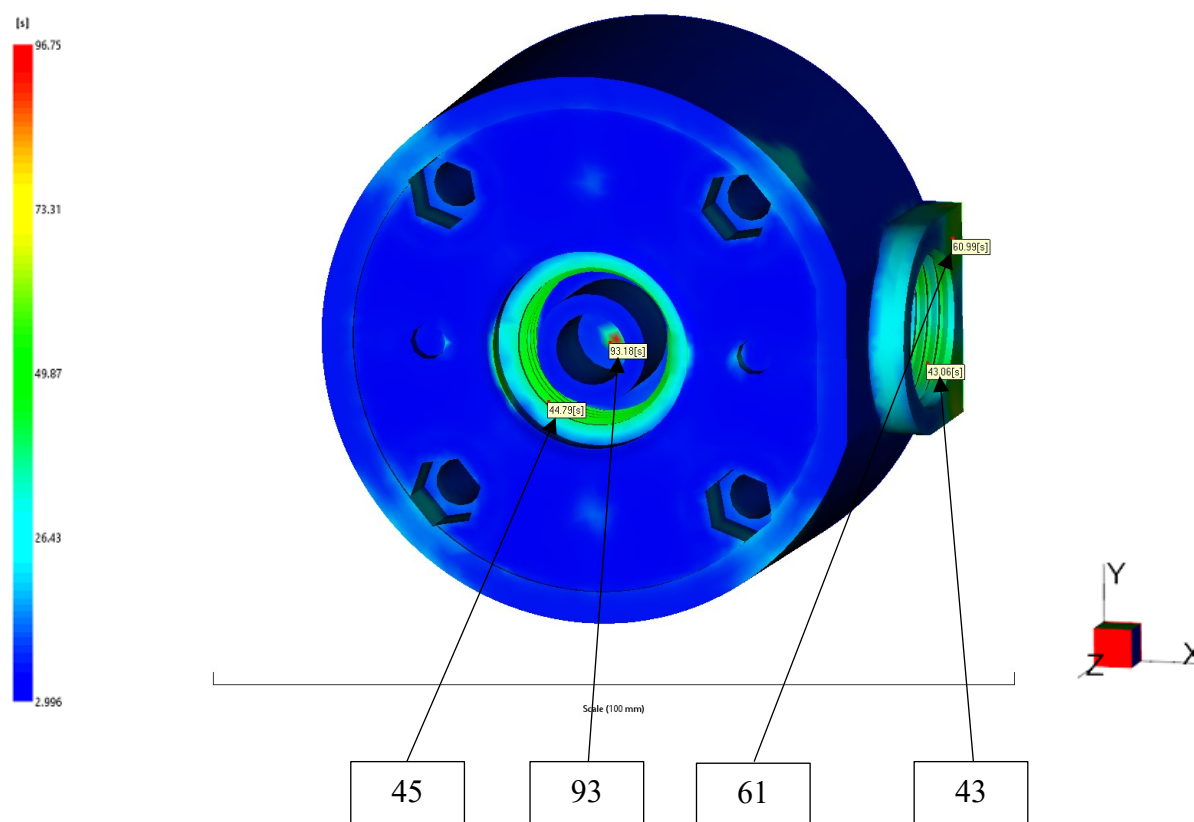


Obr. 62 Zobrazení průběhu plnění

### 9.6.2 Čas pro dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

Vyhazovací teplota je teplota, při které je díl možné vyhodit, aniž by byl při vyhazování nějak deformován. Byla nastavena hodnota dle materiálu 140 °C. Hodnoty časů pro dosažení této teploty jsou vyznačeny na obrázku č. 63. Lze konstatovat, že nejvyšších hodnot je dosahováno v místech obou otvorů se závitem, neboť samotné závitové trny nejsou nijak ochlazovány. Čas potřebný k ochlazení na vyhazovací teplotu v těchto problematických místech dosahuje maximálně 61 s. Ačkoliv stupnice na obrázku č. 63 zobrazuje celkovou dobu nutnou k ochlazení na 96,75 sekund, tato hodnota platí pouze pro velmi malou plošku.

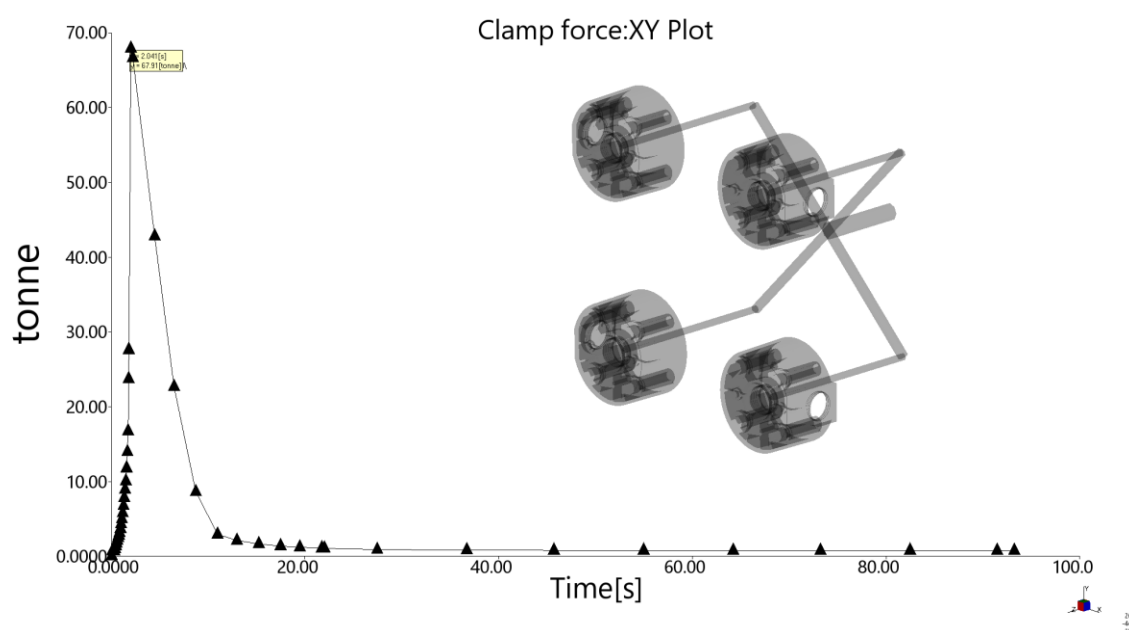
Stírací kroužek působí silou na místa, která zatuhnou mnohem dříve a vyhození by tak bylo možné již po zmíněných 61 s.



Obr. 63 Zobrazení časů nutných pro dosažení teploty vyhazování v problematických místech

### 9.6.3 Uzavírací síla (Clamp force)

Uzavírací síla je síla, kterou působí uzavírací jednotka vstřikovacího stroje během vstřikování a dotlaku, aby se forma neotevřela a nevznikly přetoky. Na obrázku č. 64 je vidět maximální hodnota potřebné uzavírací síly o hodnotě 67,91 t (679 kN). Tuto hodnotu je nutné zvětšit o rezervu 20% tj.  $67,91 \cdot 1,2 = 81,5$  t (815 kN). Maximální uzavírací síla zvoleného vstřikovacího stroje je 2 000 kN, stroj tedy vyhovuje.

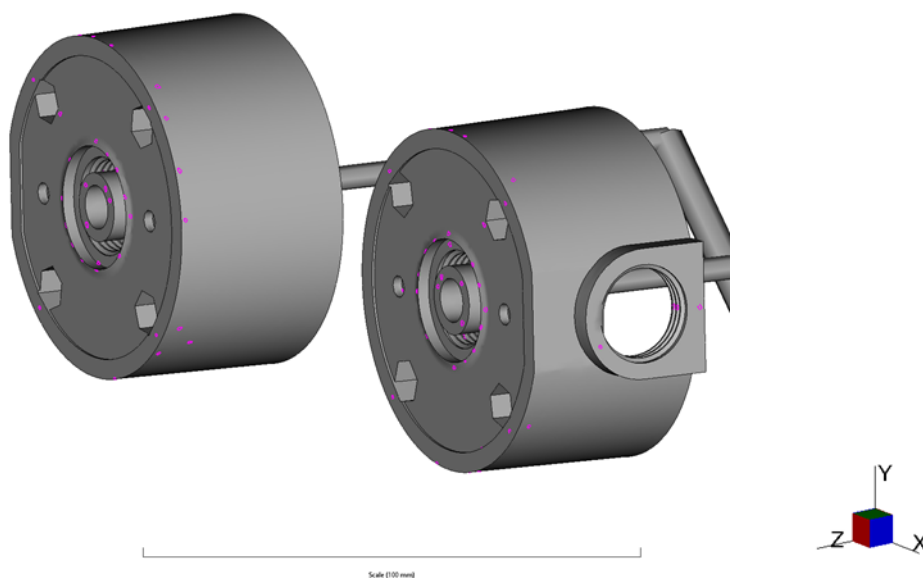


Obr. 64 Graf zobrazující závislost uzavírací síly na čase

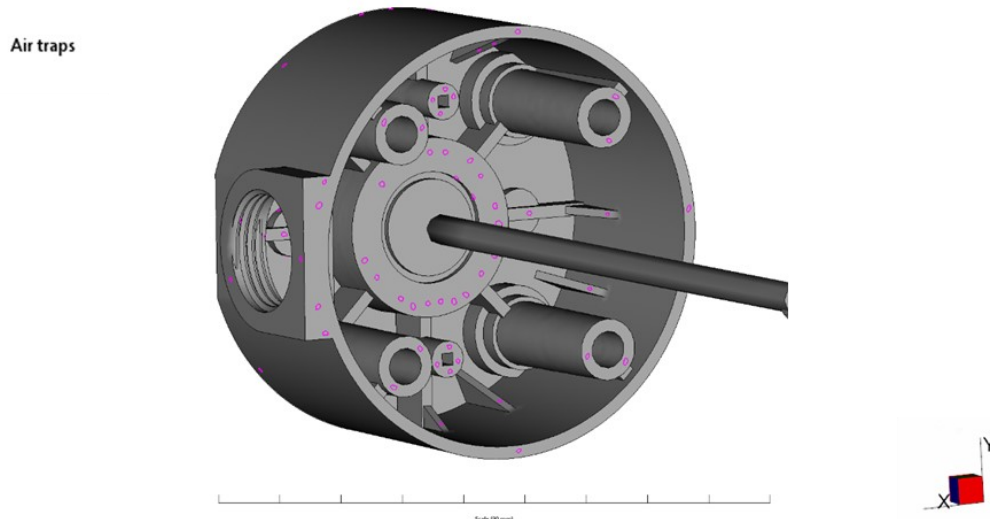
#### 9.6.4 Místa uzavřeného vzduchu (Air traps)

Výsledek air traps zobrazuje místa, kde může dojít k uzavření vzduchu. Uzavřený vzduch, který nemá možnost uniknout může vést k nedotečeným místům, studeným spojům, lunkrům nebo vzniku Diesel efektu, kdy dojde ke spálení materiálu v místě uzavřeného vzduchu.

