

# Konstrukční návrh vstřikovací formy s boční dělicí rovinou

Jan Valla

---

Bakalářská práce  
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan Valla**  
Osobní číslo: **T20281**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Konstrukční návrh vstřikovací formy s boční dělicí rovinou**

## Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Provedte konstrukci 3D modelu vstřikovaného plastového dílu.
3. Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl.
4. Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.

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

**Seznam doporučené literatury:**

1. ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, [2018], 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
2. NEUHÁUSL, E., ZEMAN, I.: Vstřikování plastů-teorie a praxe: Základní kurs. Interní dokument fy PLAST FORM SERVICE, s.r.o., Praha, 2006.
3. CATOEN, Bruce a Herbert REES. Injection mold design handbook. Munich: Hanser publishers, [2021], xxviii, 786 s. ISBN 978-1-56990-815-0.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Janošík, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2024**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2024**

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

L.S.

**doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 4. března 2024

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- 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 – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji 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 na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne: 15.5.2024

Jméno a příjmení studenta: Jan Valla

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí vstříkovací formy pro kryt chladiče grafické karty. V teoretické části se nacházejí informace o technologii vstříkování, polymerních materiálech a zásadách konstrukce vstříkovacích forem. Praktická část se zabývá konstrukcí 3D modelu výrobku a volbou materiálu ze kterého bude vyroben. Dále je řešen návrh dvounásobné vstříkovací formy pro tento výrobek a tvorbou výkresové dokumentace.

Klíčová slova: vstříkování, vstříkovací forma, konstrukce vstříkovací formy

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with the design of an injection mold for a graphics card cooler housing. The theoretical part contains information about injection molding technology, polymer materials and principles of injection mold design. The practical part deals with the construction of a 3D model of the part and the choice of the material from which it will be made. It also deals with the design of a double injection mold for this product and the creation of drawing documentation.

Keywords: injection molding, injection mold, design of injection mold

Rád bych poděkoval především vedoucímu této práce panu Ing. Václavu Janošíkovi Ph.D. za jeho čas a rady investované této práci, blízkým přátelům a rodině, která mi byla oporou po celou dobu studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>11</b>
1.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	11
1.2 POLYMERNÍ MATERIÁLY.....	12
1.3 TERMOPLASTY .....	13
1.3.1 Amorfnní termoplasty .....	13
1.3.2 Semikrystalické termoplasty .....	14
1.4 REAKTOPLASTY.....	16
1.5 KAUKUKY .....	17
1.6 TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY .....	18
1.7 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	18
1.7.1 Vstřikovací jednotka .....	19
1.7.2 Uzavírací jednotka .....	20
1.7.3 Řídící a regulační jednotka.....	21
<b>2 VSTŘIKOVACÍ FORMA</b> .....	<b>22</b>
2.1 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	22
2.2 VTKOVÉ SYSTÉMY .....	23
2.2.1 Studené vtokové systémy .....	23
2.2.2 Vyhříváné vtokové systémy .....	25
2.3 TEMPERAČNÍ SYSTÉMY.....	25
2.4 ODVZDUŠNĚNÍ VSTŘIKOVACÍCH FOREM .....	26
2.5 VYHAZOVACÍ SYSTÉMY.....	27
2.5.1 Vyhazovací kolíky .....	27
2.5.2 Stírací deska .....	28
2.5.3 Pneumatické vyhazování.....	29
<b>3 VÝROBEK</b> .....	<b>30</b>
3.1 TLOUŠTKY STĚN VÝROBKŮ.....	30
3.2 ÚKOSY A PODKOSY.....	30
3.3 ŽEBRA .....	31
3.4 ZAOBLNĚNÍ HRAN.....	32
3.5 SMRŠTĚNÍ.....	33
3.6 VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ.....	34
3.6.1 Studené spoje .....	35
3.6.2 Dieselefekt.....	36
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>37</b>

<b>4</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>	<b>38</b>
<b>5</b>	<b>POUŽITÝ SOFTWARE .....</b>	<b>39</b>
5.1	AUTODESK INVENTOR 2023 .....	39
5.2	CATIA V5R20 .....	39
5.3	DATABÁZE NORMÁLÍ MEUSBURGER .....	39
<b>6</b>	<b>VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....</b>	<b>40</b>
6.1	MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU .....	41
<b>7</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ STROJ .....</b>	<b>42</b>
<b>8</b>	<b>KONSTRUKCE SESTAVY VSTŘIKOVACÍ FORMY .....</b>	<b>44</b>
8.1	DĚLICÍ ROVINA .....	45
8.2	TVAROVÉ VLOŽKY .....	46
8.2.1	Tvárník a tvárnice .....	47
8.2.2	Boční posuvné čelisti .....	48
8.3	POSUVNÁ JEDNOTKA .....	50
8.4	ODVZDUŠNĚNÍ.....	51
8.5	NÁSOBNOST FORMY .....	51
8.6	VYHRAZOVACÍ SYSTÉM .....	53
8.7	TEMPERACE FORMY .....	55
8.8	VYHAZOVARACÍ SYSTÉM.....	58
8.9	RÁM FORMY .....	59
8.9.1	Desky vstřikovací formy .....	60
8.9.2	Vodící, středící a spojovací prvky.....	61
8.10	TRANSPORT .....	62
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>67</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>70</b>



## ÚVOD

V dnešní době se každodenně setkáváme s plastovými výrobky všech tvarů a velikostí. Za rozmachem polymerních výrobků stojí jejich velmi příznivá pořizovací cena a vlastnosti konkurující konvenčním materiálům.

Technologie vstřikování plastů je klíčovým prvkem v moderním průmyslu, neboť umožňuje masovou výrobu plastových dílů s vysokou přesností a efektivitou. Tato technologie má široké uplatnění v mnoha odvětvích, od automobilového průmyslu až po spotřební zboží. Díky tomu se stala nedílnou součástí výrobního průmyslu.

Vstřikovací forma je vysoce přesný a zároveň velmi složitý nástroj, který slouží k výrobě plastových dílů. Kvalita vstřikovaného výrobku je přímo úměrná kvalitě formy, ve které byl vstřikován, proto je její správná konstrukce velmi důležitým aspektem výroby.

Návrh vstřikovací formy je dlouhý proces vyžadující velké množství znalostí. K usnadnění návrhu forem jsou používány počítačové softwary. Proces konstrukce forem je značně zjednodušen použitím normálií od firem jako je například Meusburger nebo HASCO.

Bakalářská práce se zabývá popisem technologie vstřikování, rozdělením polymerů, zásadám pro konstrukci vstřikovacích forem a návrhu výrobků. V praktické části je řešena konstrukce vstřikované formy pro plastový díl.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování je v současné době jednou z nejrozšířenějších a velmi důležitou technologií pro zpracování polymerních materiálů. Touto technologií jsou vyráběny výrobky a polotovary pro širokou škálu průmyslů, jakou jsou například: automobilový, spotřební, zdravotnický a letecký.

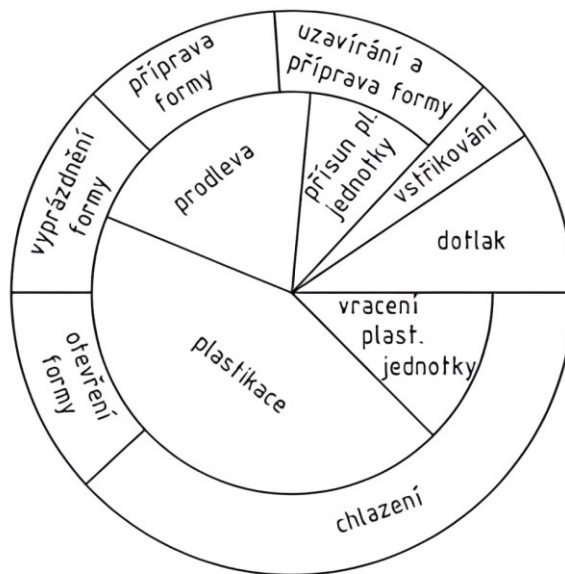
Proces vstřikování je diskontinuální a cyklický, zahrnuje vstřikovací stroj, polymer a formu. Vstřikování je prováděno tak, že polymer je ve vstřikovacím stroji roztaven na taveninu a je následně pod tlakem vstřikován do dutiny formy, kde přebírá tvar výrobku a po ochlazení je z formy vyhozen.

Mezi výhody této technologie je řazena možnost výroby jak jednoduchých, tak i tvarově složitějších výrobků za poměrně krátký čas, dobrá tvarová i rozměrová přesnost vyrobených dílů a její vhodnost k hromadné výrobě. Nevýhodami jsou velmi velké pořizovací náklady a dlouhá doba výroby forem. [4] [5]

## 1.1 Vstřikovací cyklus

Výroba vstřikovaných výrobků je prováděna ve sledu po sobě jdoucích opakujících se operacích nazývaných vstřikovací cyklus.

Za počátek cyklu je může být považován příkaz stroje k uzavření formy. Levá pohyblivá část formy se přisune k pravé pevné části a forma se uzavře, uzavřením formy v ní vzniká dutina, do které se bude vstřikovat polymerní tavenina. K uzavřené formě přijede vstřikovací jednotka. Vstřikování je provedeno, že šnek, který ve vstřikovací jednotce slouží k přípravě polymerní taveniny nyní koná pouze přímočarý axiální pohyb a chová se spíše jako píst vstřikuje taveninu do dutiny formy. Ihned po vstřikování následuje dotlak. Dotlak vyrovnává změny objemu výrobku způsobené chladnutím a zároveň zabraňuje vzniku propadlin nebo staženin. Doba, po kterou může dotlak působit je omezena až do zatuhnutí vtokového ústí. Po dotlaku následuje nejdelsí část cyklu chlazení. Doba chlazení výrobku je závislá na teplotě formy, vstřikovaném polymeru a také tvarem samotného výrobku. Během chlazení vstřikovací jednotka odjíždí a začíná připravovat dávku taveniny pro další vstřikování v novém cyklu. Jakmile je výrobek ochlazen na vyhazovací teplotu, forma se otevře a výrobek je z ní odstraněn vyhazovacím systémem. Po vyhození výrobku je forma i vstřikovací jednotka připravena k zahájení nového cyklu. [1] [5]

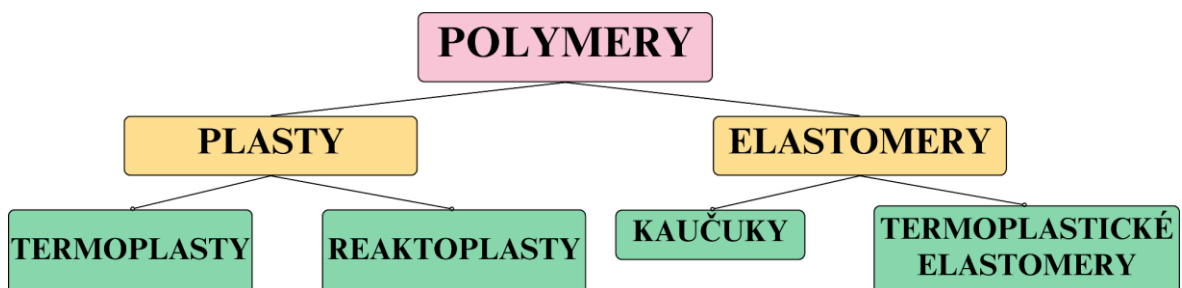


Obr.: 1 Vstřikovací cyklus [5]

## 1.2 Polymerní materiály

Z hlediska chemie se jedná převážně o látky organického původu, které mohou být buď přírodního (například kaučuk), nebo syntetického charakteru (například silikony). Polymery jsou charakterizovány tím, že mají velké molekuly, nazývané makromolekuly, které obsahují opakující se základní jednotku nazývanou "mer". Předpona "poly-" pocházející z řečtiny znamená "mnoho" nebo "více". Polymery tak slouží jako stavební bloky, které umožňují širokou variabilitu struktur a vlastností polymerů.

Polymery mohou být klasifikovány dle různých kritérií. Jedním z nejzákladnějších je jejich rozdělení podle teplotního chování na plasty a elastomery.



