# Optimalizace tvaru a designu plastového krytu stěrače za využití numerické simulace v programu Moldflow a konstrukce nástroje pro jeho výrobu.

Bc. Petr Adamec

Diplomová práce
2021

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

| | |
|---|---|
| Jméno a příjmení: | **Bc. Petr Adamec** |
| Osobní číslo: | **T20833** |
| Studijní program: | **N0788A270002 Výrobní inženýrství** |
| Studijní obor: | **Stroje a nástroje pro zpracování polymerů a kompozitů** |
| Forma studia: | **Kombinovaná** |
| Téma práce: | **Optimalizace tvaru a designu plastového krytu stěrače za využití numerické simulace v programu MoldFlow a konstrukce nástroje pro jeho výrobu.** |

## Zásady pro vypracování

1. Vypracovat literární studii pro dané téma
2. Zhodnocení vyrobitelnosti současného designu. Provedení a vyhodnocení simulace současného stavu.
3. Návrh na změny designu z pohledu technologie vstřikování.
4. Provedení a vyhodnocení simulací na změněných geometrií.
5. Konstrukce vstřikovací formy

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

Seznam doporučené literatury:

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. Injection molding advanced troubleshooting guide. Munich: Hanser Publishers, 2018, 491 s. ISBN 978-1-56990-645-3.
WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. Molding simulation: theory and practice. Cincinnati: Hanser Publications, 2018, 513 s. ISBN 978-1-56990-619-4.
YANG, Yi, Xi CHEN, Ningyun LU a Furong GAO. Injection molding process control, monitoring, and optimization. Munich: Hanser, 2016, 397 s. Progress in polymer processing series. ISBN 978-1-56990-592-0.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **5. ledna 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

L.S.

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

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

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

# PROHLÁŠENÍ AUTORA

# DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

**Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

……..
podpis studenta

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá optimalizací návrhu plastového výrobku a konstrukcí nástroje pro výrobek určený pro technologii vstřikování.

Teoretická část je zaměřena na technologii vstřikování, polymerní materiály, zásady konstrukce výrobků určených pro výrobu vstřikováním a na vstřikovací formy.

V praktické části byla provedena optimalizace návrh plastového výrobku. Návrh byl pověřený pomocí CAE softwaru Moldex3D. Následně byla zkonstruovaná vstřikovací forma. Konstrukce byla provedena v softwaru Creo Parametric s využitím normálií.



Klíčová slova: Vstřikovací forma, konstrukce, Creo, Moldex3D, CAD, CAE



## ABSTRACT

Master thesis is focused on design optimalization of the plastic part and mold design for injection molding.

Theoretical part targets on injection molding, polymer materials, rules for design of the injected parts and molds.

Design optimalization of the plastic part was done in practical part of the thesis. Design was verified by CAE software Moldex3D. Mold design was according the optimalization of the part. Mold design was created using software Creo Parametric with mold standards.



Keywords: Injection Mold, Design, Creo, Moldex3, CAD, CAE

Chtěl bych poděkovat Ing. Martinovi Ovsíkovi, Ph.D. za jeho čas, cenné rady, připomínky a odborné znalosti při vedení diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu.

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

# OBSAH

**ÚVOD** ..... **12**

**I TEORETICKÁ ČÁST** ..... **13**

**1 POLYMERNÍ MATERIÁLY** ..... **14**

1.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ ..... 14

1.1.1 Termoplasty ..... 14

1.1.2 Reaktoplasty ..... 16

1.1.3 Elastomery ..... 16

1.2 NADMOLEKULÁRNÍ STRUKTURA POLYMERŮ ..... 17

1.3 REOLOGIE POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ ..... 18

1.3.1 Index toku taveniny ..... 18

1.4 ÚPRAVA POLYMERŮ PRO ZPRACOVÁNÍ A POUŽITÍ ..... 19

1.4.1 Stabilizátory ..... 19

1.4.3 Retardéry hoření ..... 19

1.4.4 Barviva a pigmenty ..... 19

1.4.5 Plniva ..... 19

**2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ** ..... **20**

2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS ..... 20

2.1.1 pvT diagram ..... 21

2.1.2 Procesní okno ..... 21

2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ ..... 22

2.2.1 Vstřikovací jednotka ..... 23

2.2.2 Uzavírací jednotka ..... 24

2.2.3 Řízení stroje ..... 24

2.2.4 Periferní zařízení ..... 24

**3 KONSTRUKCE VÝSTŘIKŮ** ..... **26**

3.1 POŽADAVKY NA NÁVRH ..... 26
3.1.1 Tloušťka stěn ..... 26
3.1.2 Výztuž žebry ..... 27
3.1.3 Zaoblení hran ..... 28
3.1.4 Nálitky a háčkové spoje ..... 29
3.1.5 Úkosy ..... 29
3.2 POŽADAVKY NA JAKOST ..... 30
3.2.1 Rozměrové tolerance ..... 30
3.2.2 Jakost povrchu ..... 30
**4 VSTŘIKOVACÍ FORMY ..... 32**
4.1 TVAROVÁ DUTINA ..... 33
4.1.1 Zaformování ..... 33
4.1.2 Odvzdušnění ..... 33
4.2 RÁMY FOREM ..... 34
4.2.1 Rozložení tvarových dutin ..... 35
4.3 VTOKOVÁ SOUSTAVA ..... 36
4.3.1 Studená vtoková soustava ..... 37
4.3.2 Vyhřívané systémy ..... 37
4.3.3 Vtoková ústí ..... 39
4.4 TEMPERACE ..... 42
4.4.1 Konformní chlazení ..... 44
4.4.2 Teplotně vodivé materiály ..... 44
4.5 POSUVNÉ JÁDRA ..... 45
4.5.1 Šikmé válcové kolíky ..... 45
4.5.2 Hydraulické a pneumatické tahače jader ..... 45
4.6 VYHAZOVÁNÍ ..... 46

4.6.1 Přímé vyhazovače ..... 46
4.6.2 Stírací deska ..... 46
4.6.3 Šikmé vyhazovače ..... 47
**5 SIMULACE VSTŘIKOVÁNÍ ..... 48**
5.1 PRACOVNÍ POSTUP ..... 49
**II PRAKTICKÁ ČÁST ..... 50**
**6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE ..... 51**
**7 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK ..... 52**
7.1 MATERIÁL ..... 52
**8 VSTŘIKOVACÍ STROJ ..... 53**
8.1.1 Uzavírací síla ..... 53
8.1.2 Velikost komory a šneku ..... 53
8.1.3 Maximální velikost formy ..... 53
**9 ZHODNOCENÍ VYROBITELNOSTI SOUČASNÉHO NÁVRHU VÝROBKU ..... 55**
9.1 ZAFORMOVÁNÍ A ANALÝZA ÚKOSU ..... 55
9.2 TLOUŠŤKA STĚN ..... 55
9.3 NEGATIVY ..... 56
9.4 POVRCH ..... 57
9.5 UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ ..... 57
9.6 TOKOVÁ ANALÝZA ..... 58
9.6.1 Kvalita sítě ..... 58
9.6.3 Nejvhodnější pozice vtoku ..... 59
9.6.5 Uzavřený vzduch ..... 60
9.6.7 Chlazení ..... 61
9.6.8 Propady ..... 61

9.6.9 Deformace ..... 62
**10 OPTIMALIZACE NÁVRHU DESIGNU Z POHLEDU VSTŘIKOVÁNÍ ..... 64**
10.1 ÚPRAVA GEOMETRIE ..... 64
10.1.1 Tloušťka stěn ..... 64
10.1.2 Žebra ..... 65
10.1.3 Tvary tvořící negativy ..... 65
10.2 VTOKOVÁ SOUSTAVA ..... 65
10.2.1 Pozice vtoku ..... 66
**11 ANALÝZA PO OPTIMALIZACI ..... 67**
11.1 PROCESNÍ PARAMETRY ..... 67
11.2 PLNĚNÍ A DOTLAK ..... 68
11.3 PROPADLINY ..... 69
11.4 SMYKOVÉ NAMÁHÁNÍ ..... 70
11.5 UZAVŘENÝ VZDUCH ..... 70
11.6 CHLAZENÍ ..... 70
11.7 DEFORMACE ..... 71
**12 KONSTRUKCE NÁSTROJE ..... 73**
12.1.1 Layout výrobků ..... 74
12.1.2 Rám formy a vedení ..... 74
12.1.3 Volba materiálů ..... 75
12.2 DĚLÍCÍ ROVINA ..... 76
12.3 TVAROVÉ ČÁSTI ..... 76
12.3.1 Tvárník ..... 77
12.3.2 Tvárnice ..... 77
12.3.3 Šikmé tvarové vyhazovače ..... 78
12.3.4 Odvzdušnění ..... 78

12.4 VTOKOVÁ SOUSTAVA ..... 79
12.5 TEMPERAČNÍ SYSTÉM ..... 80
12.5.1 Pevná polovina ..... 80
12.5.2 Pohyblivá polovina ..... 81
12.6 VYHAZOVACÍ SYSTÉM ..... 82
12.7 TRANSPORT NÁSTROJE ..... 83
**DISKUZE VÝSLEDKŮ ..... 84**
**ZÁVĚR ..... 86**
**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY ..... 87**
**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK ..... 90**
**SEZNAM OBRÁZKŮ ..... 92**
**SEZNAM TABULEK ..... 96**
**SEZNAM PŘÍLOH ..... 97**

# ÚVOD

Lidstvo se setkává s makromolekulárními látkami odnepaměti. Zpočátku se jednalo hlavně o přírodní polymery. Rozvoj syntetických polymerů nastal až ve 20. století, ačkoliv některé materiály byly známy už dříve, Pojem plast byl odvozen z řeckého „plastein“, což v překladu znamená „tvarovat“. [1]

Technologie vstřikování zaznamenala od svých počátků až do současnosti velký pokrok ve všech oblastech. Důvodem je masivní rozvoj v oblasti použití plastových komponentů, a to především v elektrotechnickém průmyslu, automobilovém průmyslu nebo pro spotřební zboží. Kolem 90 % plastových dílů je dnes vyráběno technologií vstřikováním a výrobu lze plně automatizovat. Nejčastěji se vstřikují termoplasty, které mohou být vyztužené nejčastěji skelnými vlákny. Mezi běžné materiály patří i tzv. blendy. Jedná se o směs dvou různých polymerů s cílem využít jejich vlastnosti. Mezi taková směsi patří např. PC/ABS.

Cílem této práce je optimalizace designu plastového výrobku pro technologii vstřikování za pomocí CAE softwaru a návrh vstřikovací formy. V tomto případě se jedná o krytku zadního stěrače, která je vyrobena z materiálu PBT-PET s přídavkem 30 % skelného vlákna.

# I. TEORETICKÁ ČÁST

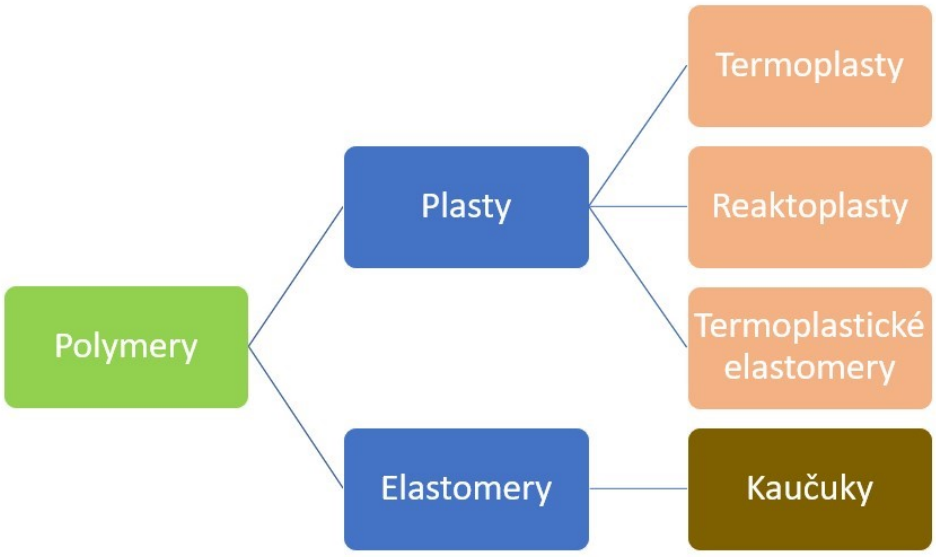
# 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Technologie vstřikování urazila od svého prvopočátku velmi dlouho a úspěšnou cestu, a to hlavně díky širokým možnostem využití termoplastů zejména v automobilovém a elektrotechnickém průmyslu. Široké uplatnění mají termoplasty i v obalové technice a spotřebním zboží a vstřikování je i nadále velmi perspektivní technologií. [1]

Všechny syntetické polymery jsou tvořeny makromolekulami, které vznikají opakovaným spojováním základní jednotky (meru), odvozené od výchozí molekuly (monomeru). Spojováním dvou nebo více druhů základních jednotek vznikají kopolymery. [2]

## 1.1 Základní rozdělení

Základní rozdělení polymerních materiálů je na skupinu plastů a elastomerů. Plasty dále dělíme na termoplasty a reaktoplasty. Elastomery lze dělit na kaučuky a termoplastické elastomery.

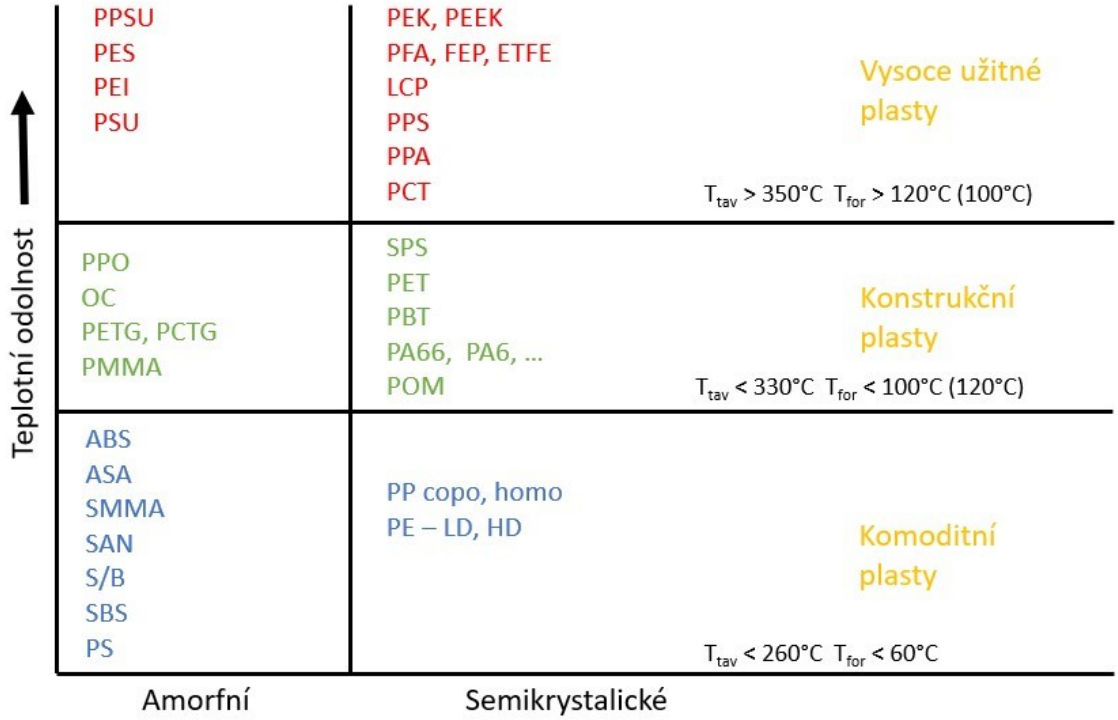



Obrázek 1 Rozdělení polymerů

### 1.1.1 Termoplasty

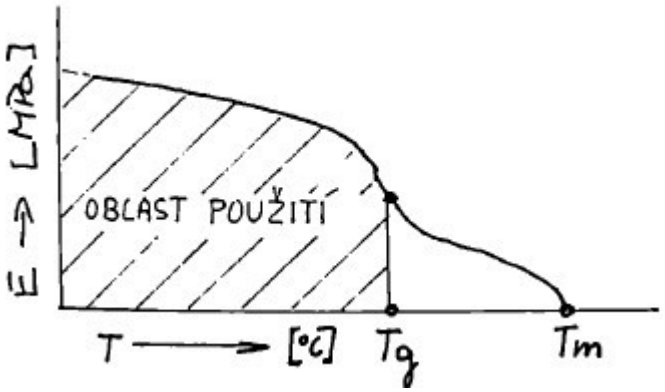
Základní rozdělení je na amorfní a semikryslalické. Termoplasty jsou polymery, které mají řetězce přímé (lineární) nebo řetězce s bočními větvemi (rozvětvené polymery). Při ohřevu se uvolní soudržnost řetězců a hmota je viskózní. V tomto stavu se může tvářet. Po

ochlazení se dostanou opět do původního stavu. Termoplasty je možné opakovaně zpracovat [4]



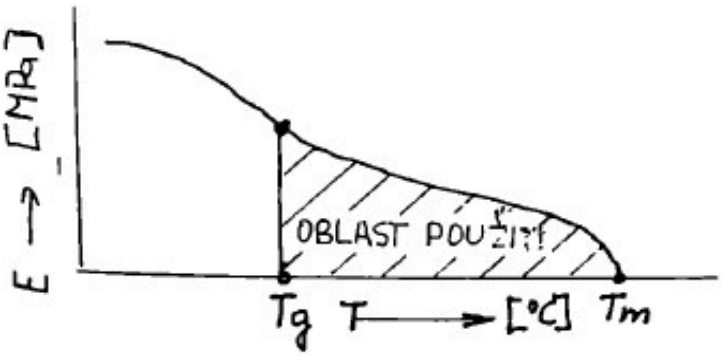

Obrázek 2 Základní rozdělení termoplastů

Amorfní materiály mají řetězce uspořádané nepravidelně. Vyznačují se dobrou rozměrovou stabilitou, odolností proti krípu a dobrou pevností při vyšších teplotách. Jsou obvykle transparentní. Nevýhodou je menší chemická odolnost a otěruvzdornost. Výrobky jsou použitelné v oblasti pod teplotou skelného přechodu (Tg).




Obrázek 3 Oblast použití amorfních polymerů [4]

Semikrystalické materiály vykazují určitý stupeň uspořádání dle obsahu krystalické fáze. Mezi výhody patří dobrá tažnost, chemická odolnost, otěruvzdornost a odolnost pro cyklickému namáhání. Vlivem krystalické fáze mají menší rozměrovou stabilitu, která je dána větším smrštěním nebo deformacemi. Mají menší odolnost proti creepu. Jejich využití je v oblasti nad teplotou Tg.




Obrázek 4 Oblast použití semikrystalických polymerů [4]

### 1.1.2 Reaktoplasty

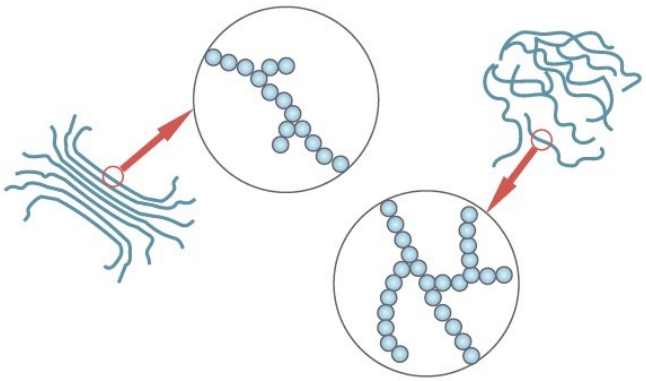
Reaktoplasty jsou známe také pod názvem termosety nebo duraplasty. K zesíťování dochází vlivem tepla a tlaku, případně katalyzátoru. Po dokončení síťování není možné materiál dále tvářet, a proto není možné reaktoplasty znovu zpracovat. Mezi hlavní vlastnosti reaktorplastů patří rozměrová stálost a teplotní odolnost. Uplatnění mají v elektrotechnickém průmyslu jako izolanty. V automobilovém průmyslu se používají na výrobu reflektorů světel díky své teplotní odolnosti.

### 1.1.3 Elastomery

U elastomerů dochází k zesíťování působením tepla a přidáním vulkanizačního činidla, kterým je nejčastěji síra. Mezi základní vlastnosti patří velká elasticita, vysoká chemická odolnost a dobré elektroizolační vlastnosti. Pryže mají široké uplatnění ve výrobě těsnění, silentbloků, pneumatik nebo jako izolace kabelů. Pro technologii vstřikování jsou vhodné spíše termoplastické elastomery.

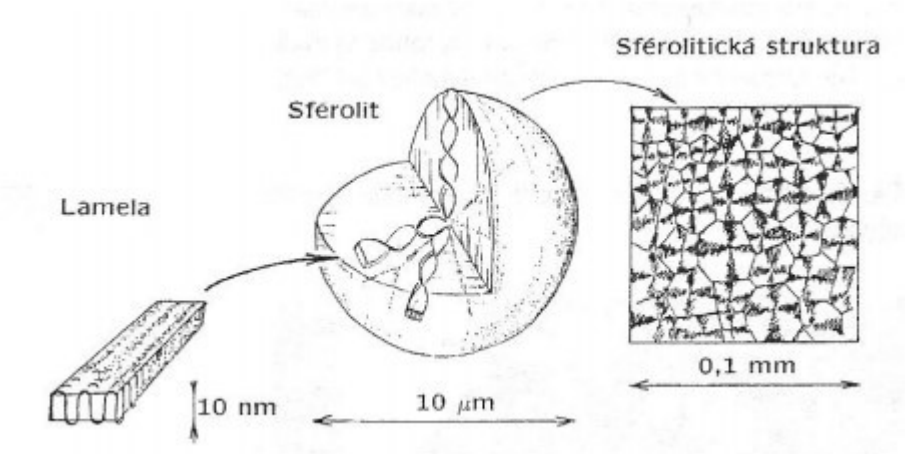
## 1.2 Nadmolekulární struktura polymerů

Polymerní látky jsou schopné částečné krystalizace, a to buď z velmi zředěných roztoků nebo z taveniny. Krystalizace znamená, že části molekul se spolu skládají a vytvářejí tak pravidelnou prostorovou strukturu. Skládají se do lamel, což jsou destičkové útvary s tloušťkou přibližně 10 nm. Lamely vyrůstají dendritickým způsobem a vytvářejí větší, kulovité útvary nazývané sférolity. Částečná krystalizace znamená, že mezi krystalickou uspořádanou strukturou je i neuspořádaná amorfní struktura. [2]



Obrázek 5 Semikrystalická struktura (vlevo) a amorfní struktura [5]

Všechny polymery ve stavu kapaliny jsou amorfní. Pokud molekuly nemají schopnost krystalizace při přechodu do tuhého stavu, tak jsou bez pravidelné nadmolekulární struktury. Takovou skupinu polymerů nazýváme amorfní. [2]




Obrázek 6 Sférolitická struktura [6]

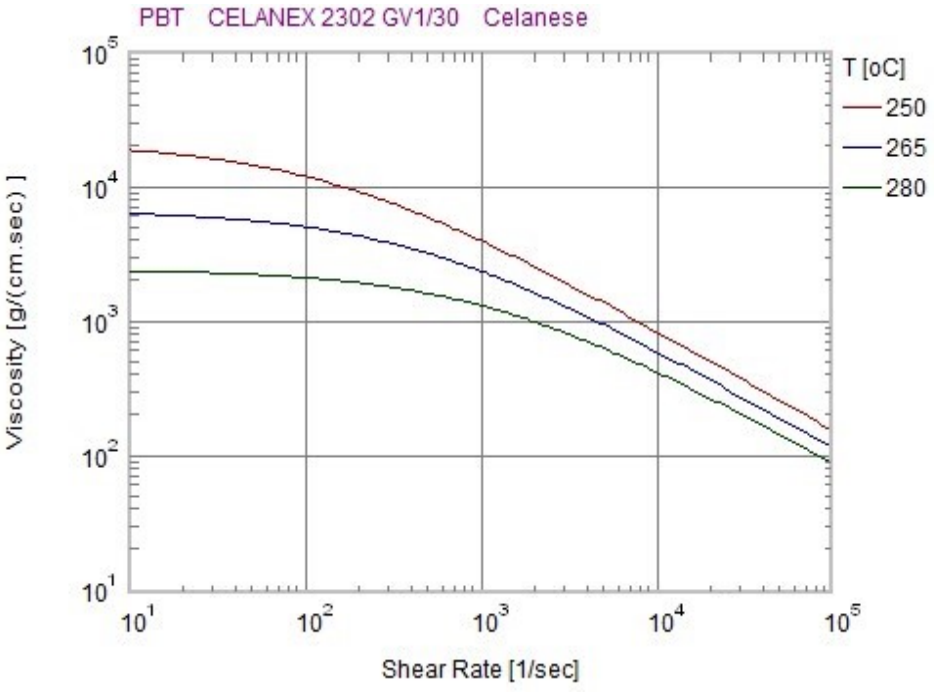
## 1.3 Reologie polymerních materiálů

Tokové chování polymerů je předmětem zkoumání reologie. Reologie polymerů zahrnuje výzkum viskozity kapalin, vztah mezi molekulovou strukturou, tlakem, teplotou, vliv rozpouštědel a změkčovadel. Důvodem rozdílného reologického chování polymerů od nízkomolekulárních látek je jejich velká molekulová hmotnost, délka řetězců s některých případech s rozvětvenou strukturou. Reologie polymerů hraje v procesu vstřikování důležitou roli. [5]

Tok polymerních tavenin je nenewtonský, pseudoplastický. Tokové vlastnosti konkrétního polymeru se vyjadřují pomocí tokových křivek, které jsou konstruovány jako závislosti experimentálně naměřených smykových napětí na rychlosti smykové deformace v měřeném místě. [2]

### 1.3.1 Index toku taveniny

Index toku taveniny (ITT) udává, jaké množství polymeru v gramech nebo $cm^3$ vyteče tryskou výtlačného plastometru za 10 minut při definovaném zatížení a teplotě. Index toku může být objemový (MVR) nebo hmotnostní (MFR). Index toku taveniny představuje pouze jeden bod na viskozitní trysce.




Obrázek 7 Viskozitní křivka materiálu PBT Celanex 2302 GV1/30

## 1.4 Úprava polymerů pro zpracování a použití

Aby bylo možné polymery zpracovávat, je nutná jejich úprava přidáním aditiv. Aditiva zlepšují zpracovatelské podmínky nebo vlastnosti finálních výrobků.

### 1.4.1 Stabilizátory

UV stabilizátory zvyšují odolnost výrobků proti atmosférické degradaci. Termooxidační stabilizátory zvyšují hranici teploty a doby použití výrobků. [1]

### 1.4.2 Lubrikanty, nukleační činidla a antistatika

Lubrikanty snižují viskozitu taveniny a zlepšují odformování. Nukleační činidla modifikují rychlost krystalizace a tím ovlivňují čas výrobního cyklu. Antistatika snižují vznik elektrostatického náboje. [1]

### 1.4.3 Retardéry hoření

Retardanty hoření mají za cíl snížit hořlavost termoplastů. Jejich účinnost je až při vyšších koncentracích (5-40 %) a mají vliv na zpracovatelské podmínky i užitné vlastnosti. Hořlavost polymerů hodnotí dle rozšířené americké normy UL94. [1]

### 1.4.4 Barviva a pigmenty

Pigmenty a barviva dávají polymernímu materiálu barvený odstín a kryvost. Barviva se mohou přidávat při výrobě granulátu u výrobce. Nebo se při zpracování bezbarvého granulátu do násypky vstřikovacího stroje barvivo přimíchá ve formě barevných koncentrátu tzv. masterbatch. [1]

### 1.4.5 Plniva

Plniva v termoplastech dělíme na částicová a vyztužující. Částicová plniva mají různý tvar a velikost. Jedná se o převážně minerální materiály zlepšující vlastnosti nebo snižující cenu. Mezi částicová plniva patří například skleněné kuličky, talek, práškové kovy, sazek atd.. [1]

Vyztužující plniva, stejně jako ty částicová, se používají do koncentrací přibližně 60 %. Mají většinou vláknitou strukturu a nejrozšířenější jsou skleněná vlákna. Zvyšují pevnost, tuhost, rozměrovou stálost a snižují smrštění materiálu. [1]

# 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ POLYMERŮ

Vstřikováním se zpracovávají plasty i elastomery. Technologie vstřikování umožňuje vyrábět výrobky velmi složitých tvarů s dobrou rozměrovou přesností. Jedná se o diskontinuální proces realizovaný na vstřikovacím stroji, který je výhodný pro hromadnou výrobu z důvodu vysoké pořizovacích cen nástrojů. [7]

Vstřikování je realizováno na vstřikovacím stroji, na kterém je upevněna vstřikovací forma. Plastikační jednotka, která se skládá z komory a sněnu připravuje z granulátu taveninu. Tavenina je následně dopravena do dutiny formy, kde dojde k ochlazení. Výstřik zde dostává požadovaný tvar a po dokončení chlazení dojde k vyhození výstřiku.