Air traps



Obr. 65 Zobrazení míst, kde může dojít k uzavření vzduchu (lícová strana)

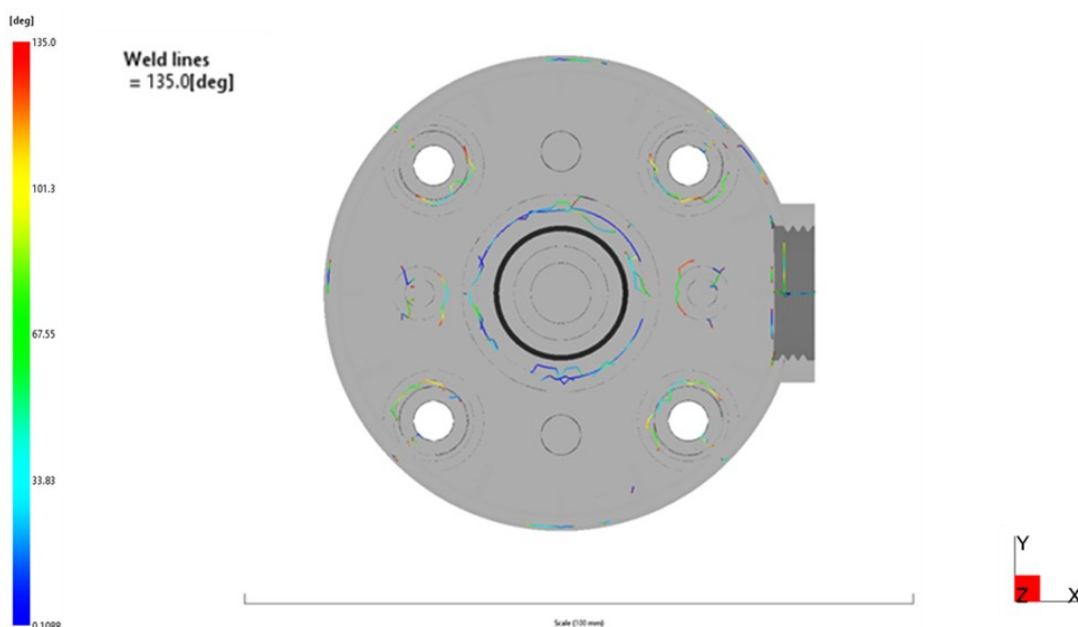


Obr. 66 Zobrazení míst, kde může dojít k uzavření vzduchu (rubová strana)

Na obrázcích č. 65 a č. 66 jsou zmíněná místa vidět, vzduch je uzavírán především v hlavní i ve vedlejší dělicí rovině (mezi tvárnici a stíracím kroužkem a mezi tvárnici a tvárníkem. Vzduch tedy může do určité míry těmito místy unikat. Pokud by to nebylo dostatečné, je možné zhotovit v dělicích rovinách odvzdušňovací kanály s hloubkou cca 0,05 mm.

### 9.6.5 Studené spoje (Weld lines)

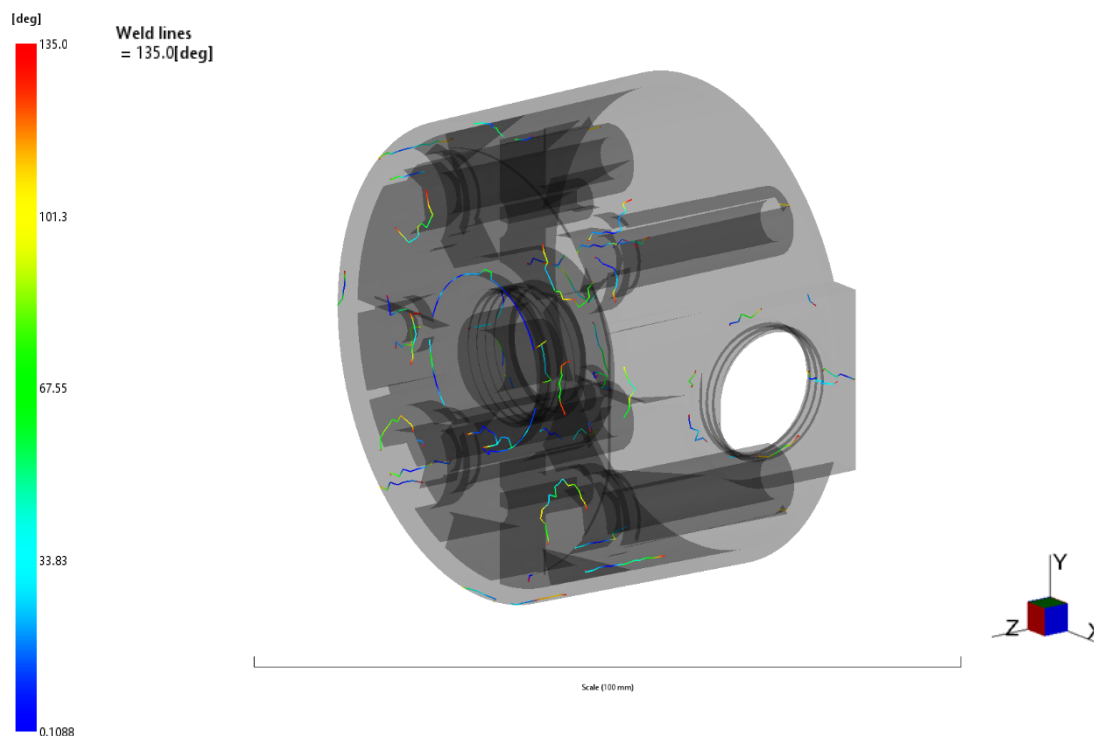
Studený spoj je místo, kde dojde ke styku dvou čel proudů taveniny (pokud je více vtokových ústí nebo pokud se jeden proud rozdělil o překážku a následně opět spojil). Na obrázcích č. 67 a č. 68 lze vidět vyznačená místa, kde by studené spoje mohly vzniknout.



Obr. 67 Zobrazení míst, kde může dojít ke vzniku studených spojů



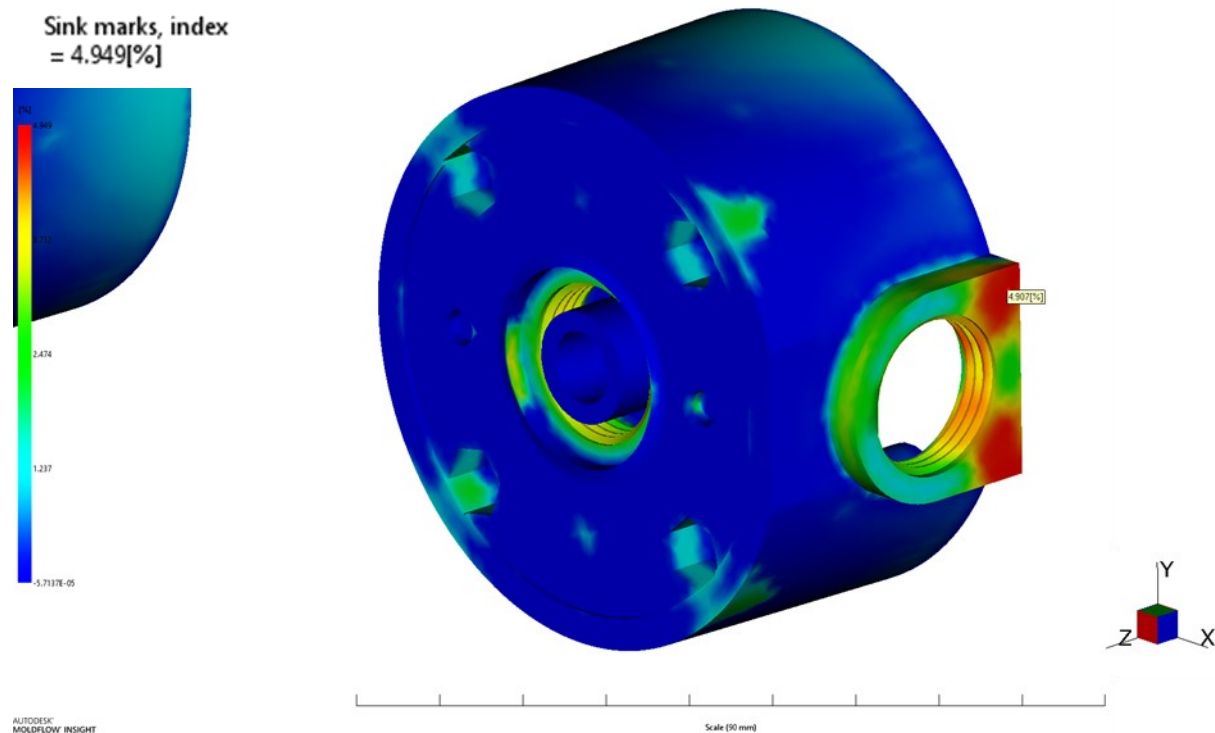
Zde by mohl představovat riziko studený spoj vznikající u otvoru se závitem kolmém na osu formy, neboť studený spoj v tomto místě je náchylný na prasknutí. Pokud by studené spoje představovaly problém, například tím, že by se vytvořili v místě, kde je součást mechanicky namáhána, tak by byla snaha je odstranit změnou umístění vtokového ústí. Pokud změna vtokového ústí není možná, pak se dají vlastnosti studeného spoje zlepšit zvýšením teploty taveniny a teploty vstřikovací formy.



Obr. 68 Zobrazení míst, kde může dojít ke vzniku studených spojů

### 9.6.6 Propadliny (Sink marks)

Propadliny na výrobku vznikají v důsledku smrštění. Toto smrštění se kompenzuje dotlakem a pokud tato kompenzace není dostatečná, mohou vzniknout zmíněné propadliny. Obrázek č. 69 zobrazuje místa kde mohou propadliny vzniknout. Lze vidět, že největší pravděpodobnost vzniku propadlin je v místech, kam tavenina dotkla nejpozději (boční otvor se závitem). Toto místo má také z celého výrobku největší tloušťku stěny, a vznik propadlin je zde proto nejvíce intenzivní. Možným řešením by byla i úprava konstrukce samotného vstřikovaného dílu za účelem sjednotit tloušťky stěn výrobku.