Obr.: 2 Rozdělení polymerů dle chování za tepla

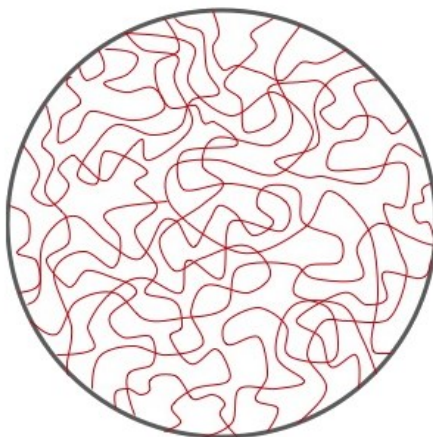
Plasty jsou obecně definovány jako materiály, jejichž základní struktura je tvořena makromolekulárními látkami. V běžných podmínkách bývají obvykle tvrdé a často i křehké. Plasty obsahují také přísady zlepšující jejich mechanické a fyzikální vlastnosti. K nejdůležitějším přísadám jsou řazeny stabilizátory udržující původní vlastnosti polymeru během zpracování, plniva, jež zvyšují pevnost a houževnatost výrobků, změkčovadla, jež ovlivňují zpracovatelnost a barviva, která zlepšují estetické vlastnosti výrobků. Plasty jsou dále děleny dle jejich chování během zahřívání na termoplasty a reaktoplasty. [2] [5] [6]

### 1.3 Termoplasty

Termoplasty jsou materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu (měknou) a dají se tvarovat. Po dosažení teploty tání přecházejí do oblasti taveniny. Ochlazením pod tuto teplotu opět ztuhnou. Při jejich zahřívání nedochází k chemickým reakcím a během zpracování se nemění jejich chemická struktura. Proces měknutí a tuhnutí, kterým materiál prochází, má tedy pouze fyzikální charakter. Tento proces je vratný, což znamená, že jej lze teoreticky opakovat do nekonečna. Z pohledu samotného procesu vstřikování a z hlediska konečných aplikací je klíčové rozlišovat termoplasty na amorfnní a semikrystalické. Toto rozdělení je významné, protože chování těchto dvou skupin je odlišné během zahřívání a následného vstřikování. Jejich odlišnosti jsou také proječovány ve vlastnostech konečných výstřiků. [2] [7]

#### 1.3.1 Amorfnní termoplasty

Amorfnní struktura je vyznačována absencí jakékoliv uspořádanosti. K typickým vlastnostem mnoha druhů amorfnních termoplastů patří jejich možnost transparentního provedení.



*Obr.: 3 Struktura amorfnního termoplastu [2]*

Amorfní termoplasty jsou obvykle charakterizovány relativně nízkým smrštěním proti formě (méně než 1 %), což je velmi výhodné při výrobě součástí s přesnými rozměry. Pro tyto termoplasty je z hlediska technologie vstřikování a jejich aplikací klíčová teplota  $T_g$  (teplota skelného přechodu). Touto teplotou je ovlivněna vyhazovací teplota výstřiku, a také stanovena hranice teplotního rozsahu použití výrobků.

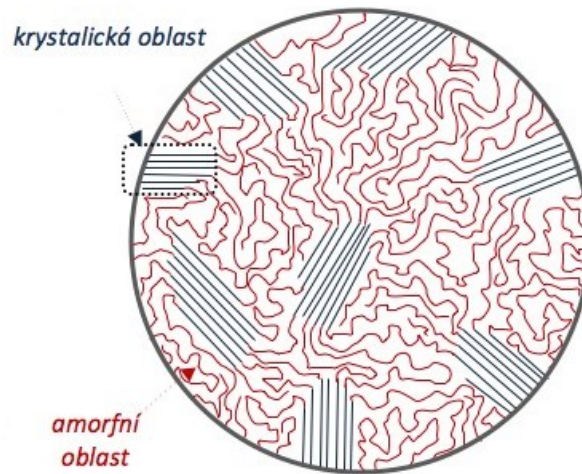
Tyto polymery mají zásadní význam v automobilovém průmyslu, kde jsou využívány zejména ve světelné technice díky svým vynikajícím optickým i mechanickým vlastnostem. Typickými příklady amorfních termoplastů jsou PS, PC a PMMA. [7] [8]



*Obr.: 4 Výrobky z amorfních termoplastů [7]*

### 1.3.2 Semikrystalické termoplasty

Semikrystalické termoplasty se vyznačují schopností vytvářet krystalickou strukturu z taveniny. V závislosti na chemické struktuře polymeru a technologických parametrech vstřikování může obsah krystalického podílu dosáhnout až 80 %.



Obr.: 5 Struktura semikrystalického Termoplastu [2]

Tento fakt vede k většímu smrštění výstřiků proti formě na rozdíl od amorfních termoplastů. Velikost smrštění u semikrystalických termoplastů se pohybuje mezi 1 a 2,5 %. Oproti amorfním polymerům nemohou být výstřiky ze semikrystalických polymerů transparentní, protože vytvářejí sférolitickou strukturu.

Vlastnosti těchto polymerů, zejména jejich tuhost, pevnost a houževnatost, jsou podmíněny obsahem krystalického podílu a jsou výrazně ovlivněny fází ochlazování. Teplota skelného přechodu ( $T_g$ ) je u semikrystalických polymerů v procesu vstřikování méně významná. Klíčovou teplotou pro semikrystalické polymery je teplota  $T_m$  (teplota bodu tání krystalického podílu). Výstřiky se až do této teploty neborčí a udržují si částečnou pevnost a tuhost. Samotný proces vstřikování probíhá nad touto teplotou, kdy se polymer nachází v oblasti taveniny.

Semikrystalické termoplasty naleznou své primární zastoupení ve výrobě technických součástí, které mohou být vystaveny různým stupňům mechanického namáhání. Mezi nejvíce používané semikrystalické termoplasty se řadí PP, PE a POM



Obr.: 6 Výrobky ze semikrystalických termoplastů [7]

## 1.4 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou materiály, které lze po zahřátí tavit a tvarovat po omezenou dobu. Nicméně po dalším zahřátí, nebo po přidání vytvrzovacího prostředku dochází k chemické reakci, při které polymer přechází z lineárního do síťovaného stavu. Tím se stávají netavitelnými a nerozpustnými. Tento proces chemické reakce, který vede k vytvrzení materiálu se nazývá vytvrzování. Vytvrzování je nevratný děj, a vytvrzené plasty již nelze opět roztavit ani rozpustit. Další zahřívání vede už jen k degradaci (rozkladu hmoty).

Výrobky z reaktoplastů jsou známé pro svou vysokou odolnost vůči teplu a chemikáliím, tvrdost a tuhost. Představiteli reaktoplastů jsou například fenoplasty, polyesterová pryskyřice a epoxidová pryskyřice. [2] [8] [9]



Obr.: 7 Výrobky z reaktoplastů [2]



## 1.5 Kaučuky

Kaučuky představují polymery, které mohou být přeměněny na elastomery neboli pryže pomocí řídkého zesíťování. Kaučuky mohou být jak přírodní, tak i syntetické. Proces zesíťování je nazýván vulkanizace, přičemž nejběžnější metodou je vulkanizace pomocí síry. Pryže jsou vyráběny z gumárenských směsí obsahujících kaučuk, vulkanizační látky, stabilizátory, plastifikátory a další pomocné látky jako jsou například plniva a pigmenty. Při vyšších teplotách je surový kaučuk lepkavý, zatímco při teplotách nižších bývá tuhý a málo pružný. Naopak již ztvulkanizovaná pryž projevuje elastické vlastnosti při širokém rozsahu teplot.

Pryže jsou primárně charakterizovány amorfni strukturou a nízkou teplotou skelného přechodu. Při působení malých sil dochází k silné deformaci, avšak po odstranění deformačních sil se vrátí do původního stavu, což ukazuje na jejich vysokou pružnost. Průmyslově vyráběné (syntetické) kaučuky představují rozmanitou skupinu, kterou lze rozdělit na kaučuky pro všeobecné použití, ze kterých je vyráběna většina běžných pryžových výrobků, a na kaučuky speciální, které se vyznačují vlastnostmi jako olejovzdornost nebo teplovzdornost. Navzdory široké paletě dostupných syntetických kaučuků si přírodní kaučuk stále udržuje svůj význam jako důležitá surovina pro výrobu pryží. [2] [8]



Obr.: 8 Výrobky z kaučuků [2]

## 1.6 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery (TPE) vykazují vlastnosti podobné pryžím. Jejich struktura je tvořena z tvrdých a měkkých segmentů, kde měkkými segmenty jsou představeny elastomery a tvrdými segmenty termoplasty, jimiž jsou utvářeny uzly sítě. TPE mají zesíťovanou strukturu a za zvýšených teplot přecházejí do tekutého stavu (na rozdíl od pryží), čímž je umožněno zpracování podobné termoplastům. Klíčovým rozdílem mezi TPE a pryžemi je charakter uzlů sítě; zatímco u pryží (po vulkanizaci kaučuku) mají chemickou povahu, u TPE jsou fyzikální a skládají se z určitého množství nemísitelných termoplastických segmentů rozptýlených ve spojitě elastomerní fázi.

Ačkoliv TPE nedosahují stejných elastických vlastností jako pryže, mají i své výhody. Mohou být vstříkovány na běžných strojích určených pro termoplasty a lze je také opětovně zpracovávat. [2]

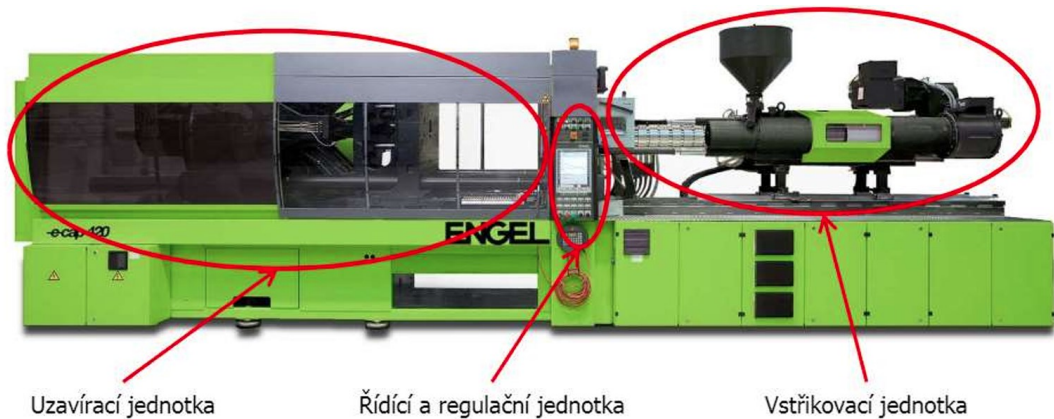


Obr.: 9 Výrobky z termoplastických elastomerů [2]

## 1.7 Vstříkovací stroj

Vstříkovací stroj, jako klíčový prvek v procesu výroby, je dodáván v různých konfiguracích, které jsou navrženy tak, aby zajišťovaly výrobu vysoké kvality výstřiků. Důležité je, aby tyto stroje disponovaly kvalitními parametry a precizním řízením. Výrobci vstříkovacích strojů mají schopnost dovybavit tyto stroje roboty, manipulátory, dopravníky a dalšími přídávky, aby mohly fungovat částečně nebo plně automatizovaně. Konstrukce vstříkovacího stroje je obvykle charakterizována následujícími hlavními prvky:

- Vstřikovací jednotka.
- Uzavírací jednotka.
- Řídící a regulační jednotka. [8] [10]



Obr.: 10 Základní prvky vstřikovacího stroje [11]

Při výběru vstřikovacího stroje musí nejprve být určena jeho vhodnost k dané výrobě posouzením jeho základních parametrů.

- Rozteč vodících prvků uzavírací jednotky, díky které může být určena maximální velikost formy, kterou lze použít.
- Maximální velikost zdvihu při otevírání a zavírání formy, která určí, zda se požadovaná forma dokáže dostatečně otevřít pro bezpečné vyhození výrobku.
- Průměrná a maximální rychlost a tlak vstřikování, ze které se určí, jestli je stroj dostatečně výkonný pro daný výrobek (maximální rychlost a tlak jsou velmi důležité parametry při vstřikování tenkostěnných výrobků).
- Vstřikovací kapacita – určuje maximální objem výstřiku taveniny na jeden pracovní zdvih šneku.
- Maximální uzamykací síla – zabraňuje pootevření formy během vstřikování a dotlaku.
- Maximální povolená hmotnost formy. [3]

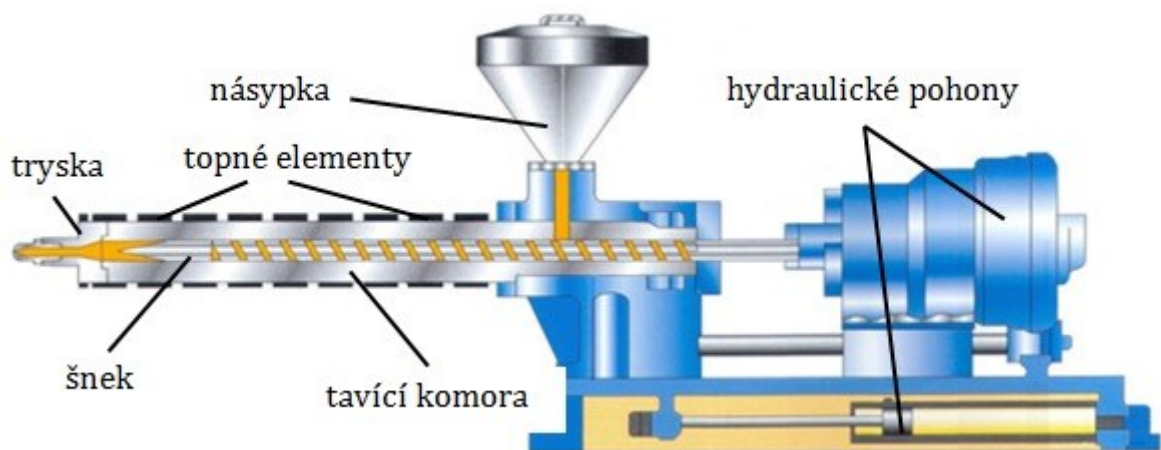
### 1.7.1 Vstřikovací jednotka

Cílem vstřikovací jednotky je zajistit přesné dávkování taveniny, její dopravu do dutiny formy a správnou přípravu materiálu v jednotlivých pracovních cyklech. Přípravou

materiálu je rozuměno převedení polymeru (přiváděného nejčastěji ve formě granulátu) do stavu taveniny, její homogenizaci a řádné promísení s aditivou.