Modifikované technologie vstřikování technicky vycházejí ze základního vstřikování. Patří mezi ně vstřikování s podporou vody (WIT), s podporou plynu (GIT), technologie MuCell, mikrovstřikování nebo dekorační techniky jako je IMD nebo IML.

## 2.1 Vstřikovací cyklus

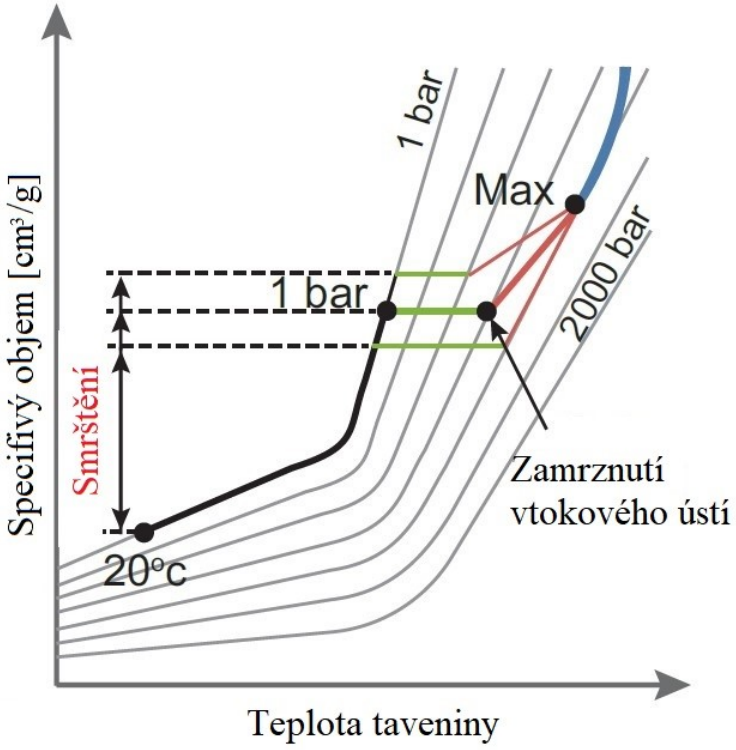
Vstřikovací cyklus začíná zavřením formy uzavírací jednotkou. Následně se přisune vstřikovací jednotka, šnek koná axiální pohyb a dutina formy je plněna taveninou. Po naplnění dutiny začíná fáze dotlaku, který má za úkol kompenzovat změnu objemu smrštěním. Již během dotlaku probíhá chlazení, které je zpravidla delší. V komoře zároveň probíhá plastikace. Po ochlazení dojde k otevření formy a vyhození výstřiku ven.

Obrázek 8 Vstřikovací cyklus [5]

### 2.1.1 pvT diagram

Znalosti termodynamických charakteristik polymeru a zejména pvT diagramu umožňují pochopení fyzikálních procesů probíhajících v tvarové dutině vstřikovací formy. Diagramy pvT zobrazují závislost specifického objemu na teplotě při různých tlacích. [2]

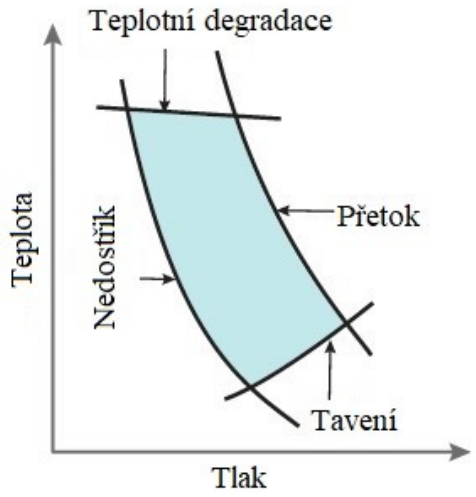
Dosadíme-li konkrétní časové průběhy tlaku a teploty do pvT diagramu, máme jasně znázorněný průběh vstřikovacího procesu.




Obrázek 9 pvT diagram při vstřikování [5]

### 2.1.2 Procesní okno

Protože se vlastnosti polymerů liší za různých teplot a tlaků, mění se jejich specifický objem, viskozita, teplotní vodivost a další paramenty, které mají vliv na proces vstřikování. Procesní parametry se musí pohybovat v mezích, které stanovuje procesní okno. Pokud se technolog dostane mimo procesní okno, hrozí výroba nekvalitních výstřiků. [5]




Obrázek 10 Procesní okno [5]

## 2.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj se dělí na 2 hlavní části, kterými jsou uzavírací a vstřikovací jednotka. Stroj je vybavený příslušným řídícím systémem a zpravidla je nutné jej doplnit o další periferní zařízení, které závisí na druhu materiálu, typu výrobku a požadavcích na jeho jakost.

Vstřikovací stroje můžeme dělit dle pohonu:

- Hydraulický.
- Elektrický.
- Hybridní.

Dle typu zpracovávaného polymeru

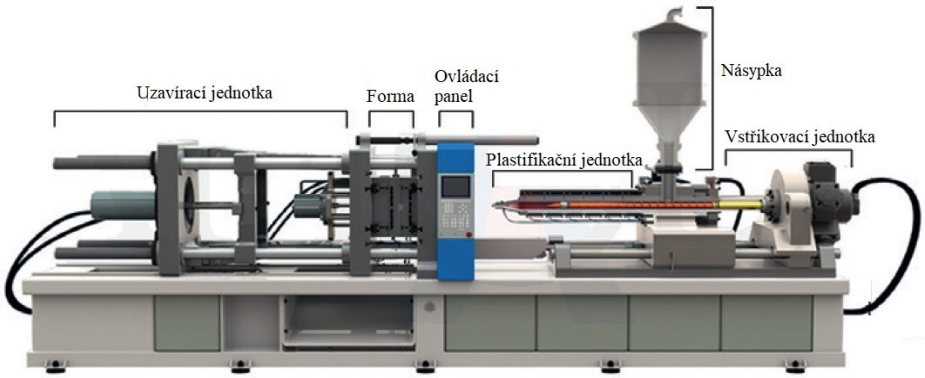
- Vstřikování termoplastů.
- Vstřikování termosetů.
- Vstřikování elastomerů.

Dle konstrukce rámu:

- Sloupkové.
- Bezsloupkové.

Dle vstřikovací jednotky:

- Šnekové.
- Pístové.

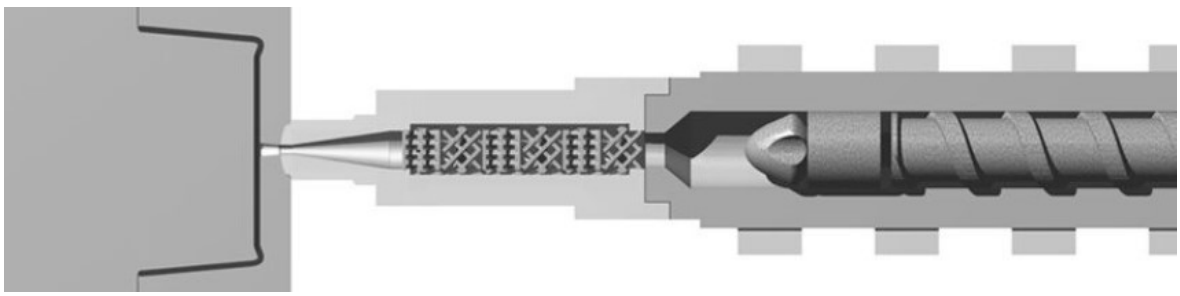



Obrázek 11 Schéma vstřikovacího stroje [5]

### 2.2.1 Vstřikovací jednotka

Úkolem vstřikovací jednotky je příprava taveniny z granulátu a její doprava do dutiny vstřikovací formy. Její kapacita určuje maximální možný objem vstřikovaného dílu.

Starší typ jednotky se skládá z komory a pístu, který koná jen axiální pohyb vpřed a vzad. K promíchání slouží torpédo, které je umístěné před tryskou. Druhým typem je komora se šnekem, kde šnek koná navíc ještě rotační pohyb kolem své osy a tím zajišťuje promíchání materiálu. Při používání barevných koncentrátů je možné volit šnek s mixérem nebo použít statické směšovací mixéry.



Obrázek 12 Statický směšovací mixér [8]

### 2.2.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka slouží k usazení vstřikovací formy, generování potřebné uzavírací síly a vyhození výstřiků.

K upevnění formy slouží dvě upínací desky, z nichž jedna je pohyblivá a druhá je statická. Upnutí formy může být pomocí šroubů, upínek nebo pomocí speciálního příslušenství jako je hydraulické, bajonetové nebo magnetické upínání.

Uzavírací síla může být vyvozena hydraulicky (píst), mechanicky (kloub) nebo jejich kombinací. Pohon je hydraulický, elektrický nebo případně hybridní.

Pohyb vyhazovacího systému je převážně řešený pomocí hydrauliky a je nezávislý na ostatních pohybech vstřikovacího stroje. Jeho úkolem je vyhození výstřiku z formy.

### 2.2.3 Řízení stroje

Každý výrobce používá vlastní řídící systém, který obsluha stroje ovládá pomocí ovládacího panelu, který je dnes vybaven dotykovým displejem. Obsluha stroje může spouštět uložené programy, nastavovat, upravovat nebo sledovat potřebné parametry, které ovlivňují jakost výstřiků.

### 2.2.4 Periferní zařízení

Mezi periferní zařízení patří nasávače a sušičky granulátu, barvící zařízení, temperační zařízení forem, chladiče, drtiče, separátory, manipulátory a chapadla.

Sušičky jsou nezbytné, pokud materiál vyžaduje sušení, protože zbytková vlhkost může způsobovat pohledové vady.

Barvící zařízení dávkuje barevné koncentráty a využívá se k probarvení granulátu v komoře. Rozdělujeme je na gravimetrické a volumetrické.

Temperační zařízení je potřebné, pokud se forma temperuje na teplotu vyšší, než je voda ve vodním řádu. Nad teploty 180 °C se pak používá olej. Naopak chladiče temperační médium ochlazují na teplotu menší než v řádu.

Drtiče umožňují drtit vtokové zbytky a přidávat je zpět do násypky stroje pro další zpracování. Separátory, nejčastěji magnety, zaručují čistotu znovu namletého materiálu.

Manipulátory a chapadla slouží k odebírání výstřiků z formy a to zejména u pohledových výstřiků, kde by volným pádem došlo ke znehodnocením poškrábáním nebo jiným poškozením výstřiku.

# 3 KONSTRUKCE VÝSTŘIKŮ

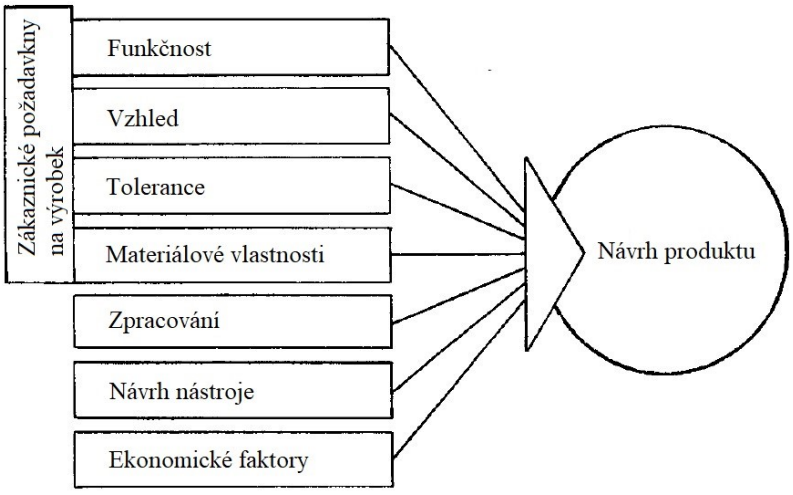
Při návrhu vstřikovaných výrobků z termoplastů je kromě jeho funkce taky důležitá technologičnost. Konstrukční zásady pro výrobky z plastů jsou odlišné od těch z kovu.

Konstruktér plastových výrobků musí znát vliv prostředí na navrhovaný výrobek. S tím souvisí volba vhodného polymeru. Základní znalost vstřikovacích forem a možností zaformování jsou nutností. [9]

Každá změna v konstrukci výrobku ve fázi, kdy je vstřikovací forma již vyrobená je buď velmi nákladná nebo v některých případech zcela nemožná.

## 3.1 Požadavky na návrh

Návrh produktu zahrnuje soubor požadavků. Patří mezi ně požadavky na funkci, vzhled, rozměrové tolerance a materiálové vlastnosti. Dalšími faktory, které mají na návrh produktu vliv jsou možnosti zpracování, konstrukce vstřikovací formy a neposlední řadě také ekonomické aspekty. [10]

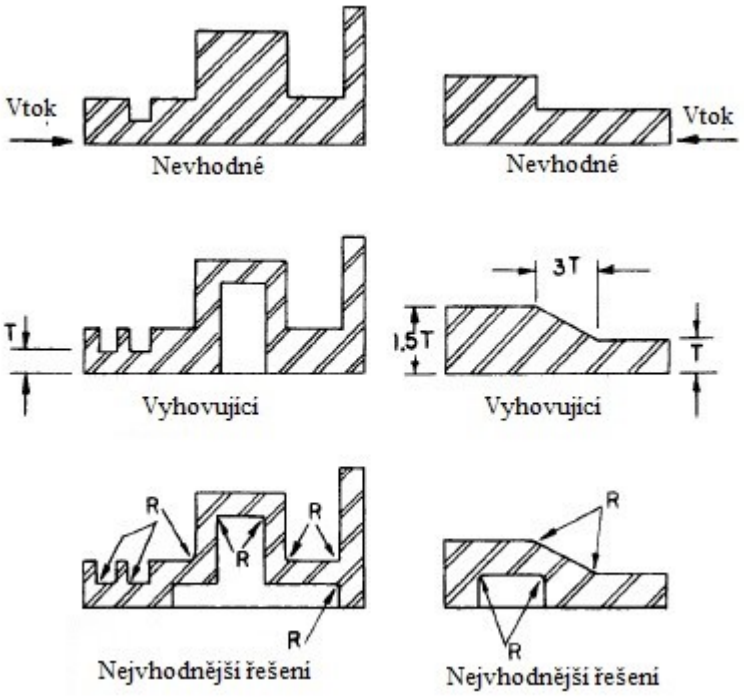



Obrázek 13 Požadavky na návrh produktu [10]

### 3.1.1 Tloušťka stěn

Základním předpokladem je konstantní tloušťka stěny. Velmi malá tloušťka stěny může způsobit problémy s tokem taveniny nebo nárůstem tlaku v dutině. Silná stěna naopak způsobuje propadliny, deformace nebo lunkry a prodlužuje časy chlazení exponenciálně.

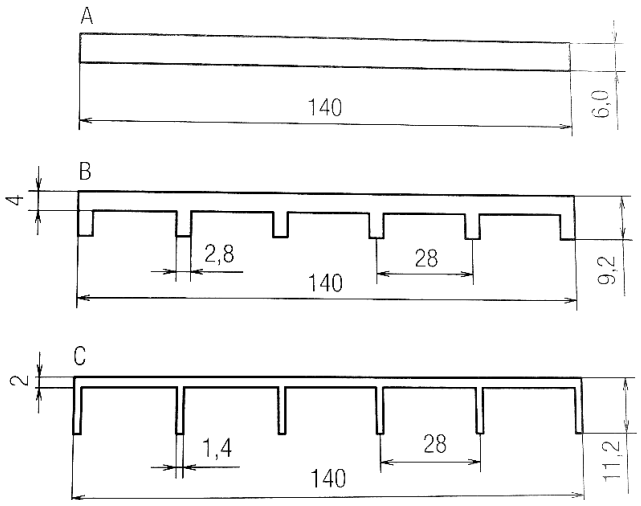
Pokud je potřeba zvýšit tuhost výrobku, tak je výhodné využít žebrování. Rozdílné tloušťky stěn lze někdy využít u usměrnění toku taveniny.




Obrázek 14 Optimální návrh vstřikovaného výrobku
[10]

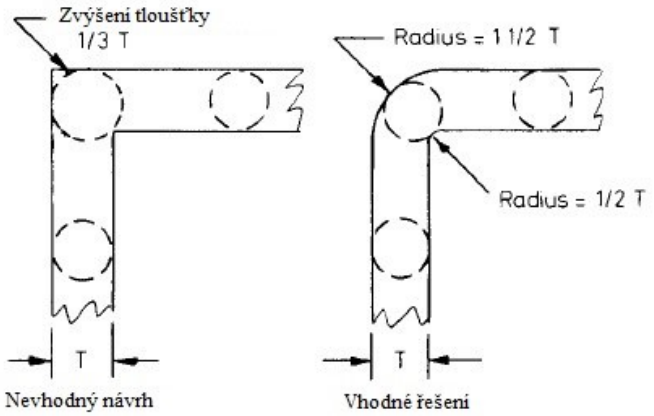
### 3.1.2 Výztuž žebry

Výztuž žebry je výhodná jak z pohledu úspory materiálu, tak z hlediska snížení času cyklu při dotlaku a chlazení. Příkladem je obrázek 14, který zobrazuje 3 varianty návrhu výstřiku se shodným momentem setrvačnosti. Varianta A je silnostěnná bez výztuže. Varianta B snižuje spotřebu materiálu o 23 % a snižuje dobu dotlaku na 35 %. Varianta C nabízí materiálovou úsporu 57 % a snížení doby dotlaku na 15 % [2]




Obrázek 16 Porovnání návrhů vyztužení [2]

### 3.1.3 Zaoblení hran

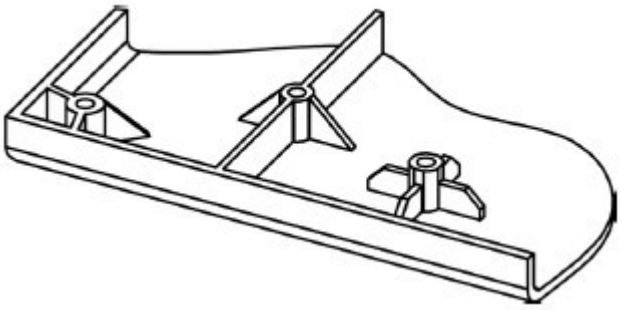



Obrázek 15 Zaoblení hran [10]

Ostré hrany způsobují vruby, kde se koncentruje napětí, které může způsobit selhání výrobku. V rozích dochází k nerovnoměrnému chlazení vlivem rozdílných tlouštěk stěn, což vede ke vzniku deformací. Zaoblení je výhodné při výrobě forem, protože není nutné použít EDM obrábění k dosažení ostrých rohů.

### 3.1.4 Nálitky a háčkové spoje

Nálitky jsou spojovacími body pro sestavy dílů. Nesprávně zvolené umístění a síla stěny může způsobit pohledové vady. Nálitky musí vydržet zašroubování závitořezného šroubu a zatěžovací sílu při konečném použití výrobku.



Obrázek 17 Návrh nálitků [11]

Háčkové spoje slouží ke spojování součástí bez použití dalšího spojovacího materiálu. Mohou být i reverzibilní. Většinou se jedná o vetknuté nosníky zatížené silou F na volném konci. [12]

### 3.1.5 Úkosy

Úkosy jsou sklony stěn kolmo k dělící rovině a umožňují snadné vyhození výstřiku z dutiny formy. Dělíme je na vnější a vnitřní. Větší hodnoty jsou požadovány u hlubokých otvorů, žeber nebo při použití textur. [4]

Tabulka 1 Velikost úkosů [4]

| Úkos pro | Velikost úkosu |
|---|---|
| Vnější plochy | 30´-2° |
| Vnitřní plochy | 30´-3° |
| Otvory do hl. 2D | 30´-1° |
| Hluboké otvory | 1-10° |
| Žebra, nálitky | 1-10° |
| Výstupky | 2-10° |

## 3.2 Požadavky na jakost

Rozměry, jejich tolerance a struktura povrchu je předepsána 2D výkresem výrobku. U plastových výrobků by předepisování tolerancí mělo být tak přesné, jak požaduje funkce výrobku a nikoliv, jak dovoluje výrobní tolerance. [2]

### 3.2.1 Rozměrové tolerance

V rámci globalizace se pracuje i podle standardů DIN. V roce 2013 byla vydaná nová norma DIN 16742:2013. Norma definuje 9 tolerančních skupin TG dle požadované přesnosti. Toleranční pole by mělo být vždy symetrické, aby se minimalizovali chyby a problémy, protože při konstrukci formy je původní CAD model výrobku zvětšen o smrštění. Norma definuje i teplotu a vlhkost prostředí pro měření. [2]

### 3.2.2 Jakost povrchu

Povrch výrobku je často definován konstruktérem a má značný vliv na cenu nástroje. Povrch může být pouze obrobený, se stopy po obráběcích nástrojích. Dále může být upravován leštěním od technického lesku po vysoce leštěný tzv. zrcadlový lesk. Je také možné využít textury, která má struktury krupičky a zpravidla je zhotovená pískováním, EDM obráběním, leptáním nebo laserem. Využití laseru nebo leptání je vhodná technologie pro složitější vzory textury jako je například vzhled dřeva nebo kůže. [11]

Jakost povrchu lze předepisovat dle stupnice SPI,

Tabulka 2 Stupnice SPI pro dokončovací metody povrchů [13]

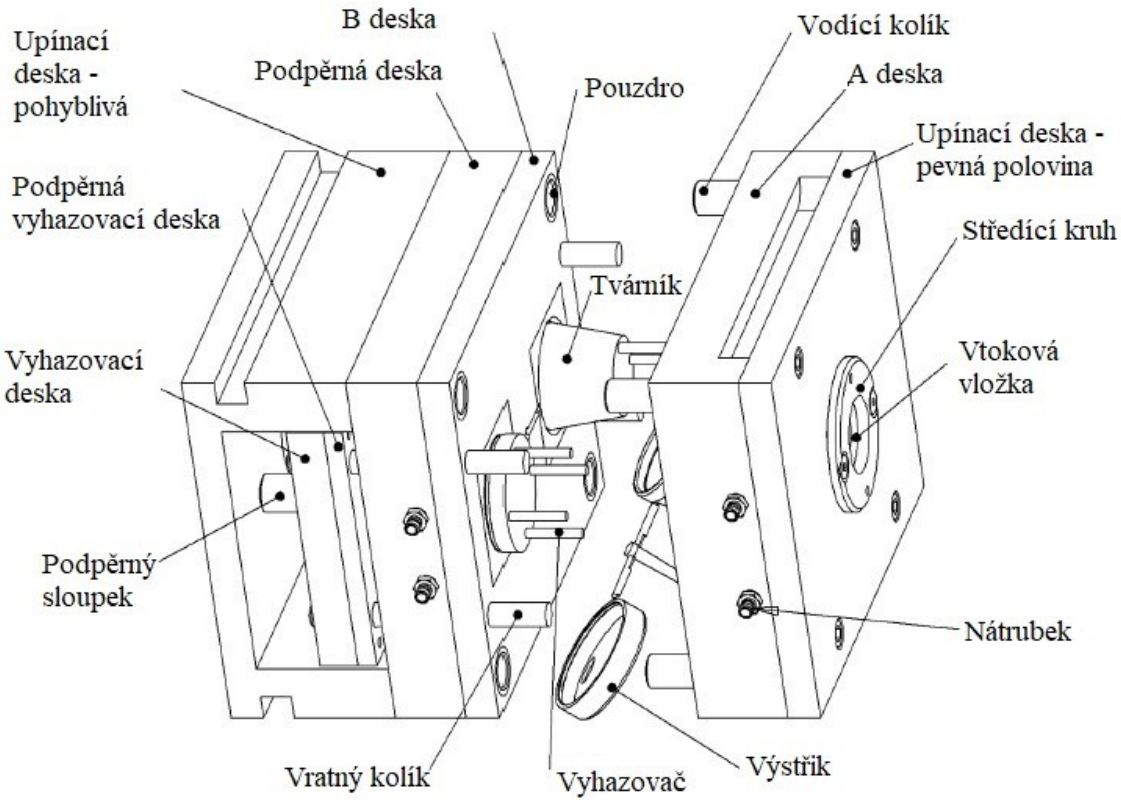
| **SPI stupeň** | **Dokončovací metoda** | **Struktura povrchu (um)** |
|---|---|---|
| A1 | #3 diamantová pasta | 0,01 |
| A2 | #6 diamantová pasta | 0,02 |
| A3 | #15 diamantová pasta | 0,04 |
| B1 | #600 brusný papír | 0,08 |
| B2 | #400 brusný papír | 0,1 |
| B3 | #320 brusný papír | 0,12 |
| C1 | 600 brusný kámen | 0,2 |
| C2 | 400 brusný kámen | 0,25 |
| C3 | 320 brusný kámen | 0,3 |
| D1 | #11 tryskání sklem | 0,5 |
| D2 | 240 tryskání pískem | 0,8 |
| D3 | #24 tryskání pískem | 4 |

# 4 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je komplexní systém, který musí zároveň splnit požadavky, které na ní klade proces vstřikování. Vstřikovací forma má 3 hlavní funkce:

- Přívod taveniny do tvarové dutiny a tím dadat tvar vstřikovanému výrobku.
- Odvod tepla, která vnáší do formy vstřikovaný polymer, skrz chladící médium.
- Vyhození dílů efektivním způsobem bez deformování výstřiků. [11]

Forma by měla být navržena tak, aby při pravidelné údržbě vydržela spolehlivě produkovat výstřiky po dobu své garantované záruky. Při konstrukci a výrobě vstřikovacích forem je z ekonomického a časového hlediska výhodné použití dostupných normálií.



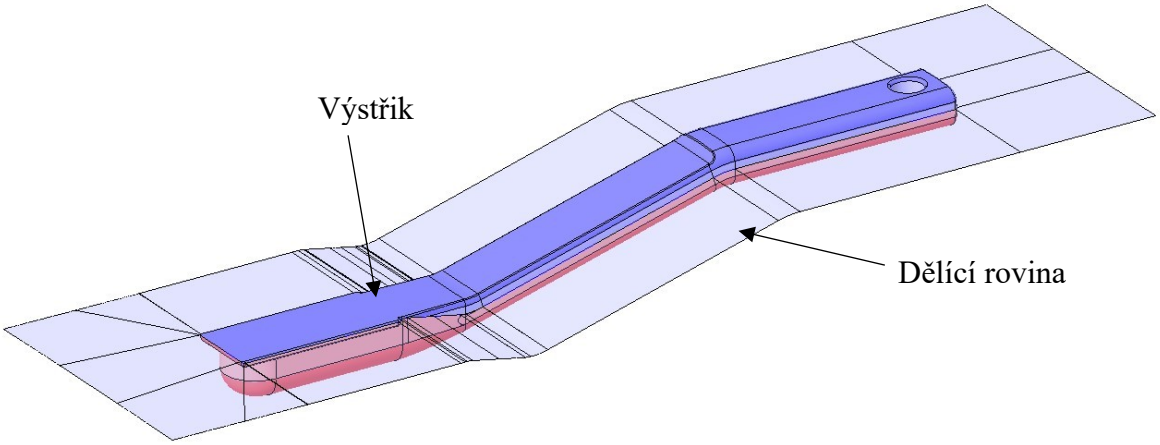

Obrázek 18 Izometrický pohled na vstřikovací formu [11]

## 4.1 Tvarová dutina

Tvarová dutina může být zhotovena přímo v rámu vstřikovací formy nebo jako samostatné tvarové vložky do rámu usazené. Konstrukce tvarové dutiny začíná zvětšením modelu výstřiku o smrštění vstřikovaného polymeru, zhotovením dělící roviny a definování velikosti tvárnice a tvárníku.

### 4.1.1 Zaformování

Zaformování vychází z konstrukce výstřiku. Je nutné zvolit správnou orientaci vůči směru otevírání formy, zvolit vhodné úkosy a definovat dělící rovinu. Dělící rovina může být hlavní nebo dle složitosti výrobku může být doplněna několika rovinami vedlejšími.