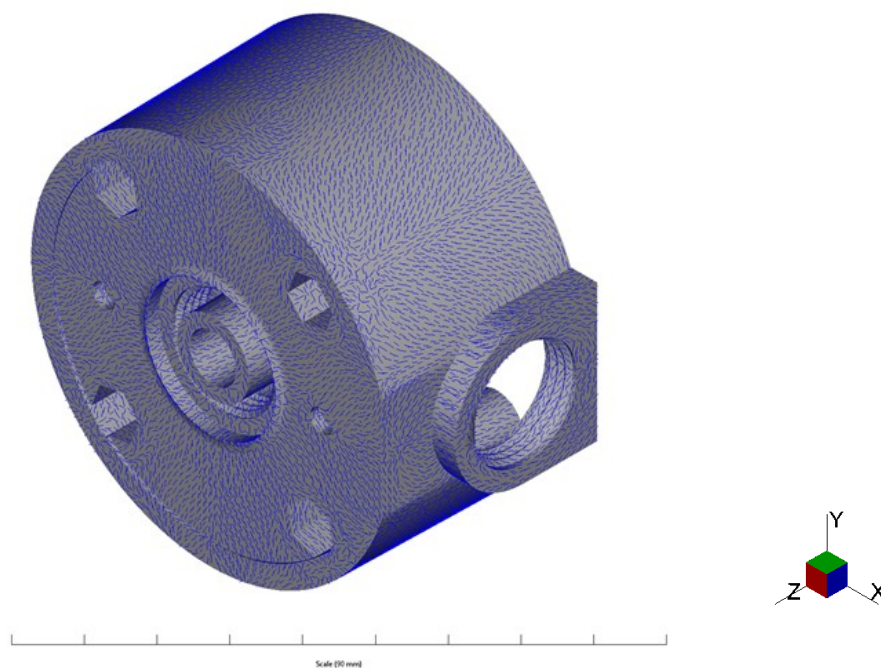


Obr. 69 Zobrazení míst na výrobku, kde hrozí vznik propadlin

### 9.6.7 Orientace vláken (Orientation at skin)

Vstříkovaný materiál obsahuje v matrici polykarbonátu 10 % skelných vláken, ta se orientují ve směru toku taveniny. Znat orientaci vláken je výhodné z hlediska pevnostních vlastností.

Orientation at skin  
= 2.000



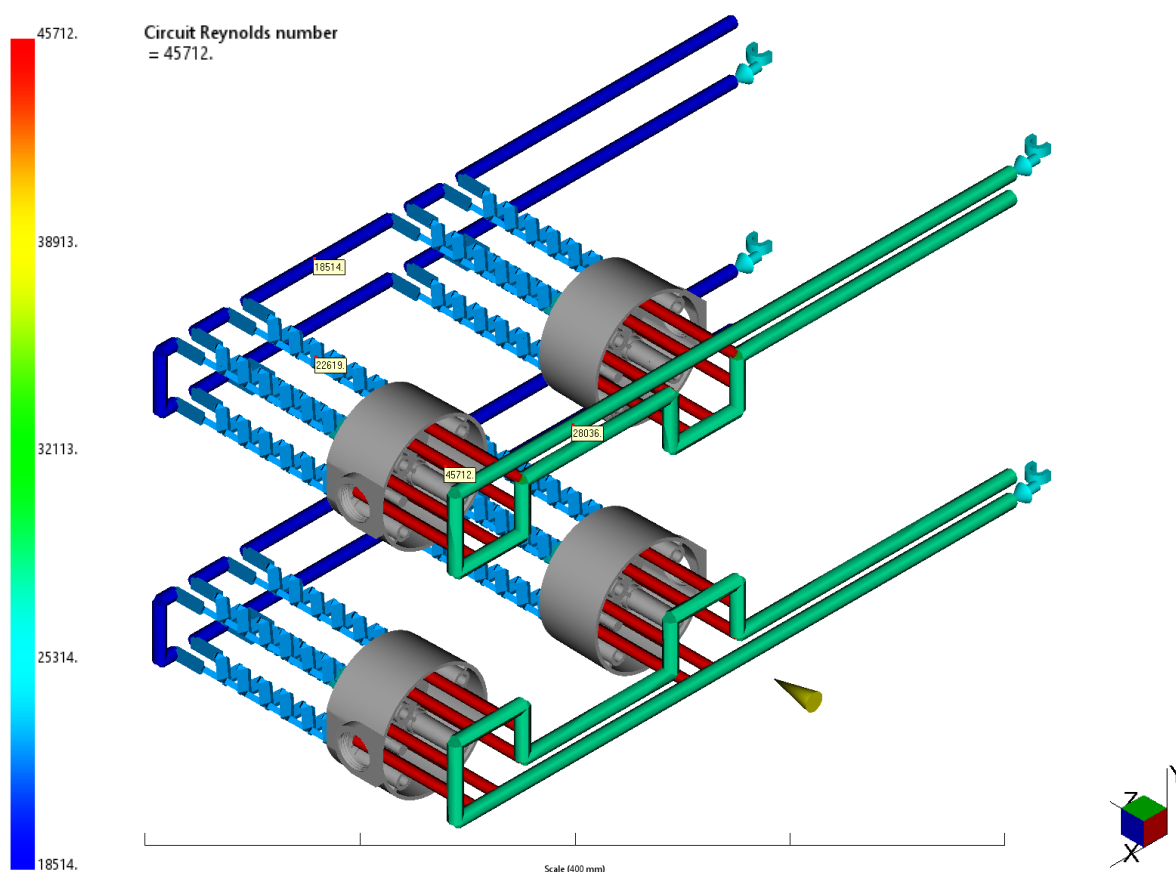
Obr. 70 Orientace vláken na povrchu vstříkovaného výrobku

## 9.7 Analýza temperačního systému

Výsledky týkající se temperačního systému jsou brány ze skupiny výsledků cool. Z této skupiny byly vybrány následující výsledky: teplota temperačního média (circuit coolant temperature), Reynoldsovo číslo temperačního média (circuit Reynolds number) a tlak temperačního média (circuit pressure).

### 9.7.1 Reynoldsovo číslo temperačního média (Circuit Reynolds number)

Podle hodnoty Reynoldsova čísla je možné určit, zda teče temperační médium laminárně nebo turbulentně, přičemž je požadováno, aby byl tok turbulentní. Turbulentní tok je zaručen, pokud je hodnota Reynoldsova čísla  $\geq 10\,000$ . Stupnice na obrázku č. 71 zobrazuje hodnoty Reynoldsova čísla proudícího média a je vidět, že ve všech místech temperačního systému je  $Re \geq 18\,500$  a ve všech místech tedy temperační médium teče turbulentním tokem.

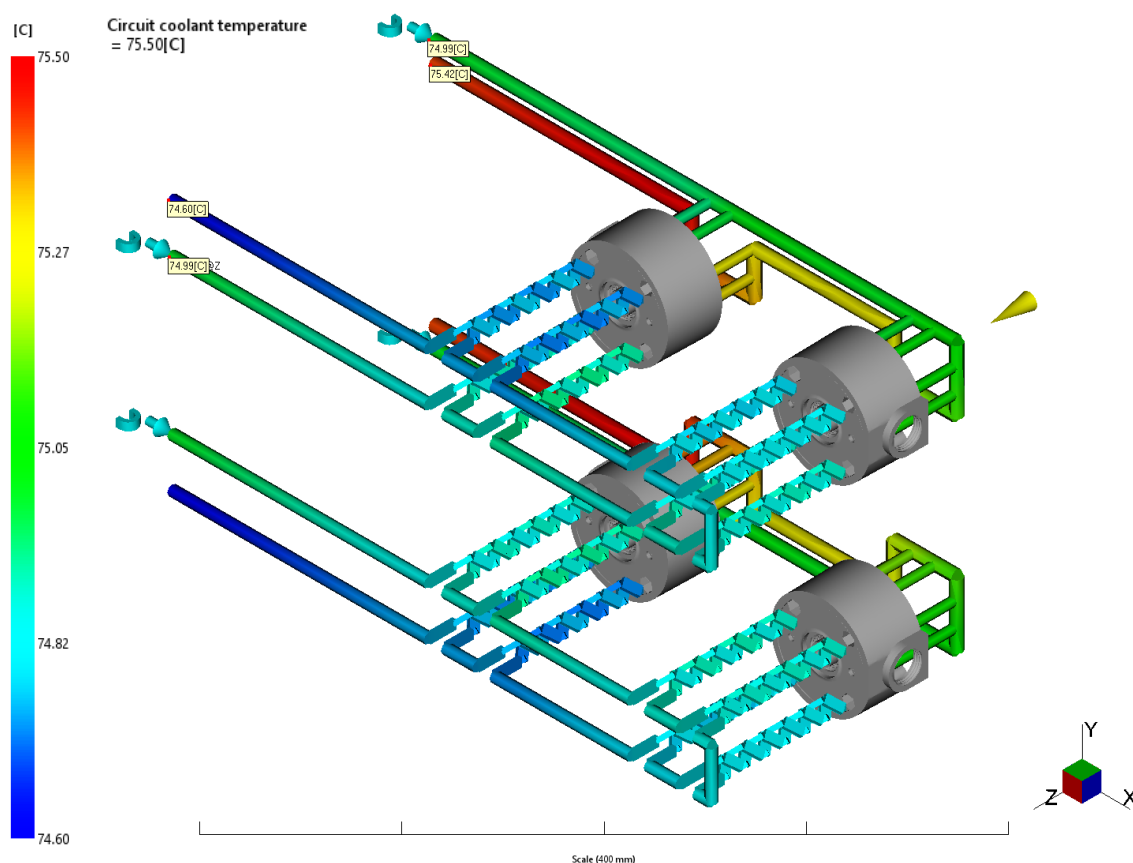


Obr. 71 Zobrazení hodnot Reynoldsova čísla temperačního média

### 9.7.2 Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature)

Obrázek č. 72 zobrazuje teplotu temperačního média v temperačním systému. Platí, že se teplota média má pohybovat v rozmezí 3 °C. Jak zobrazuje stupnice vlevo na obrázku,

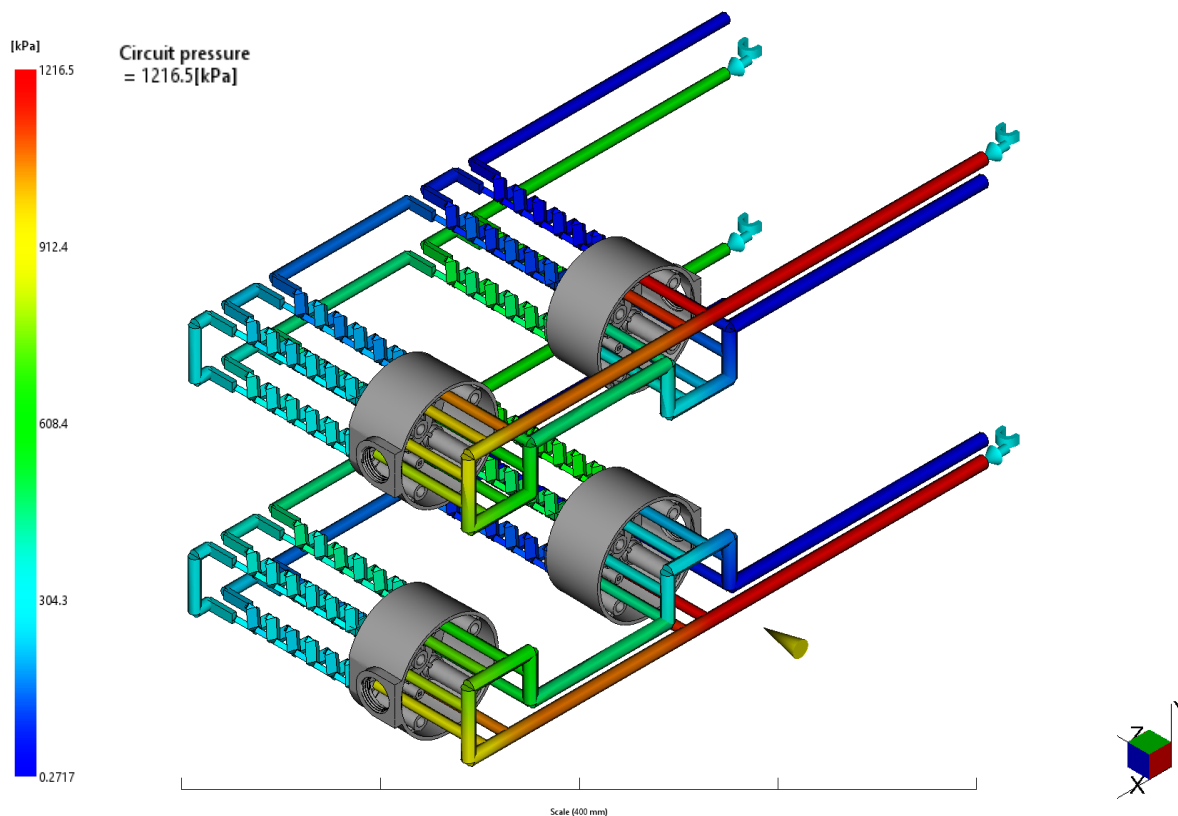
nastavená teplota média 75 °C se pohybovala od 74,6 °C do 75,5 °C, což je rozdíl 0,9 °C a je tedy zmíněná podmínka splněna.