Vstřikovací jednotka je spojena s posuvnou konzolí, která umožňuje přesné přivedení trysky vstřikovací jednotky až ke vtokové vložce vstřikovací formy, kde následně vyvíjí a udržuje nezbytnou přítlačnou sílu.

Nejběžnějším typem vstřikovacích jednotek určených ke zpracování termoplastů jsou jednotky se šnekem, který koná rotační pohyb kolem své osy a zároveň je schopen axiálního pohybu vpřed a vzad. Šnek koná rotační pohyb během přípravy taveniny a jeho axiálního posuvu je využíváno během samotného vstřiku a fáze dotlaku, kde tímto pohybem působí jako píst. [11] [12]

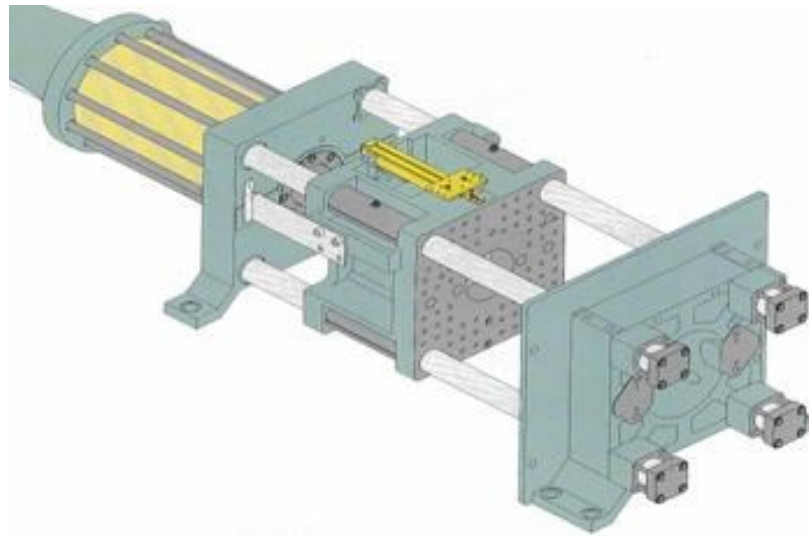


Obr.: 11 Vstřikovací jednotka [12]

### 1.7.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotkou je zajištěno upnutí vstřikovací formy, její následné plynulé uzavírání a otevírání během pracovních cyklů a vývin dostatečně velké uzamykací síly zabraňující samovolnému pootevření formy během fází vstřikování a dotlaku. Uzavírací jednotka je souborem několika samostatných součástí a mechanismů. Skládá se z vodících prvků (sloupků), upínacích desek opatřených systémem pro upnutí formy, vyhazovacího mechanismu a mechanismu, který pohání pracovní posuny a vytváří uzamykací sílu.

Uzavírací síla může být vyvozena mechanicky pomocí mechanismu, který zapříčí formu do požadované polohy, hydraulicky pomocí hydraulického pístu nebo kombinací těchto metod. [11] [12]



Obr.: 12 Schéma uzavírací jednotky [8]

### 1.7.3 Řídící a regulační jednotka

Hlavním prvkem řídicí a regulační jednotky je regulátor. Regulátor slouží ke zpracování hodnot zadaných sledovaných parametrů v reálném čase a jejich porovnání k hodnotám zadaným. V případě odchylek těchto hodnot plní regulátor i funkci dorovnávací, kdy upravuje parametry stroje tak aby se aktuální hodnoty dorovnalý těm zadaným.

V současnosti jsou již tyto systémy řízeny mikroprocesory, které umožňují automatickou optimalizaci procesu. Řídící a regulační jednotky jsou vybaveny komunikačním rozhraním, které se většinou skládá z obrazovky a nějaké formy ovládání (dotykové rozhraní, klávesnice). Přes toto rozhraní je možno ovládat základní funkce stroje, sledovat aktuální hodnoty vybraných parametrů a nastavovat technologické parametry. Komunikačním rozhraním je umožněno také připojení paměťových médií, což může být využito pro přenos výrobních programů nebo stažení dat shromážděných během výrobních cyklů. [12]



Obr.: 13 Řídící jednotka [18]

## 2 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je složitý systém, jehož úkolem je plnění mnoha požadavků potřebných ke správné funkci procesu vstřikování. Mezi její hlavní funkce patří doprava samotné polymerní taveniny do tvarové dutiny a její následné řádné zaplnění. Dalšími funkcemi vstřikovacích forem jsou jejich schopnost efektivně odvádět teplo z výstřiku a jeho bezpečné vyhození z dutiny.

Výroba formy je velmi náročná jak z konstrukčního hlediska na odborné znalosti, tak i z hlediska finančního a časového. [4] [13]

### 2.1 Konstrukce vstřikovacích forem

Vstřikovací formy mají nespočet konstrukčních řešení.

Podkladem pro konstrukci forem je výkres výrobku spolu s dalšími doplňujícími požadavky a informacemi. Konstrukce poté probíhá v jednotlivých krocích.

1. Zhodnocení konstrukce výrobku a její úprava. Zohlednění tvaru, tloušťky stěn, rozměrů, úprava ostrých hran a rohů.
2. Určení dělicí roviny, orientace výrobku a způsobu jeho vyhození.
3. Návrh tvarových dutin, jejich počtu a rozmístění ve formě. Volba vtokového systému a návrh jeho částí.
4. Vytvoření konceptu temperačního a vyhazovacího systému. Návrh odvzdušnění formy.
5. Návrh rámu formy se zohledněním typu formy, velikosti temperačního a vyhazovacího systému a rozmístěním tvarových dutin.
6. Návrh způsobu vystředění jednotlivých částí formy a její upnutí ke stroji
7. Kontrola provozních parametrů dané formy, hmotnost výstřiku, vstřikovací a uzavírací tlaky apod. [10]

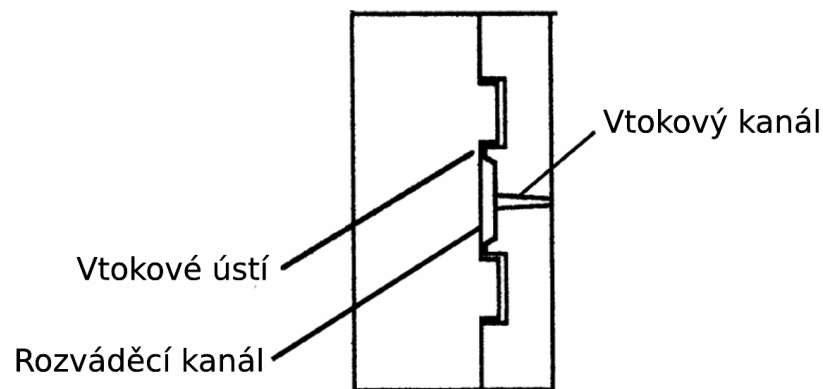
## 2.2 Vtokové systémy

Účelem vtokového systému je doprava polymerní taveniny ze vstřikovací jednotky do dutin formy. Složitost provedení vtokových systémů se liší podle různých kritérií. Obecně platí, že návrh nejvhodnějšího vtokového systému je funkcí objemu produkce, dostupného vstřikovacího tlaku a finančního rozpočtu. Správně navržený vtokový systém zkracuje délku cyklů a snižuje ztráty použitého materiálu.

### 2.2.1 Studené vtokové systémy

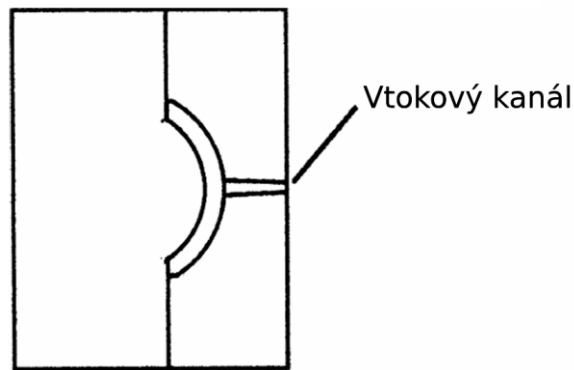
Při použití studených vtokových systémů je vstřík i vtokový zbytek chlazen ve formě a následně vyhozen během každého výrobního cyklu. Z toho vyplývá nutnost oddělení výrobků od vtokových zbytků, což může probíhat přímo ve formě, nebo dodatečně až po jejich vyhození. Základními částmi těchto systémů jsou:

- Vtokový kanál, který přichází do kontaktu se vstřikovací jednotkou.
- Rozváděcí kanály, které rozvádějí taveninu k jednotlivým tvarovým dutinám.
- Vtoková ústí, která tvoří průchody mezi rozváděcími kanály a dutinami formy.



Obr.: 14 Základní části studeného vtokového systému [3]

Nejjednodušší provedení může být použito u jednonásobných forem kde může být dutina plněna přímo pomocí vtokového kanálu. Tato metoda se používá často při výrobě větších výrobků.



Obr.: 15 Plnění dutiny formy pomocí vtokového kanálu [13]

Při návrhu vtokových systémů pro vícenásobné formy je nutné dbát na dosažení vyváženého vtoku. Tím se rozumí, aby tavenina během vstřikování dorazila ke všem dutinám formy současně a za stejného vstřikovacího tlaku. Studené vtokové systémy jsou používány nejčastěji ve dvoudeskovém a třideskovém provedení forem. [3] [14]

### **Dvoudeskové formy**

Dvoudeskové formy mají pouze jednu dělicí rovinu. V případě vícenásobných forem se musí rozváděcí kanály nacházet přímo na dělicí rovině. Výstřiky a vtokové zbytky zůstávají spojeny i po vyhození a musí se tak dodatečně oddělit později.

Výhodou tohoto provedení je jeho nízká cena a jednoduchost. Nevýhodami jsou prodloužení výrobních cyklů, kvůli nutnosti ochlazení taveniny v často velkých rozváděcích kanálech a větší spotřeba materiálu způsobená objemem vtokového systému.

### **Třideskové formy**

Oproti předchozímu provedení má třideskové provedení forem dvě dělicí roviny, a to hlavní a vedlejší. Výhodou tohoto provedení je že postupné otevírání dělicích rovin umožňuje separaci výstřiků od vtokových zbytků přímo ve formě.

Toto provedení také umožňuje umístění vtokového ústí do středu základny výrobku, nebo téměř kamkoliv na jeho povrchu. Rozváděcí kanály se v tomto případě nacházejí nad tvarovými dutinami místo v hlavní dělicí rovině, to poskytuje větší volnost při návrhu vtokového systému a možnost umístění tvarových dutin blíže k sobě, což snižuje celkovou

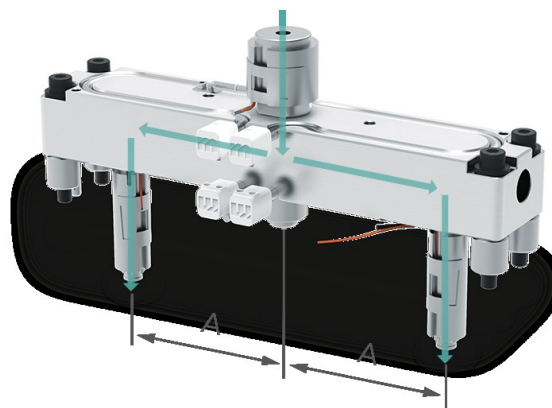


velikost formy. Nevýhodami jsou mnohem větší složitost, cena a celková hmotnost vtokového zbytku, která může převyšovat hmotnost výstřiku. [3]

### 2.2.2 Vyhřívané vtokové systémy

Vyhřívané vtokové systémy lze teoreticky považovat za nastavbu vstřikovací jednotky, jejich funkcí je doprava taveniny do dutiny formy bez ztrát na její teplotě a tlaku.

Mezi největší přednosti těchto systémů patří značné zkrácení vstřikovacích cyklů, snížení spotřeby materiálu, volnost umístění vtokových ústí a téměř dokonalá eliminace stop po vstřikování. Tyto systémy jsou ale velice finančně nákladné a vyžadují dodatečné řídicí jednotky, které se starají o udržení provozních podmínek. [3] [15]



Obr.: 16 Vyhřívaný vtokový systém se znázorněným směrem proudění taveniny [19]

## 2.3 Temperační systémy

Teplota vstřikovací formy je velmi důležitá veličina, neboť má přímý vliv na délku vstřikovacího cyklu, kvalitu a reprodukovatelnost výrobků. Účelem temperačního systému je vytvoření a udržování konstantního teplotního pole uvnitř formy. Temperace je do formy zavedena systémem kanálů, uvnitř kterých proudí temperační médium. Nejčastějšími typy temperačních médií jsou voda a olej.