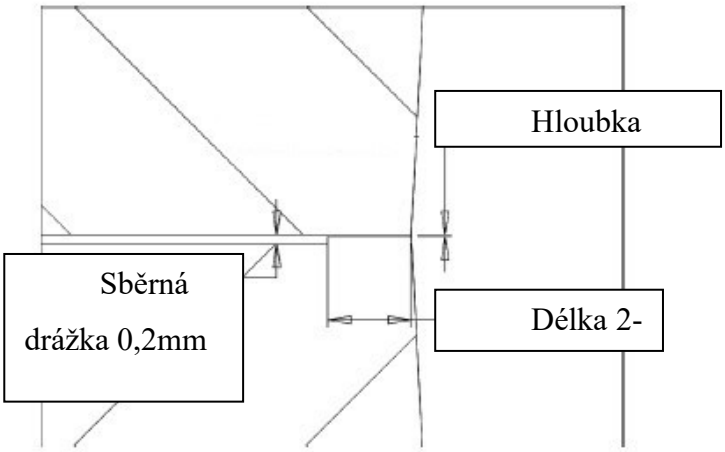



Obrázek 19 Zaformování výstřiku

### 4.1.2 Odvzdušnění

Dutina formy je zaplněna vzduchem, který musí během plnění z dutiny odveden. Pokud se tak nestane, může zavřený vzduch způsobovat defekty v podobně spálených míst nebo nedostříknutého výrobku. Odvzdušnění je realizováno odvzdušňovacími kanálky a odváděno do větších sběrných drážek. Odvzdušnění je možné realizovat v dělící rovině, přes vyhazovače nebo přes odvzdušňovací vložky, které mohou být vyrobeny z porézního materiálu. Kritická místa složitějších výstřiků je možné detekovat pomocí tokových simulací.

Hloubka odvzdušňovacího kanálku je běžně 0,02 mm, ale u plněných polymerů může dosahovat i hodnot kolem 0,07 mm.




Obrázek 20 Detail odvzdušňovací drážky [13]

## 4.2 Rámy forem

Po volbě rozměrů tvárníku a tvárnice může být zvolen vhodný rám forem. Aby byla zvolena vhodná velikost rámu, tak musí být definovaná násobnost nástroje. Násobnost určuje, kolik výrobků vyrobí forma během jednoho zdvihu. Konstruktér musí určit potřebné místo pro chladící okruhy, vtokovou soustavu a vyhazování. Finální velikost ránu musí být vhodná pro zvolený vstřikovací stroj. Určující hodnoty jsou rozměry mezi sloupky nebo velikost upínacích desek u bezsloupkových strojů. Dále je nutné uvažovat nad minimálním nebo maximálním rozměrem forem mezi deskami stroje ve směru otevření forem. [11]

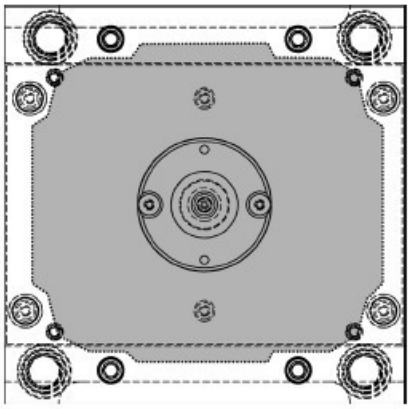
Časově i finančně je výhodné koupit rám forem jako normálii. Výrobci dnes nabízejí několik možných konfigurací rámů včetně vodících kolíků, pouzder a spojovacího materiálu

K dispozici jsou rámy na různé typy forem, které je možné pomocí online konfigurátorů volit, exportovat z nich kusovníky a 3D data.

Obrázek 21 Rám formy [14]

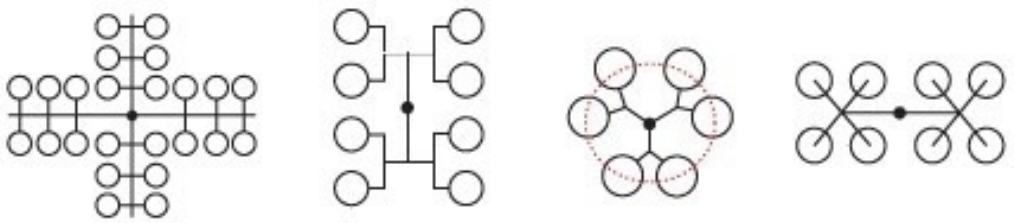
### 4.2.1 Rozložení tvarových dutin

Cílem správného rozložení tvarových dutin je vytvořit kompaktní formu, která bude relativně snadná na výrobu a bude splňovat požadavky na produktivitu. Pokud se jedná o formu s jednou dutinou, tak ta bývá zpravidla umístěná ve středu formy. [11]



Obrázek 22 Využitelnost rámu [11]

Formy o více dutin mají tvarové dutiny rozmístěné dle požadovaného vzoru, který může být kruhový, v řadě za sebou, zrcadlově otočené a jiné.

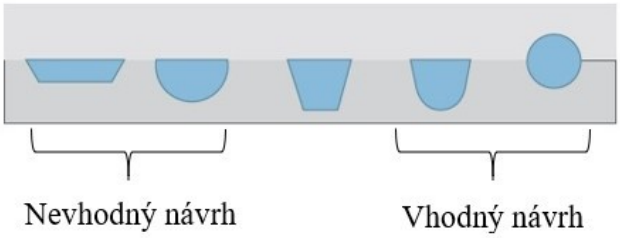


Obrázek 23 Příklady rozložení tvarových dutin [5]

## 4.3 Vtoková soustava

Účelem vtokové soustavy je doprava taveniny ze vstřikovacího stroje do dutiny formy. Návrh vtokového systému může být od nejjednoduššího řešení až po velmi rozsáhlé. Větší investice do vtokového systému znamenají snížení nákladů v podobě úspory materiálu nebo snížení vstřikovacího cyklu. [11]

Při výběru je nutné zvážit, zda bude použitý studený vtokový systém, horký systém nebo jejich kombinaci. Součástí návrhu vtokového sytému je určení velikosti průřezů, velikosti vtokových ústí a vyváženosti celé soustavy pro rovnoměrné plnění. Tlaková ztráta ve vtokové soustavě musí být na přijatelné úrovni, aby bylo možné dutinu formy naplnit. Smyková rychlost musí být pod hranicí použitého polymeru, aby nedocházelo k degradaci materiálu.

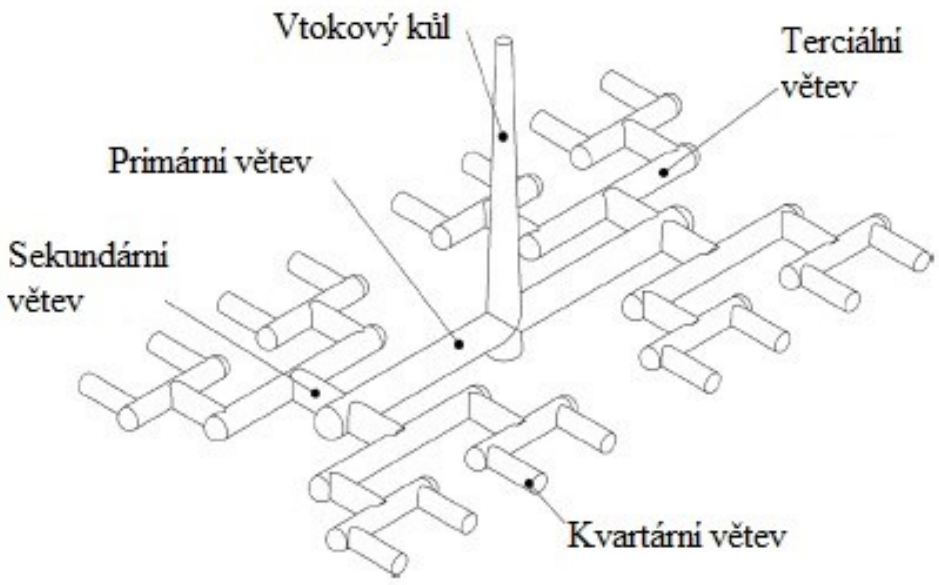



Obrázek 24 Vhodné průřezy vtokové soustavy [5]

### 4.3.1 Studená vtoková soustava

Studená vtoková soustava je základním způsobem vedením taveniny. Zaručuje relativně spolehlivý provoz, ale vytváří odpad v podobě vtokového zbytku. Nejjednodušší vtoková soustava je plný kuželový vtok.

Vtoková soustava může být rozvětvená dle počtu tvarových dutin a někdy může být několikanásobně větší než samotné výrobky.

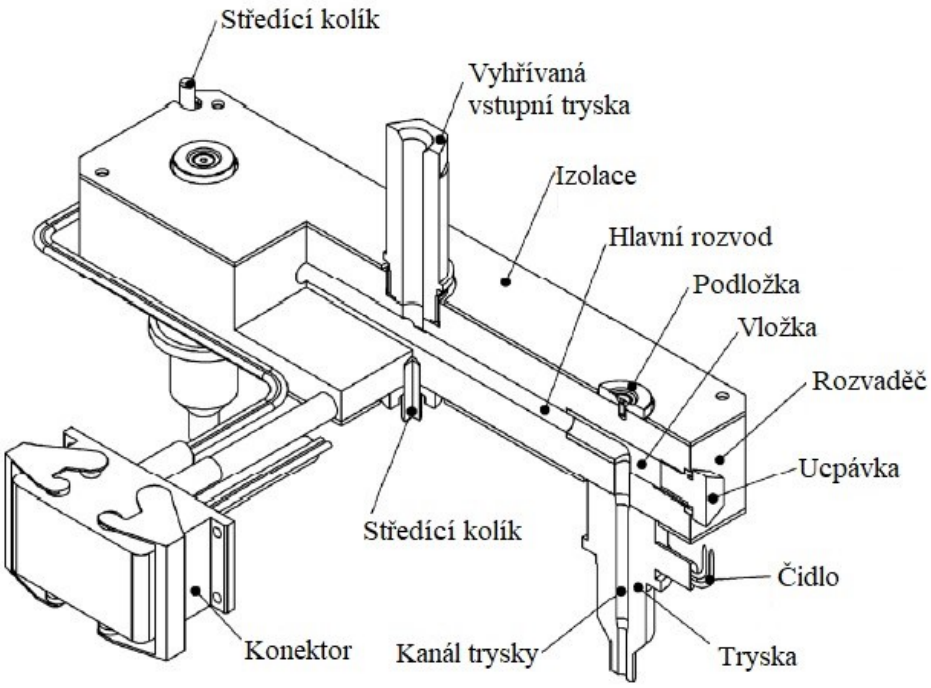



Obrázek 25 Studená vtoková soustava [11]

### 4.3.2 Vyhřívané systémy

Vyhřívané vtokové systémy umožňují zkracovat vystřikovací cyklus, nevytváří odpad v podobně vtokového zbytku a trysky je možné vyústit přímo do výrobku.

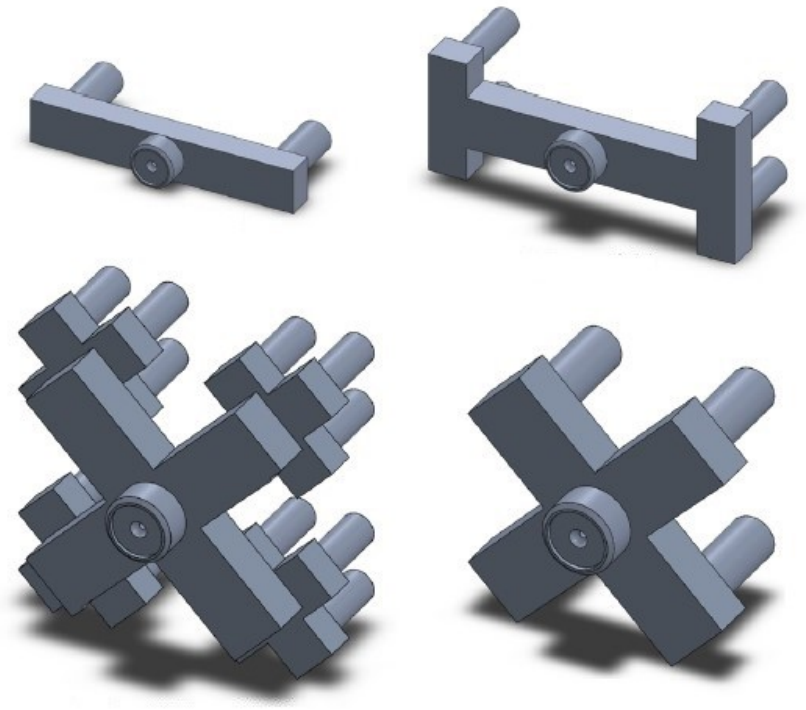
Mezi nevýhody patří možné ucpání nečistotou nebo zdegradovaným materiálem, vyšší nároky na údržbu, ale i vyšší pořizovací náklady.




Obrázek 26 Horký vtokový systém se dvěma tryskami [11]

Existuje několik typů provedení od samotných trysek, které zpravidla ústí do studeného vtokového rozvodu po systémy s rozvody různých tvarů. Nejčastěji se používají tvary horkých rozvaděčů přímé, H a X. Trysky horkých systémů mohou být doplněny uzavíracími jehlami, které minimalizují stopu po vtoku.

Kanály pro polymer jsou v horkém systému vyhřívány topnými tělesy a nedochází tak k ochlazování materiálu.



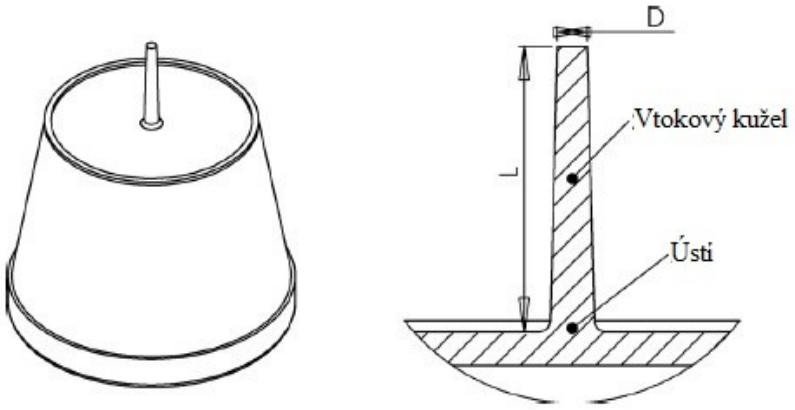
Obrázek 27 Typické konfigurace horkých systémů [11]

### 4.3.3 Vtoková ústí

Hlavní funkcí vtokového ústí je spojení vtokové soustavy s propojení vtokové soustavy s tvarovou dutinou. Existuje mnoho typů vtokových ústí a každý typ výstřiků vyžaduje různé. Vtokové ústí má velký vliv na kvalitu výstřiku. Malé vtokové ústí je výhodné z hlediska oddělování a vzhledu. Z pohledu toku materiálu, malá vtoková ústí způsobují velké smykové namáhání materiálu nebo pokles tlaku.

*Plný kuželový vtok*

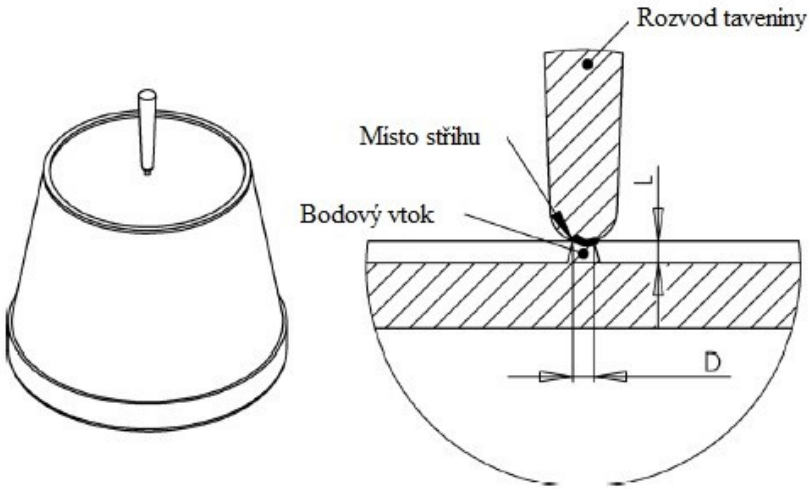
Tento typ vtoku je možné použít pouze u forem s jednou dutinou. Výhodou je dobré působení dotlaku a není zde pokles tlaku. Velký problém může nastat při odstranění, kdy po odstřihnutí stále zůstává viditelná stopa. Někdy může způsobit velké propady na protější straně.




Obrázek 28 Plný kuželový vtok [11]

*Bodový vtok*

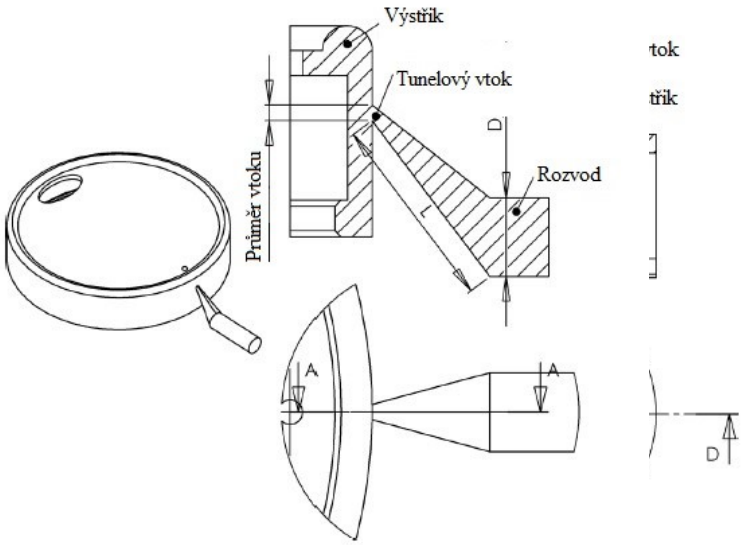
Bodový vtok se používá u třídeskového systému forem, které mají dvě dělící roviny. Při otevření první roviny je vtok automaticky oddělen od výstřiku a při otevření druhé dělící roviny je vtok vyhozen. Nevýhodou jsou relativně malé průměry potřebné k automatickému oddělení a někdy i nespolehlivý chod třídeskového systému.




Obrázek 29 Bodový vtok [11]

*Boční vtokové ústí*

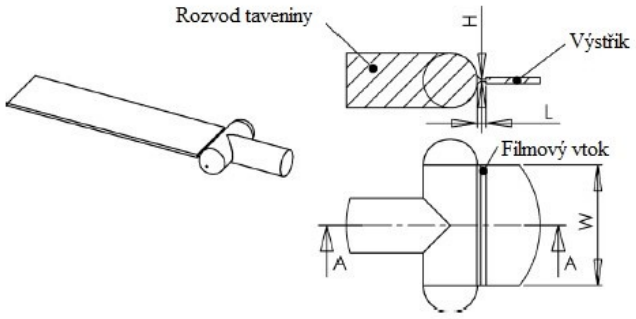
Patří mezi velmi používané typy ústí. Tloušťka vtoku může dosahovat tloušťky stěny výrobku a je umístěný v dělící rovině. Nevýhodou je zbytek, který je nutný odstranit mechanicky.




Obrázek 30 Tunelový vtok [11]

*Filmový vtok*

Filmový vtok je zvláštním případem bočního vtoku. Konec vtokové soustavy je zakončen kruhovým průřezem, ze kterého ústí tenký film do výrobku. S výhodou se používá pro kruhové výrobky nebo pro výrobky s většími nároky na přesnost. Zbytek po vtoku musí být opět odstraněn.




Obrázek 32 Filmové vtokové ústí [11]

*Tunelový vtok*

Společně s bodovým vtokem běžným pro třídeskové formy, tunelový vtok se při otevření formy nebo vyhození výstřiku sám odstraní. Jedná se o velmi rozšířenou variantu vtoku. Důležitá je správně zvolená geometrie dle materiálu, průměr vstupu a ostrá střižná hrana pro snadné oddělení.

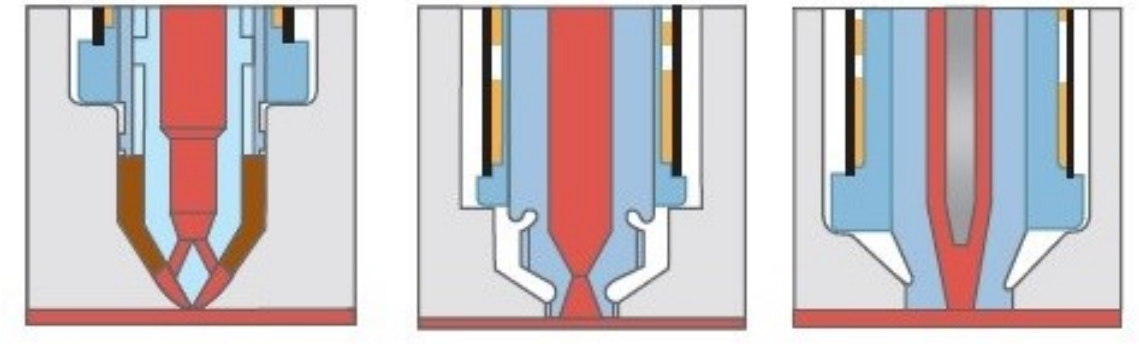
Zvláštním případem tunelového vtoku je vtok srpkovitý nebo banánový.

*Horká tryska*

Existuje několik typů zakončení horkých trysek, které ústí přímo do výrobku. Nejčastěji se používá tryska s torpédem, které je vyrobeno s teplotně vodivého materiálu a je umístěno ve středu trysky. Špička společně s ostrou hranou na tvarové vložce formy slouží o oddělení vtoku s minimálním zbytkem.

Dalším případem jsou trysky s jehlou, která je ovládaná pneumaticky nebo hydraulicky. Jehla zcela uzavře trysku a redukuje zbytek po vtoku. Při vstřikování více tryskami může být využito otevírání trysek v různém čase. Jedná se pak o kaskádové plnění.

Posledním typem je otevřená tryska. Většinou ústí do studené vtokové soustavy, protože zanechává výrazný vtokový zbytek. Druhou možností umístění je na nepohledovou část výrobku, kde vtokový nálitek nemusí být odstraněn mechanicky.

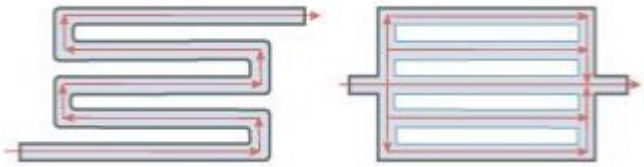


Obrázek 33 Tryska s torpédem (vlevo), otevřená tryska (střed) tryska d jehlou (vpravo) [5]

## 4.4 Temperace

Chladící systém vstřikovací formy je soustavou vrtaných kanálů, přepážek a fontán. Má zásadní vliv na čas vstřikovacího cyklu a na jakost výstřiku. Úkolem temperace je rychlý odvod tepla, které je do formy vnášené vstřikovaným polymerem a udržení konstantního teplotního pole.

Špatně navržená soustava má za následek výrazné prodloužení času chlazení. Velký teplotní gradient způsobuje nerovnoměrné chlazení, která pak zapříčiňuje rozdílné smrštění a vznik deformací. [11]

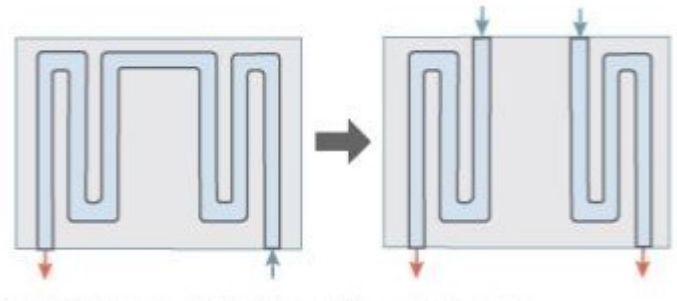


Obrázek 34 Sériové (vlevo) a paralelní zapojení chlazení [5]

Většina běžných materiálů se zpracovává do teplot forem kolem 100°C. Vodu lze využít až do teploty 180 °C za použití speciálních regulátorů teploty. Nad 180° je nutné použít olej. Teplo je také odváděno prostupem do vstřikovacího stroje, sáláním do okolí nebo prouděním vzduchu.

Při návrhu temperačního systému platí několik zásad:

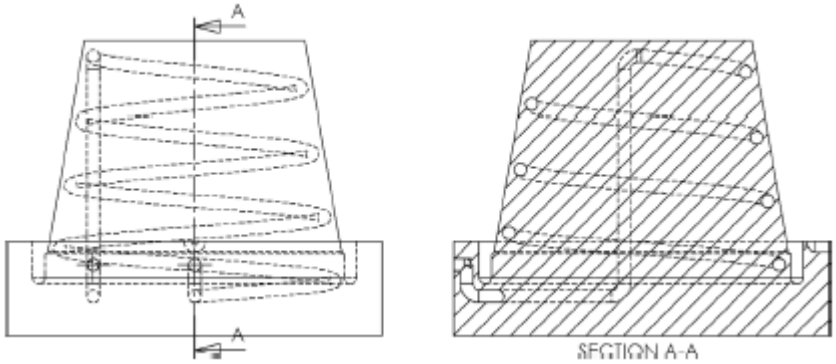
- Intenzivní chlazení v oblasti vtoku.
- Turbulentní proudění kapaliny, jinak není dostatečně odváděné teplo.
- Eliminovat mrtvé kouty.
- Proudění od nejteplejšího místa ke studenějšímu.
- Rozdíl v teplotě média mezi vstupem a výstupem do 3-5 °C.
- Vhodně zvolený průměr kanálu (minimálně 6 mm), vzdálenost od stěny výstřiku a rozteč.
- Více kratších a jednodušších okruhů než jeden složitý.[5]



Obrázek 35 Rozdělení okruhů [5]

### 4.4.1 Konformní chlazení

Nové technologie 3D tisku umožnují efektivnější návrhy chlazení tvarových částí. Technologie DMLS umožňuje výrobu tvarových částí pomocí laseru z kovového prášku. Chladící kanály mohou kopírovat tvar výstřiku a tím působit rovnoměrně a intenzivněji. Mezi nevýhody technologie patří vyšší nároky na čistotu média a složitější údržbu.




Obrázek 36 Konformní chlazení [11]

### 4.4.2 Teplotně vodivé materiály

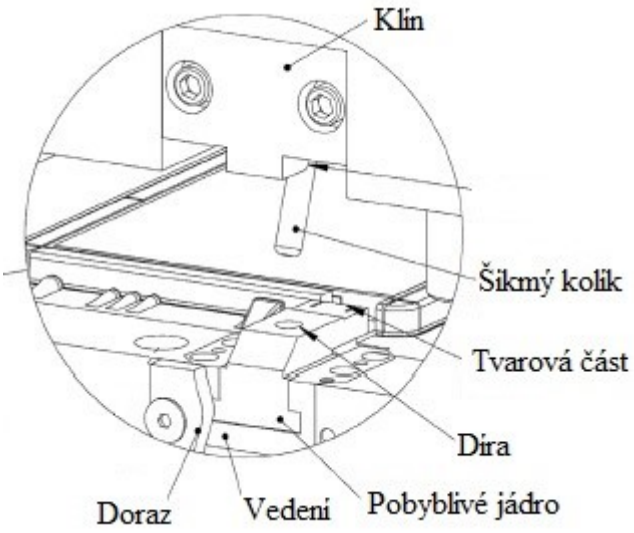
Dalším způsobem, jak snížit teplotní gradient je použití materiálu s vysokou tepelnou vodivostí. Využívají se jako tvarové vložky umístěné v místech, kde je riziko špatného odvodu tepla a následného přehřátí. Materiály jsou hlavně slitiny mědi, které jsou známé pod komerčním označením Moldmax nebo Ampcoloy. Jejich nevýhodou je náročnější EDM obrábění a horší mechanické vlastnosti ve srovnání s kalenou nástrojovou ocelí.[11]

## 4.5 Posuvné jádra

Posuvná jádra slouží k odformování negativů, které tvoří různé boční otvory nebo výstupky. Tyto části výstřiku vyžadují vedlejší dělící roviny. Použití posuvných jader zpravidla zvětšuje velikost vstřikovací formy. Posuvná jádra mohou být ovládána mechanicky, hydraulicky nebo pneumaticky.