Obr. 72 Zobrazení hodnot teplot temperačního média

### 9.7.3 Tlak temperačního média (Circuit pressure)

Kontrola temperačního média byla v okruzích na pravé straně navržené formy nastavena pomocí průtoku na 4 l/min. Na levé straně formy je temperace řízena pomocí tlaku o hodnotě 6 bar. Aby médium proudilo musí být v obvodu tlakový spád, což lze vidět na obrázku č. 73, kde na levé straně formy klesá tlak z 6 bar a na pravé straně ze 12 bar. Vyšší hodnoty tlaků, navzdory relativně malému objemovému průtoku temperačního média (maximálně 4 l/min), jsou způsobeny velkým množstvím temperačních přepážek, které způsobují značný pokles tlaku.



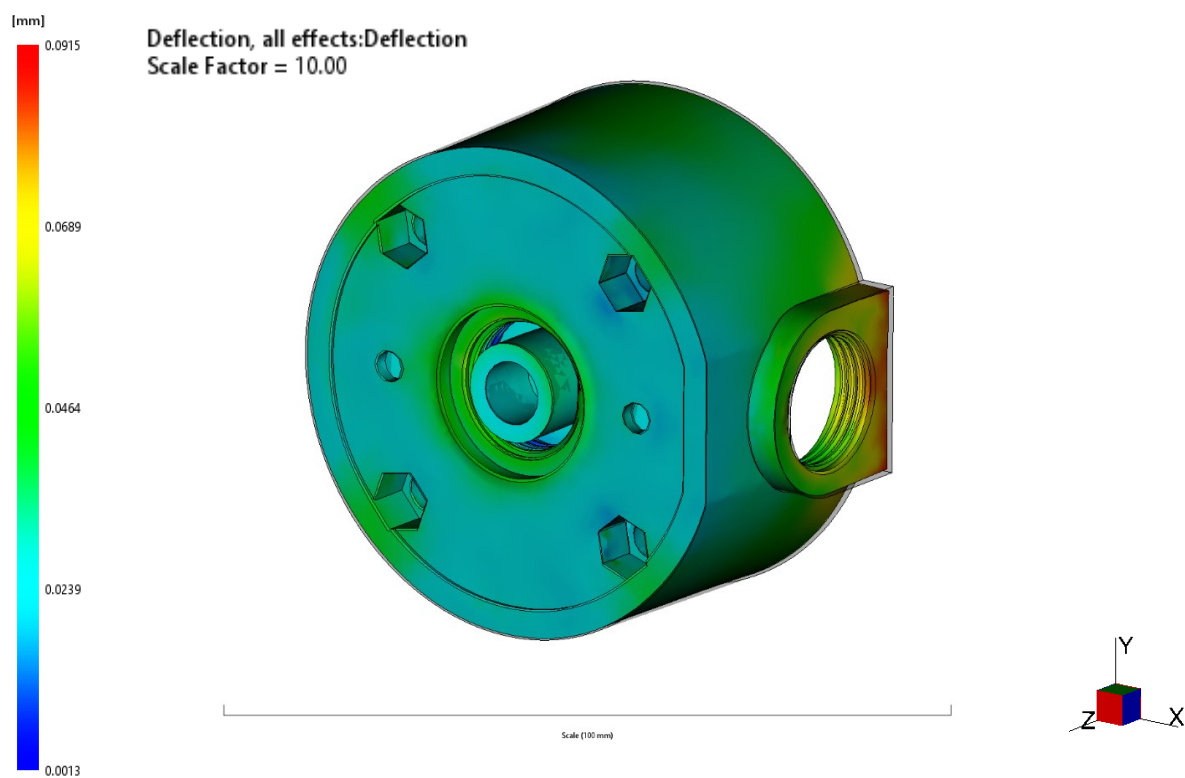
Obr. 73 Zobrazení tlaku v temperačních okruzích

## 9.8 Analýza smrštění a deformací

Výsledky týkající se smrštění a deformací od různých vlivů jsou brány ze skupiny výsledků warp. Z této skupiny byly vybrány následující výsledky: deformace celková (deflection all effects), deformace vlivem ochlazování (deflection differential cooling) a deformace vlivem smrštění (deflection differential shrinkage).

### 9.8.1 Celková deformace (Deflection all effects)

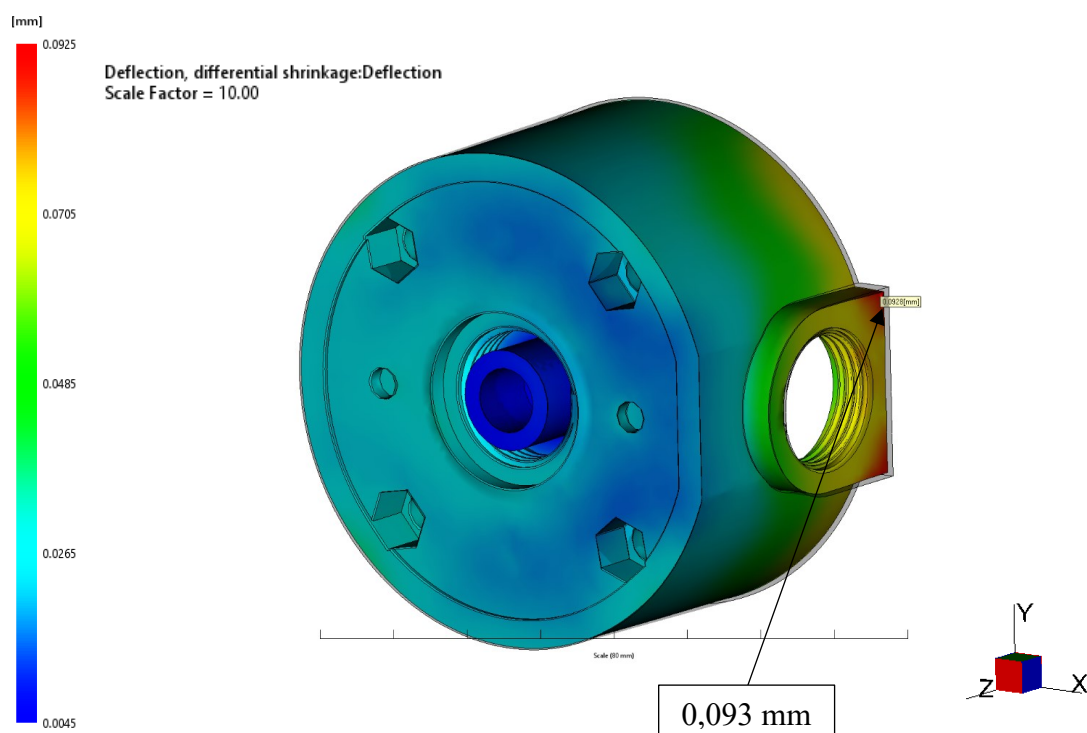
Obrázek č. 74 zobrazuje deformaci zahrnující všechny vlivy (vliv chlazení, smrštění a vliv orientace). Na stupnici vlevo je vidět, že maximální odchylka má velikost 0,092 mm (rozměry výrobku:  $\varnothing$  70 mm x 37 mm). Deformace byla největší ve směru osy x: 0,0759 mm, ve směru osy y byla 0,0577 mm a ve směru osy z byla 0,0599 mm. Pro lepší zobrazení deformací bylo nastaveno desetinásobné zvětšení.



Obr. 74 Zobrazení celkové deformace (deformace od všech vlivů) bylo použito desetinásobné zvětšení (scale factor 10)

### 9.8.2 Deformace vlivem smrštění (Deflection differential shrinkage)

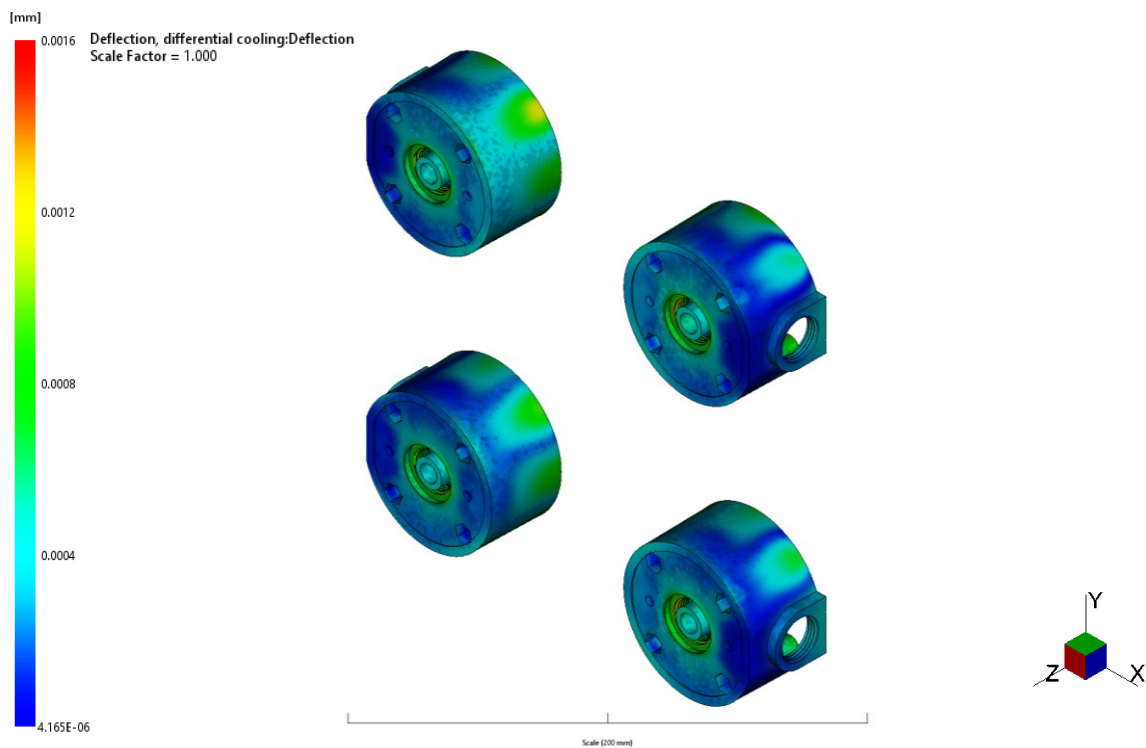
Obrázek č. 75 zobrazuje deformaci způsobenou smrštěním materiálu, která má maximální hodnotu 0,093 mm. Problém deformace smrštěním se řeší zvětšením tvarové dutiny formy o předpokládanou hodnotu smrštění. Projevuje se výhodná volba materiálu s velmi malým smrštěním 0,5 %.