Funkcemi temperačního systému jsou odvod tepla z formy při chlazení výstřiku na jeho vyhazovací teplotu, vyhřívání formy při zpracovávání určitých druhů polymerů a k dosažení požadované vstřikovací teploty při počátku výroby. Přenos tepla mezi polymerní taveninou

a temperačním médiem zajišťuje forma a je ovlivněn materiály ze kterých je vyrobena a jejich tepelnou vodivostí.

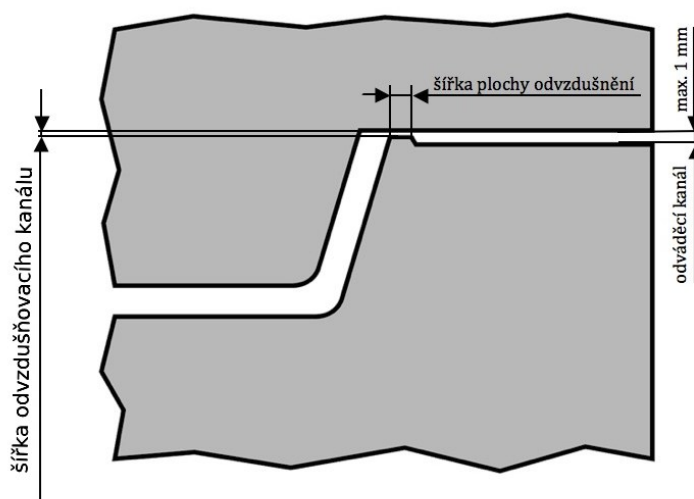
Efektivní chlazení je v praxi velmi důležité, protože samotný proces chlazení může zabírat až 80 % celkového času výrobního cyklu. Zkrácení této doby je proto velmi žádané ve velkosériových výroбах.

Při návrhu temperačního systému je nutné zohlednit další části vstřikovací formy (například vyhazovací systém), určit efektivní rozložení kanálů, které by mělo být stejnoměrné pro všechny dutiny a vyhnout se mrtvým místům. [3] [10] [13]

## 2.4 Odvzdušnění vstřikovacích forem

Odvzdušnění slouží k odstranění vzduchu z dutiny formy, který je později nahrazen polymerní taveninou a také plynů vznikajících při jejím ochlazení. Uvězněný vzduch v dutině formy může vést k několika různým defektům výrobku, proto je jeho odstranění důležité pro výrobu kvalitních výrobků. Odvzdušnění je potřeba primárně v místech kam tavenina zatéká jako poslední, v místech, kde se setkávají čela taveniny, v rozích a slepých otvorech.

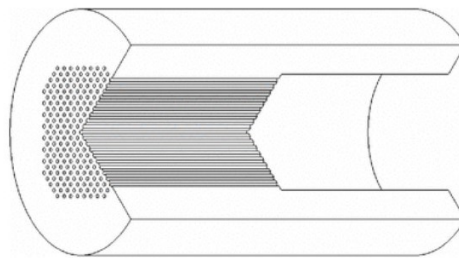
Nejjednodušším typem odvzdušnění je pomocí odvzdušňovacích kanálů v dělicí rovině. Jejich rozměry jsou závislé na typu vstřikovaného materiálu, aby se předešlo jeho zatečení do těchto ploch.



Obr.: 17 Odvzdušňovací kanál v dělicí rovině [13]

Odvzdušnění pomocí vyhazovacích kolíků je dalším velmi jednoduchým řešením. Toto řešení využívá vůle v uložení vyhazovacích kolíků a poskytuje tak přirozenou cestu uvězněnému vzduchu. V některých případech je možno vyhazovač upravit zploštěním pro zvětšení jeho vůle.

Dalšími způsoby odvzdušnění míst, kde se předpokládá vzniku kapes uvězněného vzduchu jsou odvzdušňovací drážky a speciální odvzdušňovací vložky z porézních materiálů. [13] [14]



*Obr.: 18 Odvzdušňovací vložka  
[14]*

## 2.5 Vyhazovací systémy

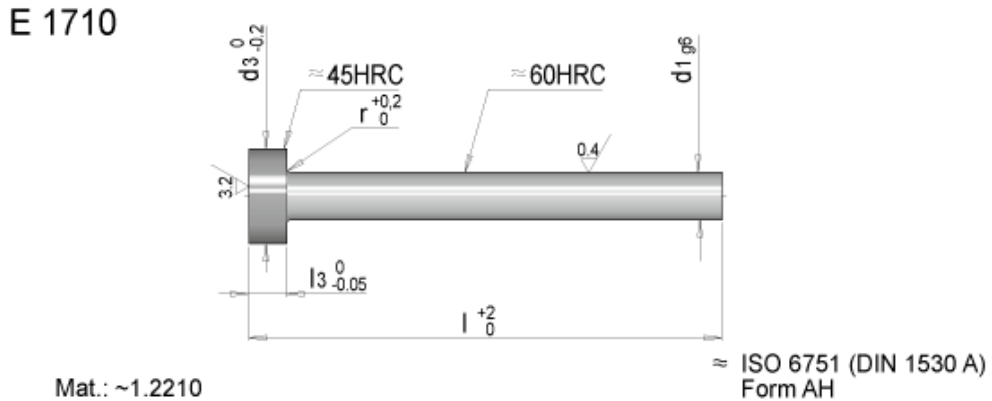
Funkcí vyhazovacího systému je správné odformování výstřiku a případně vtokového zbytku z dutiny formy po jejím otevření. Složitost vyhazovacího systému se odvíjí od požadované produktivity a kvality povrchu výrobku. Aby se snížil celkový čas výrobního cyklu, měl by být proces vyhození co nejkratší a výrobky vyhozeny z formy co nejdříve. Některé metody vyhození (například stírání) umožňují vyhození výrobků za vyšších teplot bez jejich poškození oproti ostatním metodám, které vyžadují tužší (více ochlazené) výrobky, aby se zabránilo jejich poškození, nebo zborcení při vyhození.

Při návrhu vyhazovacího systému se zohledňuje tvar výrobku, typ vstřikovací formy a požadovaná produktivita. Nejčastějšími typy vyhazování výrobků jsou vyhazovací kolíky různých tvarů, stírací desky a kroužky, vyhazování pomocí stlačeného vzduchu, speciální vyhazovací systémy a kombinace těchto metod [3]

### 2.5.1 Vyhazovací kolíky

Vyhazovací kolíky jsou vhodné pro vyhazování výstřiků téměř všech tvarů. Jsou vyráběny primárně kováním za tepla z nástrojových ocelí. Kolíky jsou dále nitridovány a leštěny za účelem vytvoření tvrdého a velmi hladkého povrchu, který snižuje tření a velikost opotřebení

během provozu. Dodavatelé je nabízí v normovaných průměrech a délkách, ale není neobvyklé, aby výrobci forem dále upravovali jejich rozměry dle individuálních potřeb.



Obr.: 19 Válcový vyhazovací kolík [19]

Mezi jejich hlavní výhody patří jejich relativně nízká cena a jednoduchost použití. Vyhazovací kolíky dále umožňují přirozenému průchodu vzduchu a dovolují tak uniknout uvězněnému vzduchu při vstřikování a zároveň zabraňují vzniku podtlaku při vyhazování plochých výstřiků. Do nevýhod vyhazovacích kolíků se řadí jejich relativně malá plocha působení, nutnost dobře vychlazeného výstřiku, aby se zabránilo jeho deformaci / proniknutí vyhazovače do výstřiku a zanechání stop na vyhazovaném tělese.

Počet a rozmístění vyhazovacích kolíků ovlivňuje řada různých kritérií. Celkový počet kolíků by měl být co nejmenší z důvodu zjednodušení návrhu ostatních částí formy (například temperačních kanálků). Vysoký počet vyhazovacích kolíků také zvyšuje finanční náklady a může snížit celkovou pevnost desek formy. Kolíky by měly být umístěny oproti stěnám a žebřům, které se nesmí bortit, v rozích výstřiku, nebo jejich blízkosti, oproti nepohledovým stěnám z důvodu zanechaných stop a pokud je to možné rovnoměrně a symetricky rozloženy podél výstřiku. [3] [14]

### 2.5.2 Stírací deska

Stírací deska působí na výstřik plošně po celém jeho obvodu. Vyhazovací síla je rovnoměrně rozložena po její relativně velké ploše, což umožňuje snadnější vyhození měkčích (méně ochlazených) a tenkostěnných výstřiků, zároveň na nich eliminuje jakékoliv stopy po vyhození. Z těchto důvodů je použití stírací desky (pokud je to možné) výhodnější než

použití klasických válcových kolíků. Pro použití stírací desky je nutné, aby měl výrobek v dělicí rovině plochu, kterou lze jednoduše vyrobit pomocí tradičních obráběcích metod. Z ekonomických důvodů nemusí být celá stírací deska z tepelně zpracovaného materiálu, ale může obsahovat pouze tepelně zpracované vložky v místech jejího kontaktu s výstřikem. [3] [5]

### 2.5.3 Pneumatické vyhazování

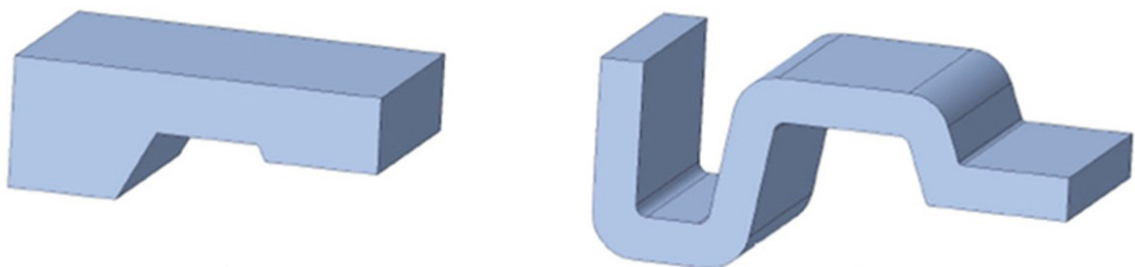
Pneumatické vyhazování lze využít u téměř všech výstřiků jejichž tvar připomíná tvar misky / hrnku, výstřiků s velkými dutinami a některých plochých výstřiků. Vyhození probíhá tak, že stlačený vzduch je přiveden mezi stěnu výstřiku a formy ze strany dutiny výstřiku. Stlačený vzduch zde potom vybuduje sílu, která výstřik uvolní od stěn formy a vytlačí ho z ní ven. Tento typ vyhazování nelze použít u výrobků s velkými podkoso.

Výhody tohoto typu vyhazování jsou že nahradí všechny části tradičního mechanického vyhazování a tím sníží celkovou hmotnost formy, úspora energie, která by byla potřebná k pohybu ústrojí mechanického vyhazování a téměř žádné opotřebení pneumatických prvků. Do nevýhod spadá značná spotřeba stlačeného vzduchu, složitý přívod vzduchu do vícenásobných forem a potřeba dalších prvků pneumatických obvodů jako jsou například tlakové hadice a ventily. [3]

### 3 VÝROBEK

#### 3.1 Tloušťky stěn výrobků

Při konstrukci vstřikovaných výrobků je snaha docílit konstantní tloušťky stěn po celém výrobku. Jednotná tloušťka stěn zaručuje rovnoměrné plnění a ochlazování výrobku. Nejednotná tloušťka stěn způsobí to, že tlustší stěny budou podléhat většímu smrštění, než stěny tenčí, a to může způsobit propadliny a prohnutí výrobku. Pokud je nutné, aby výrobek obsahoval stěny o různých tloušťkách, doporučuje se přechody mezi nimi navrhnout co nejjemněji.