### 4.5.1 Šikmé válcové kolíky

Kolíky pod úhle 15-25° ovládají pohyb jader společně s pohybem vstřikovací formy. Zpoždění může být ovlivněno velikostí díry pro šikmý kolík. Posuvné jádro se ještě zamkne zámkem, který má tvar šikmé plochy a nachází se na protější straně.




Obrázek 37 Mechanicky ovládané jádro [11]

### 4.5.2 Hydraulické a pneumatické tahače jader

Využívají se pro dlouhé dráhy odformování nebo tam, kde není možné použít ovládání mechanické. Jádra musí být opět zamknuta klíny nebo je možné použít blokovací válec, který udrží protitlak taveniny.

Pneumatické válce mají menší dílů, která vychází ze stlačeného vzduchu. Jejich výhodou je eliminace úniku oleje a využití najdou v prostředí se zvýšenými nároky na čistotu.

## 4.6 Vyhazování

Vyhazovací systém slouží k vyhození výstřiků z formy po jejím otevření. Vyhazovače jsou upevněné ve vyhazovacích deskách, které mohou být ovládány vstřikovacím strojem nebo hydraulickými válci. Rozložení vyhazovací síly na výstřik musí být rovnoměrné a nesmí docházet k deformacím.

Vyhazovací paket se může skládat s válcových, trubkových nebo plochých vyhazovačů. Pro kruhové výrobky je výhodný stírací deska. Šikmé vyhazovače zase mohou odformovat menší negativy. Při návrhu nesmí vyhazování kolidovat s chladícími okruhy. [11]

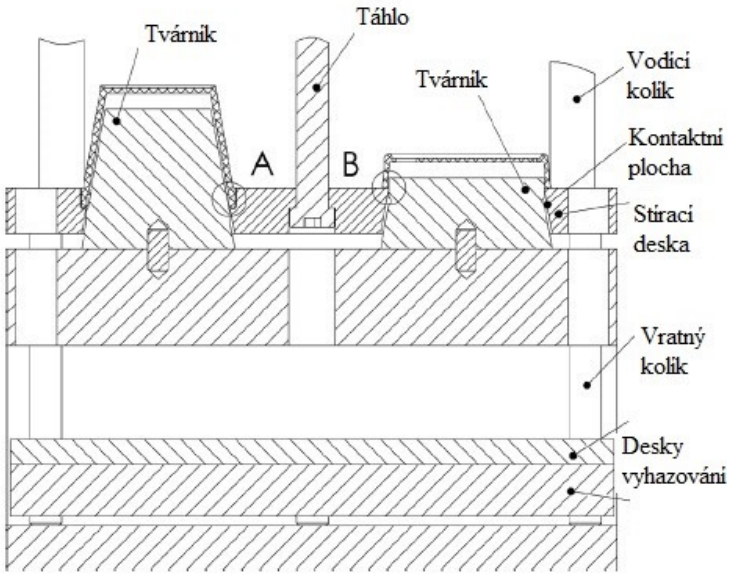
### 4.6.1 Přímé vyhazovače

Přímé vyhazovače dělíme na válcové, válcové prizmatické, trubkové nebo ploché. Musí být dostatečně tuhé, aby nedocházelo k jejich zborcení.

Ploché vyhazovače se používají na dno stěny nebo žeber. Trubkové jsou výhodné pro nálitky a otvory.

### 4.6.2 Stírací deska

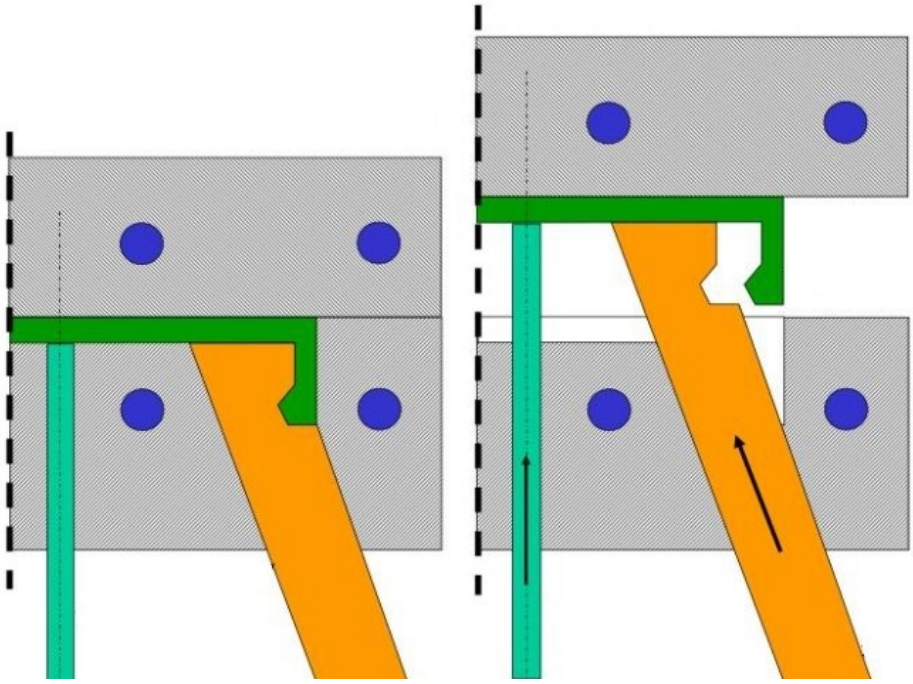
Stírací deska má podobnou funkci jako trubkový vyhazovač, ale působí po celém obvodu výstřiku. Je výhodná pro výrobky typu kelímek.




Obrázek 38 Stírací deska [11]

### 4.6.3 Šikmé vyhazovače

Jsou zvláštním případem vyhazovačů. Kotví se pod určitým úhlem a se zdvihem vyhazovacího paketu, odformují menší boční nebo vnitřní negativy, takže částečně nahrazují pohyblivá jádra.



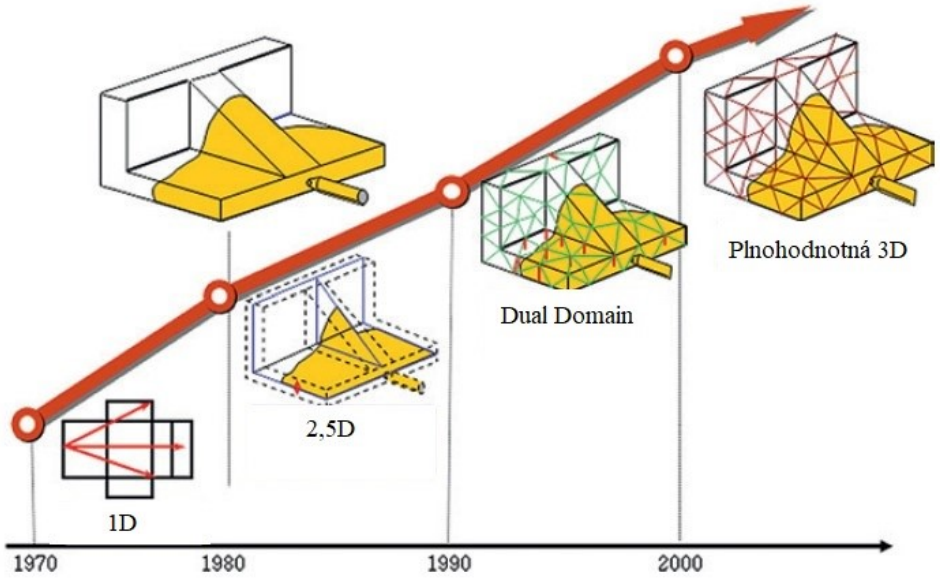
Obrázek 39 Šikmý vyhazovač [5]

# 5 SIMULACE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování polymerů je komplexní proces, který je ovlivněn mnoha faktory. Nejdůležitějšími prvky, které proces ovlivňují je konstrukce výstřiku, vstřikovaný materiál, konstrukce nástroje a procesní podmínky. Na některé vady výstřiků je možné aplikovat několik různých změn parametrů. Při hledání optimálních parametrů nastává problém, že úpravou jednoho parametru sice odstraníme vadu, ale vzápětí se objeví vada nová. Pokud je proces stabilní a vadu nelze odstranit, tak se nabízí možnost úpravy nástroje, které může znamenat například zhotovení nového odvzdušnění nebo se může jednat o změnu návrhu výstřiku. V této fázi je změna zpravidla velmi náročná jak finančně, tak časově. [5]

Taková rizika je možné eliminovat využitím CAE analýz, které simulují proces vstřikování. První analýzy je důležité provádět již ve fázi vývoje produktu, kdy je změna konstrukce nejméně nákladná. Další fází je využití při konstrukci nástroje, kde může být zohledněno reálné chlazení nebo pozice a typy vtokových ústí. Poslední možností využití simulací je podpora při odstraňování vad při procesu vstřikování. [5]

Historie simulací vstřikování sahá do 70. let 20. století, kdy vzniká první komerční software založený na 1D. Přes 2,5D (80. léta), modely dual domain a kvazi 3D (90. léta) vzniká po roce 2000 plnohodnotná 3D síť, která se skládá z několika typů geometrických prostorových útvarů. Poslední typ sítě podporuje tvorbu nejlepších výsledků simulací. [5]




Obrázek 40 Vývoj sítí pro simulace vstřikování [5]

## 5.1 Pracovní postup

Základními typy simulací jsou Fill – Pack – Cool a Warp neboli simulace, plnění, dotlaku, chlazení a deformací. Moderní software dokáže simulovat i speciální typy vstřikování jakým může být technologie GIT, WIT, Mucell nebo zastříkávání mikročipů.

Základem je import CAD geometrie a její převod na síť. V této fázi je možné vyhodnocovat sílu stěn nebo analyzovat vhodné místo pro umístění vtoku. CAE software je zpravidla vybaven nástrojem pro úpravu poškozené geometrie a nástrojem pro návrh vtokové a chladící soustavy. Po převodu na síť následuje definování materiálu, parametrů vstřikování a volba typu analýzy. [5]

### 5.1.1 Analýza plnění a dotlaku

Cílem analýzy plnění je zjistit, zda došlo ke správnému naplnění dutin, jaké jsou hodnoty tlaků, smykových rychlostí a uzavírací síly. Dále můžeme odhalit studené spoje, místa s uzavřeným vzduchem. U forem s více dutinami je důležité správné vybalancování toku taveniny. [5]

### 5.1.2 Analýza chlazení

Během fáze chlazení je teplo odváděno temperačním systémem nástroje. Simulace pomáhá odhalit minimální čas chlazení, kdy je možné výrobek vyhodit z formy. Důležitou informací je identifikace lokálně přehřátých míst, které je nutné řešit intenzivnějším chlazením nebo použitím materiálu s vyšší teplotní vodivostí. V případě simulací s temperační soustavou je možné analyzovat její účinnost a detekovat větší teplotní rozdíly mezi vstupem a výstupem chladícího média. [5]

### 5.1.3 Analýza deformací

Deformace bývají důsledkem nerovnoměrného chlazení výrobku a působením reziduálním napětím. Výsledné deformace porovnáme s požadavky výkresu. Pokud se posouváme mimo toleranční pole, je nutná korekce ve fázi plnění, dotlaku a chlazení. Na deformace má velký vliv i orientace vláken u plněných polymerů. [5]

# II. PRAKTICKÁ ČÁST

# 6 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro diplomovou práci byly stanoveny cíle:

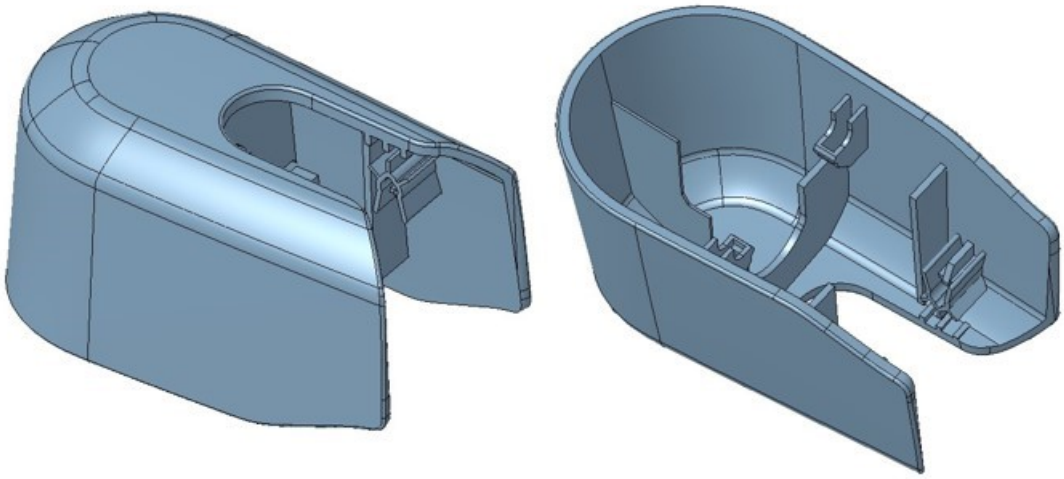
- Vypracování literární studie.
- Zhodnocení vyrobitelnosti současného návrhu výrobku. Provedení a vyhodnocení simulace.
- Provedení návrhů na změny designu z pohledu technologie vstřikování.
- Provedení a vyhodnocení simulací na změněných geometriích.
- Konstrukce vstřikovací formy.

Literární studie byla vypracovaná v teoretické částí práce. Teoretická část zahrnuje témata týkající se polymerních materiálů, technologie vstřikování, konstrukce výstřiků, konstrukce forem a CAE tokových simulací.

V praktické části je úkolem nejdříve zhodnotit současný návrh výrobku. Na základě výsledků bude nutné provést úpravy, aby díl splňoval zásady konstrukce výrobků z plastu, byl vyrobitelný technologií vstřikování a odpovídal požadované jakosti. CAE tokové simulace budou provedeny v programu Moldex3D. Následně bude provedená konstrukce nástroje v softwaru Creo Parametric s využitím normálií.

# 7 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Zadaným výrobkem je krytka zadního stěrače. Jedná se o pohledový díl, zakrývá uchycení stěrače k zadnímu sklu a částečně chrání kovové součástky před povětrnostními vlivy. Rozměry výrobku jsou 42 x 45 x 76 mm.



Obrázek 41 CAD model výrobku

## 7.1 Materiál

Zadaným materiálem je Celanex 2302 GV1/30. Jedná se o směs materiálů. V tomto případě je to kombinace PBT a PET, která je ještě vyplněna 30 % skelnými vlákny. Materiál, je vhodný pro vstřikování pohledových dílů. Díky UV stabilizátorům je zajištěna barevná stálost i při použití v exteriéru.

Jeho doporučené zpracovatelské podmínky:

- MVR: 15 g/10 min při teplotě 265° a zatížení 2,16 kg.
- Smrštění: 0,3-0,5 %.
- Teplota materiálu: 260-280 °C.
- Teplota nástroje: 80-100 °C.
- Sušení: 120-140 °C po dobu 2-4 hodin.
- Maximální smykové napětí: 50000 $s^{-1}$.
- Vstřikovací tlak 600-1000 bar.

# 8 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Volba vstřikovacího stroje závisí na několika parametrech. Stoj musí vyhovovat z hlediska uzavírací síly, velikosti komory a průměru šneku. Šířka formy musí být menší, než je rozměr mezi sloupky nebo rozteč mezi rámem u bezsloupkových strojů.

### 8.1.1 Uzavírací síla

Uzavírací sílu je možné stanovit z plochy výrobku promítnuté do dělící roviny, počtu dutin a tlaku v dutině formy. Průmětná plocha do dělící roviny je určená z CAD modelu a je 23,5 $cm^2$. Zvažujeme variantu 4 – násobné formy.

$$F_{uzavírací} = \frac{1}{100} * S * p_F * n = \frac{1}{100} * 23{,}5 * 350 * 4 = 470\ kN \quad (1)$$

Přibližná uzavírací síla činí 470 kN.

### 8.1.2 Velikost komory a šneku

Pro materiál PBT/PET je vhodná dávka v rozmezí 1 až 3 průměru šneku. Výpočtem určíme minimální a maximální hodnotu průměru šneku. Objem výrobku z CAD modelu je 17,5 $cm^3$.

$$7{,}5 * \sqrt[3]{V_d} < D_s \quad (2)$$

$$7{,}5 * \sqrt[3]{70} < 30{,}9\ mm \quad (3)$$

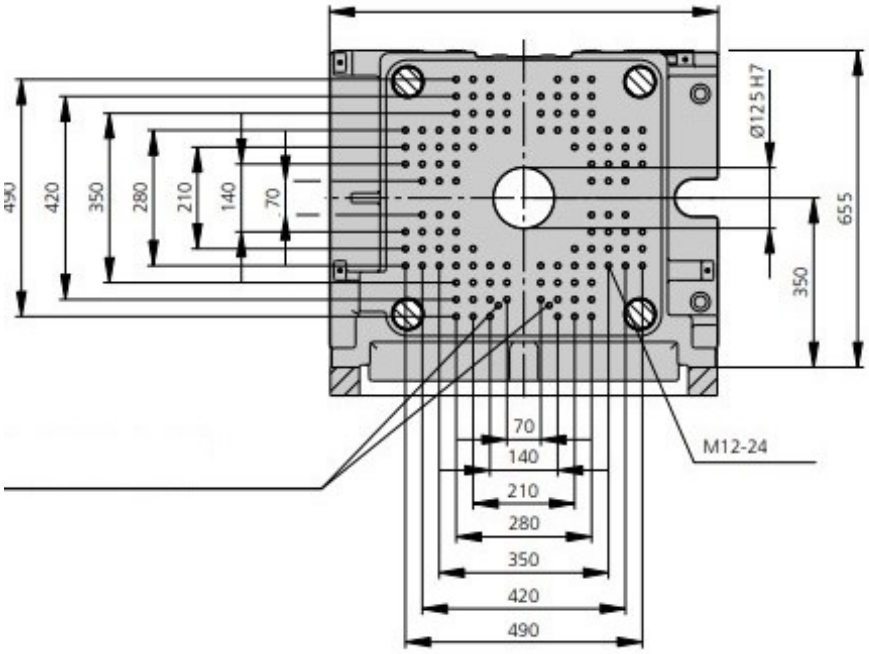
$$10{,}5 * \sqrt[3]{V_d} > D_s \quad (4)$$

$$10{,}5 * \sqrt[3]{70} > 43{,}3\ mm \quad (5)$$

Vhodný průměr šneku a komory je mezi průměrem 30,9 mm a 43,3 mm.

### 8.1.3 Maximální velikost formy

Vypočteným parametrům vyhovuje vstřikovací stroj Arburg A420C 1000 Golden edition. Průměr šneku je 35 mm, maximální uzavírací síla 1000 kN a vstřikovací tlak 2000 bar. Rozměr mezi sloupky je 420 mm a průměr díry pro středící kruh je 125 mm. Nástroj může mít maximální šířku 410 mm.




Obrázek 43 Deska vstřikovacího stroje

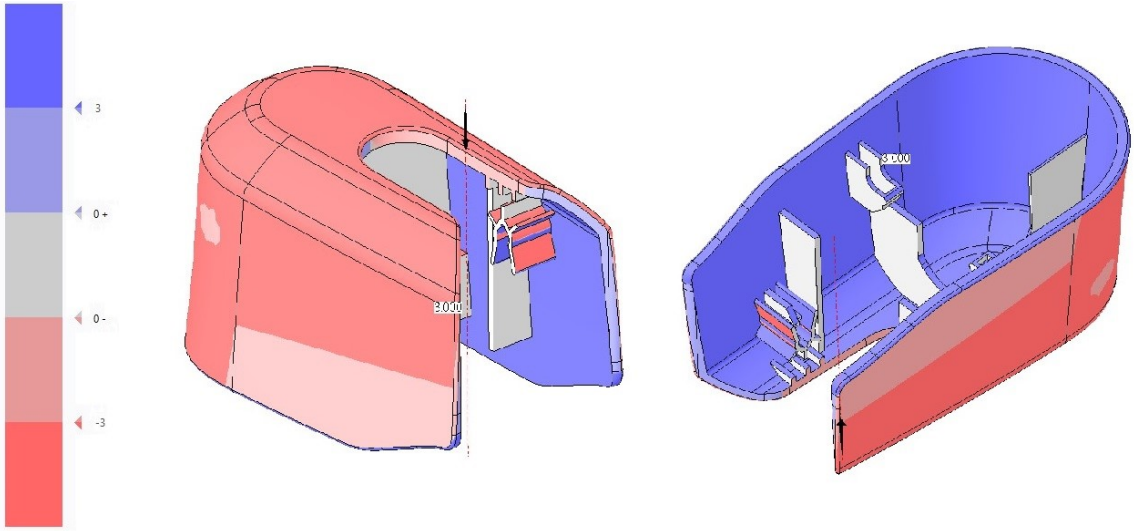
Obrázek 42 Arburg A420 v novém barevném schématu

# 9 ZHODNOCENÍ VYROBITELNOSTI SOUČASNÉHO NÁVRHU VÝROBKU

Před návrhem vstřikovací formy probíhá studie vyrobitelnosti a optimalizace návrhu plastového výrobku. Výrobek musí být vyrobitelný v požadované kvalitě (rozměrová přesnost a jakost povrhu) a za předem stanovený čas cyklu.

## 9.1 Zaformování a analýza úkosu

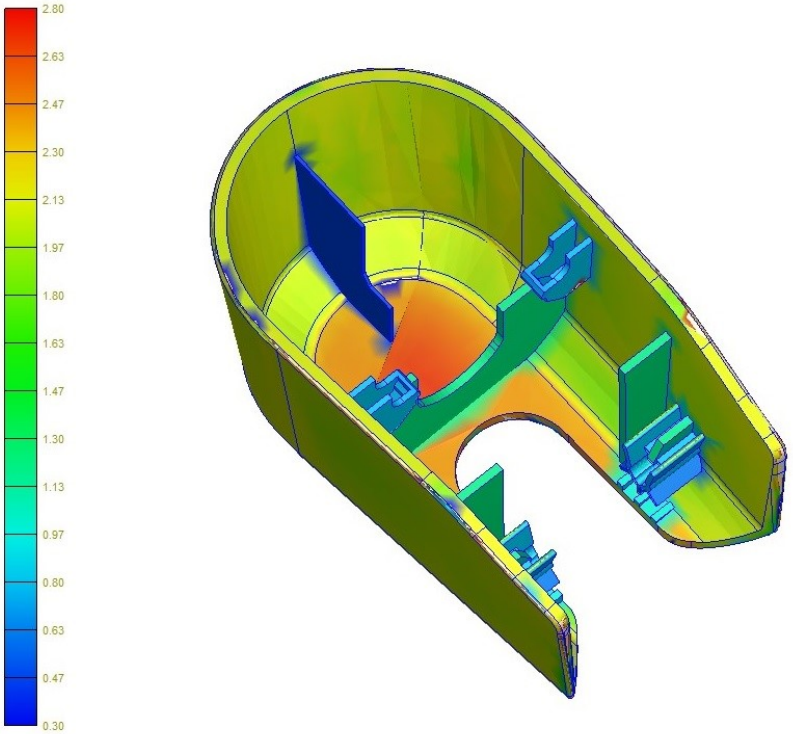
V hlavním směru odformování je několik ploch, které tvoří negativy. Bude nutné provést jejich úpravy změnou úkosu. Dále vnitřní žebra vykazují velmi malý nebo zcela chybějící úkos. Bez vhodných úkosů nebude možné výrobek vyhodit z formy nebo bude docházet k deformacím při vyhazování.




Obrázek 44 Analýza úkosů

## 9.2 Tloušťka stěn

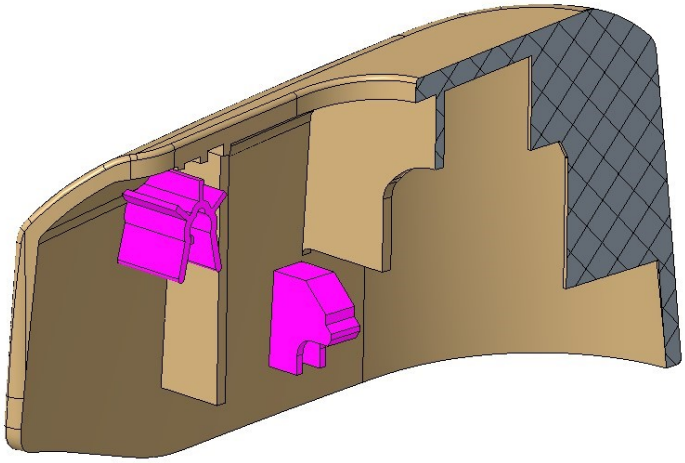
Tloušťka hlavní stěn je nerovnoměrná. Rozdíly jsou již v tloušťce hlavní stěny v rozmezí od 2 do 2,5 mm. Silná žebra mohou způsobovat propadliny, což může být problém u pohledových ploch na druhé straně. Naopak tenká žebra mohou zvyšovat tlak v dutině a způsobovat nedotečení. Nerovnoměrná tloušťka stěn může způsobovat deformace.




Obrázek 45 Analýza tloušťky stěn

## 9.3 Negativy

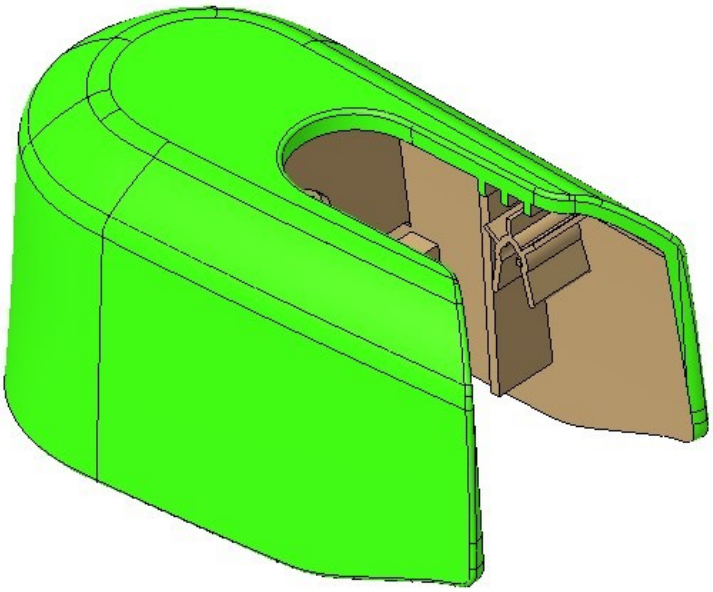
Kromě několika negativů v hlavním směru odformování se zde nachází několik vnitřních částí, které tvoří další negativy. Jedná se o dva výstupky na každé straně (růžově značené na obrázku 46). Z důvodu velikosti a umístění negativů uvnitř součásti, bude nejvhodnějším řeším použít šikmé tvarové vyhazovače



Obrázek 46 Řez součástí a pohled na vnitřní negativy

## 9.4 Povrch

Zeleně značené oblasti na obrázku 46 značí pohledové plochy s požadavkem na texturu VDI 4300–27. Textura vyžaduje minimální úkos 1,5°, aby nedocházelo k jejímu poškození při otevření formy.

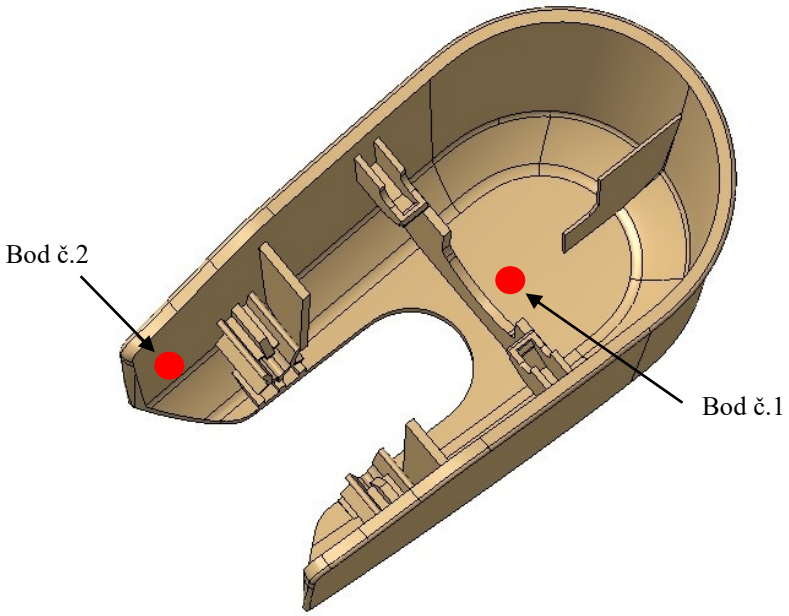


Obrázek 47 Pohledové plochy výrobku

## 9.5 Umístění vtokového ústí

Nejvhodnější místo pro umístění vtokového ústí pomůže určit analýza v softwaru Moldex3D. Z praktického hlediska nemůžeme uvažovat o umístění vtoku do pohledové plochy výrobku.