Obr. 75 Zobrazení deformace vlivem smrštění, bylo použito desetinásobné zvětšení

### 9.8.3 Deformace od ochlazování (Deflection differential cooling)

Obrázek č. 77 zobrazuje deformaci vlivem chlazení. Na stupnici vlevo je vidět, že maximální odchylka má velikost 0,0016 mm. Tyto deformace jsou ve srovnání s celkovou deformací výrobku zanedbatelné.



Obr. 76 Zobrazení deformace od ochlazování



## DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cíl této diplomové práce spočíval v návrhu vstřikovací formy pro zadaný výrobek a následném ověření návrhu pomocí analýz vstřikovacího procesu. Vstřikovaným dílem je spodní podstava světelného majáčku se dvěma otvory s vnitřním závitem M20 x 1,5. Použitý materiál je polykarbonát s obsahem 10 % skelných vláken Makrolon GF9002. Vytvoření 3D modelů výrobku a samotné vstřikovací formy proběhlo v CAD programu Catia. Forma byla zvolena jako čtyřnásobná a byly použity normálie společnosti Hasco.

Tvarová dutina formy je tvořena celkem pěti částmi, skládá se ze tvárnice, tvárníku, stíracího kroužku a dvou závitových trnů. Části tvarové dutiny byly zvětšeny o smrštění materiálu o hodnotě 0,5 %. Všechny části tvarové dutiny jsou z nástrojové oceli 1.2343 (19 552) kaleny na tvrdost 52 HRC.

Výsledek Gating suitability poskytl informaci o vhodnosti umístění vtokového ústí, které bylo umístěno do středu výrobku, kde analýza určuje vhodnost 68 %. Byl zvolen vyhřívaný vtokový systém tvořený rozvodným blokem se čtyřmi vyhřívanými tryskami. Došlo ke zhodnocení návratnosti investice do vyhřívaného vtokového systému. Cena vyhřívaného vtokového systému byla stanovena na minimálně 83 676 Kč. Použití VVS by se tedy vyplatilo při výrobní produkci minimálně 68 748 kusů výrobků (tj. při 17 187 vstřikovacích cyklech), při ceně materiálu 150 Kč / kg.

Závit s osou rovnoběžnou s osou vstřikovací formy je odformován závitovým trnem. Vytáčecí mechanismus tvoří pohybový šroub, po němž se posunuje matice, která se otáčí i s ozubeným kolem, které přes mezikolo roztáčí závitový trn. Pohyb mechanismu je tedy dán otevíráním vstřikovací formy. Pro bezpečné vyšroubování trnu je třeba otevření formy minimálně o 143 mm. K odformování díry se závitem, která je kolmá k ose otevírání formy, dochází pomocí závitového trnu poháněného lineárním hydromotorem přes ozubený hřeben. Je nutné posunutí ozubených hřebenů alespoň o 340 mm pro bezpečné vyšroubování závitových jader.

Vyhození výrobku je dosaženo pomocí stíracího kroužku. Tento kroužek je uložen ve vyhazovací desce kotevní a ze zadní strany je opřen o vyhazovací desku opěrnou. V deskách jsou vodící pouzdra, desky se pohybují po vodících čepech. K pohybu desek dojde vlivem táhel, jež jsou uložena na pravé straně formy.

Temperační systém je tvořen celkem čtyřmi okruhy, tj. na levé i pravé straně jsou dva okruhy. Temperační médium je voda o teplotě 75 °C. Na pravé straně formy je temperace

tvárnici řešena soustavou plochých přepážek spojených vrtanými kanály o průměru 8 mm. Jeden okruh zajišťuje temperaci dvou tvárnici, na každou tvárnici připadá osm přepážek. Byla zvolena přepážka od firmy Hasco s označením Z9650/ 1,7 x 6 x 180. Na levé straně formy jsou tvárníky temperovány pomocí dvojchodých spirálových přepážek. Opět připadá jeden temperační okruh na dva tvárníky. V každém tvárníku jsou čtyři přepážky. Spirálová přepážka byla zvolena od firmy Hasco s označením Z961/ 12 x 125.

Navrženou vstřikovací formu tvoří celkem třináct desek. Součástí pravé stany vstřikovací formy je sestava hydraulického válce sloužícího k vyšroubování závitových trnů. Desky jsou středěny středícími trubkami a jsou zde také vodící pouzdra pro čepy. Za účelem přesného dosednutí obou polovin vstřikovací formy je kotevní deska opatřena středícími prvky Z072, jejichž protikus Z72 je na levé kotevní desce. Pro transport formy, je na levé i pravé straně forma osazena dvěma závěsnými oky. Je zde také přišroubována transportní pojistka, jenž brání otevření formy při její manipulaci. V rozích desek jsou zhotovena vybrání umožňující snadnější demontáž jednotlivých desek.

Za vstřikovací stroj byl zvolen stroj od firmy Arburg s označením Arburg ALLROUNDER 570-C-2000-800(45). Tento stroj splňuje požadavky jak z hlediska vzdálenosti vodících sloupů, velikosti uzavírací síly i vstřikovacího tlaku.

Bylo provedeno ověření navržené vstřikovací formy pomocí tokových analýz v programu Moldflow. V programu byly dle skutečnosti nastaveny temperační systémy, vtokový systém, materiál, vstřikovací stroj, procesní podmínky atd. Byla zvolena analýza cool+fill+pack+warp popisující průběh vstříknutí a dotlaku, následné chlazení a deformace dílu.

Maximální uzavírací síla (zvětšená o 20 % rezervu) je 815 kN, maximální potřebný vstřikovací tlak (zvětšený o 10% rezervu) je 67 MPa. Zvolený vstřikovací stroj těmto požadavkům vyhovuje. Celá tvarová dutina se zaplní za 1,837 s, čas potřebný pro ochlazení dílu na vyhazovací teplotu je 61 s, dlouhé doby ochlazování jsou dány závitovými jádry, u kterých je temperace velmi obtížná. Z hlediska odvzdušnění by bylo vhodné v hlavní a vedlejší dělicí rovině zhotovit odvzdušňovací kanálky, neboť zde nejčastěji dochází k uzavírání vzduchu. V temperačních obvodech je splněna podmínka turbulentního proudění média, ve všech místech je  $Re \geq 18\,500$ . Největší rozdíl teploty média na vstupu a výstupu je 0,9 °C což splňuje podmínku rozdílu teplot do 3 °C. Největší deformace je 0,092 mm a největší vliv na ni má smrštění. Deformace od ochlazování je zanedbatelná.

## ZÁVĚR

Tématem této diplomové práce je konstrukce vstřikovací formy pro zadaný elektrotechnický výrobek. Cíle práce byly vypracovat literární rešerši vztaženou k tématu práce, podle zadaného výrobku navrhnout vstřikovací formu, ověřit návrh tokovými analýzami a vypracovat výkresovou dokumentaci navržené vstřikovací formy.

Literární rešerše popisuje témata: polymery pro vstřikování, jejich rozdělení a vlastnosti, technologie vstřikování, vstřikovací cyklus, pvT diagram, vstřikovací stroj a především konstrukce vstřikovacích forem.

V praktické části byl nejdříve vytvořen 3D model zadaného výrobku, tento model byl zvětšen o smrštění zvoleného materiálu, jímž je polykarbonát s obsahem 10 % skelných vláken Makrolon GF9002. Z tohoto modelu vycházela konstrukce samotné vstřikovací formy. Forma byla zvolena jakožto čtyřnásobná s vyhřívaným vtokovým systémem. Tvarovou část dutiny tvoří tvárník, tvárnice, stírací kroužek a dva závitové trny. Informaci o vhodnosti umístění vtoku poskytl výsledek analýzy Gate location. Dutina je plněna vyhřívanou tryskou, jenž je součástí vtokového systému, tvořeného vyhřívaným rozvodným blokem se čtyřmi vytápěnými tryskami. Odformování závitu rovnoběžného s osou formy zajišťuje vytáčecí mechanismus, jehož pohyb je dán otevíráním formy. Odformování závitu kolmého k ose formy je zajištěno pomocí ozubeného hřebene, kterým pohybuje lineární hydromotor. Vyhazování je zajištěno pomocí stíracích kroužků. Temperaci tvoří čtyři temperační okruhy, kterými proudí voda o teplotě 75 °C. Na pravé straně jsou dva okruhy, každý okruh propojuje 16 přepážek Z9650 uložených ve tvárnících. Na levé straně formy jsou také dva temperační okruhy. Každý okruh propojuje 8 spirálových přepážek Z961 uložených ve tvárnících. Jak model výrobku, tak i samotná forma byla vytvořena v programu Catia. Byly použity normálie od firmy Hasco.

Návrh vstřikovací formy byl ověřen analýzami v simulačním programu Moldflow. Na základě rozměrů navržené formy a předběžných analýz byl zvolen vstřikovací stroj s označením Arburg ALLROUNDER 570-C-2000-800(45). Byla zvolena analýza typu cool + fill + pack + warp, jejíž výsledky popisují děj vstřikování, následné působení dotlaku, ochlazování dílu i jeho deformace.

Ke zkonstruované vstřikovací formě byl zhotoven výkres sestavy s kusovníkem a pohledy do levé a pravé dělicí roviny.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] YANG, Yi, Xi CHEN, Ningyun LU a Furong GAO. Injection molding process control, monitoring, and optimization. Munich: Hanser, [2016], xvi, 397 s. Progress in polymer processing series. ISBN 9781569905920.
- [2] Strategická výzkumná agenda: České technologické platformy PLASTY [online]. In: 2019 [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: [https://www.tp-plasty.cz/images/dokumenty/SVA\\_CTP\\_Plasty\\_2019\\_04.pdf](https://www.tp-plasty.cz/images/dokumenty/SVA_CTP_Plasty_2019_04.pdf)
- [3] KAZMER, David. Injection mold design engineering. 2nd edition. Munich: Hanser, [2016], xxiv, 529 s. ISBN 9781569905708
- [4] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011, 276 s. ISBN 9788070807880.
- [5] IBEH, Christopher C. Thermoplastic materials: properties, manufacturing methods, and applications. Boca Raton, FL: CRC Press, [2011], 1 online zdroj (xxiii, 616 stran). Dostupné z: doi:9780429150968
- [6] ZEMAN, Lubomír. Vstříkování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 9788027106141
- [7] CRAWFORD, R. J. a Peter J. MARTIN. Plastics engineering [online]. Fourth edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, an imprint of Elsevier, [2020] [cit. 2022-02-16]. ISBN 978-0-08-100709-9
- [8] BAUR, Erwin, Tim A. OSSWALD a Natalie RUDOLPH. Plastics handbook: the resource for plastics engineers [online]. 5th edition. Munich: Hanser, [2019] [cit. 2022-02-16]. ISBN 978-1-56990-559-3
- [9] LERMA VALERO, José R. Plastics injection molding: scientific molding, recommendations, and best practices. Munich: Hanser publications, [2020], xxiii, 400 s. ISBN 978-1-56990-689-7
- [10] CAMPO, E. Alfredo. The complete part design handbook: for injection molding of thermoplastics. Munich: Hanser Publishers, c2006, xxi, 870 s. ISBN 1569903751.