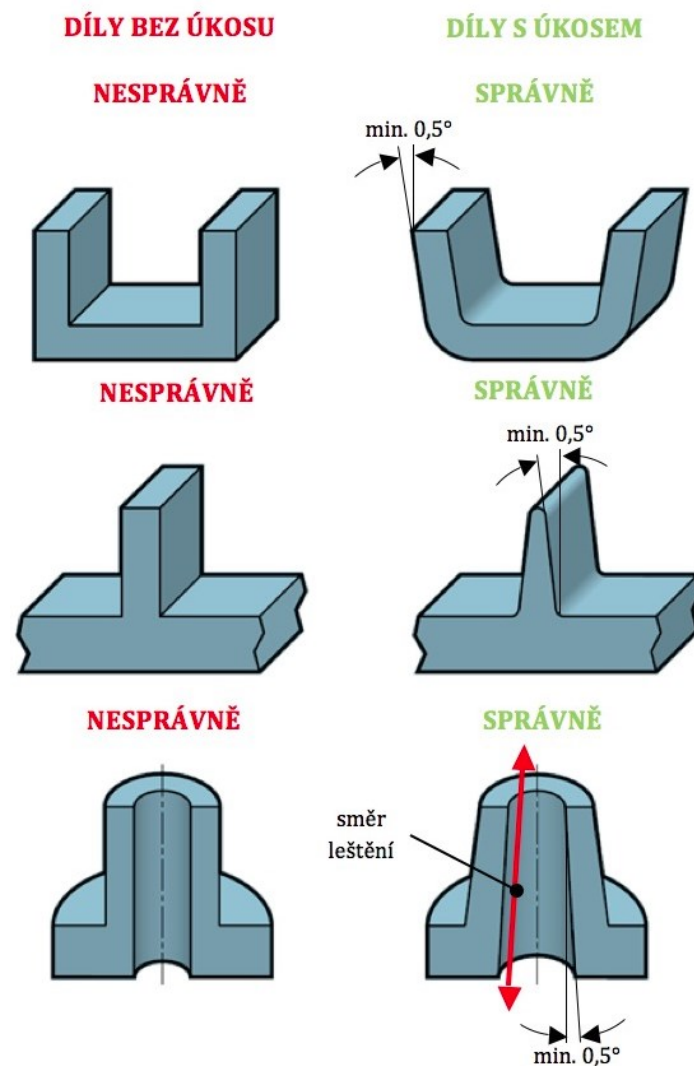
Obr.: 20 Tloušťka stěn výrobku. Vlevo nesprávná konstrukce, vpravo správná konstrukce [3]

Volbu tloušťky stěn ovlivňuje mnoho faktorů, mezi které patří celková pevnost a hmotnost výrobku, jeho pohledové vlastnosti a délku výrobních cyklů. [3] [13]

#### 3.2 Úkosy a podkosy

Úkosy jsou důležité pro správné odformování výrobku. Jejich absence by mohla vést až k zaklínění a selhání otevření formy. Jejich velikost a umístění jsou ovlivněny zaformováním. Úkosy by se měli nacházet na všech plochách rovnoběžných se směrem otevírání formy, jejich minimální sklon by měl být  $0,5^\circ$ . Minimální hodnota úkosů je také ovlivněna typem vstřikovaného plastu a hloubkou dezénu na těchto plochách. Úkosy se nemusí nacházet na površích, které budou odformovány ještě před otevřením formy (například pomocí pohyblivých jader).

Všechny záporné úkosy na výrobku musí být vždy přezkoumány a řádně odůvodněny. Výrobky se zápornými úkosy lze odformovat pomocí stírací desky, kdy její působení na stále teplý výrobek způsobí jeho dočasnou deformaci, která umožní odformování. [3] [13]



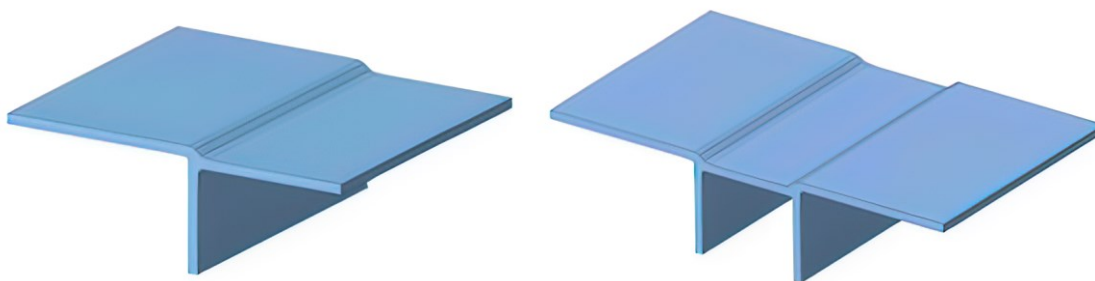
Obr.: 21 Doporučená konstrukce úkosů [13]

Podkosům se doporučuje při konstrukci plastových výrobků, pokud možno vyhnout, neboť komplikují jejich odformování a konstrukci formy. Podkosy lze odformovat pomocí pohyblivých jader, nebo jiných postupů které je odformují ještě před otevřením formy. Pokud je hloubka podkosů malá, jejich umístění optimální a pružnost výrobku vyhovující, lze použít takzvané deformační odformování. [3] [13]

### 3.3 Žebra

Žebra se u vstřikovaných výrobků používají pro zvýšení jejich pevnosti bez nutnosti zvětšení tloušťky stěn a pro usnadnění jejich pozdější montáže. Nesprávný návrh žeber může způsobit řadu vad a komplikací, je proto nutné se při jejich návrhu držet určitých pokynů.

Tloušťku žebra ovlivňuje více faktorů, žebra o tloušťce větší než 70 % tloušťky stěny na které se nacházejí mohou způsobit propadliny na protilehlém povrchu. Pokud je to možné je tedy lepší nahradit žebra o velkých tloušťkách více žebry s menšími tloušťkami. Propadliny na protilehlém povrchu lze také zamaskovat umístěním žeber do tvarových přechodů výrobku. Výška žebra by neměla přesahovat trojnásobek tloušťky stěny výrobku a žebra by neměla končit ostrým rohem (pokud to není kritické pro funkčnost výrobku). Všechna žebra by měla být navrhována s úkosy minimálně  $0.5^\circ$  na každé straně, kvůli zaručení jejich odformovatelnosti. [3] [13] [14]

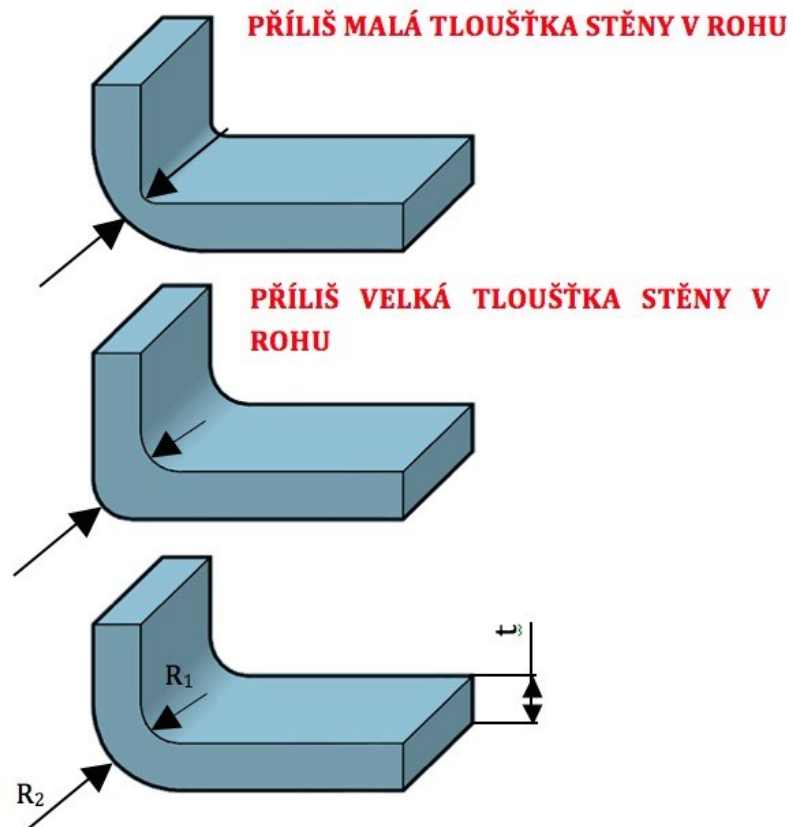


Obr.: 22 Zamaskování propadlin vhodným umístěním žeber [3]

### 3.4 Zaoblení hran

Při konstrukci výrobku by se mělo vyhnout ostrým hranám, rohům a velmi malým zaoblením. Do těchto prvků hůře zatéká tavenina, k zaplnění potřebují vyšší vstřikovací tlaky a můžou v nich vznikat napěťové lomy. Zaoblením těchto částí se značně redukuje koncentrace napětí v těchto místech. Při konstrukci rohů by jejich vnější a vnitřní poloměry zaoblení měly být odstupňovány tak, aby vznikla konzistentní tloušťka stěny po celém průřezu daného rohu. [3]





Obr.: 23 Návrh zaoblení rohu výrobku [13]

### 3.5 Smrštění

Příčinou smrštění je teplotní roztažnost taveniny polymeru. Smrštění probíhá po vstříknutí taveniny do dutiny formy až do doby ochlazení výrobku na okolní teplotu. Jeho hodnota je velmi důležitá pro návrh tvarových dutin formy, které musí být o tuto hodnotu zvětšeny. Velikost smrštění je ovlivněna typem použitého materiálu, obsahem aditiv a plniv, orientací jeho makromolekul a technologickými parametry výroby (teplota formy, velikost a doba dotlaku).

Při konstrukci výrobků z polymerů vyztužených skelnými vlákny je nutné brát v potaz anizotropii smrštění. U těchto materiálů může mít smrštění ve směru toku taveniny výrazně odlišné hodnoty než smrštění ve směru kolmém k toku taveniny. [17]

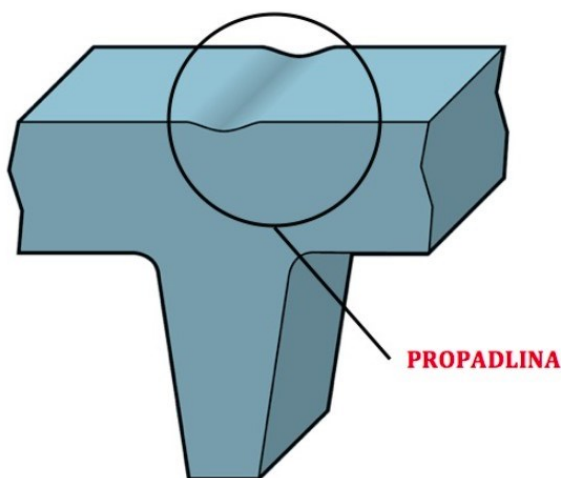
### 3.6 Vady vstřikovaných výrobků

Vadami se rozumí jakákoliv negativní odlišnost výstřiku od předepsaných parametrů, nebo schváleného vzorku. Vady mohou být způsobeny špatnou konstrukcí formy a výrobku, vstřikovacím strojem, použitým materiálem a špatně zvolenými technologickými podmínkami. Vady se dělí na zjevné a skryté [16]

#### Vady zjevné

Vady zjevné lze zpozorovat při vizuální prohlídce výrobků a jejich porovnání s referenčním vzorkem. Lze je dále rozdělit na vady tvaru a vady povrchu.

Do vad tvaru jsou zařazeny jakékoliv deformace dílu, přetoky, ořepy, propadliny, stopy po vyhazovačích a nedostříknuté výrobky. K povrchovým vadám můžeme řadit stopy po slepých spojích, spálená místa, náhlá změna barvy, rozdíl v textuře povrchu a špatná kvalita dezénu. [16]



Obr.: 24 Propadlina na výrobku [13]

#### Vady skryté

Na druhou stranu vady skryté nelze jednoduše spatřit jako vady zjevné. Skryté vady ale také negativně ovlivňují vlastnosti výrobků a měl by se na ně brát zřetel.

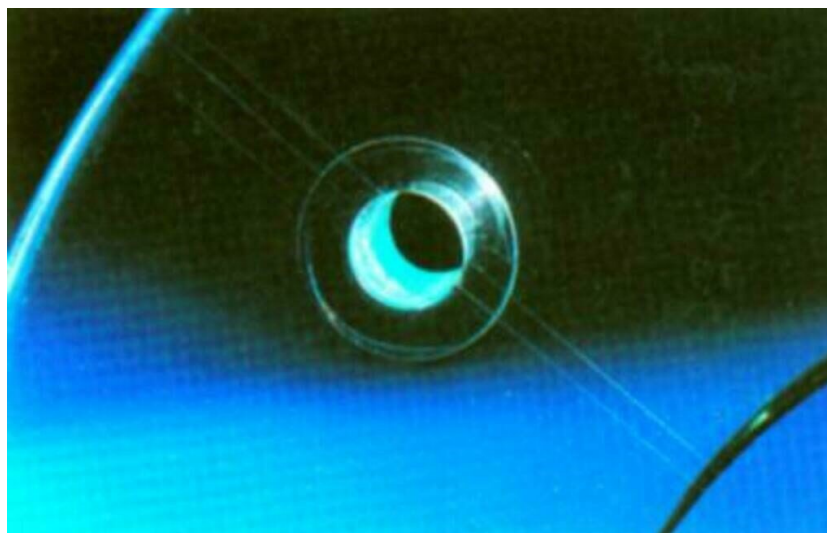
Nejčastějšími skrytými vadami u termoplastů jsou vnitřní pnutí, uzavřený vzduch, nerovnoměrná krystalizace v případě semikrystalických polymerů a nerovnoměrná orientace makromolekul.