Na obrázku 48 jsou znázorněna možná místa umístění vtoku. Bod č.1 není v současném stavu zcela reálný a vyžaduje úpravy výrobku v oblasti středního žebra. Bod č.2 je vhodným místem pro tunelové ústí. Jeho nevýhodou je delší dráha toku.




Obrázek 48 Návrh pozice vtoku

## 9.6 Toková analýza

První toková analýza slouží k získání základních informací o budoucím procesu vstřikování. Pomůže odhalit kritické nedostatky konstrukce výrobku nebo upozorní na nezvyklé hodnoty procesních parametrů. Slouží k minimalizaci vícenákladů spojených s úpravami již hotového nástroje.

Analýza byla provedena v programu Moldex3D. Tato předběžná analýza neobsahuje vtokovou soustavu a systém temperace. Materiál odpovídá zadání a byl vybrán z knihovny Moldex3D.

### 9.6.1 Kvalita sítě

Pro všechny analýzy je použitá Boundary layer mesh o třech vrstvách. Model je složen z přibližně 80 000 elementů.

### 9.6.2 Procesní parametry

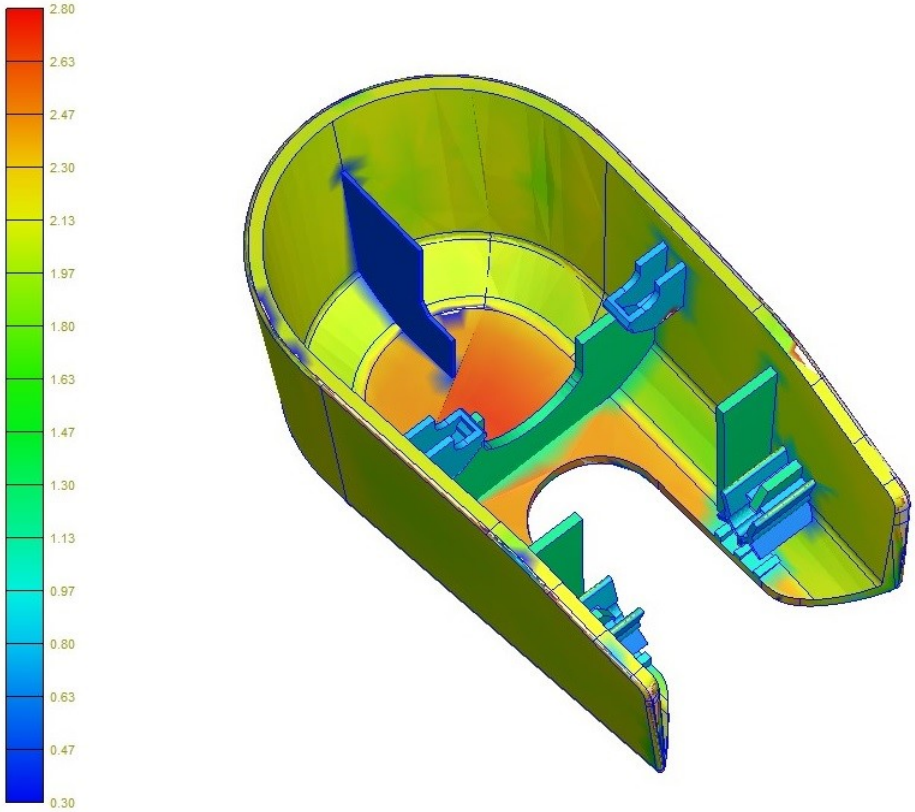
Procesní parametry analýzy jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3 Procesní parametry analýzy

| | |
|---|---|
| Čas plnění | 1,5 s |
| Čas dotlaku | 6 s |
| Čas chlazení | 13 s |
| Vstřikovací tlak | 23 MPa |
| Uzavírací síla | 50 kN |
| Teplota taveniny | 260° C |
| Teplota formy | 80° C |

### 9.6.3 Nejvhodnější pozice vtoku

Software vyhodnocuje tloušťku stěny a délku toku. V tomto případě je nejvhodnější oblast uprostřed dílu dle obrázku 49. Výsledku nejlépe odpovídá navrhovaný bod č.1. Navrhované místo ovšem představuje riziko pohledové vady na protilehlé stěně a horší možnosti umístění vtoku.

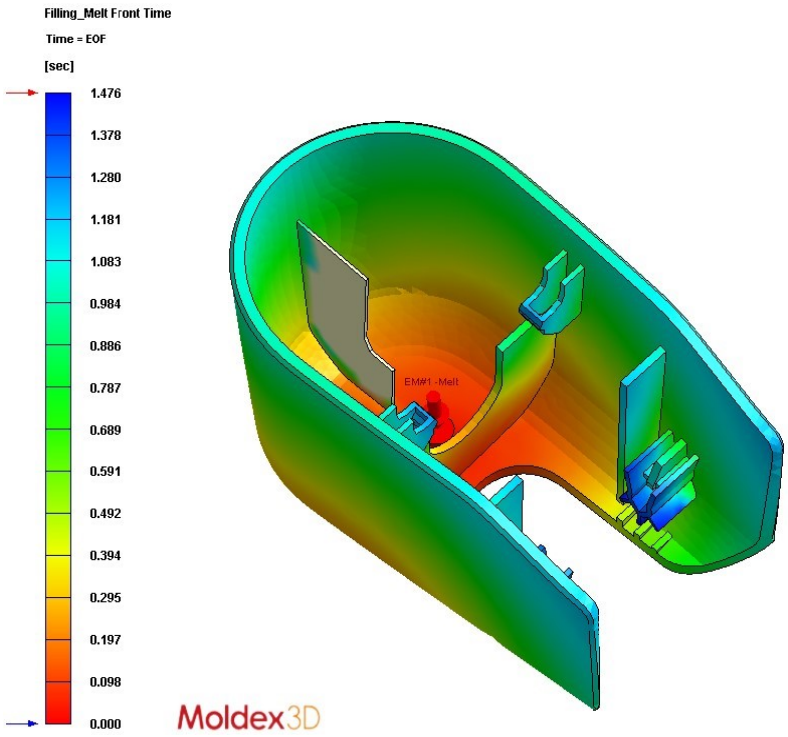



Obrázek 49 Návrh pozice vtoku pomocí Moldex3D

### 9.6.4 Čas plnění

Navržený čas plnění 1,5 s. Pozice vtoku zvolena poblíž bodu č.1 s průměrem 1.5 mm. Během simulace toku taveniny je vidět nedoplněné prostřední žebro na obrázku 50.

Řešením může být změna tloušťky žebra nebo zkrácením času plnění. Při kratším čase plnění může docházet k horšímu odvzdušnění dutiny.

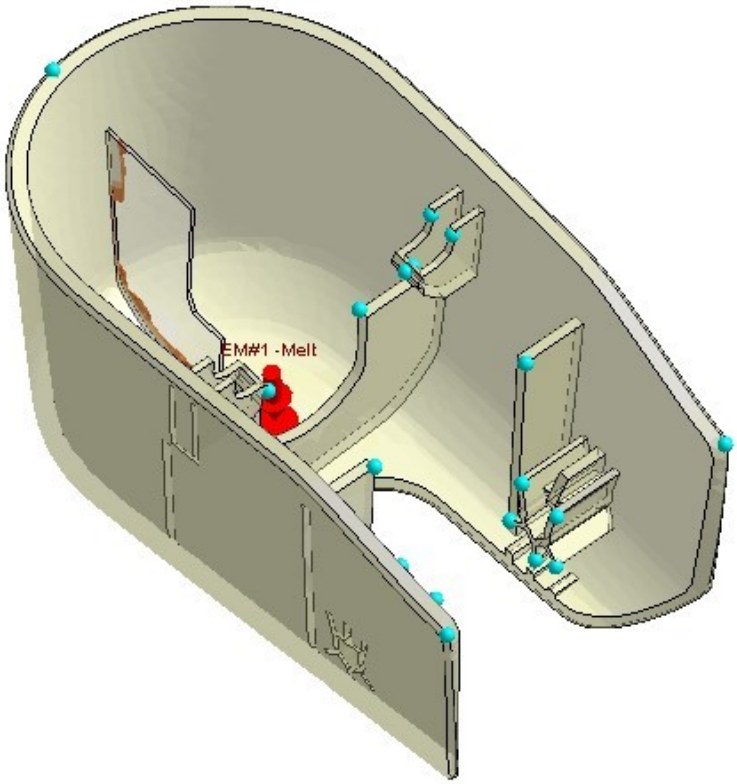



Obrázek 50 Naplnění dílu při čase 1,5 s

### 9.6.5 Uzavřený vzduch

Hlavní odvzdušnění bude realizováno drážkami na dělící rovině. Výsledky zobrazují uzavřený vzduch na žebrech a tvarových výstupcích. Na obrázku 51 znázorněny pomocí modrozelených bublin. Celkem 22 míst, které jsou vystouplé na povrch. Nejedná se o bubliny vzduchu (vakuoly), které jsou zavřené uvnitř výrobku a mohli by snižovat jeho mechanické vlastnosti

Pokud není vzduch odveden, tak může způsobovat způsobit nedoplnění dutiny nebo se projeví spálenými místy vlivem diesel efektu.




Obrázek 51 Uzavřený vzduch

### 9.6.6 Fáze dotlaku

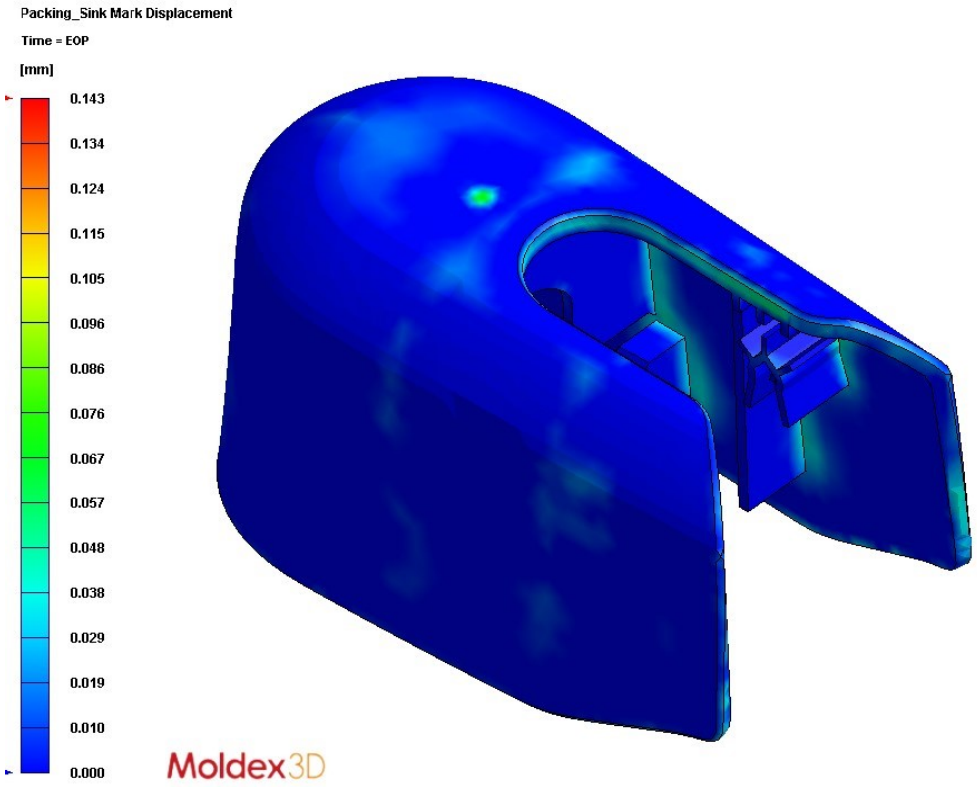
Dotlak působí 6 s a pak dochází k zamrznutí vtokového. Materiál již není do dutiny doplňován a je zbytečné působit delší dobu. Dotlak má vliv propadliny.

### 9.6.7 Chlazení

Čas odhadovaný analýzou je přibližně 13 s. při teplotě vyhození 180°C. Reálná hodnota času chlazení bude ve skutečnosti delší a bude prověřena s modelem okruhů temperace.

### 9.6.8 Propady

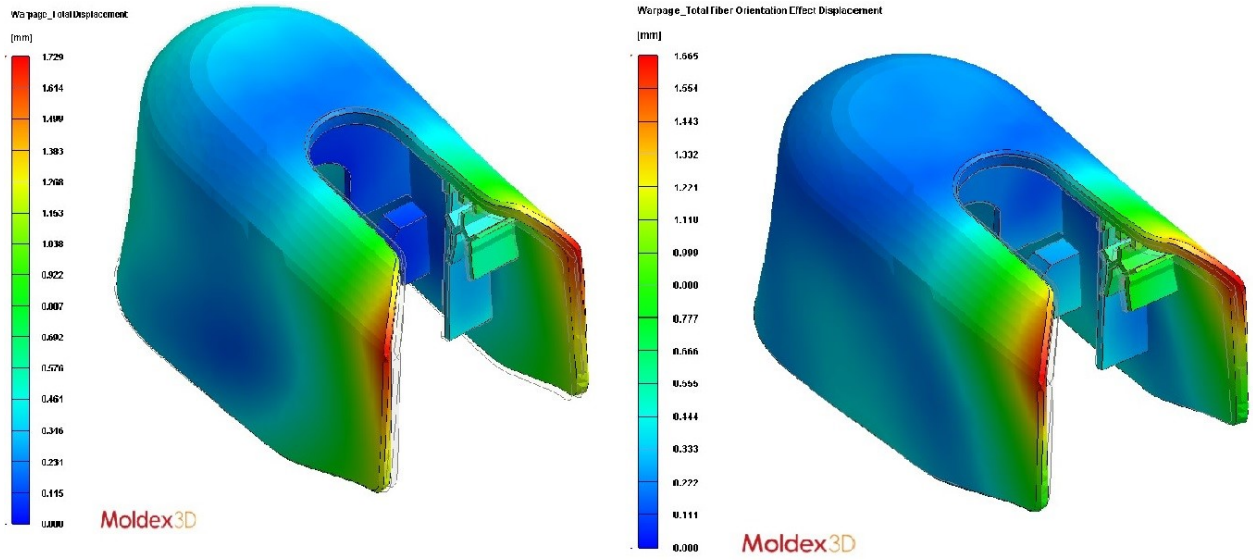
Největší propad je proti vtoku, kde je díky vtokovému ústí největší koncentrace materiálu. Celkem čtyři žebra mohou způsobit mírné propadliny dle obrázku 52. Zobrazený stav je na konci dotlakové fáze, a tak není možné jejich zmenšení realizovat prodloužením dotlaku, ale bude nutné provést korekce žeber v návrhu výrobku.




Obrázek 52 Propadliny na konci dotlaku

### 9.6.9 Deformace

Deformace bývají nejčastěji způsobeny nerovnoměrným smrštěním, které může mít různý původ. Jedná se o gradienty teploty, rozdílná tloušťka stěn, nerovnoměrné působení dotlaku nebo vliv orientace vláken. Obrázek 53 vlevo ukazuje celkovou deformaci dílu 1,7 mm. Vpravo je znázorněná deformace způsobená orientací vláken, která dosahuje hodnot přibližně 1,6 mm. Největším vlivem na deformaci má orientace vláken. Dosáhnout změny lze zajištěním rovnoměrné orientace vláken.




Obrázek 53 Deformace celková (vlevo) a vlivem orientace vláken (vpravo)

# 10 OPTIMALIZACE NÁVRHU DESIGNU Z POHLEDU VSTŘIKOVÁNÍ

Výsledky analýzy vstřikování ukazují nedostatky původního návrhu, které představují rizika z pohledu procesu vstřikování a kvality výrobku.

Nevyhovující je hlavně nedostatečné naplnění dutiny a deformace, která se blíží k hodnotě 1,7 mm. Velké riziko představuje množství uzavřeného vzduchu ve vnitřních částech. Z hlediska pohledových vad dominuje propad po vtoku a dvou bočních žeber.

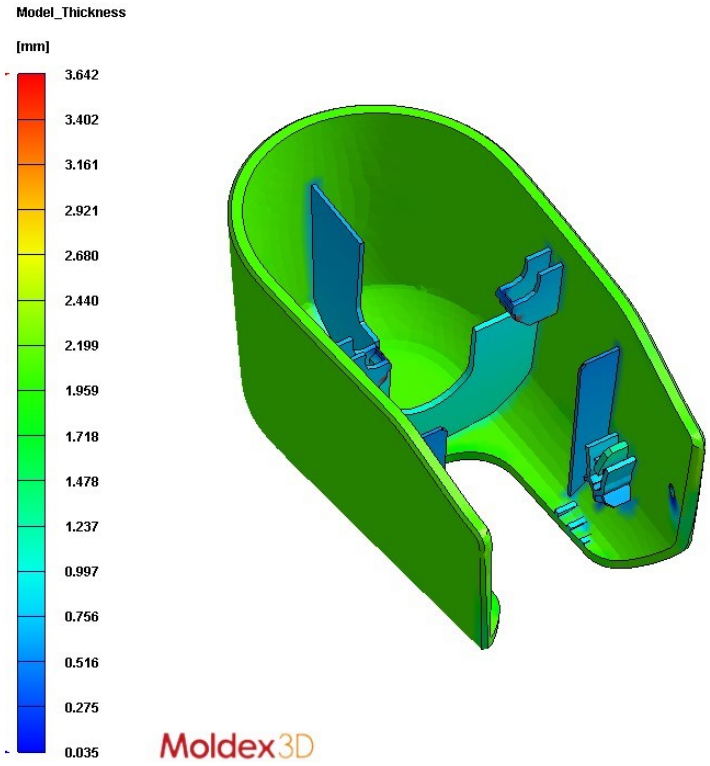
Optimalizace bude zaměřená na úpravu konstrukce výrobku s cílem neprodlužovat proces delší dobou vstřiku, dotlaku a chlazení.

## 10.1 Úprava geometrie

Změny geometrie jsou nezbytné pro odstranění nebo minimalizaci vad. Změny je nutné provádět v souladu se zásadami konstrukce výrobků z plastů.

### 10.1.1 Tloušťka stěn

Důležitým faktorem je jednotná tloušťka hlavní stěny. Hlavní stěna byla sjednocena na tloušťku 2 mm.




Obrázek 54 Optimalizovaná tloušťka stěny a žeber

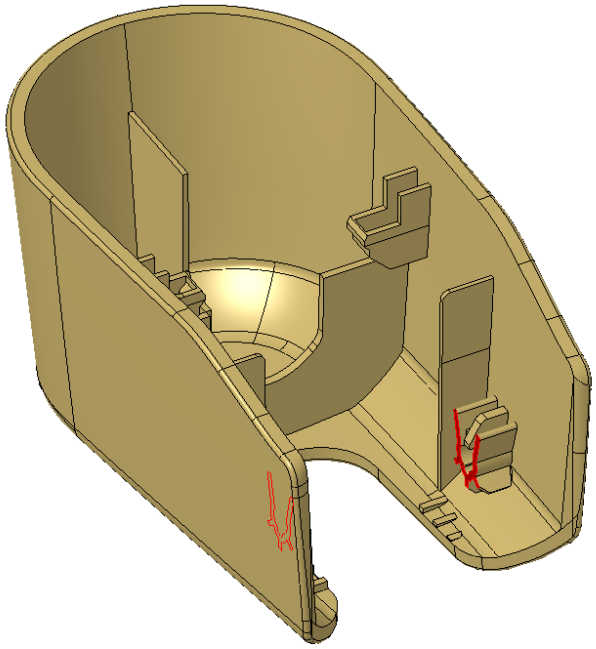
### 10.1.2 Žebra

Tenké žebro uprostřed výrobku není výztužné, ale slouží k navádění při montáži. Výsledek analýzy ho ukazuje jako nedoplněné. Zkrácením času vstřiku by došlo k horšímu odvodu vzduchu z dutiny formy, a tak bude vhodné změnit tloušťku z 0,45 mm na hodnotu 0,8 mm. Tloušťka bočních žeber byla snížena na stejnou hodnotu jako žebro prostřední a to na 0,8 mm.

Žebro, které spojuje boční stěny má výztužnou funkci, a proto je jeho tloušťka rovna 50% tloušťky hlavní stěny, tedy 1 mm.

### 10.1.3 Tvary tvořící negativy

Vnitřní tvary, které tvoří negativy, představují riziko z pohledu uzavřeného vzduchu. Červeně označená čela na obrázku 55, byla zkrácena o 2 mm. Čelo taveniny více vzduchu vytlačí dále do dutiny a ten pak může odejít přes odvzdušnění v dělící rovině.

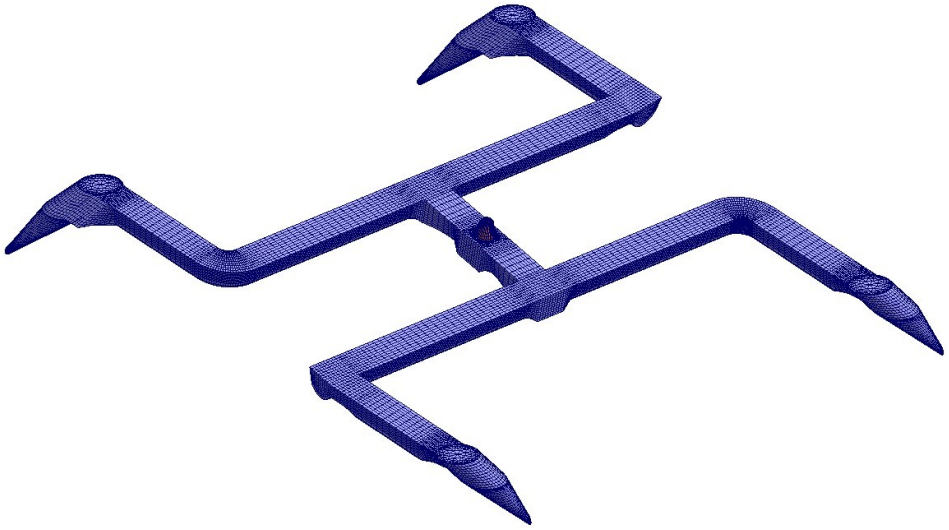


Obrázek 55 Úprava vnitřních tvarů

## 10.2 Vtoková soustava

Forma byla zadána jako 4 - násobná. Horká tryska bude přivádět taveninu do studeného rozvodu ve tvaru H. Plnění dílů bude realizováno tunelovým vtokem, který nepotřebuje dodatečné úpravy po vyjmutí výrobků z formy, ale k oddělení dojde během fáze

vyhození. Vtoková soustava byla zkonstruovaná v CAD softwaru a vložená do Moldex3D pomocí křivek.

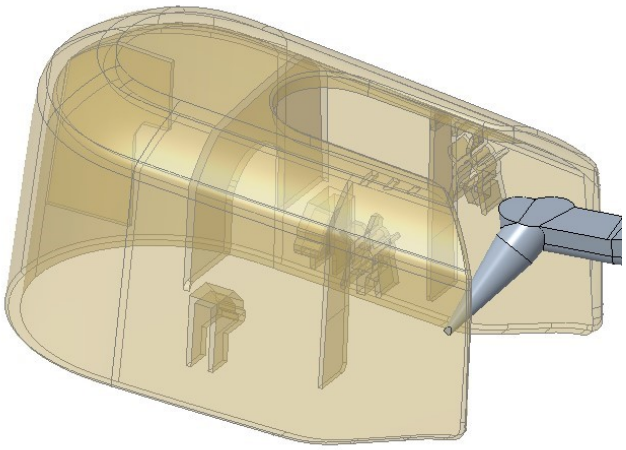


Obrázek 56 Zesíťovaný model vtokové soustavy

### 10.2.1 Pozice vtoku

Ideální pozice vtoku je v zadaném případě těžko realizovatelná, protože představuje několik rizik. V první řadě se jedná o špatnou realizovatelnost z pohledu zaformování výrobku. Dalším problémem plnění uprostřed je rozdílná orientace skelných válek. Orientace vláken má vliv na smrštění a deformace. Posledním problémem je výraznější propadlina a fleky uprostřed pohledové plochy.

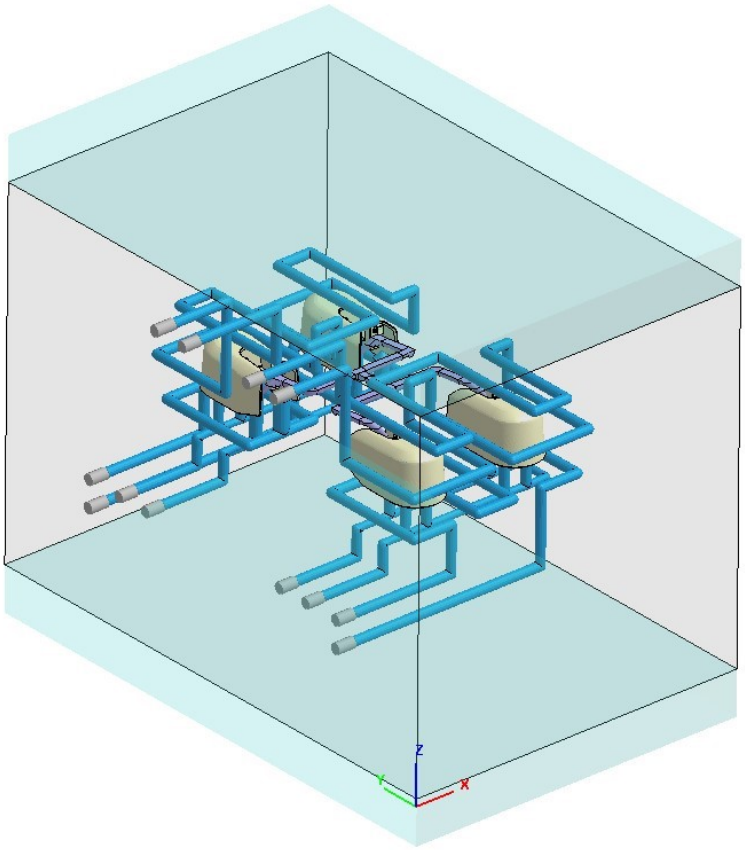
Obrázek 57 zobrazuje zvolenou pozici vtokového ústí. Tunelový vtok je zakončen do tvaru D s maximální vepsanou kružnicí o průměru 0,95 mm. Oblast vtokového ústí bude potřeba ověřit na smykové namáhání.



Obrázek 57 Zvolená pozice vtoku

# 11 ANALÝZA PO OPTIMALIZACI

Druhá analýza byla provedena v rozsahu plnění, dotlaku, deformace a chlazení. Základem analýzy je optimalizovaný model výrobku. Model pro analýzu dále obsahuje všechny čtyři dutiny, kompletní vtokovou soustavu, okruhy chlazení a blok nástroje.



Obrázek 58 Model formy pro analýzu

## 11.1 Procesní parametry

Procesní parametry jsou uvedené v tabulce 4. Čas plnění a teploty zůstávají stejné. Dotlak je o 1 s zkrácen, protože při 6,5 s bylo ústí zatuhlé. Čas chlazení je nastaven na 13 s, ale software spočítá minimální dobu chlazení na základě reálného chlazení.