- [11] OSSWALD, Tim A. a Georg MENGES. Material science of polymers for engineers. 3rd ed. Cincinnati: Hanser Publications, 2012, xix, 595 s. ISBN 9781569905142.
- [12] OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 9781569904206
- [13] KAMAL, Musa R., Avraam I. ISAYEV a Shih-Jung LIU, ed. Injection molding: technology and fundamentals. Munich: Hanser, c2009, xxviii, 926 s. Progress in polymer processing. ISBN 9781569904343
- [14] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 9788073002503.
- [15] KULKARNI, Suhas. Robust process development and scientific molding: theory and practice. Munich: Hanser Publications, c2010, xv, 256 s. ISBN 9781569905012.
- [16] SCHILLER, Gary F. A practical approach to scientific molding. Munich: Hanser Publishers, [2018], xiv, 176 s. ISBN 9781569906866.
- [17] KENNEDY, Peter a Rong ZHENG. Flow analysis of injection molds. 2nd ed. Munich: Hanser, c2013, xxviii, 349 s. ISBN 9781569905128.
- [18] MIRANDA, Diego Alves de a André Lourenço NOGUEIRA. Simulation of an Injection Process Using a CAE Tool: Assessment of Operational Conditions and Mold Design on the Process Efficiency. Materials Research [online]. 2019, 22(2) [cit. 2022-02-21]. ISSN 1980-5373. Dostupné z: doi:10.1590/1980-5373-mr-2018-0564
- [19] MENNIG, Günter a Klaus STOECKHERT. Mold-making handbook. 3rd edition. Cincinnati: Hanser Publications, 2013, 1 online zdroj (xxx, 701 pages). ISBN 9781569905500. Dostupné také z: [https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMMHE001C/moldmaking\\_handbook\\_3rd\\_edition](https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMMHE001C/moldmaking_handbook_3rd_edition)
- [20] OSSWALD, Tim. Polymer Processing - Modeling and Simulation. Hanser Publishers, 2006. ISBN 978-1-56990-398-8.

- [21] Autodesk Moldflow Adviser. In: Westcam [online]. [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.westcam.cz/produkty/simulace/autodesk-moldflow-adviser/>
- [22] BRUDER, Ulf. User's guide to plastic. 2nd edition. Munich: Hanser Publisher, [2019], xviii, 357 s. ISBN 978-1-56990-734-4.
- [23] BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 3rd edition. Munich: Hanser Publishers, [2019], xx, 450 s. ISBN 978-1-56990-590-6.
- [24] UNGER, Peter. Hot Runner Technology [online]. Hanser Publishers, 2006 [cit. 2022-02-17]. ISBN 978-1-56990-395-7. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpHRT00007/toc>
- [25] JUAN, D J a Y L CHENG. Hot Runner Mold Design of Fan Diverter Parts. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering [online]. 2017, 235 [cit. 2022-02-21]. ISSN 1757-8981. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/235/1/012012
- [26] Hot runner nozzles. EWIKON [online]. [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: [https://www.ewikon.com/fileadmin/images/produkte/heisskanalduesen/HPS\\_III-S\\_Produktbild\\_Website.png](https://www.ewikon.com/fileadmin/images/produkte/heisskanalduesen/HPS_III-S_Produktbild_Website.png)
- [27] PRODUKTOVÝ KATALOG. HASCO [online]. [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://www.hasco.com/cs/Produktov%C3%BD-katalog/c/1>
- [28] Ejector Sleeves Nitrided OD – S. DME [online]. [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://store.dme.net/item-detail?itemId=411848&organizationId=2&itemCategory=522&searchString=&searchType=>
- [29] In: MARTIN, Hynek, Müller EDUARD a Heller ŠTĚPÁN. KA 05 - PLASTOVÉ DÍLY [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: [https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05/](https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05/)
- [30] JAN SVOBODA [online]. [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://www.jansvoboda.cz/>
- [31] KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. Injection molding advanced troubleshooting guide. Munich: Hanser Publishers, [2018], xx, 491 s. ISBN 9781569906453.

- [32] FENG, Shaochuan, Amar M. KAMAT a Yutao PEI. Design and fabrication of conformal cooling channels in molds: Review and progress updates. *International Journal of Heat and Mass Transfer* [online]. 2021, 171 [cit. 2022-02-22]. ISSN 00179310. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121082
- [33] ZINK, Béla, Ferenc SZABÓ, István HATOS, András SUPPICZ, Norbert KOVÁCS, Hajnalka HARGITAI, Tamás TÁBI a József KOVÁCS. Enhanced Injection Molding Simulation of Advanced Injection Molds. *Polymers* [online]. 2017, 9(12) [cit. 2022-02-22]. ISSN 2073-4360. Dostupné z: doi:10.3390/polym9020077
- [34] PARK, Hong-Seok a Xuan-Phuong DANG. Development of a Smart Plastic Injection Mold with Conformal Cooling Channels. *Procedia Manufacturing* [online]. 2017, 10, 48-59 [cit. 2022-02-21]. ISSN 23519789. Dostupné z: doi:10.1016/j.promfg.2017.07.020
- [35] AGEYEVA, Tatyana, Szabolcs HORVÁTH a József Gábor KOVÁCS. In-Mold Sensors for Injection Molding: On the Way to Industry 4.0. *Sensors* [online]. 2019, 19(16) [cit. 2022-03-07]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s19163551
- [36] ZHAO, Peng, Jianfeng ZHANG, Zhengyang DONG, Junye HUANG, Hongwei ZHOU, Jianzhong FU a Lih-Sheng TURNG. Intelligent Injection Molding on Sensing, Optimization, and Control. *Advances in Polymer Technology* [online]. 2020, 2020, 1-22 [cit. 2022-03-07]. ISSN 0730-6679. Dostupné z: doi:10.1155/2020/7023616
- [37] PRUNER, Harry a Wolfgang NESCH. *Understanding Injection Molds (2nd Edition)*. Hanser Publishers, 2020. ISBN 978-1-56990-843-3.
- [38] Low Pressure Sensor, direct measuring, ø4 mm. KISTLER [online]. [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://www.kistler.com/en/product/type-6165a/>
- [39] CATIA Training. *DesignTechACADEMY* [online]. [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.designtechacademy.com/knowledge-base/catia-training>

- [40] Autodesk Moldflow. ARKANCE-SYSTEMS [online]. [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.arkance-systems.cz/produkty/cad-cam-prostrojirenstvi/autodesk-moldflow>
- [41] Makrolon® GF9002. COVESTRO [online]. [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: [https://solutions.covestro.com/en/products/makrolon/makrolon-gf9002\\_56979666-00004248?SelectedCountry=CZ](https://solutions.covestro.com/en/products/makrolon/makrolon-gf9002_56979666-00004248?SelectedCountry=CZ)
- [42] ARBURG: ALLROUNDER 570 C GOLDEN EDITION [online]. Dostupné také z: [https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische\\_Daten/ARBURG\\_ALLROUNDER\\_570C\\_GOLDEN\\_EDITION\\_TD\\_523681\\_en\\_GB.pdf](https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_570C_GOLDEN_EDITION_TD_523681_en_GB.pdf)



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$T_g$	teplota skelného přechodu
$T_f$	teplota tečení
$T_m$	teplota tání
PS	polystyren
SAN	styrén akrylonitril
SBS	styrén – butadien – styrén
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
PMMA	polymethylmetakrylát
PC	polykarbonát
PES	polyester PES
PP	polypropylen
PE	polyethylen
PTFE	polytetrafluoretylen
POM	polyoxymethylen
PA	polyamid
PSU	polysulfon
PEI	polyetherimid
°C	stupeň Celsia
MPa	megapascal
kPa	kilopascal
kN	kilonewton
t	tuna
D (popř. Ø)	průměr
mm	milimetr
g	gram

UV	ultrafialové
kg	kilogram
HRC	tvrdost podle Rockwella
FDM	Finite difference method (metoda konečných diferencí)
FEM	Finite element method (metoda konečných elementů)
SLS	Selective laser sintering
SLM	Selective laser melting
3D	trojrozměrný
%	procento

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Základní rozdělení polymerních materiálů [6] .....	12
Obr. 2 Zobrazení tepelného chování amorfních termoplastů [8].....	14
Obr. 3 Zobrazení tepelného chování semikrystalických termoplastů [8] .....	15
Obr. 4 Schéma zobrazující vstřikovací cyklus; činnost vstřikovací formy (vnější kruh) a vstřikovací jednotky stroje (vnitřní kruh) [8] .....	20
Obr. 5 Průběh vstřikovacího procesu v diagramu pV-T pro materiál polystyren [11] .....	21
Obr. 6 Popis vstřikovacího stroje [11] .....	22
Obr. 7 Šnek plastikační jednotky se zobrazením průběhu tavení materiálu [16] .....	24
Obr. 8 Hydraulická uzavírací jednotka [7] .....	25
Obr. 9 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka [7].....	25
Obr. 10 Příklad výsledku simulace vstřikování provedené v softwaru Moldflow [21].....	26
Obr. 11 Schéma postupu návrhu vstřikovací formy [3].....	27
Obr. 12 Zobrazení základních částí tvořících rám vstřikovací formy [19].....	28
Obr. 13 Zobrazení možných průřezu rozvodných kanálů [23].....	30
Obr. 14 Kuželové vtokové ústí [23].....	31
Obr. 15 Boční vtokové ústí [23] .....	31
Obr. 16 Filmové vtokové ústí [23].....	32
Obr. 17 Prstencové vtokové ústí [23] .....	32
Obr. 18 Tunelové vtokové ústí [18].....	33
Obr. 19 Srpkovité vtokové ústí [23] .....	33
Obr. 20 Bodové vtokové ústí [23] .....	34
Obr. 21 Řez vyhřívaným vtokovým systémem tvořeným rozvodným blokem s vyhřívanými tryskami [23].....	35
Obr. 22 Vyhřívané vtokové trysky od firmy Ewikon [26] .....	36
Obr. 23 Válcový vyhazovací kolík [27].....	37
Obr. 24 Plochý vyhazovač [27] .....	37
Obr. 25 Stírací trubka [28].....	38
Obr. 26 Vlevo: ventil pro pneumatické vyhazování; vpravo: schéma principu pneumatického vyhazování [10][27].....	38
Obr. 27 Zabudování odvzdušňovacího ventilu [30] .....	40
Obr. 28 Možné návrhy kanálů temperačního systému [3].....	41
Obr. 29 Vlevo: Příklady různých druhů přepážek používaných pro temperaci vysokých tvárníků [27] [30].....	42
Obr. 30 Příklad provedení konformní temperace tvarových částí formy zhotovených aditivními metodami výroby [34] .....	43