Vzniku závad na výrobku lze předcházet dodržováním zásad a postupů při konstrukci formy, výrobku a zvolením optimálních technologických parametrů. [16]

### 3.6.1 Studené spoje

Studené spoje jsou jednou z nejzávažnějších vad na vstříkovaných výrobcích. Studené spoje vznikají spojením čel taveniny ve formě a projevují se viditelným spojením na povrchu výrobku a sníženou pevností v místech kde se nacházejí.

Míra snížené pevnosti studených spojů záleží na způsobu jejich namáhání (pevnost studených spojů je značně zmenšena při namáhání na ohyb a během rázového namáhání), a také na typu použitého polymeru. Semikrystalické polymery mají značnou výhodu díky své sférolitické struktuře, která prorůstá studeným spojením. Ztráta pevnosti tak u nich není tak velká jako u amorfních polymerů.



*Obr.: 25 Vrub na výrobku vytvořený studeným spojením [16]*

Vznik studených spojů je ovlivněn polohou vtokového ústí a konstrukcí vtokové soustavy. Místo, ve kterém se studený spoj vytvoří lze zjistit za pomoci simulačních programů při návrhu vtokového systému. Při návrhu vtokového systému se dbá, aby se studené spoje nenacházely v pevnostně namáhaných místech výrobku. Studeným spojům lze také předejít lokálním ohřevem v místech jejich vzniku, to bývá řešeno samostatným temperačním okruhem, nebo topnými tělisky. [16]

### 3.6.2 Dieselefekt

Dieselefekt se tvoří při vysokých vstřikovacích rychlostech a nedostatečném odvzdušnění formy. Polymerní tavenina při vstřikování stlačí vzduch, který nestihl opustit dutinu formy, tím vznikne vysoká teplota, která přispívá k degradaci materiálu, nebo dokonce i jeho spálení. Dieselefekt se vyznačuje tmavými až černými stopami a spáleným materiálem. K předcházení této vady je nutná správná konstrukce odvzdušnění formy a její údržba. [16]



*Obr.: 26 Dieselefekt na výrobku [16]*

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V bakalářské práci byly stanoveny následující cíle:

- Vypracovat literární studii na dané téma.
- Zkonstruovat 3D model vstřikovaného plastového výrobku.
- Navrhnout vstřikovací formu pro zadaný díl.
- Nakreslit 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.

## 5 POUŽITÝ SOFTWARE

### 5.1 Autodesk Inventor 2023

Autodesk Inventor je 3D CAD software vyvíjený společností Autodesk. Umožňuje návrh, simulaci zatížení i dokumentaci produktů na profesionální úrovni. Program se vyznačuje intuitivním prostředím, rozsáhlou knihovnou normalizovaných součástí a velmi dobrou kompatibilitou s ostatními programy společnosti Autodesk.

Software byl využit především ke konstrukci modelu výrobku, vytvoření a úpravu tvarových částí formy v prostředí Mold Design.

### 5.2 Catia V5R20

Software Catia V5R20 je vyvíjen francouzskou firmou Dassault Systèmes. Software zastává funkce CAD, CAM i CAE systémů, díky kterým je firmám umožněno pokrytí celého životního cyklu výrobků od prvotních konceptů, přes simulace a podrobné analýzy až po jejich výrobu. Díky hojnému počtu dostupných prostředí lze dosáhnout tvarově velmi složitých a detailních modelů. Software Catia je nejvíce používán v automobilovém a leteckém průmyslu.

V praktické části byl software využit k tvorbě obrázků a provedení méně komplikovaných konstrukčních úprav.

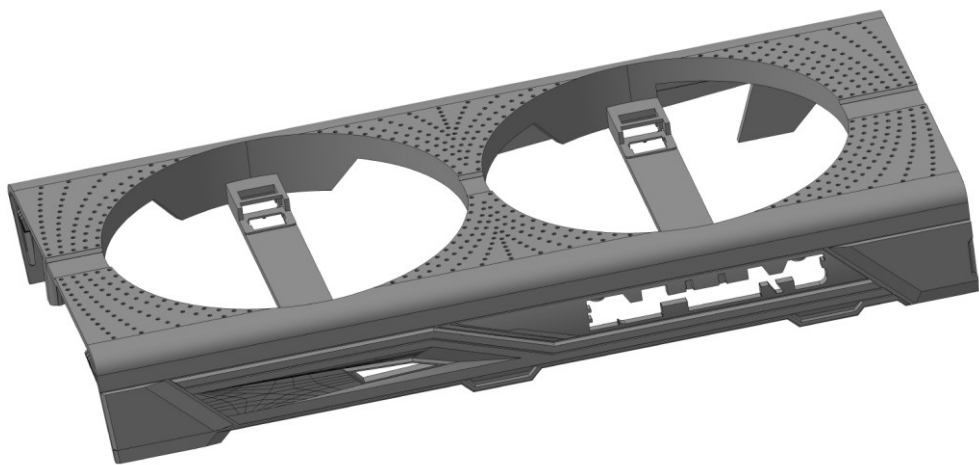
### 5.3 Databáze normálií Meusburger

Společnost Meusburger je jednou z předních společností v oblasti výroby normalizovaných komponent s vysokou přesností a horkých vtoků. Díky její online databázi je uživatelům umožněno širokého výběru normalizovaných komponent i úpravu některých nabízených součástí na míru. Databáze umožňuje převod a následné stažení normálií do většiny CAD softwarů. Každá normálie je také opatřena dokumentem obsahujícím její technické parametry, seznamem kompatibilních normálií a případně návodem pro umístění.

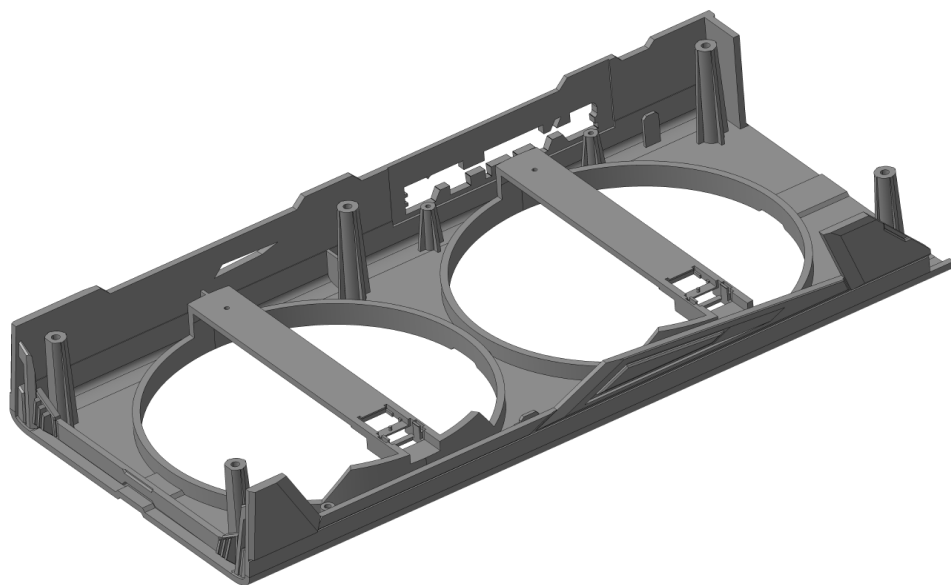
## 6 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Zvoleným výrobkem ke vstřikování je kryt chladiče grafické karty vyráběný firmou Sapphire Technology. Jedná se jak o funkční, tak i pohledový výrobek. Jeho funkcemi jsou uložení ventilátorů a podsvíceného loga, ochrana komponent chlazení v případě pádu a zlepšení estetiky grafické karty.

Základní rozměry vstřikovaného výrobku jsou 238 x 114 x 32 mm (délka x šířka x výška). Průměrná tloušťka stěn výrobku je 2 mm.



*Obr.: 27 Vstřikovaný výrobek – pohled 1*



*Obr.: 28 Vstřikovaný výrobek – pohled 2*



## 6.1 Materiál vstřikovaného výrobku

Vzhledem k funkci a oblasti použití výrobku byl zvolen materiál Polyamid 6 vyztužený 15 % skelného vlákna s obchodním názvem SLOVAMID® 6 GF 15. Materiál je dodáván ve formě granulátu firmou Plastcom spol. s.r.o.

SLOVAMID® 6 GF 15 je semikrystalický konstrukční termoplast. Tento materiál je schopen dlouhodobě odolávat teplotám do výšky 110 °C, což je vhodná hranice pro použití uvnitř počítačové skříně. Obsahem skelných vláken je také zvýšena jeho pevnost, díky které je zlepšena celková odolnost vůči opotřebení a životnost výrobku.

Tab.: 1 Vlastnosti vybraného materiálu [22]

SLOVAMID® 6 GF 15		
Parametr	Hodnota	Jednotka
Hustota	1,23	g/cm <sup>3</sup>
Index toku taveniny	3	g/10 min
Teplota taveniny	250–270	°C
Teplota formy	70–80	°C
Teplota sušení	80	°C
Doba sušení	4	h
Vstřikovací tlak	70–120	MPa
Smrštění ve směru / kolmo	0,57 / 1,12	%
Modul pružnosti v tahu	5950	MPa
Modul pružnosti v ohybu	5200	MPa

## 7 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Volba vstřikovacího stroje je podmíněna technickými parametry formy a objemem vstřikované dávky.

Výpočet hmotnosti dávky taveniny na jeden pracovní zdvih:

$$\rho = 1,23 \text{ g/cm}^3 \quad (7.1)$$

$$V = 153,862 \text{ cm}^3 \quad (7.2)$$

$$M = \rho \cdot V = 1,23 \cdot 153,862 \doteq 190 \text{ g} \quad (7.3)$$

Objemy dutin a rozvodných kanálů formy byly zjištěny v programu Catia V5R20.

Na základě známých a vypočítaných parametrů byl zvolen elektrický vstřikovací stroj společnosti Arburg, model ALLROUNDER 820 A 4000 – 1300 (55). Při výběru modelu byla rozhodujícím parametrem velikost formy.



Obr.: 29 Vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 820 A [18]

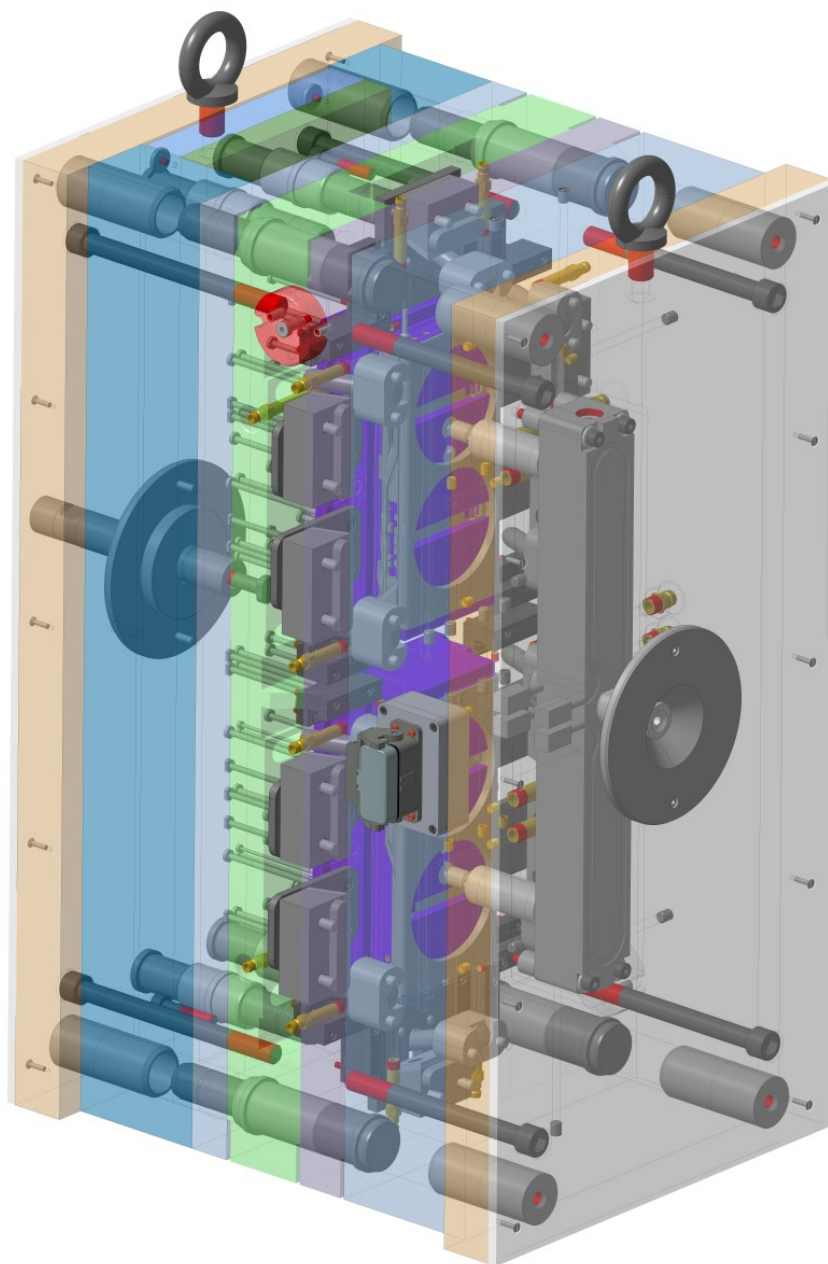
*Tab 2 Porovnání parametrů stroje s požadovanými parametry*

Parametr	Parametr stroje	Požadovaný parametr	Jednotka
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	820 x 820	796 x 396	mm
Maximální hmotnost formy	4000	1028	kg
Průměr středících kroužků		160	mm
Dávka taveniny na jeden zdvih	517	190	g
Uzavírací síla	4000	-	kN
Vstříkovací tlak	2380	-	bar

## 8 KONSTRUKCE SESTAVY VSTŘIKOVACÍ FORMY

Konstrukce vstřikovací formy byla nejvíce ovlivněna geometrií vstřikovaného výrobku, násobností a typem vstřikovaného polymeru. Vstřikovací forma byla složena ze dle potřeby upravených normálií vyráběných firmou Meusburger a na zakázku vyrobených dílů. Použitím normálií byla značně zjednodušena konstrukce formy a snížena její výrobní cena.