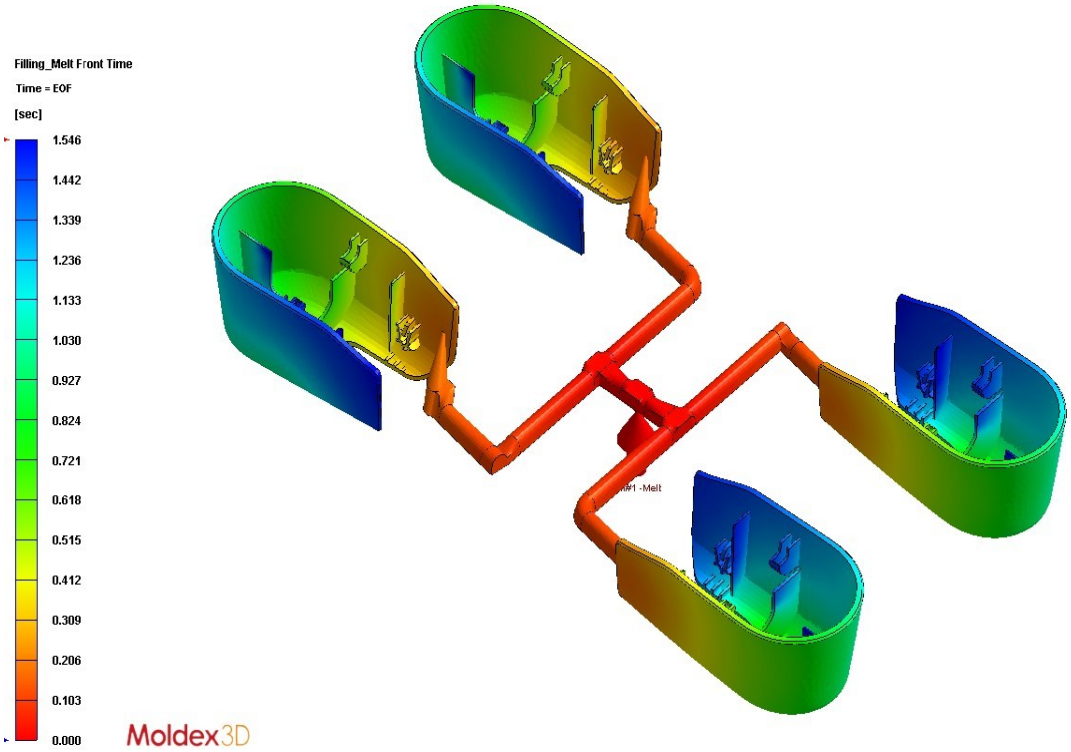
Vstřikovací tlak 100 MPa je pro zvolený stroj vyhovující. Uzavírací síla 605 kN je pod hranicí 1000 kN.

Tabulka 4 Parametry druhé analýzy

| | |
|---|---|
| Čas plnění | 1,5 s |
| Čas dotlaku | 5,5 s |
| Čas chlazení | 13 s |
| Vstřikovací tlak | 100 MPa |
| Uzavírací síla | 605 kN |
| Teplota taveniny | 265° C |
| Teplota formy | 80° C |

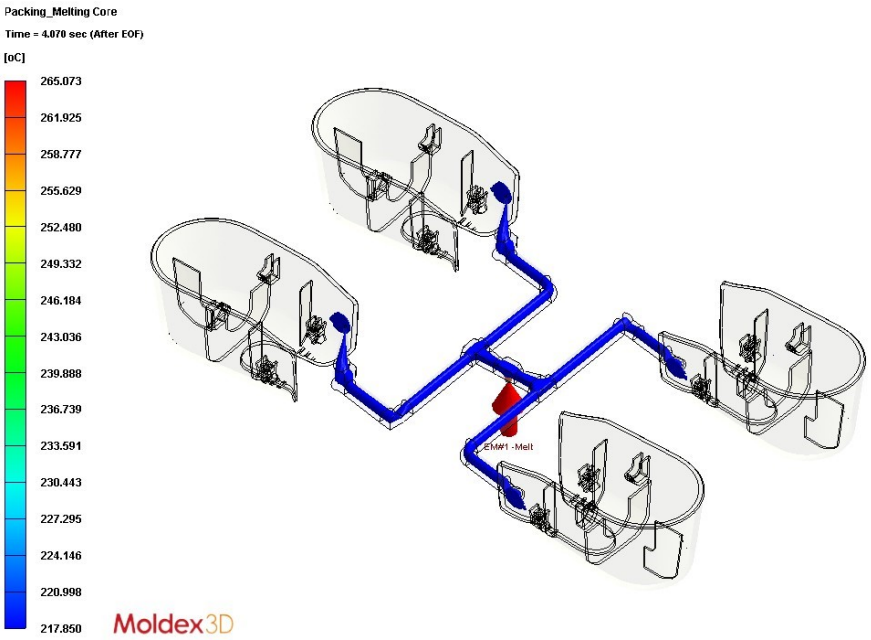
## 11.2 Plnění a dotlak

Plnění vykazuje malou nerovnoměrnost, kterou způsobuje rozvod tvaru H. Všechny dutiny jsou na konci fáze plnění doplněné včetně tenkých žeber, což je vyhovující stav.




Obrázek 59 Plnění dutin s časem 1,5 s.

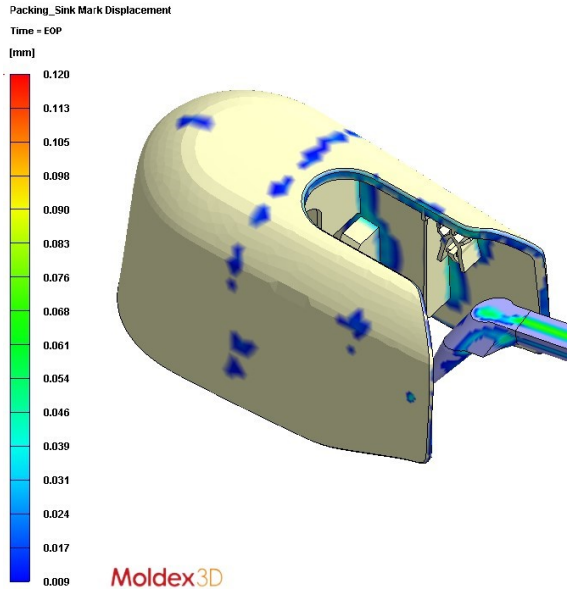
Na konci dotlaku je ještě v oblasti kolem vtoku tlak 15 MPa. V záložce melting core můžeme zjistit, kde se ještě nachází tavenina. Na konci dotlaku, tedy po 5,5 s je vtok zcela zatuhlý. Po kontrole v čase 4 s můžeme zjistit, že tavenina je jen v malé oblasti kolem vtoku. Z toho vyplývá, že čas dotlaku se bude pohybovat kolem 4,5 s.




Obrázek 60 Zobrazení taveniny po 4 s dotlaku

## 11.3 Propadliny

Hodnoty kolem 0,02 představují malé riziko propadů, které se objevují v oblastech širšího žebra a vnitřních tvarů. Nejrizikovějším místem je oblast vtoku, ale současný stav je akceptovatelný.



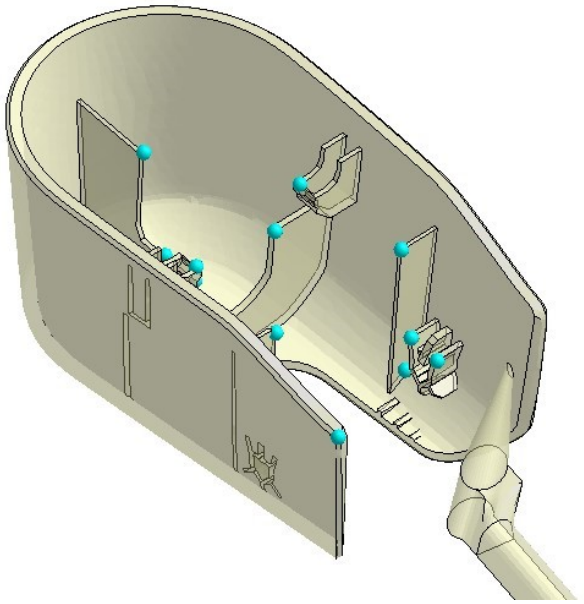

Obrázek 61 Propady na konci dotlaku

## 11.4 Smykové namáhání

Maximální smykové namáhání je pro každý typ materiálu rozdílné. Pro materiál Celanex 2302 GV1/30 je 50000 1/s. Výsledky v oblasti vtokového ústí jsou pod kritickou hodnotou a pohybují se kolem hodnoty 35 000 1/s.

## 11.5 Uzavřený vzduch

Původní výsledky ukazovali 22 míst s uzavřeným vzduchem. Po úpravě geometrie bylo dosaženo 15 míst s uzavřeným vzduchem. Z pohledu konstrukce nástroje je nutné se na místa s uzavřeným vzduchem zaměřit při tvorbě odvzdušnění. Místa s vnitřními negativy, která budou zaformována tvarovými vyhazovači, je těžké odvzdušnit.

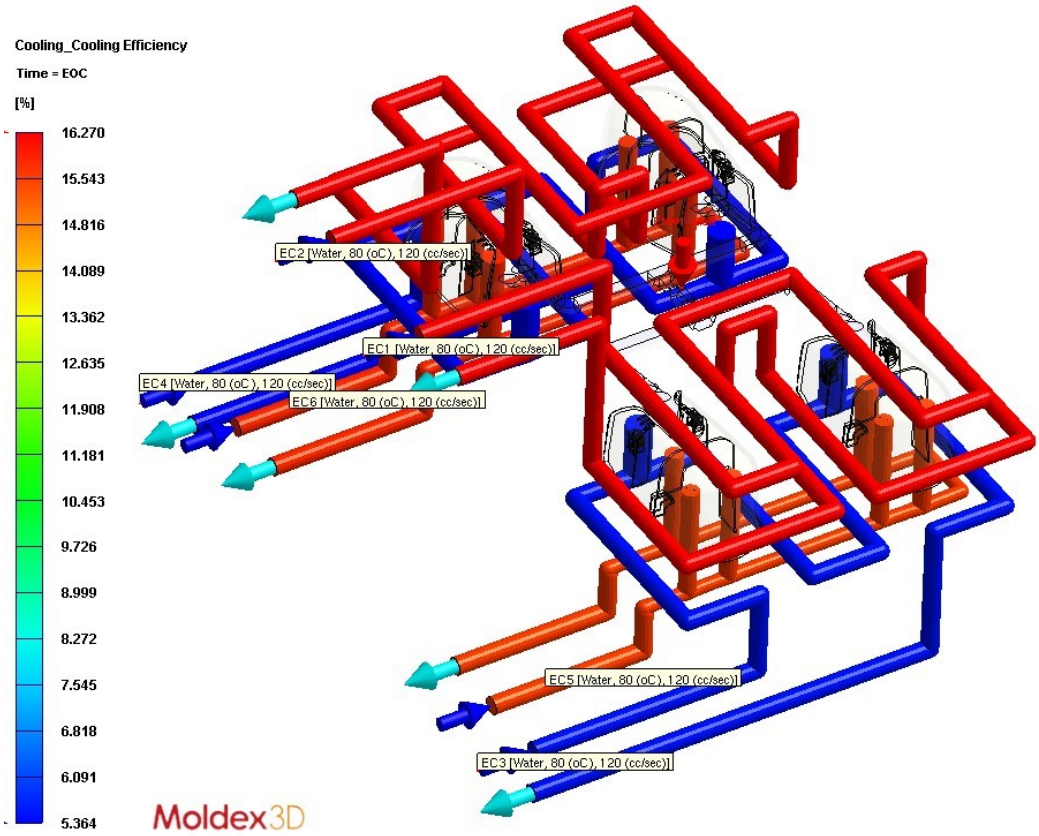


Obrázek 62 Místa uzavřeného vzduchu po optimalizaci

Obrázek 62 ukazuje na redukci uzavřeného vzduchu v oblasti vnitřních částí. Riziko nedotečení nebo vzniku dieselefektu bylo minimalizováno.

## 11.6 Chlazení

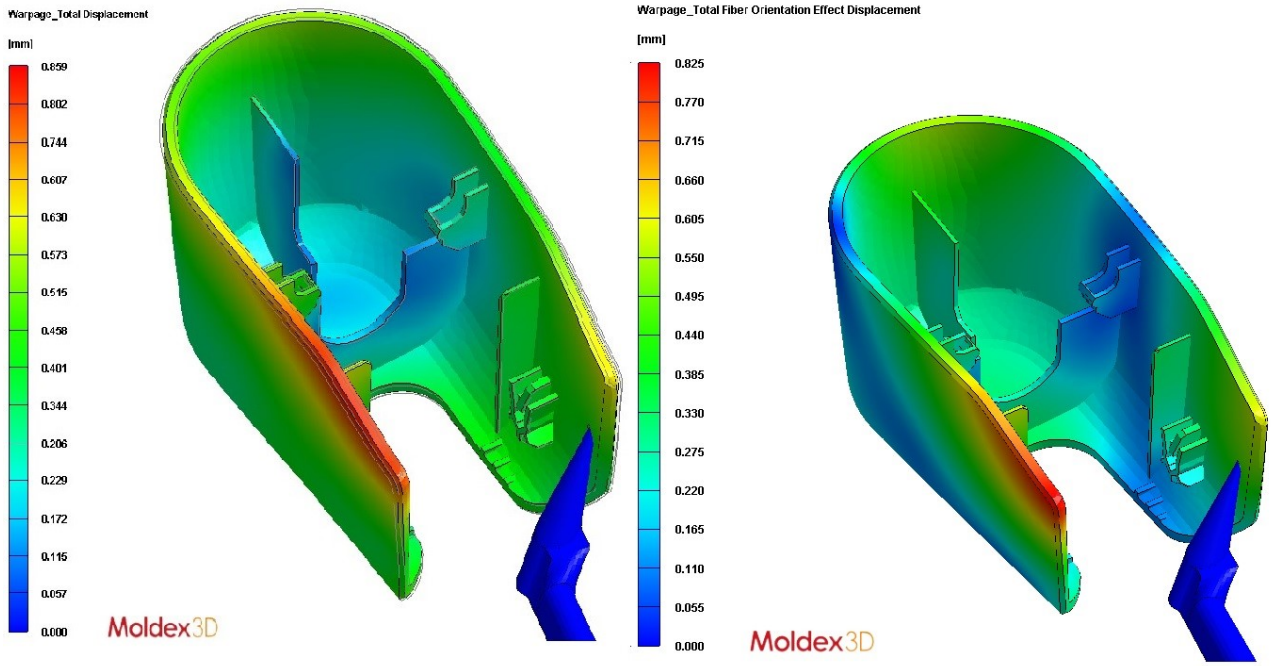
V modelu je použito chladících okruhů, které odpovídají reálnému stavu v nástroji. Průměr chladících kanálů je 8 mm. Chladícím médiem je voda o teplotě 80° C a průtokem 120 $cm^3/s$. Reynoldsovo číslo je u všech okruhů nad hodnotou 6000, čímž je zajištěno turbulentní proudění, které zajišťuje efektivní odvod tepla. Vypočítaná doba chlazení je 16,5 s. V tento moment je teplota výrobku kolem 185° C a může být vyhozen z nástroje.




Obrázek 63 Účinnost chladících okruhů.

## 11.7 Deformace

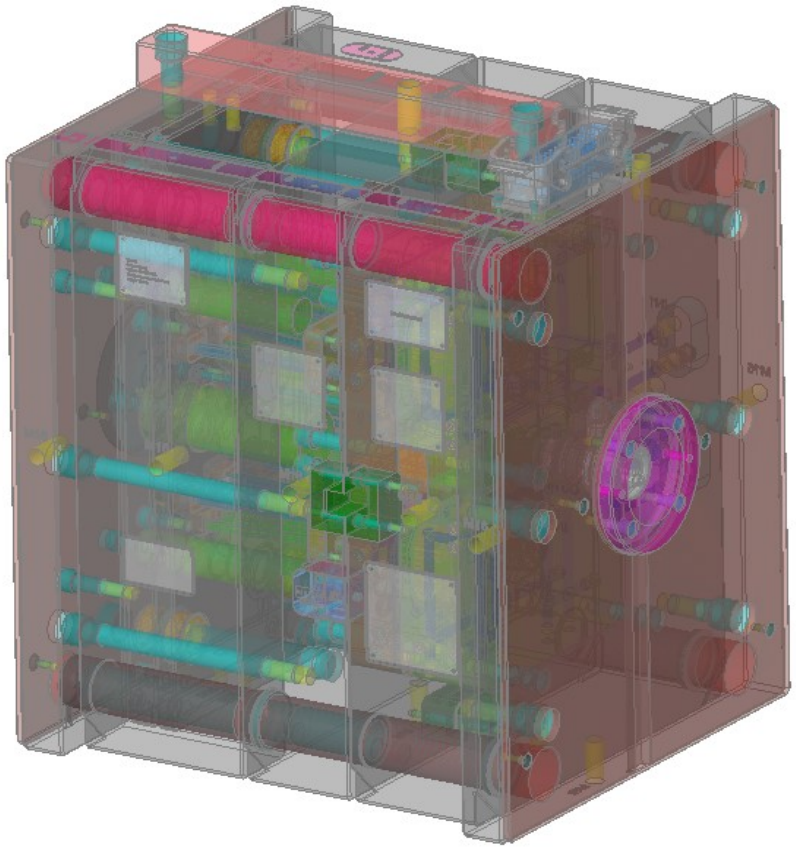
Celková deformace se snížila na hodnotu 0,859 mm, což je poloviční hodnota oproti původnímu stavu. Deformace se také posunula na spodní část dílu, kde nemá takový vliv na další součást sestavy. Největší podíl na hodnotě deformace má opět efekt orientace skelných vláken (0,82 mm), což potvrzuje výsledek na obrázku 64. Jiná orientace vláken byla dosažena změnou pozice vtokového ústí.




Obrázek 64 Celková deformace (vlevo) a deformace způsobená vlákny (vpravo)

# 12 KONSTRUKCE NÁSTROJE

Poslední částí diplomové práce je konstrukce vstřikovací formy. Podkladem pro konstrukci nástroje jsou výstupy z CAE simulací. Při konstrukci nástroje je kladen důraz na využití normálií, které proces konstrukce a výroby formy zkracují a zlevňují. Preferovaným dodavatelem normálií je společnost Hasco. Horká tryska je od výrobce Moldmasters.



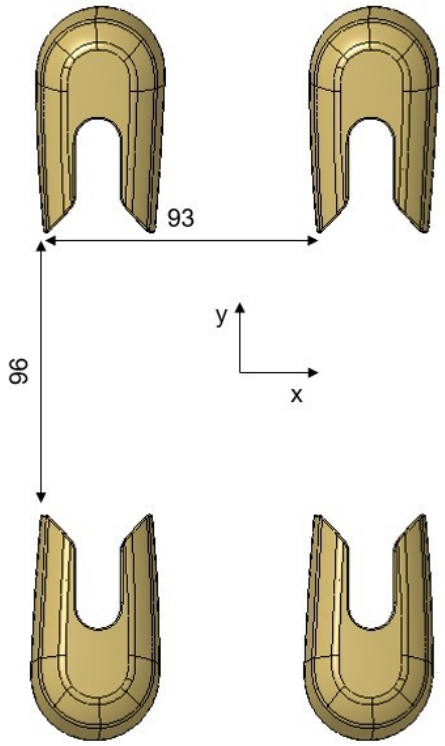
Obrázek 65 Sestava vstřikovací formy

## 12.1 Rozvržení nástroje

Forma je konstruovaná jako 4 – násobná. Velikost rámu je stanovena na 443 x 396 x 496 mm. Rozměr 443 mm je mezi deskami vstřikovacího stroje. Rozměr 396 mm je mezi sloupky a rozměr 496 mm je výška formy ve vertikálním směru. Vyhazování je mechanické s vratnými kolíky v dělící rovině formy.

### 12.1.1 Layout výrobků

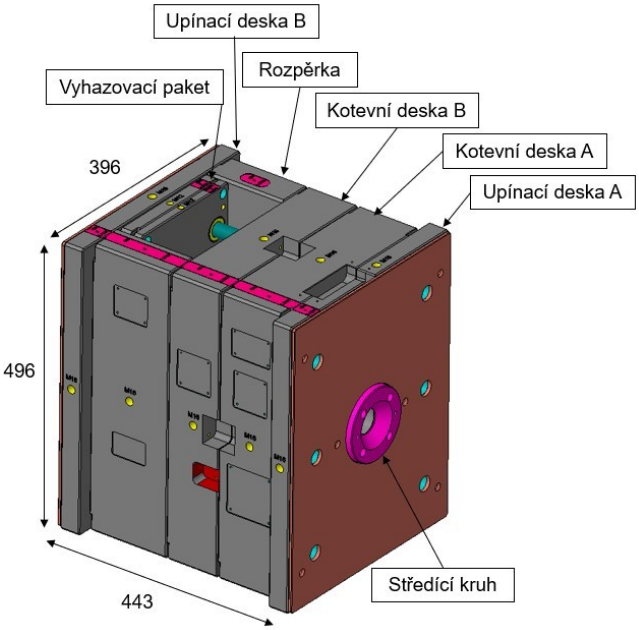
Výrobky jsou uspořádány do obdélníku. Při každém otevření formy jsou vyrobené 4 ks výrobků. Rozteč ve směru osy x je 93 mm, ve směru y pak 96 mm. Výrobky pod osou x jsou otočeny o 180°.




Obrázek 66 Layout výrobků ve formě

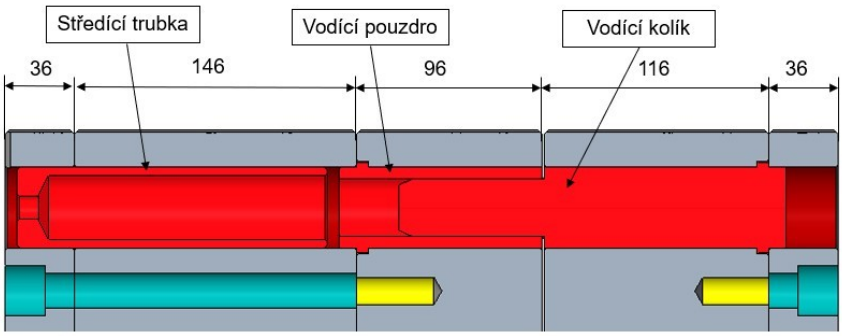
### 12.1.2 Rám formy a vedení

Rám formy byl sestaven z normalizovaných součástí od značky Hasco. Celková velikost rámu je 443 x 396 x 496 mm a to včetně izolačních desek na každé straně. Středící kruhy mají průměr 125 mm, který odpovídá průměru středění formy na vstřikovacím stroji. Kotevní desky mají frézované kapsy na tvarové části a vrtané chlazení k přívodu temperace do tvarových částí.




Obrázek 68 Rám formy

Středění rámu je provedené pomocí vodících pouzder a vodících kolíků. Upínací deska je s rozpěrkami středěná pomocí centrovací trubky. Průměr středících částí je 32 mm. Jedna sada středění má průměr 30 mm. Důvod je bezpečnost při manipulaci a zavírání, aby nedošlo k zavření formy s otočenou polovinou. Přesné vystředění je zajištěno pomocí středících zámku Hasco Z07.




Obrázek 67 Střední formy

### 12.1.3 Volba materiálů

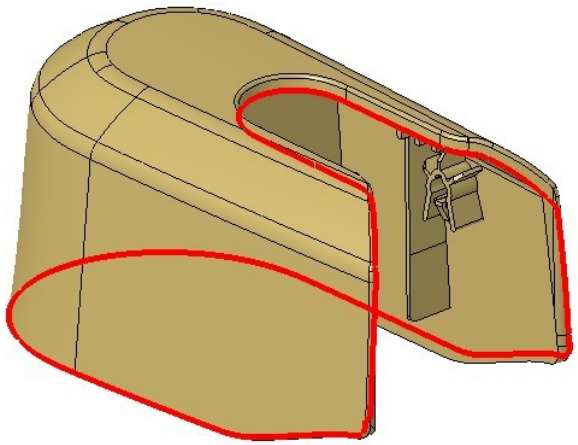
Tvarové části jsou z nástrojové oceli 1.2343, kalené na 48-52 HRC. Materiál tvárnice je také z oceli 1.2343, ale je vybrána její jemnozrnná struktura ESU, která má lepší vlastnosti pro zhotovení textury. Tvarové vyhazovače budou také z oceli 1.2343, ale po kalení budou ještě nitridovány kvůli vyšší otěruvzdornosti.

Kotevní desky jsou zhotoveny z materiálu 1.2312, který není dále zušlechtěný. Ostatní části rámu jsou vyrobeny z oceli 1.1730.

Přepážky, zátky a nátrubky jsou vyrobeny ze slitin mědi kvůli dobré odolnosti proti korozi. Spojovací materiál je třídy 12.9. Výjimkou jsou pouze šrouby se zápustnou hlavou pro upevnění izolačních desek.

## 12.2 Dělící rovina

Dělící rovina je znázorněna na obrázku 69. Vedlejší dělící roviny jsou kolmé na rovinu hlavní a odformování bude řešeno šikmými tvarovými vyhazovači. Zaformování je řešeno tak, že pohledová strana dílu bude na pevné polovině nástroje a část s žebry na straně pohyblivé. Tím je zajištěno, že při otevření formy zůstanou výrobky na pohyblivé straně nástroje a budou následně vyhozeny vyhazovacím systémem.



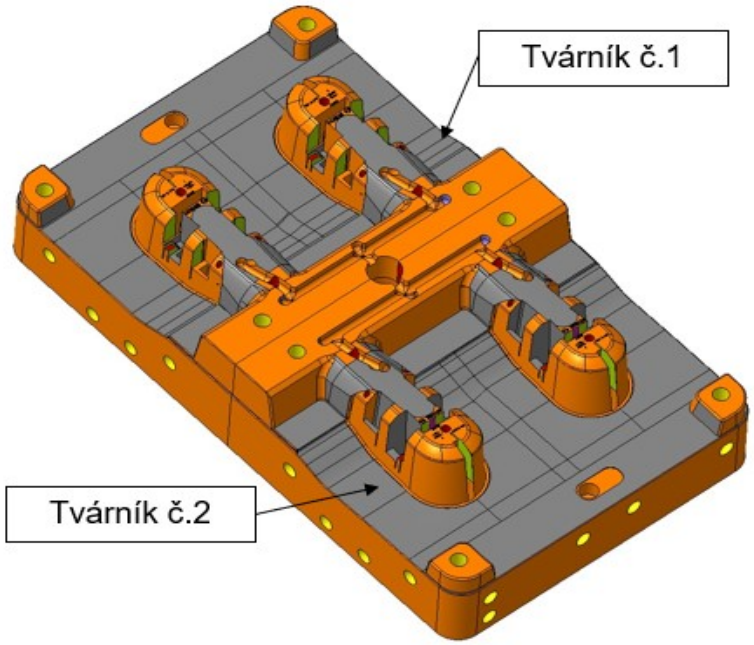
Obrázek 69 Hlavní dělící rovina

## 12.3 Tvarové části

Hlavní tvarové části vstřikovací formy jsou tvárník a tvárnice. Tvarové části udávají tvar vstřikovaného výrobku. Jsou vyrobeny z nástrojové oceli a zušlechtěny kalením na 48-52 HRC a musí vydržet garantovanou životnost, která je u sklem plněným materiálů 500 000 zdvihů. Tvarová dutina musí být zvětšena o smrštění, což je v případě použitého polymeru 0,4 %.

### 12.3.1 Tvárník

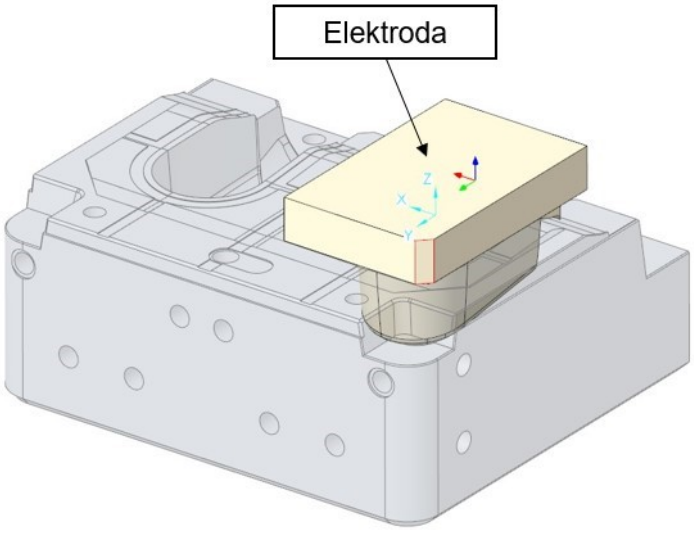
Tvárník se nachází na pohyblivé polovině nástroje. Je vyrobený z nástrojové oceli 1.2343 zušlechtěné kalením na 48-52 HRC. V nástroji jsou tvárníky dva a každý obsahuje dvě tvarové dutiny. Tvárníkem procházejí vyhazovače.