Obr. 31 Senzor pro snímání tlaku v dutině vstřikovací formy od firmy KISTLER [38].....	44
Obr. 32 Výrobek – podstava majáku signální věže .....	51
Obr. 33 Výrobek s vyznačenými závity.....	51
Obr. 34 Celková sestava navržené vstřikovací formy .....	53
Obr. 35 Zaformování výrobku – zvolené dělicí roviny (1 hlavní a tři vedlejší DR.) .....	54
Obr. 36 Tvárnice (vlevo) a tvárník .....	55
Obr. 37 Stírací kroužek.....	55
Obr. 38 Závitové trny; vlevo závitový trn pro odformování závitu kolmého k ose formy, vpravo trn pro odformování závitu rovnoběžného s osou formy.....	56
Obr. 39 Mechanismus odformování závitu rovnoběžného s osou formy.....	58
Obr. 40 Mechanismus odformování závitu kolmého k ose formy .....	59
Obr. 41 Vyhřívání vtokový systém.....	60
Obr. 42 Navrhnutý studený vtokový systém .....	61
Obr. 43 Zobrazení vstřikovací formy při otevření v hlavní dělicí rovině; vlivem táhel dojde k vysunutí vyhazovacích desek se stíracími kroužky .....	63
Obr. 44 Temperace pravé strany vstřikovací formy (znázorněny kanály propojující přepážky) .....	64
Obr. 45 Vlevo: Plochá přepážka Z9650; vpravo: tvárnice se znázorněným umístěním přepážek temperačního systému .....	65
Obr. 46 Temperace levé strany formy (znázorněny kanály propojující přepážky) .....	65
Obr. 47 Vlevo: Dvouchodá spirálová přepážka Z961; vpravo: tvárník se znázorněným umístěním přepážek temperačního systému .....	66
Obr. 48 Pravá (nepohyblivá) strana vstřikovací formy.....	66
Obr. 49 Levá (pohyblivá) strana vstřikovací formy .....	67
Obr. 50 Zvolený vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 570-C-2000-800(45) [42] .....	68
Obr. 51 3D model výrobku pokrytý sítí typu Dual domain tvořenou trojúhelníkovými elementy.....	70
Obr. 52 Výsledek Gating suitability zobrazující vhodnost umístění vtokového ústí .....	71
Obr. 53 Výsledek Gating suitability, je zobrazena hodnota vhodnosti v místě skutečného umístění vtokového ústí .....	71
Obr. 54 Vtokový systém se sítí tvořenou beam elementy .....	72
Obr. 55 Temperační systém se sítí tvořenou beam elementy .....	73
Obr. 56 Nastavení parametrů pro analýzu cool + fill + pack + warp (část cool).....	74
Obr. 57 Nastavení parametrů vyhození .....	75
Obr. 58 Nastavení parametrů pro analýzu cool + fill + pack + warp (část fill + pack) .....	75
Obr. 59 Nastavení profilu závislosti vstřikovacího tlaku na čase.....	75
Obr. 60 Volba pokročilých parametrů pro část analýzy fill + pack.....	76

Obr. 61 Nastavení parametrů pro analýzu cool + fill + pack + warp (část warp).....	76
Obr. 62 Zobrazení průběhu plnění.....	77
Obr. 63 Zobrazení časů nutných pro dosažení teploty vyhazování v problematických místech .....	78
Obr. 64 Graf zobrazující závislost uzavírací síly na čase .....	79
Obr. 65 Zobrazení míst, kde může dojít k uzavření vzduchu (lícová strana).....	79
Obr. 66 Zobrazení míst, kde může dojít k uzavření vzduchu (rubová strana).....	80
Obr. 67 Zobrazení míst, kde může dojít ke vzniku studených spojů.....	80
Obr. 68 Zobrazení míst, kde může dojít ke vzniku studených spojů.....	81
Obr. 69 Zobrazení míst na výrobku, kde hrozí vznik propadlin.....	82
Obr. 70 Orientace vláken na povrchu vstříkovaného výrobku .....	82
Obr. 71 Zobrazení hodnot Reynoldsova čísla temperačního média .....	83
Obr. 72 Zobrazení hodnot teplot temperačního média .....	84
Obr. 73 Zobrazení tlaku v temperačních okruzích .....	85
Obr. 74 Zobrazení celkové deformace (deformace od všech vlivů) bylo použito desetinásobné zvětšení (scale factor 10).....	86
Obr. 76 Zobrazení deformace vlivem smrštění, bylo použito desetinásobné zvětšení.....	87
Obr. 77 Zobrazení deformace od ochlazování.....	88

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Vlastnosti materiálu Makrolon GF9002 [41] .....	52
Tabulka 2 Jednotlivé části studeného vtokového systému a jejich rozměry .....	61
Tabulka 3 Součásti vyhřívaného vtokového systému a jejich cena .....	62
Tabulka 4 Srovnání požadavků s vlastnostmi zvoleného vstřikovacího stroje [42].....	68
Tabulka 5 Části vtokového systému a jejich rozměry .....	72
Tabulka 6 Rozměry bloku vstřikovací formy v programu Moldflow .....	74

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: MATERIÁLOVÝ LIST MAKROLON GF9002

Příloha P II: PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE ALLROUNDER 570 C  
GOLDEN EDITION

Příloha P III: Výkresová dokumentace formy:

- Výkres sestavy vstřikovací formy
- Levý pohled do hlavní dělicí roviny
- Pravý pohled do hlavní dělicí roviny
- Kusovník

# PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST MAKROLON GF9002



## Makrolon® GF9002

**Glass fiber (Normal fiber) reinforced grades / 10 % Glass fiber reinforced** MVR (300 °C/1.2 kg) 15 cm<sup>3</sup>/10 min; 10 % glass fiber reinforced; flame retardant; UL 94V-0/1.2 mm; low viscosity; easy release; injection molding - melt temperature 310 - 330 °C; available in opaque colors only; electrical/electronic; housing parts with low wall thickness

**ISO Shortname** ISO 7391-PC,MFR,(,)-18-9,GF10

Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
<b>Rheological properties</b>				
C Melt volume-flow rate	300 °C/ 1.2 kg	cm <sup>3</sup> /10 min	ISO 1133	15
Melt mass-flow rate	300 °C/ 1.2 kg	g/10 min	ISO 1133	16.5
C Molding shrinkage, parallel	60x60x2 mm/ 500 bar	%	ISO 294-4	0.50
C Molding shrinkage, normal	60x60x2 mm/ 500 bar	%	ISO 294-4	0.45
<b>Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)</b>				
C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	3900
Yield stress	5 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	60
Yield strain	5 mm/min	%	ISO 527-1,-2	4.5
C Stress at break	5 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	45
C Strain at break	5 mm/min	%	ISO 527-1,-2	10
Flexural modulus	2 mm/min	MPa	ISO 178	3700
Flexural strength	2 mm/min	MPa	ISO 178	105
Flexural strain at flexural strength	2 mm/min	%	ISO 178	5.8
Flexural stress at 3.5 % strain	2 mm/min	MPa	ISO 178	90
C Charpy impact strength	23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eU	> 100C
Charpy notched impact strength	23 °C/ 3 mm	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 21305/based on ISO 179/1eA	8C
C Puncture impact properties - maximum force	23 °C	N	ISO 6603-2	3200
C Puncture energy	23 °C	J	ISO 6603-2	16
<b>Thermal properties</b>				
C Temperature of deflection under load	1.80 MPa	°C	ISO 75-1,-2	132
C Vicat softening temperature	50 N; 50 °C/h	°C	ISO 306	141
Vicat softening temperature	50 N; 120 °C/h	°C	ISO 306	142
C Coefficient of linear thermal expansion, parallel	23 to 55 °C	10 <sup>-4</sup> /K	ISO 11359-1,-2	0.4
C Coefficient of linear thermal expansion, normal	23 to 55 °C	10 <sup>-4</sup> /K	ISO 11359-1,-2	0.6
C Burning behavior UL 94 [UL recognition]	1.2 mm	Class	UL 94	V-0
Burning behavior UL 94 [UL recognition]	0.75 mm	Class	UL 94	V-1
C Oxygen index	Method A	%	ISO 4589-2	37
Relative temperature index (Tensile strength) [UL recognition]	0.75 mm	°C	UL 746B	80
Relative temperature index (Tensile impact strength) [UL recognition]	0.75 mm	°C	UL 746B	80
Relative temperature index (Electric strength) [UL recognition]	0.75 mm	°C	UL 746B	80
Glow wire test (GWFI) [UL recognition]	0.75 mm	°C	IEC 60695-2-12	960
Glow wire test (GWFI) [UL recognition]	1.5 mm	°C	IEC 60695-2-12	960
Glow wire test (GWFI) [UL recognition]	3.0 mm	°C	IEC 60695-2-12	960
Glow wire test (GWIT)	1.5 mm	°C	IEC 60695-2-13	800
Glow wire test (GWIT)	3.0 mm	°C	IEC 60695-2-13	875
Burning rate (US-FMVSS)	>=1.0 mm	mm/min	ISO 3795	passed