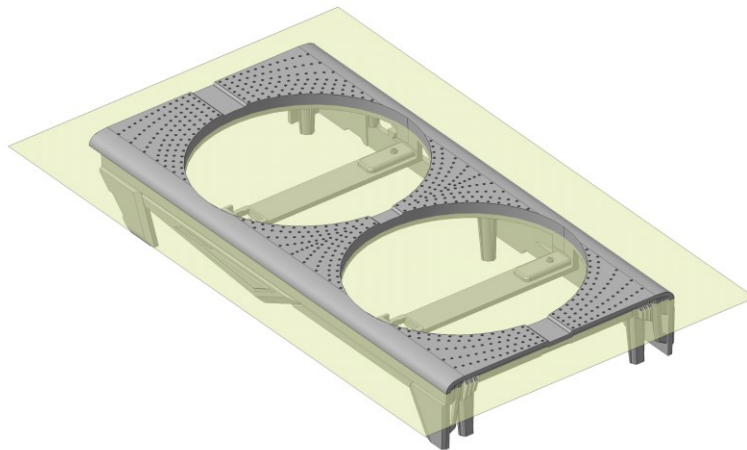
Sestava vstřikovací formy má rozměry 796 x 396 x 524 mm a byla rozdělena do tří podsestav – levá pohyblivá část, pravá nepohyblivá část a vyhazovací paket.



Obr.: 30 3D model vstřikovací formy

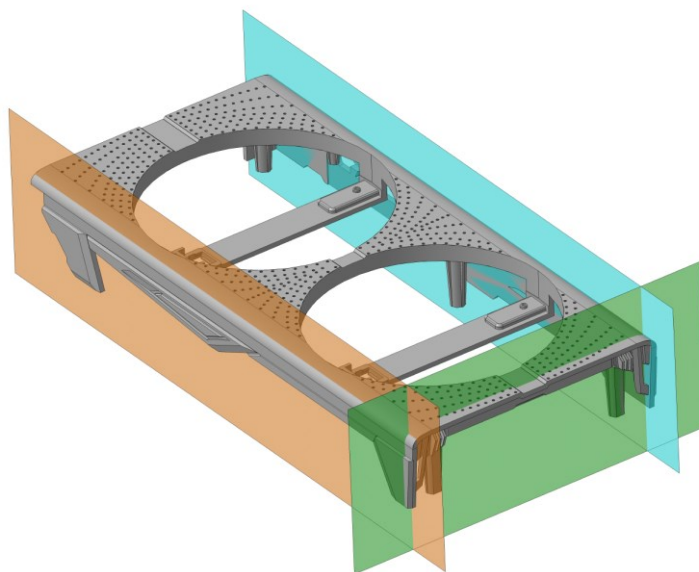
## 8.1 Dělicí rovina

Jedním z klíčových kroků konstrukce vstřikovací formy je stanovení polohy dělicích rovin. Tato volba byla provedena na základě konstrukčního provedení zvoleného výrobku. Pro díl krytu chladiče byla hlavní dělicí rovina umístěna 5 mm pod horní plochu výrobku, kde je zakončeno zaoblení bočních hran. Hlavní dělicí rovina je kolmá ke směru otevírání formy.



Obr.: 31 Poloha hlavní dělicí roviny

Vzhledem k odformovatelnosti výrobku byly dále zvoleny tři boční dělicí roviny, které jsou kolmé k hlavní dělicí rovině a rovnoběžné se směrem otevírání formy.

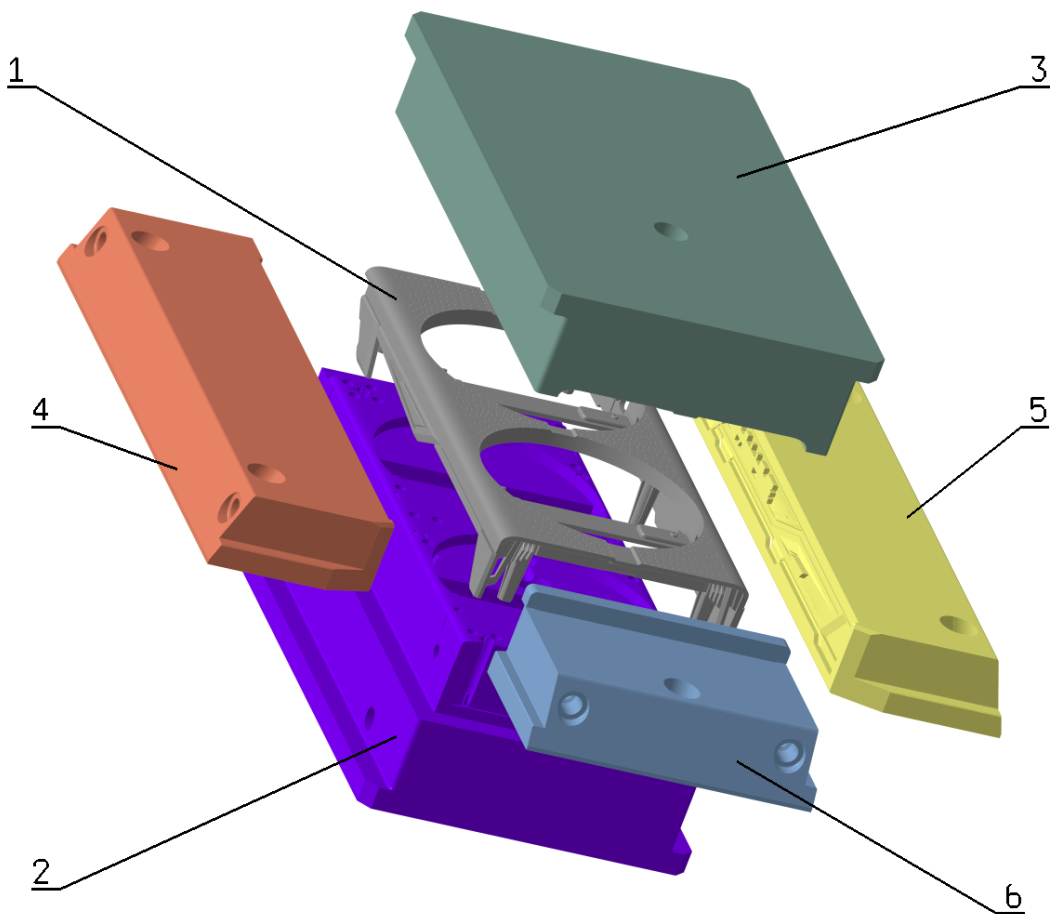


Obr.: 32 Poloha bočních dělicích rovin

## 8.2 Tvarové vložky

Vstříkovaný výrobek obsahuje geometrii a výřezy, pro které je vyžadováno odformování za pomoci celkem tří bočních posuvných čelistí umístěných ve třech stranách obklopujících výrobek. Tyto posuvné čelisti společně s tvárníkem a tvárnici tvoří dutinu formy, která je negativem vstříkovaného výrobku.

Tvárník a posuvné čelisti jsou usazeny v levé pohyblivé části formy, tvárnice je usazena v pravé nepohyblivé části.

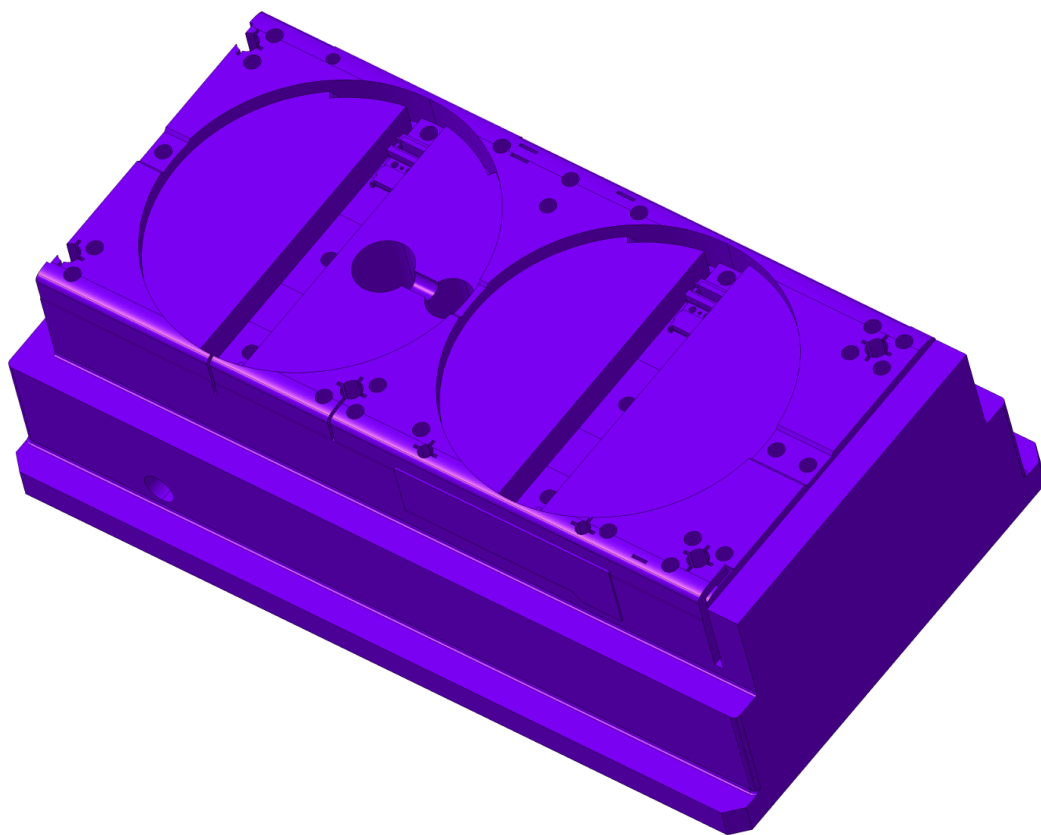


Obr.: 33 Tvarové vložky 1 – výrobek, 2 – tvárník, 3 – tvárnice, 4 – posuvná čelist 1, 5 – posuvná čelist 2, 6 – posuvná čelist 3

### 8.2.1 Tvárník a tvárnice

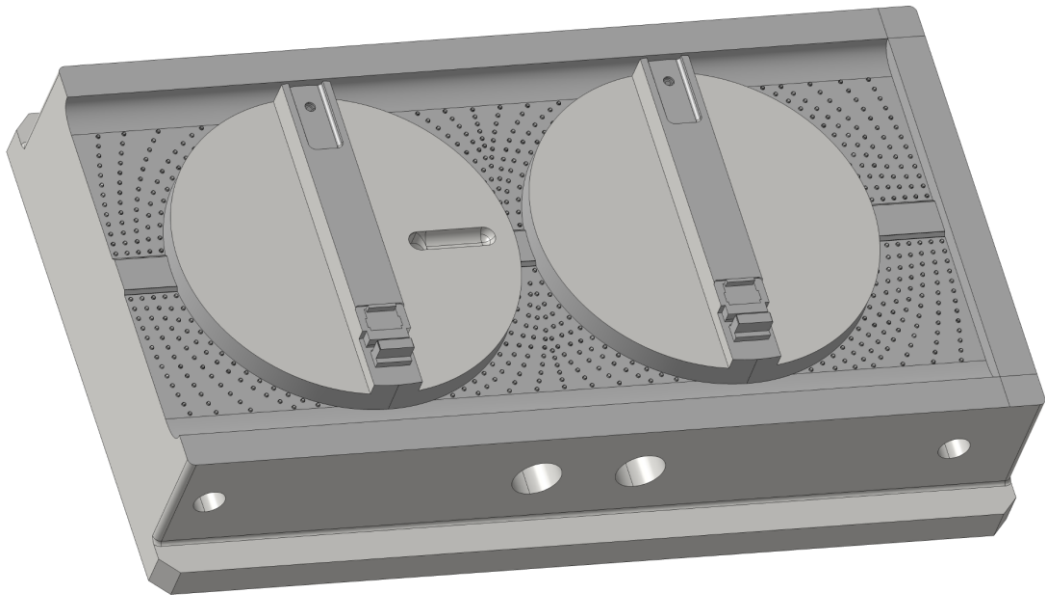
Tvárník a tvárnice jsou základními součástmi udávajícími tvar výrobku. Jsou běžně vyráběny z nástrojové oceli třídy 19 a následně zakaleny na 60 HRC.