Obrázek 70 Tvárník

### 12.3.2 Tvárnice

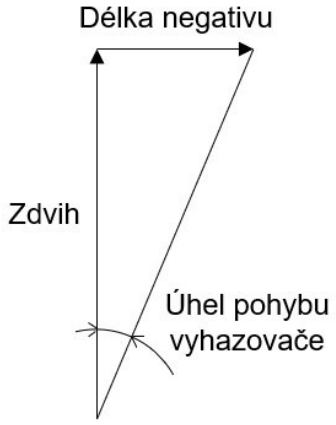
Tvárnice se nachází na pevné polovině nástroje a oproti tvárníku je vyrobena z jemnozrnné varianty materiálu s označením ESU. Tohle zpracování materiálu nabízí lepší výsledky při leštění do vysokého lesku nebo při tvorbě dezénů. Požadavek je dezén dle stupnice VDI 4300 stupeň 27. Textura bude zhotovena elektroerozivně pomocí grafitové elektrody. EDM obrábění zajišťuje vysokou rozměrovou přesnost a umožňuje vytvářet dezény dle stupnice VDI 4300. Elektroda pro dokončení tvarových dutin je znázorněna na obrázku 71.




Obrázek 71 Dokončovací elektroda tvarové dutiny

### 12.3.3 Šikmé tvarové vyhazovače

Šikmé tvarové vyhazovače zajišťují odformování negativů. Pohybem vyhazovací desky je zajištěn pohyb vpřed pod určitým úhlem, který zajistí odformování. Schéma výpočtu pomocí goniometrické funkce je zobrazeno na obrázku 72. Šikmé vyhazovače je výhodné použít hlavně na vnitřní negativy, kde by bylo nutné použití hydrauliky nebo jiného složitého mechanizmu.

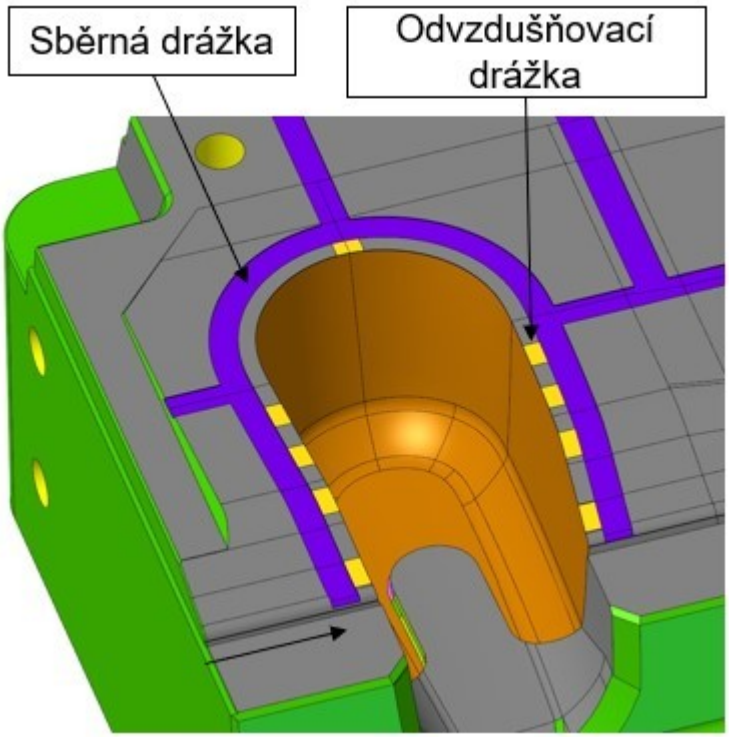



Obrázek 72 Šikmé tvarové vyhazovače

### 12.3.4 Odvzdušnění

Odvzdušnění je zhotoveno v souladu s výsledky tokových analýz. Na pohyblivé polovině odchází vzduch v dutině během plnění mezerami mezi vyhazovači. Hlavní

odvzdušnění je v dělící rovině. Na obrázku 73 je sběrná drážka označena fialovou barvou. Její hloubka je 0,2 mm. S tvarovou dutinou je spojena žlutě označenými plochami, které mají hloubku 0,04 mm, protože sklem plněné materiály dovolují použít větší mezeru než je standardních 0,02 mm.

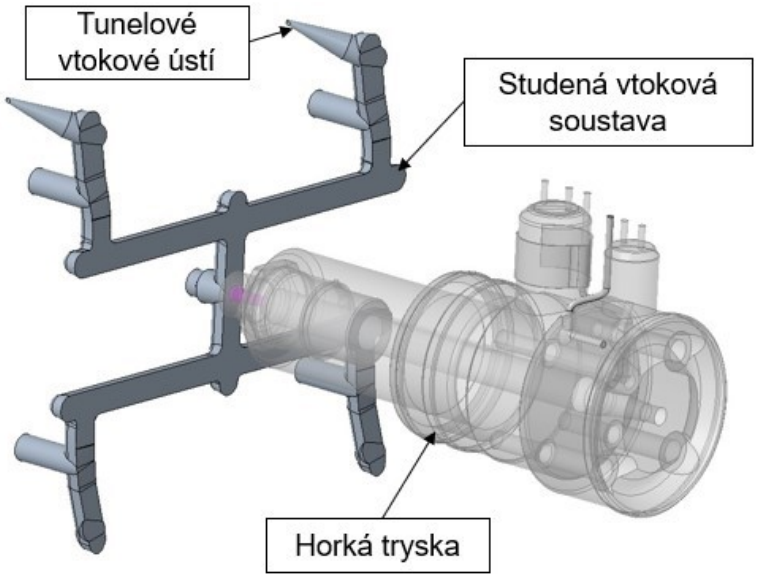



Obrázek 73 Odvzdušní dutiny

## 12.4 Vtoková soustava

Vtoková soustava je kombinací horké trysky značky Moldmasters a studeného rozvodu taveniny s tunelovým ústím do každého výrobku. Výhodou využití trysky je úspora materiálu v podobně vtokové soustavy.

Velikost tunelových ústí vtoku byla simulací ověřena na smykové namáhání, které je v pro daný materiál pod hodnotou 40 000 1/s, což je vyhovující výsledek.



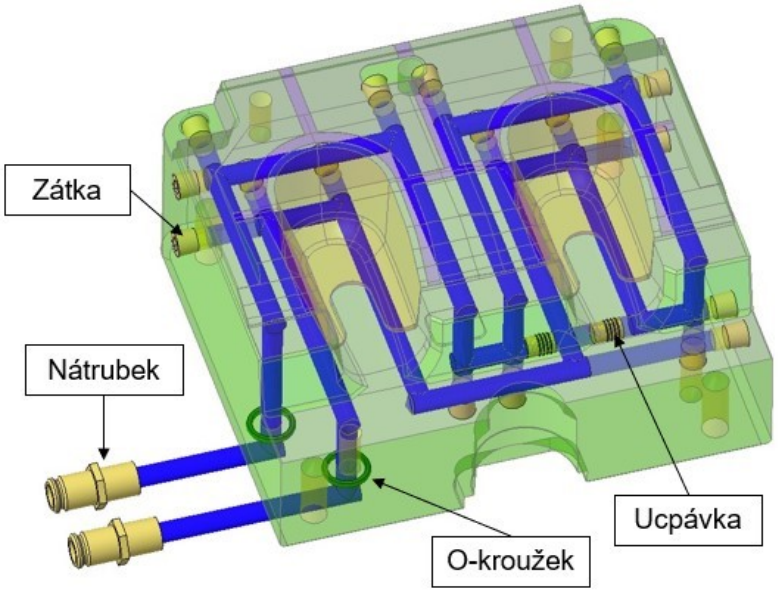

Obrázek 74 Kompletní vtoková soustava

## 12.5 Temperační systém

Chlazení je konstruované s ohledem na umístění vyhazovacího systému. Zátky jsou šroubovací na jemné závity M10x1. Ucpávky uvnitř jsou rozpínací. Umísťují se pomocí speciálního přípravku, který umožňuje zátku vložit do přesně definované vzdálenosti a roztáhnout, aby správně těsnila. Nátrubky mají trubkový závit G1/8 a koncovkou evropského typu. Všechny součásti jsou normálie značky Hasco.

### 12.5.1 Pevná polovina

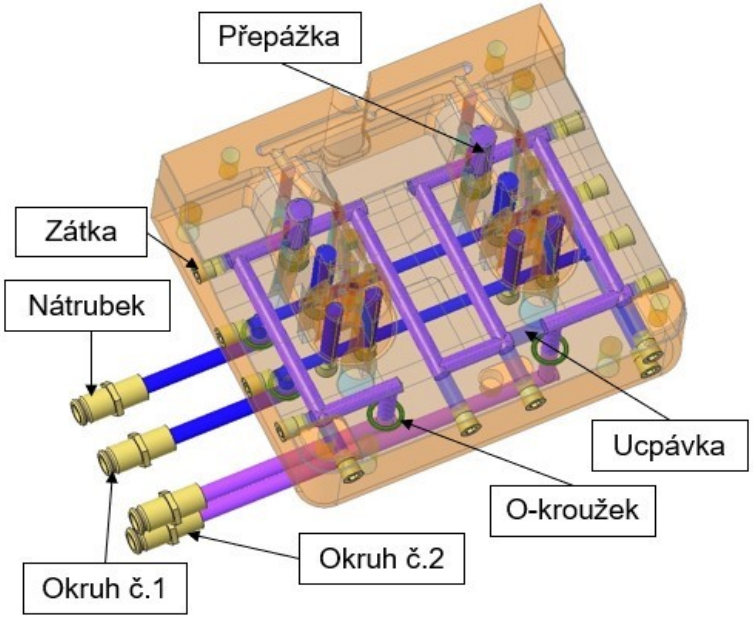
V nepohyblivé polovině nástroje se nachází dva temperační okruhy. Každý okruh pro jeden tvárník. Okruhy jsou symetrické. Těsnění při přechodu mezi rámem a tvárnicí je zajištěno pomocí O-kroužku.




Obrázek 75 Temperace tvárnice

### 12.5.2 Pohyblivá polovina

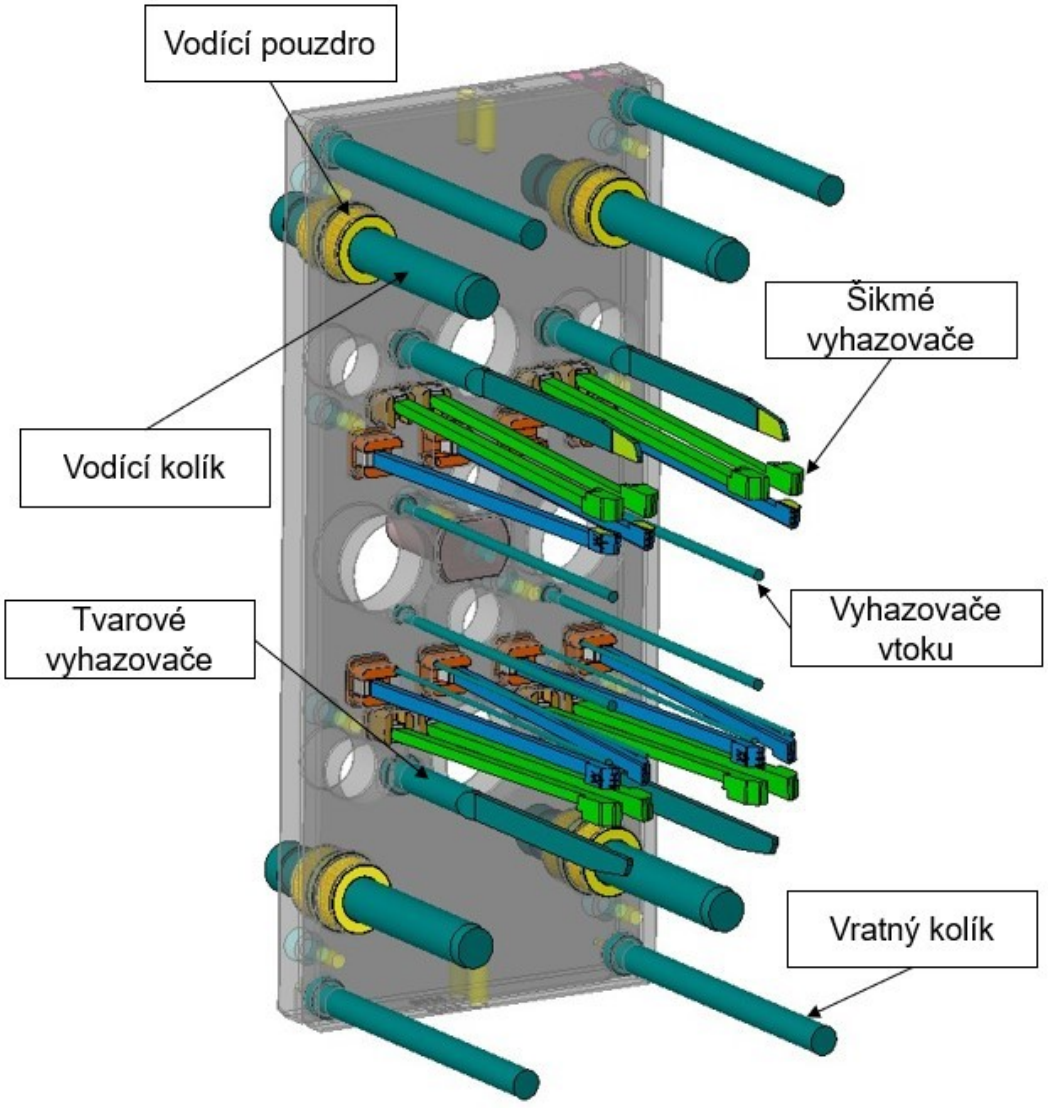
Chlazení na pohyblivé polovině nástroje je složitější a obsahuje dva okruhy temperace pro každý tvárník. Aby bylo zajištěno lepšího odvodu tepla, bylo použito přepážek, které přivádějí temperační médium blíže ke stěně výrobku. Vrtání v místech přepážek je rozšířeno na průměr 10 a průměr 12 mm, protože do díry je vložena mosazná přepážka, které ji dělí na polovinu. Samotná přepážka je opět katalogovou položkou Hasco a je zkrácena dle konkrétní potřeby.




Obrázek 76 Temperace tvárníku

## 12.6 Vyhazovací systém

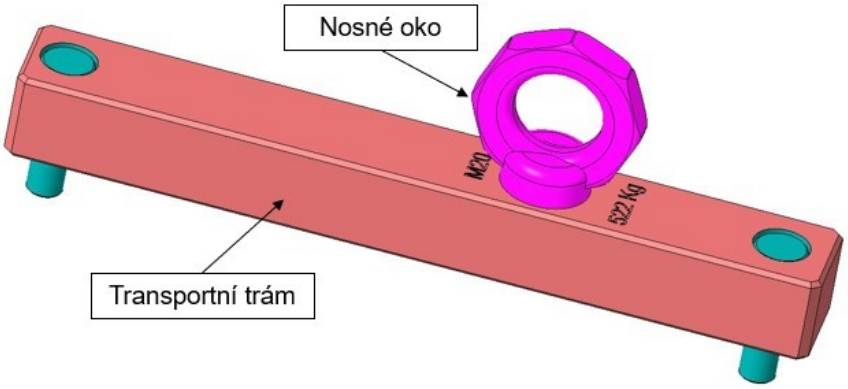
Vyhazovací systém je jednostupňový a složený ze dvou desek. Zdvih je dlouhý 90 mm a to kvůli šikmým vyhazovačům. Vtoková soustava má své vyhazovací kolíky, aby došlo k ustřihnutí tunelového vtoku při vyhazování. Kromě šikmých vyhazovačů jsou použity i klasické válcové vyhazovače, z niž některé jsou tvarově upraveny. Materiálem desek je nástrojová ocel 1.2312. Vratné kolíky mají bezpečnostní funkci pro případ, když by nedošlo k vrácení vyhazovacího systému stojem. Vedení je zajištěno vodícími kolíky a pouzdry. Většina součástí jsou normálie Hasco.




Obrázek 77 Vyhazovací systém

## 12.7 Transport nástroje

Umístění formy do vstřikovacího stroje je realizováno pomocí jeřábu. Jednotlivé desky jsou opatřeny závity pro umístění ok kvůli manipulaci během údržby nástroje. Součástí je přepravní trám, který je k oběma polovinám nástroje přišroubovaný. Trám je vyrobený o ocele 1.1730 a je opatřený závitem M20. Celková hmotnost nástroje je přibližně 522 kg a nosné oko se závitem M20 od výrobce RUD splňuje dnešní požadavky na bezpečnost.




Obrázek 78 Transportní trám s okem

# DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem práce bylo optimalizovat design vstřikovaného výrobku a navrhnout vstřikovací formu. Výrobkem je krytka zadního stěrače osobního automobilu.

Materiál výrobku byl definovaný a jednalo se o směs PBT PET s obsahem 30 % skelných vláken od společnosti Celanese. Materiál je obzvláště vhodný pro exteriérové použití, protože odolává slunečnímu záření a má dobrou chemickou odolnost, což jsou v případě exteriérových dílů důležitá kritéria.

Původní návrh nebyl z hlediska technologie vstřikování zcela vhodný a bylo nutné provést úpravy geometrie. Hlavními nedostatky byla nerovnoměrná síla stěny, nevhodné tloušťky žeber, chybějící úkosy a velikost vnitřních negativů.

Nová, ale i původní geometrie byla ověřena pomocí CAE simulací v softwaru Moldex3D. Simulace původně zadané geometrie bez úprav byla provedena jen s jedním výrobkem a pozice vtoku byla zvolena dle doporučení softwaru. Tokové simulace modifikované geometrie byly provedeny s kompletní vtokovou a temperační soustavou. Stejná vtoková i temperační soustava byla využita pro konstrukci nástroje. Výsledky analýzy po úpravě výrobku byly v souladu s požadavky na kvalitu výrobku a vstřikovacího procesu. Celková deformace byla snížena na akceptovatelnou hodnotu. Parametry vstřikovacího procesu jsou akceptovatelné a nedosahují extrémních hodnot, což by jinak mělo negativní vliv na procesní okno a čas cyklu.

Výstupy simulací jsou cenným podkladem pro konstrukci vstřikovací formy. Forma byla zkonstruována jako 4 – násobná pro provozování na stroji Arburg A420C – 1000. Stroj byl ověřen z hlediska maximální uzavírací síly a velikosti komory se šnekem. Zvolený stroj omezuje velikost nástroje hlavně rozměrem mezi sloupky, který činí 420 mm.

Celkové rozměry vstřikovací formy jsou 443 x 396 x 496 mm a je vyrobena z větší části z normálií Hasco. K minimalizaci odpadu při vstřikování byla využita středová horká tryska, která ústí do studeného rozvodu a díl je plněný tunelovým ústím.

Temperaci formy tvoří vrtané kanály o průměru 8 mm. Okruhy jsou sdružené vždy pro dvě dutiny. Pevná polovina nástroje obsahuje 2 okruhy, pohyblivá 4 okruhy. Požadovaná teplota formy je 80°C a tak je jako chladící médium využita voda.

Odformování negativů je zajištěno šikmými tvarovými vyhazovači, které se pohybují společně se zbytkem vyhazovačů při pohybu vyhazovacího paketu.

Odvzdušnění je realizováno hlavně přes dělící rovinu.

Výsledky ze simulací jsou popsány v jednotlivých kapitolách a návrh vstřikovací formy je doložen výkresem sestavy.

# ZÁVĚR

Diplomová práce se zaměřuje na problematiku vstřikování plastů a konstrukce vystřikovacích forem. Všeobecnému přehledu se věnuje teoretická část práce, která obsahuje několik kapitol dané problematiky, mezi které patří polymerní materiály, zásady konstrukce výstřiků, základní informace o vstřikovacích formách a úvod do procesu vstřikování i tokových simulací.

Praktická část práce se zabývá zhodnocením designu výrobku, jeho optimalizací s ohledem na technologii vstřikování a konstrukcí vstřikovací formy. Zadaným výrobkem je krytka zadního stěrače, Materiálem je Celanex 2302 GV1/30, což je směs PBT a PET s 30 % příměsí skelných vláken.

Základními výpočty byly stanoveny požadavky na vstřikovací stroj. Pro zvolenou násobnost nástroje nejlépe odpovídal v seznamu stroj Arburg A420C 1000. Z výběru stroje vyplývá rozměrové omezení pro nástroj, kde rozměr mezi sloupky stroje musí být menší něž 420 mm.

Vyrobitelnost byla ověřena pomocí simulací vstřikování za použití softwaru Moldex3D. Analýza odhalila nedostatky z pohledu designu výrobku, které byly v další části práce opraveny a byla provedena druhá simulace. Rozsah druhé analýzy byl rozšířený o kompletní vtokovou a temperační soustavu. Pozornost byla věnována i vtokovému ústí, kde bylo ověřeno, že vhodnější umístění má pozitivní vliv na orientaci vláken a z toho vyplývající menší deformaci výrobku. Výsledky ze simulací posloužily jako podklad pro konstrukci nástroje.

Poslední část dokumentuje konstrukci vstřikovací formy. Konstrukce byla vytvořena pomocí softwaru Creo Parametric s důrazem na využití normálií. Vstřikovací forma je 4 – násobná. Vtoková soustava je kombinací horké centrální trysky a studeného rozvodu s tunelovými vtoky. Vyhazování je mechanické a kromě vyhození dílu realizuje i odformování negativů pomocí šikmých vyhazovačů. Celkové rozměry nástroje jsou 443 x 396 x 496 mm a vyhovují zvolenému vstřikovacímu stroji.

# SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. 1.vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009. 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.

[2] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.

[3] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. [cit. 2017-1-3] Dostupné z WWW: https://publi.cz/books/184/Cover.html

[4] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl - Vstřikování termoplastů*.

2.upr. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 133 s.

[5] WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang HSU. *Molding simulation: theory and practice.* München: Hanser Publications, 2018, 513 s. ISBN 978-1-56990-619-4.

[6] LEDNICKÝ, F.: Mikroskopie a morfologie polymerů. Díl 2. Morfologie polymerů. Liberec: TU v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-487-0.

[7] VLČEK, J., MAŇAS, M. *Aplikovaná reologie*, Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2001. 144 s. ISBN 80-7318-039-1.

[8] Směšovací trysky Promix [online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: https://www.promix-solutions.ch/mixing-nozzle-injection-molding.html

[9] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 978-80-7204-833-5.

[10] GORDON, Joseph *Total Quality Process Control for Injection Molding*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.,, 2010, 746 s. ISBN 978-0-470-22963-7

[11] KAZMER, David *Injection mold design engineering*. Munich: Hanser Publishers, 2016, 529 s. ISBN 978-1-56990-571-5

[12] ŠUBA, Oldřich. *Dimenzování a navrhování výrobků z polymerů*. 2. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006. 104 s. ISBN 80-7318-431-1.

[13] KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. *Injection molding advanced troubleshooting guide*. Munich: Hanser Publishers, 2018, 491 s. ISBN 978-1-56990-645-3.

[14] Rám formy Meusburger [online]. [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: https://www.meusburger.com/CS/CZ/produkty/ramy-forem

[15] ROSATO, D. V., ROSATO, D. V., ROSATO, M. G. *Injection Molding Hand book (3rd Edition).* NYC, NY, USA: Springer – Verlag, 2000. 1485 s. ISBN 978-0-7923-8619-3.

[16] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. Díl – Vstřikování termoplastů.* 1. upr. Vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.

[17] REES, Herbert. *Mold engineering*. 2nd Munich: Hanser Publishers, 2002, ISBN 34-462-1659-6. 688 s.

[18] GASTROW, Hans. *Injection Molds: 130 proven design. 3rd ed*. Munich: Hanser Publisher, 2002. 313 s. ISBN 3–446–21448–8.

[19] LINDNER, E., UNGER, O. *Injection molds. 3rd. ed*. Munich: Hanser Publishers, 2002. 249 s. ISBN 3–446–21448–8.

[20] POTSCH, Gerd and Walter MICHAILI. *Injection molding: An Introduction*. 2nd ed. Munchen: Hanser, 2008. ISBN 15-699-0419-7.

[21] www.ksp.tul.cz [online]. [cit. 2013-11-12]. Dostupný z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm

[22] RÖSLER, Joachim, Harald HARDERS a Martin BÄKER. *Mechanical Behaviour of Engineering Materials: Metals, Ceramics, Polymers, and Composites*. New York: Springer, 2007. ISBN 78-3-540-73446-8-

[23] PLATT, David. *Engineering and High Performance Plastics.* Shawbury: Rapra, 2003. ISBN 1-85957-380-0

[24] JOHANNABER, Friedrich. *Injection Molding Machines: A User's Guide*. 3.vyd. München: Hanser, 2016. ISBN 978-1569901694.

[25] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním.* 1. vyd. Praha: SNTL, 1986. 229 s.

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

[27] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.

[28] KOCMAN, *Karel. Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 350 s. ISBN 978-80-7204-722-2.

[29] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard Gordon BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

[30]. SCHWARZMANN, Peter, ILLIG, Adolf. *Thermoforming -A Practical Guide*. München: Hanser, 2001, 242 s. ISBN 1-56990-275-5.

[31]. Varianty tunelových vtoků [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: https://www.misumi-techcentral.com/tt/en/mold/2012/02/112-varieties-of-tunnel-gates.html

[32]. Odhad průřezu vtokového ústí [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: https://libeos.cz/odhad-prurezu-vtokoveho-usti/

[33] MENGES, Georg., MICHAELLI, Walter., MOHREN, Paul. *How to Make Injection Molds*. 3rd ed. Munich: Hanser Publisher, 2001. 612 s. ISBN 3-446-21256-6.

[34] LEINVEBER, J.ŘASA, J.VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 3. dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.

[35] BEAUMONT, John. Runner and Gating Design Handbook. 3. vyd. München: Hanser Publications, 2019. ISBN 978-1-56990-590-6.

# SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD Computer Aided Design

CAE Computer Aided Engineering

PC Polykarbonát

ABS Akrylonitrilbutadienstyren

Tg Teplota skelného přechodu

Tm Teplota krystalického stavu

ITT Index toku taveniny

MFI Melt Flow Index

MFR Melt Flow Rate

MVR Melt Volume Rate

PET Polyethylentereftalát

PBT Polybutadientereftalát

GIT Gas Injection Technique

WIT Water Injection Technique

IMD In Mold decoration

IML In Mold Labeling

EDM Electro Discharge Machining

SPI Society of the Plastics Industry

DMLS Direct Metal Laser Sintering

$F_{uzavírací}$ Uzavírací síla formy

S Plocha výstřiku promítnutá do dělící roviny

$p_f$ Tlak v dutině formy

n násobnost formy

$V_d$ Objem dávky

$D_s$ Průměr šneku

DMLS Direct Metal Laser Sintering

HRC Tvrdost dle Rockwella

EDM Electric Discharge Machining

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Rozdělení polymerů ..... 14
Obrázek 2 Základní rozdělení termoplastů ..... 15
Obrázek 3 Oblast použití amorfních polymerů [4] ..... 15
Obrázek 4 Oblast použití semikrystalických polymerů [4] ..... 16
Obrázek 5 Semikrystalická struktura (vlevo) a amorfní struktura [5] ..... 17
Obrázek 6 Sférolitická struktura [6] ..... 17
Obrázek 7 Viskozitní křivka materiálu PBT Celanex 2302 GV1/30 ..... 18
Obrázek 8 Vstřikovací cyklus [5] ..... 20
Obrázek 9 pvT diagram při vstřikování [5] ..... 21
Obrázek 10 Procesní okno [5] ..... 22
Obrázek 11 Schéma vstřikovacího stroje [5] ..... 23
Obrázek 12 Statický směšovací mixér [8] ..... 23
Obrázek 13 Požadavky na návrh produktu [10] ..... 26
Obrázek 14 Optimální návrh vstřikovaného výrobku [10] ..... 27
Obrázek 15 Zaoblení hran [10] ..... 28
Obrázek 16 Porovnání návrhů vyztužení [2] ..... 28
Obrázek 17 Návrh nálitků [11] ..... 29
Obrázek 18 Izometrický pohled na vstřikovací formu [11] ..... 32
Obrázek 19 Zaformování výstřiku ..... 33
Obrázek 20 Detail odvzdušňovací drážky [13] ..... 34
Obrázek 21 Rám formy [14] ..... 35
Obrázek 22 Využitelnost rámu [11] ..... 35
Obrázek 23 Příklady rozložení tvarových dutin [5] ..... 36
Obrázek 24 Vhodné průřezy vtokové soustavy [5] ..... 36
Obrázek 25 Studená vtoková soustava [11] ..... 37

Obrázek 26 Horký vtokový systém se dvěma tryskami [11] ..... 38

Obrázek 27 Typické konfigurace horkých systémů [11] ..... 39

Obrázek 28 Plný kuželový vtok [11] ..... 40

Obrázek 29 Bodový vtok [11] ..... 40

Obrázek 30 Tunelový vtok [11] ..... 41

Obrázek 31 Boční vtokové ústí [11] ..... 41

Obrázek 32 Filmové vtokové ústí [11] ..... 41

Obrázek 33 Tryska s torpédem (vlevo), otevřená tryska (střed) tryska d jehlou (vpravo) [5] ..... 42

Obrázek 34 Sériové (vlevo) a paralelní zapojení chlazení [5] ..... 43

Obrázek 35 Rozdělení okruhů [5] ..... 44

Obrázek 36 Konformní chlazení [11] ..... 44

Obrázek 37 Mechanicky ovládané jádro [11] ..... 45

Obrázek 38 Stírací deska [11] ..... 46

Obrázek 39 Šikmý vyhazovač [5] ..... 47

Obrázek 40 Vývoj sítí pro simulace vstřikování [5] ..... 48

Obrázek 41 CAD model výrobku ..... 52

Obrázek 42 Arburg A420 v novém barevném schématu ..... 54

Obrázek 43 Deska vstřikovacího stroje ..... 54

Obrázek 44 Analýza úkosů ..... 55

Obrázek 45 Analýza tloušťky stěn ..... 56

Obrázek 46 Řez součástí a pohled na vnitřní negativy ..... 56

Obrázek 47 Pohledové plochy výrobku ..... 57

Obrázek 48 Návrh pozice vtoku ..... 58

Obrázek 49 Návrh pozice vtoku pomocí Moldex3D ..... 59

Obrázek 50 Naplnění dílu při čase 1,5 s ..... 60

Obrázek 51 Uzavřený vzduch ..... 61

Obrázek 52 Propadliny na konci dotlaku ..... 62

Obrázek 53 Deformace celková (vlevo) a vlivem orientace vláken (vpravo) ..... 63

Obrázek 54 Optimalizovaná tloušťka stěny a žeber ..... 64

Obrázek 55 Úprava vnitřních tvarů ..... 65

Obrázek 56 Zesíťovaný model vtokové soustavy ..... 66

Obrázek 57 Zvolená pozice vtoku ..... 66

Obrázek 58 Model formy pro analýzu ..... 67

Obrázek 59 Plnění dutin s časem 1,5 s. ..... 68

Obrázek 60 Zobrazení taveniny po 4 s dotlaku ..... 69

Obrázek 61 Propady na konci dotlaku ..... 69

Obrázek 62 Místa uzavřeného vzduchu po optimalizaci ..... 70

Obrázek 63 Účinnost chladících okruhů. ..... 71

Obrázek 64 Celková deformace (vlevo) a deformace způsobená vlákny (vpravo) ..... 72

Obrázek 65 Sestava vstřikovací formy ..... 73

Obrázek 66 Layout výrobků ve formě ..... 74

Obrázek 67 Střední formy ..... 75

Obrázek 68 Rám formy ..... 75

Obrázek 69 Hlavní dělící rovina ..... 76

Obrázek 70 Tvárník ..... 77

Obrázek 71 Dokončovací elektroda tvarové dutiny ..... 78

Obrázek 72 Šikmé tvarové vyhazovače ..... 78

Obrázek 73 Odvzdušní dutiny ..... 79

Obrázek 74 Kompletní vtoková soustava ..... 80

Obrázek 75 Temperace tvárnice ..... 81

Obrázek 76 Temperace tvárníku ..... 81

Obrázek 77 Vyhazovací systém ..... 82

Obrázek 78 Transportní trám s okem ..... 83

# SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Velikost úkosů [4] ..... 29

Tabulka 2 Stupnice SPI pro dokončovací metody povrchů [13] ..... 31

Tabulka 3 Procesní parametry analýzy ..... 59

Tabulka 4 Parametry druhé analýzy ..... 68

# SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list

Příloha P II: Karta vstřikovacího stroje

Příloha P III: Výkres sestavy

Příloha P IV: Pohledy

Příloha P V: Kusovník

# PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST

## CAMPUS® Datasheet

**CELANEX 2302 GV1/30 - PBT-GF30**
**Celanese**

Celanese
The chemistry inside innovation™

**Product Texts**
Chemical abbreviation according to ISO 1043-1: PBT
Moulding compound ISO 7792- PBT/PET, MGHR, 08-110N, GF30

Polybutylene terephthalate, polymer blend, 30 % glass fibre reinforced, injection molded parts with superior gloss.

Flammability UL 94 HB minimum thickness 0.82 mm.

Recognition by Underwriters Laboratories, USA (UL)

| Rheological properties | Value | Unit | Test Standard |
|---|---|---|---|
| Melt volume-flow rate, MVR | 15 | $cm^3$/10min | ISO 1133 |
| Temperature | 265 | °C | ISO 1133 |
| Load | 2.16 | kg | ISO 1133 |

| Mechanical properties | Value | Unit | Test Standard |
|---|---|---|---|
| Tensile Modulus | 10500 | MPa | ISO 527-1/-2 |
| Stress at break | 150 | MPa | ISO 527-1/-2 |
| Strain at break | 2.5 | % | ISO 527-1/-2 |
| Charpy impact strength, +23°C | 56 | $kJ/m^2$ | ISO 179/1eU |
| Charpy impact strength, -30°C | 58 | $kJ/m^2$ | ISO 179/1eU |
| Charpy notched impact strength, +23°C | 10 | $kJ/m^2$ | ISO 179/1eA |
| Charpy notched impact strength, -30°C | 10 | $kJ/m^2$ | ISO 179/1eA |

| Thermal properties | Value | Unit | Test Standard |
|---|---|---|---|
| Melting temperature, 10°C/min | 255 | °C | ISO 11357-1/-3 |
| Temp. of deflection under load, 1.80 MPa | 200 | °C | ISO 75-1/-2 |
| Temp. of deflection under load, 8.00 MPa | 125 | °C | ISO 75-1/-2 |
| Vicat softening temperature, 50°C/h 50N | 225 | °C | ISO 306 |
| Coeff. of linear therm. expansion, parallel | 20 | E-6/K | ISO 11359-1/-2 |
| Burning Behav. at 1.5 mm nom. thickn. | HB | class | IEC 60695-11-10 |
| Thickness tested | 1.6 | mm | IEC 60695-11-10 |
| UL recognition | UL | - | - |
| Burning Behav. at thickness h | HB | class | IEC 60695-11-10 |
| Thickness tested | 0.8 | mm | IEC 60695-11-10 |
| UL recognition | UL | - | - |
| Oxygen index | 20 | % | ISO 4589-1/-2 |

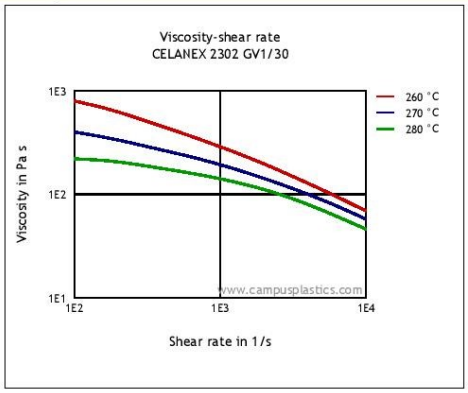
| Electrical properties | Value | Unit | Test Standard |
|---|---|---|---|
| Relative permittivity, 100Hz | 4.4 | - | IEC 60250 |
| Relative permittivity, 1MHz | 4.1 | - | IEC 60250 |
| Dissipation factor, 100Hz | 14 | E-4 | IEC 60250 |
| Dissipation factor, 1MHz | 170 | E-4 | IEC 60250 |
| Volume resistivity | >1E13 | Ohm*m | IEC 60093 |
| Surface resistivity | >1E15 | Ohm | IEC 60093 |
| Electric strength | 31 | kV/mm | IEC 60243-1 |
| Comparative tracking index | 250 | - | IEC 60112 |

## CELANEX 2302 GV1/30 - PBT-GF30
## Celanese

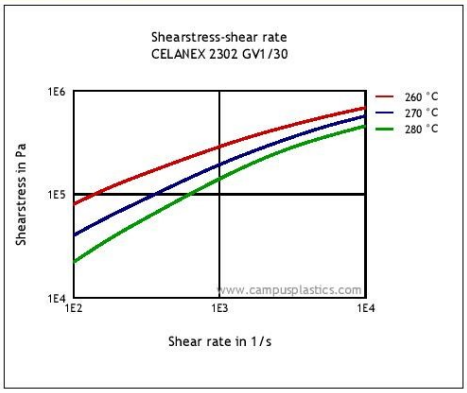
| Other properties | Value | Unit | Test Standard |
|---|---|---|---|
| Water absorption | 0.4 | % | Sim. to ISO 62 |
| Humidity absorption | 0.15 | % | Sim. to ISO 62 |
| Density | 1550 | kg/m³ | ISO 1183 |
| **Material specific properties** | **Value** | **Unit** | **Test Standard** |
| Viscosity number | 70 | cm³/g | ISO 307, 1157, 1628 |
| **Rheological calculation properties** | **Value** | **Unit** | **Test Standard** |
| Density of melt | 1320 | kg/m³ | - |
| Thermal conductivity of melt | 0.171 | W/(m K) | - |
| Spec. heat capacity of melt | 1730 | J/(kg K) | - |
| Ejection temperature | 220 | °C | - |
| **Test specimen production** | **Value** | **Unit** | **Test Standard** |
| Processing conditions acc. ISO | 7790 | - | ISO ....-2 |
| Injection Molding, melt temperature | 270 | °C | ISO 294 |
| Injection Molding, mold temperature | 90 | °C | ISO 10724 |
| Injection Molding, injection velocity | 200 | mm/s | ISO 294 |
| Injection Molding, pressure at hold | 70 | MPa | ISO 294 |

### Diagrams

#### Viscosity-shear rate

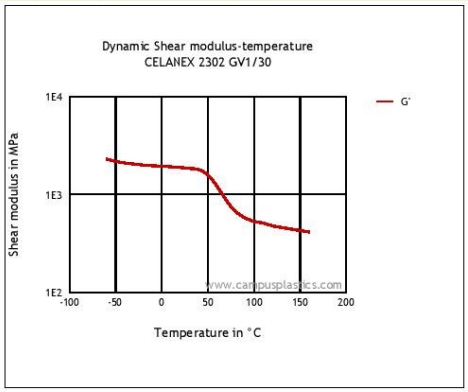



#### Shearstress-shear rate

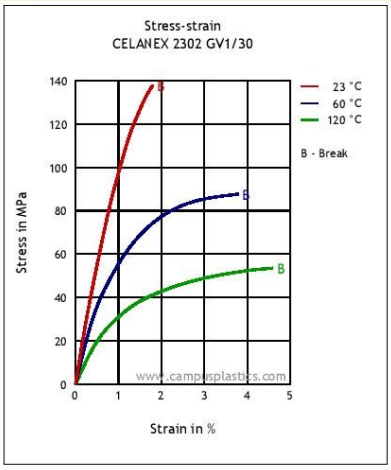


## CELANEX 2302 GV1/30 - PBT-GF30
## Celanese

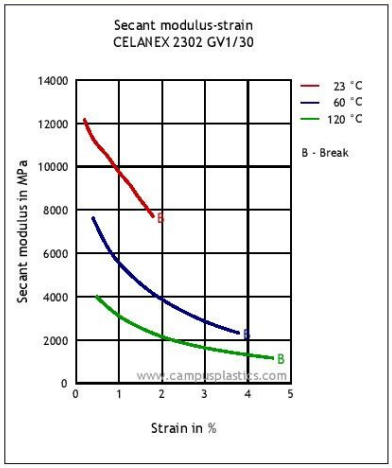
### Dynamic Shear modulus-temperature



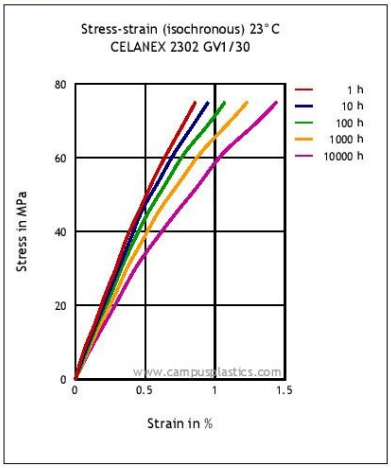

### Stress-strain




### Secant modulus-strain

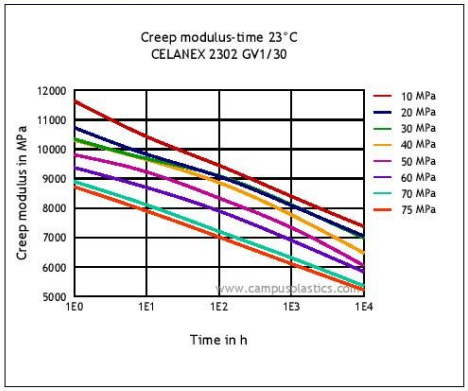



### Stress-strain (isochronous) 23 °C



## CELANEX 2302 GV1/30 - PBT-GF30
## Celanese

### Creep modulus-time 23 °C




### Characteristics

**Processing**
Injection Molding

**Special Characteristics**
Heat stabilized or stable to heat

**Delivery form**
Pellets

**Regional Availability**
Europe

**Additives**
Release agent

### Other text information

**Injection molding**
PREPROCESSING

To avoid hydrolytic degradation during processing, CELANEX resins have to be dried to a moisture level equal to or less than 0,02%. The drying should be done in a dry-air dryer (dew point temperature of 120 to 140 °C and a drying time of 2 to 4 hours. In case of longer residence times in the dry-air dryer, the temperature should be reduced to 100°C.
The time between drying and processing should be kept as short as possible. The processing machine feed hopper should be closed during the processing operation.

PROCESSING

Melt Temperature 265-275 °C
Mold Temperature *) 90-100 °C
Maximum Barrel Residence Time **) 5-10 min
Injection Speed fast
Peripheral screw speed max.0,3 m/sec
Back Pressure 10-30 bar
Injection Pressure 600-1000 bar
Holding Pressure 400-800 bar
Nozzle Design open design preferred

Injection speed, injection pressure and holding pressure have to be optimized to the individual article geometry. To avoid material degradation during processing low back pressure and minimum screw speed

have to be used. Overheating of the material has to be avoided.

Ticona recommends only externally heated hot runner systems.

*) For moulded parts with especially high requirements to the surface quality or dimensional stability, a mold temperature of up to 110 °C can be advantageous.

**) If the cylinder temperatures are higher than the recommended maximum temperatures, the max. residence time in the barrel has to be reduced.

POSTPROCESSING

NOTICE TO USERS: Values shown are based on testing of laboratory test specimens and represent data that fall within the standard range of properties for natural material. These values alone do not represent a sufficient basis for any part design and are not intended for use in establishing maximum, minimum, or ranges of values for specification purposes. Colorants or other additives may cause significant variations in data values.

Properties of molded parts can be influenced by a wide variety of factors including, but not limited to, material selection, additives, part design, processing conditions and environmental exposure. Any determination of the suitability of a particular material and part design for any use contemplated by the users and the manner of such use is the sole responsibility of the users, who must assure themselves that the material as subsequently processed meets the needs of their particular product or use.

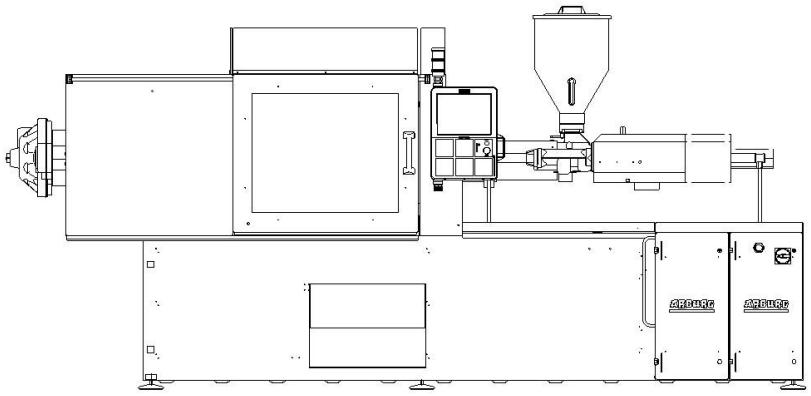
To the best of our knowledge, the information contained in this publication is accurate; however, we do not assume any liability whatsoever for the accuracy and completeness of such information. The information contained in this publication should not be construed as a promise or guarantee of specific properties of our products. It is the sole responsibility of the users to investigate whether any existing patents are infringed by the use of the materials mentioned in this publication.

Moreover, there is a need to reduce human exposure to many materials to the lowest practical limits in view of possible adverse effects. To the extent that any hazards may have been mentioned in this publication, we neither suggest nor guarantee that such hazards are the only ones which exist. We recommend that persons intending to rely on any recommendation or to use any equipment, processing technique, or material mentioned in this publication should satisfy themselves that they can meet all applicable safety and health standards.

We strongly recommend that users seek and adhere to the manufacturer's current instructions for handling each material they use, and to entrust the handling of such material to adequately trained personnel only. Please call the telephone numbers listed for additional technical information. Call Customer Services for the appropriate Materials Safety Data Sheets (MSDS) before attempting to process our products.

The products mentioned herein are not intended for use in medical or dental implants.

# PŘÍLOHA P II: KARTA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

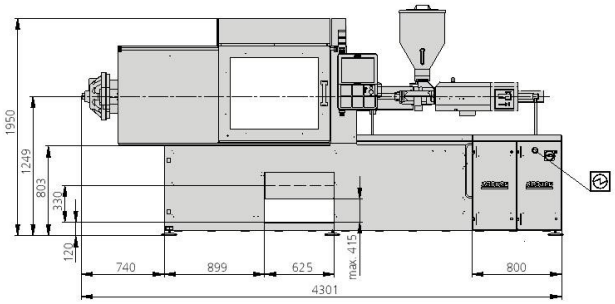


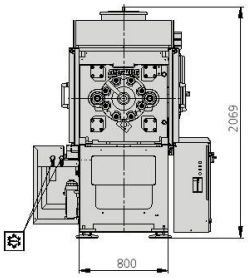
## ALLROUNDER 420 C
**GOLDEN EDITION**

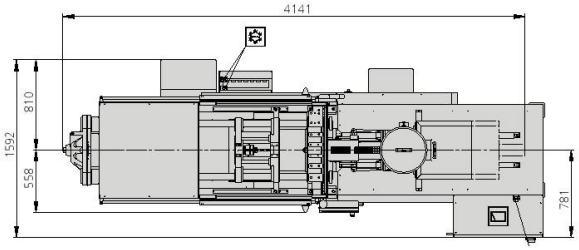
Distance between tie bars: 420 x 420 mm
Clamping force: 1000 kN
Injection unit (acc. to EUROMAP): 290

ARBURG

# MACHINE DIMENSIONS | 420 C GOLDEN EDITION




Electrical connection

Cooling water connection

# TECHNICAL DATA | 420 C GOLDEN EDITION

| **Clamping unit** | | | **420 C GOLDEN EDITION** |
|---|---|---|---|
| with clamping force | max. | kN | 1000 |
| Opening force \| stroke | max. | kN \| mm | 250 \| 500 |
| Mould height, fixed \| variable | min. | mm | 250 \| --- |
| Platen daylight fixed \| variable | max. | mm | 750 \| --- |
| Distance between tie bars (w x h) | | mm | 420 x 420 |
| Mould mounting platens (w x h) | max. | mm | 570 x 570 |
| Weight of movable mould half | max. | kg | 600 |
| Ejector force \| stroke | max. | kN \| mm | 40 \| 175 |
| Dry cycle time EUROMAP [2] | min. | s - mm | 1,8 - 294 |

| **Injection unit** | | | | **290** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| with screw diameter | | mm | | 30 | 35 | 40 | |
| Effective screw length | | L/D | | 23,3 | 20 | 17,5 | |
| Screw stroke | max. | mm | | | 150 | | |
| Calculated stroke volume | max. | $cm^3$ | | 106 | 144 | 188 | |
| Shot weight | max. | g PS | | 97 | 132 | 172 | |
| Material throughput | max. | kg/h PS | | 17 | 20,5 | 24,5 | |
| | max. | kg/h PA6.6 | | 8,5 | 10,5 | 12,5 | |
| Injection pressure | max. | bar | | 2500 | 2000 | 1530 | |
| Holding pressure | max. | bar | | 2500 | 2000 | 1530 | |
| Injection flow [2] | max. | $cm^3/s$ | | 102 | 140 | 182 | |
| Screw circumferential speed [2] | max. | m/min | | 46 | 54 | 62 | |
| Screw torque | max. | Nm | | 320 | 380 | 430 | |
| Nozzle contact force \| retraction stroke | max. | kN \| mm | | | 60 \| 240 | | |
| Heating capacity \| zones | | kW | | | 6,4 \| 5 | | |
| Feed hopper | | l | | | 50 | | |

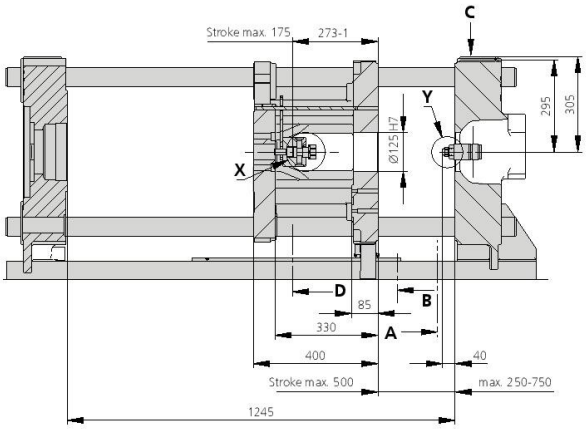
| **Drive and connection** | | | | **2 pumps** | |
|---|---|---|---|---|---|
| with injection unit | | | | 290 | |
| Net weight of machine | | kg | | 3650 | |
| Sound press. level \| Insecurity [4] | | dB(A) | | 68 \| 3 | |
| Oil filling | | l | | 235 | |
| Drive power [2] | max. | kW | | 15 | |
| Electrical connection [3] | | kW | | 24 | |
| | Total | A | | 80 | |
| | Machine | A | | --- | |
| | Heating | A | | --- | |
| Cooling water connection | max. | °C | | 30 | |
| | min. | $\Delta p$ bar | | 1,5 \| DN 25 | |

| **Machine type** |
|---|
| with EUROMAP size designation [1] |
| 420 C GOLDEN EDITION 1000-290 |

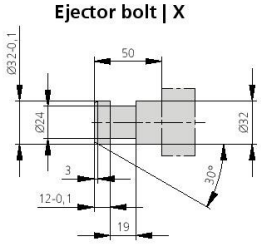
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on variants, process settings and material type. Depending on the drive, certain combinations, e.g. max. injection pressure and max. injection flow may be mutually exclusive.

1) Clamping force (kN) - size of injection unit = max. stroke volume ($cm^3$) x max. injection pressure (kbar).
2) Specifications depend on the drive variant / drive configuration.
3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.
4) Detailed info in the operating instr.
[ ] Specifications apply to alternative equipment.

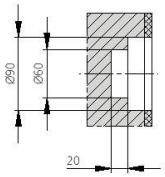
# MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 420 C GOLDEN EDITION



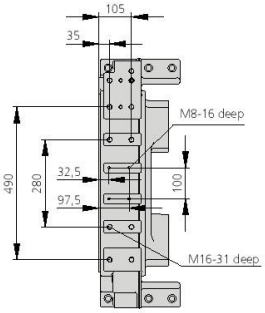

**Ejector bolt | X**



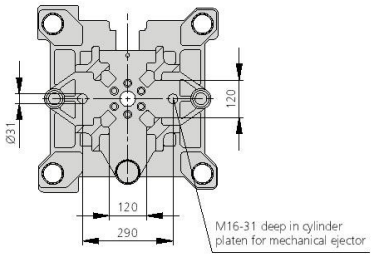

**Bore in mould (if required) | Y**




**Robotic system mounting | C**

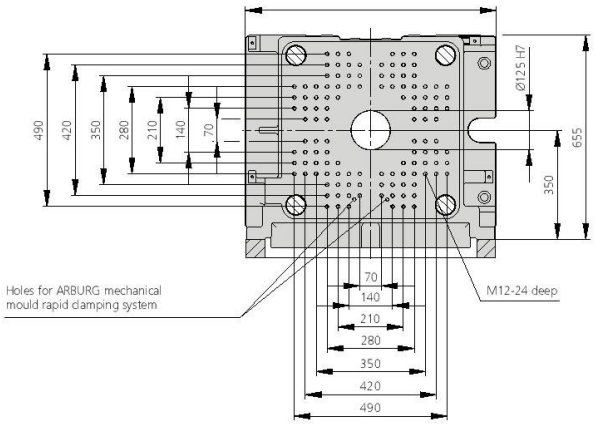



**D view**

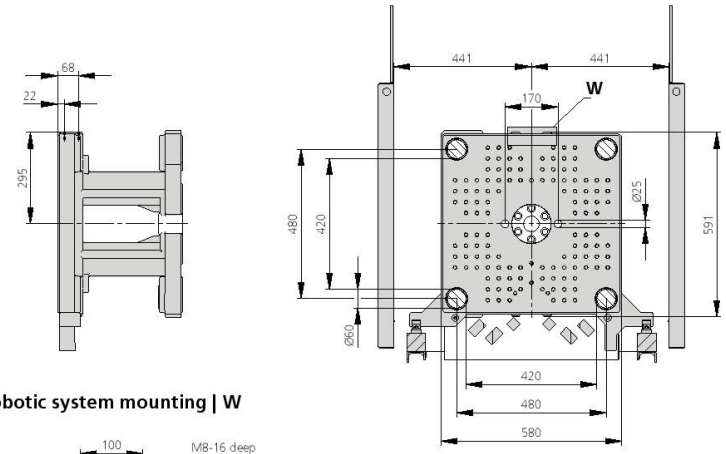


# MOULD INSTALLATION DIMENSIONS | 420 C GOLDEN EDITION

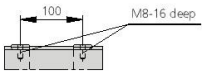
**Fixed mould mounting platen | A**




**Moving mould mounting platen | B**




**Robotic system mounting | W**



# SHOT WEIGHTS | 420 C GOLDEN EDITION

## Theoretical shot weights for the most important injection moulding materials

| **Injection units according to EUROMAP** | | **290** | | |
|---|---|---|---|---|
| Screw diameter | mm | 30 | 35 | 40 |
| Polystyrene | max. g PS | 97 | 132 | 172 |
| Styrene heteropolymerizates | max. g SB | 95 | 129 | 168 |
| | max. g SAN, ABS[1] | 93 | 126 | 165 |
| Cellulose acetate | max. g CA[1] | 109 | 148 | 194 |
| Celluloseacetobutyrate | max. g CAB[1] | 101 | 138 | 180 |
| Polymethyl methacrylate | max. g PMMA | 100 | 136 | 178 |
| Polyphenylene ether, mod. | max. g PPE | 90 | 122 | 160 |
| Polycarbonate | max. g PC | 102 | 139 | 181 |
| Polysulphone | max. g PSU | 105 | 143 | 187 |
| Polyamides | max. g PA 6.6 \| PA 6[1] | 96 | 131 | 171 |
| | max. g PA 6.10 \| PA 11[1] | 90 | 122 | 160 |
| Polyoximethylene (Polyacetal) | max. g POM | 120 | 163 | 213 |
| Polyethylene terephthalate | max. g PET | 115 | 157 | 205 |
| Polyethylene | max. g PE-LD | 73 | 100 | 130 |
| | max. g PE-HD | 76 | 103 | 134 |
| Polypropylene | max. g PP | 77 | 105 | 137 |
| Fluorpolymerides | max. g FEP, PFA, PCTFE[1] | 155 | 211 | 276 |
| | max. g ETFE | 136 | 185 | 242 |
| Polyvinyl chloride | max. g PVC-U | 117 | 159 | 208 |
| | max. g PVC-P[1] | 108 | 147 | 192 |

1) average value

**ARBURG GmbH + Co KG**
Arthur-Hehl-Strasse
72290 Lossburg
Tel.: +49 7446 33-0
www.arburg.com
contact@arburg.com

523677_EN_GB_092019 Subject to alterations

© 2019 ARBURG GmbH + Co KG | All data and technical information have been compiled with great care. However we accept no responsibility for 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.