## Makrolon® GF9002

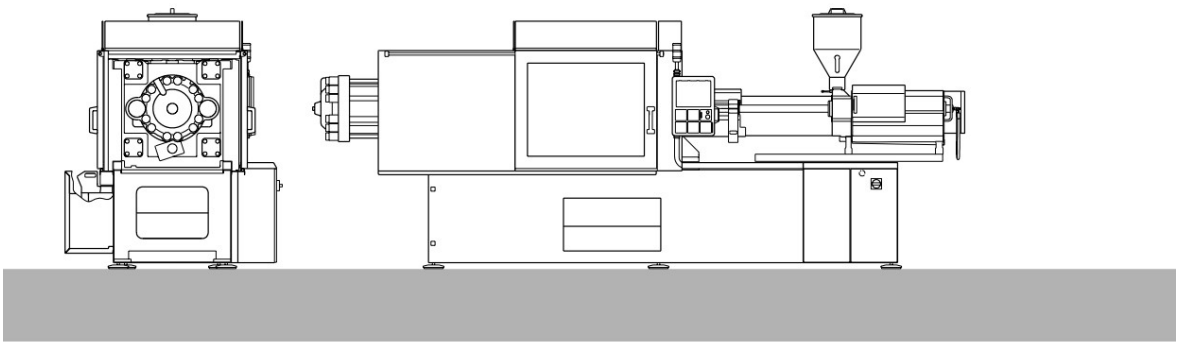
Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
<b>Electrical properties (23 °C/50 % r. h.)</b>				
C Relative permittivity	100 Hz	-	IEC 60250	3.2
C Relative permittivity	1 MHz	-	IEC 60250	3.2
C Dissipation factor	100 Hz	10 <sup>4</sup>	IEC 60250	10
C Dissipation factor	1 MHz	10 <sup>4</sup>	IEC 60250	90
C Volume resistivity		Ohm·m	IEC 60093	1E14
C Surface resistivity		Ohm	IEC 60093	1E16
C Electrical strength	1 mm	kV/mm	IEC 60243-1	36
C Comparative tracking index CTI	Solution A	Rating	IEC 60112	175
Comparative tracking index CTI M	Solution B	Rating	IEC 60112	125M
<b>Other properties (23 °C)</b>				
C Water absorption (saturation value)	Water at 23 °C	%	ISO 62	0.30
C Water absorption (equilibrium value)	23 °C; 50 % r. h.	%	ISO 62	0.10
C Density		kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183-1	1270
Glass fiber content	Method A	%	b.o. ISO 3451-1	10
Bulk density	Pellets	kg/m <sup>3</sup>	ISO 60	640
<b>Processing conditions for test specimens</b>				
C Injection molding - Melt temperature		°C	ISO 294	300
C Injection molding - Mold temperature		°C	ISO 294	110
C Injection molding - Injection velocity		mm/s	ISO 294	200
<b>Recommended processing and drying conditions</b>				
Melt temperatures		°C	-	280 - 320
Standard Melt temperature		°C	-	300
Barrel Temperatures - Rear		°C	-	250 - 260
Barrel Temperatures - Middle		°C	-	270 - 280
Barrel Temperatures - Front		°C	-	280 - 290
Barrel Temperatures - Nozzle		°C	-	290 - 300
Mold Temperatures		°C	-	80 - 120
Hold Pressure (% of injection pressure)		%	-	50 - 75
Plastic Back Pressure (specific)		bar	-	50 - 150
Peripheral Screw Speed		m/s	-	0.05 - 0.2
Shot-to-Cylinder Size		%	-	30 - 70
Dry Air Drying Temperature		°C	-	120
Dry Air Drying Time		h	-	2-3
Moisture Content max. (%)		%	-	<= 0,02
Vent Depth		mm	-	0.025 - 0.075

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

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

# PŘÍLOHA P II: PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE ALLROUNDER 570 C GOLDEN EDITION

Facts and figures



## ALLROUNDER 570 C GOLDEN EDITION

Tie bar distance: 570 x 570 mm

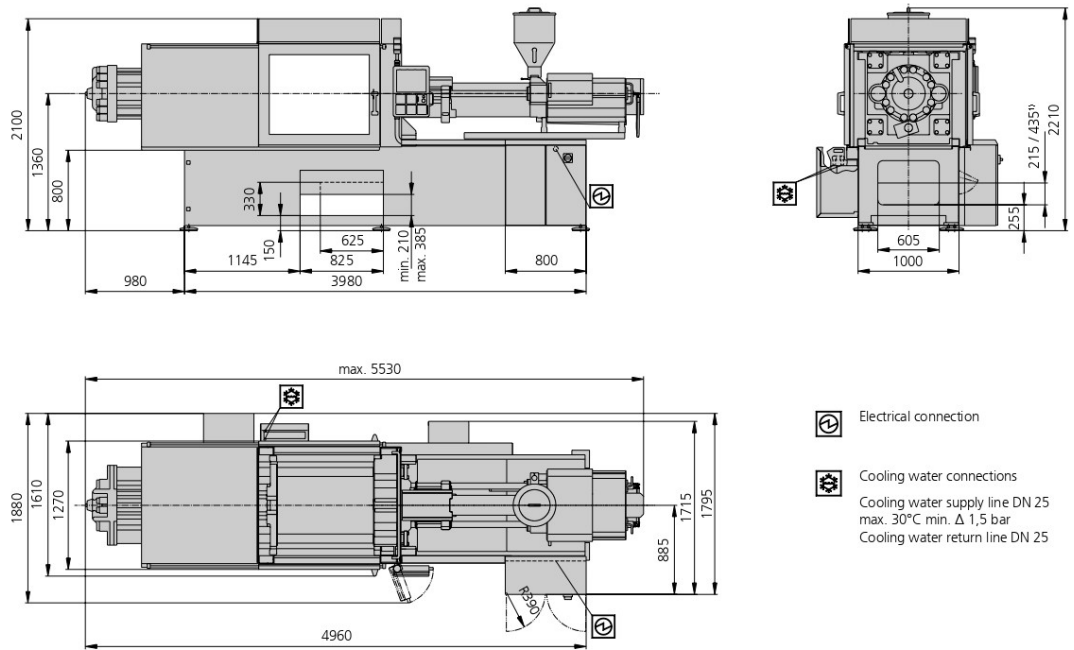
Clamping force: 2000 kN

Injection unit (according to EUROMAP): 800

**ARBURG**

# 570 C GOLDEN EDITION

# Machine dimensions

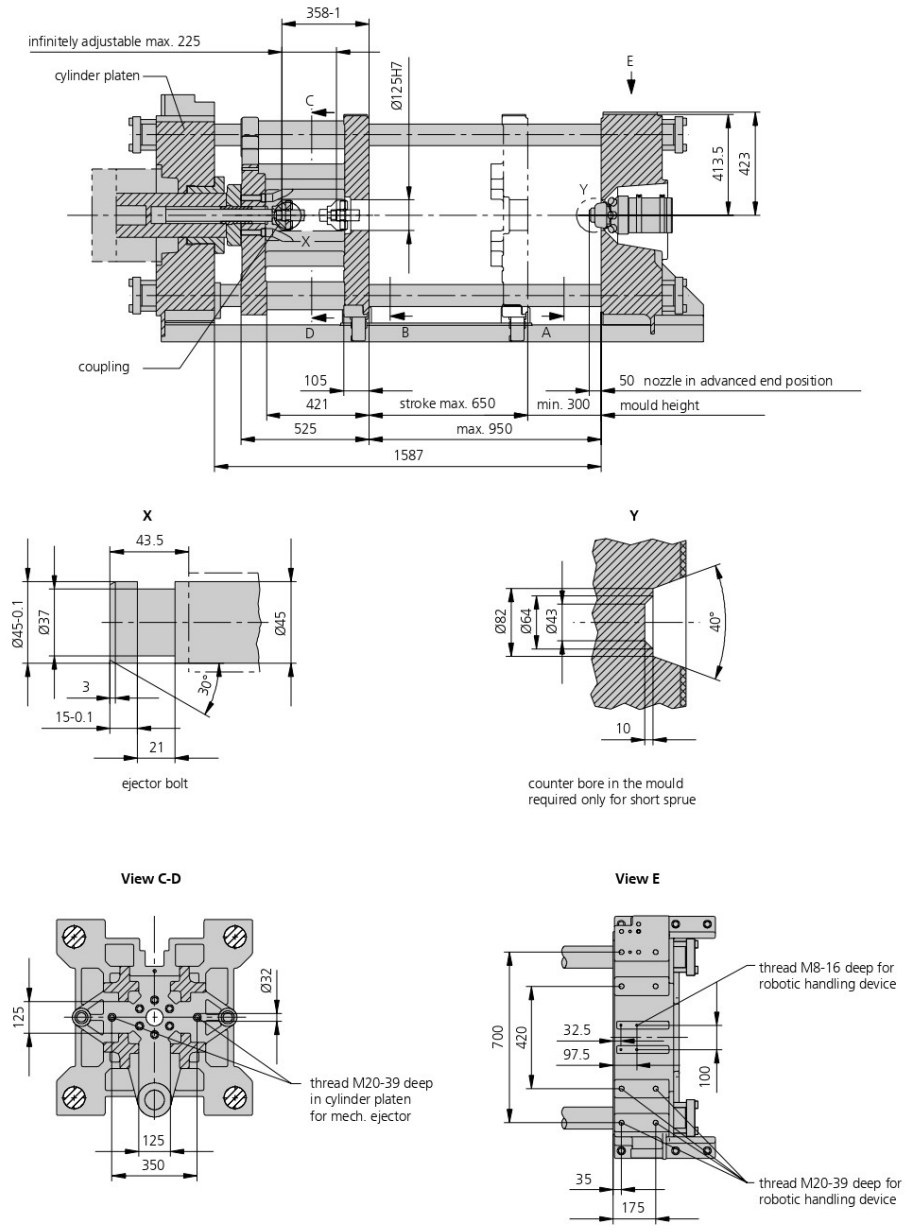


1) Dimension only valid in conjunction with conveyor belt

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

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

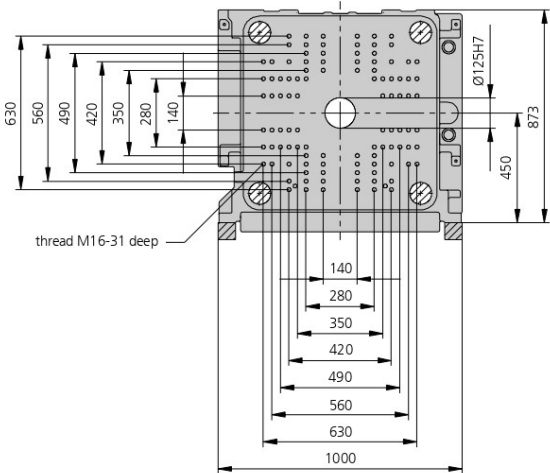
These technical data specifications refer to the state at the time of printing. We reserve the right to modify specifications in the interest of a continuous program of further development.



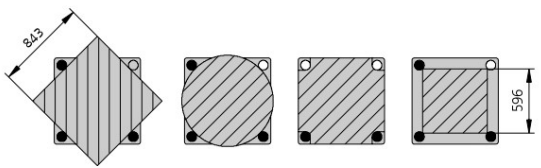
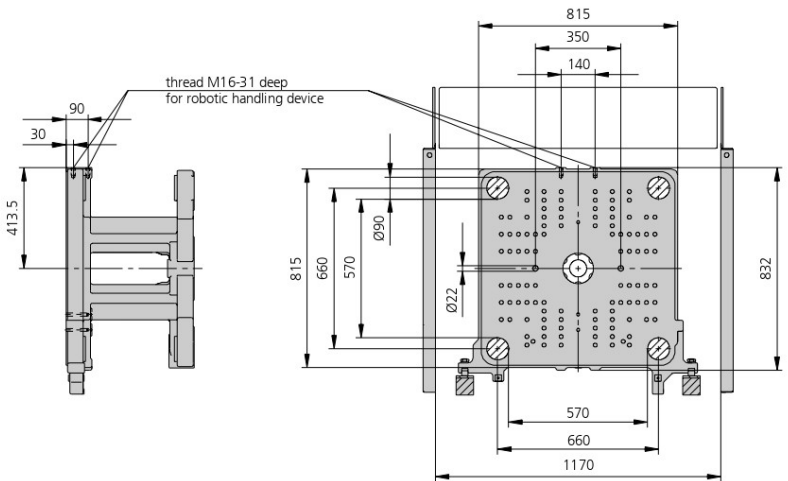
# Mould and platen layout

# 570 C GOLDEN EDITION

Fixed platen  
View A



Movable platen  
View B



Useable mounting surface with tie bars removed

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

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

1) average value

**ARBURG GmbH + Co KG**

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

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