Tvárník utváří vnitřní tvar výrobku. Je zasazen v kotevní desce levé pohyblivé části formy. Do tvárníku byly vyvrtány otvory pro vyhazovače, přidržovač vtoku a vtokovou vložku. Mezi otvory pro přidržovač vtoku a vtokovou vložku byl vyfrézován rozvodný kanál.



*Obr.: 34 Tvárník*

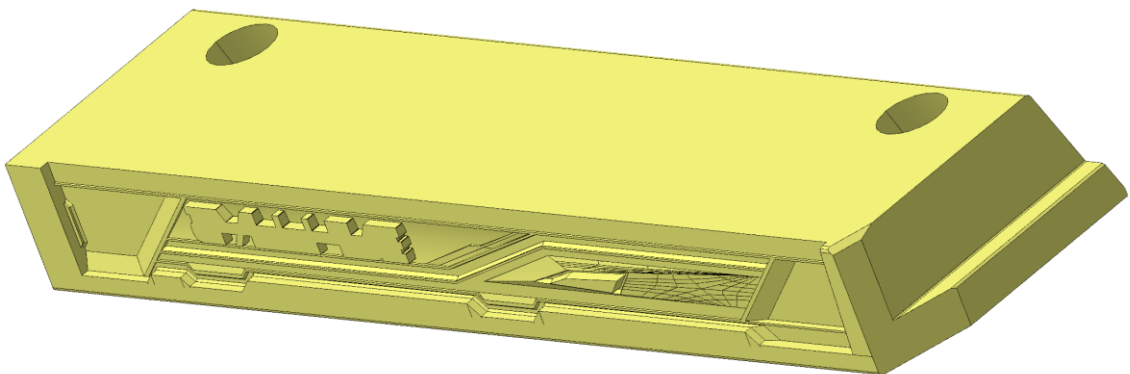
Tvárnice v tomto případě utváří pouze horní část výrobku. Je zasazena v kotevní desce pravé nepohyblivé části formy. V tvárnici byla vyvrtána díra pro trysku horkého vtoku a vyfrézován rozvodný kanál.



*Obr.: 35 Tvárnice*

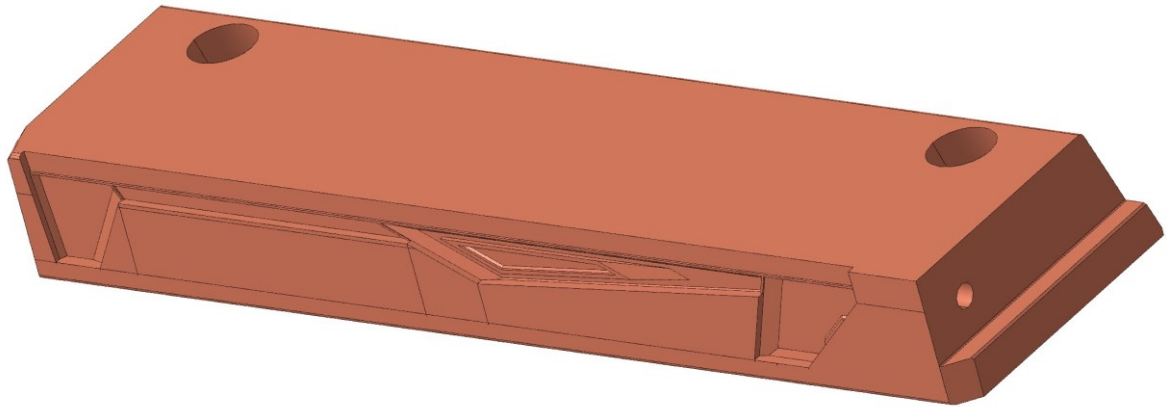
### 8.2.2 Boční posuvné čelisti

Posuvné čelisti byly použity k odformování tvarových geometrií nacházejících se ve třech bočních stranách výrobku. Ve formě byly zakomponovány tři druhy posuvných čelistí, jelikož každá jimi odformovaná strana je tvořena odlišnou geometrií.



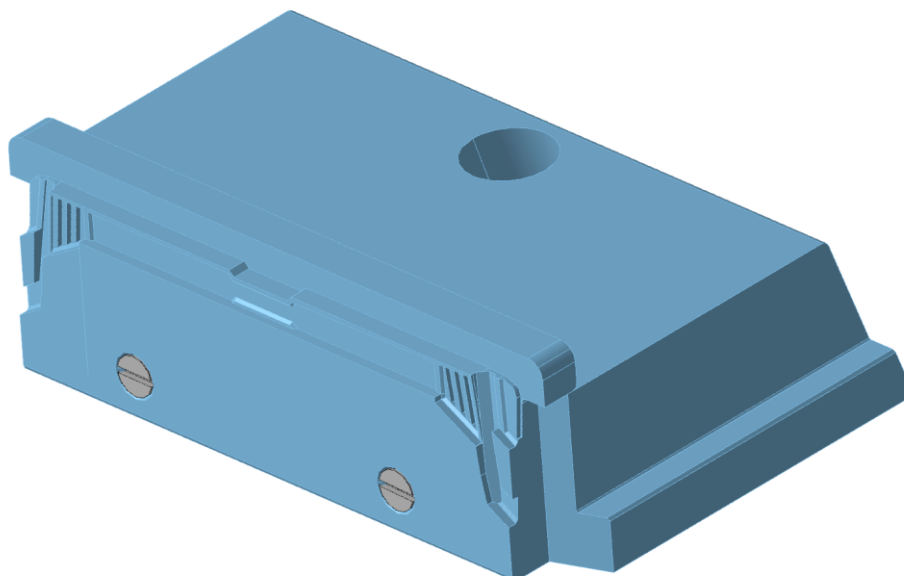
*Obr.: 36 Boční posuvná čelist pro stranu s logem*





*Obr.: 37 Boční posuvná čelist pro dlouhou stranu*

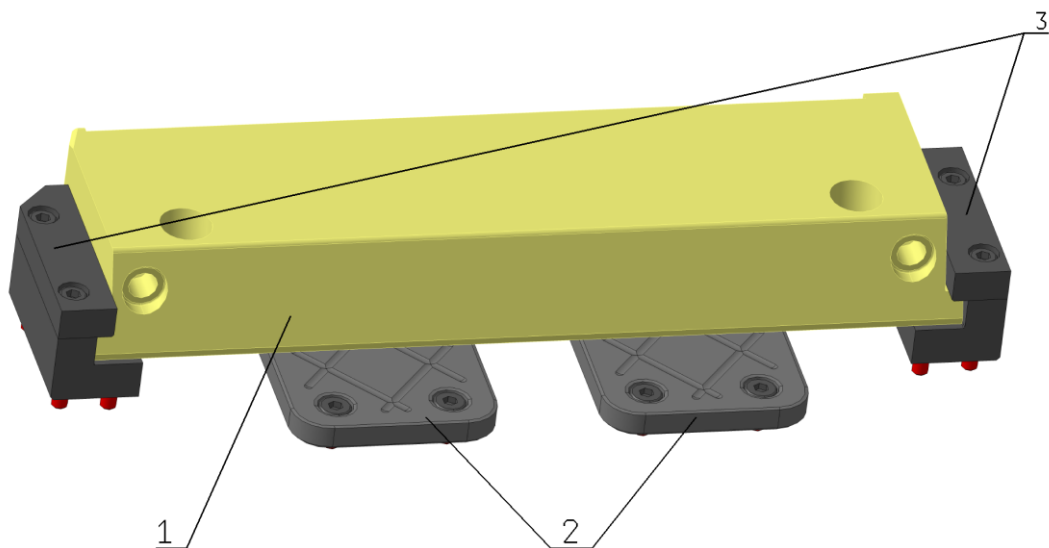
Z důvodu udržení jednotnosti posuvných jednotek byla posuvná vložka pro krátkou stranu zkonstruována ze dvou částí, a to normálie posuvného dílu z katalogu Meusburger – stejného typu jako byly použity pro ostatní čelisti a tvarově upravené vložky. Tvarová vložka byla zasazena do posuvného dílu a připevněna dvěma šrouby.



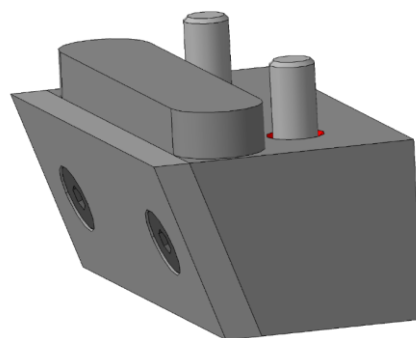
*Obr.: 38 Boční posuvná vložka pro krátkou stranu*

### 8.3 Posuvná jednotka

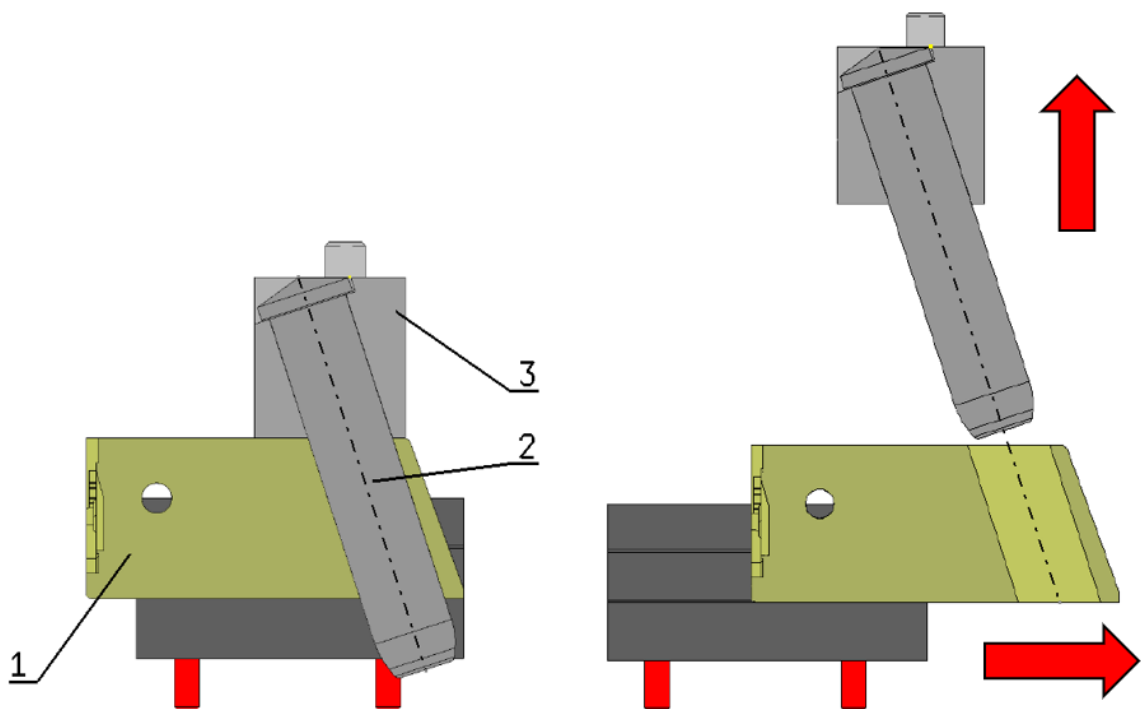
Boční posuvné čelisti jsou uloženy v posuvných jednotkách nacházejících se v levé nepohyblivé části formy. Jejich pohyb je zajištěn mechanicky přes šikmé kolíky upnuté v pravé části formy pod úhlem  $18^\circ$ . Kolíky jsou vedeny dírami vyvrtanými v posuvných čelistech. Koncová poloha čelistí po otevření formy je zajištěna pomocí kuličkové aretace. Pod posuvné čelisti byly umístěny kluzné desky, které byly navrženy ke snížení opotřebení desek a čelistí a zvýšení životnosti formy. Do pravé části formy byly umístěny uzavírací klíny, jejichž funkce spočívá v udržení čelistí v zavřené poloze během vstřikování a v přenosu sil vyvolaných vstřikovacím tlakem z bočních posuvných čelistí na desky formy.



Obr.: 39 Posuvná jednotka 1 – posuvná čelist, 2 – kluzné desky,  
3 – čelisti posuvné jednotky



Obr.: 40 Uzavírací klín



Obr.: 41 Princip pohybu posuvných čelistí 1 – posuvná čelist, 2 – šikmý kolík, 3 – uchycení šikmého kolíku

## 8.4 Odvzdušnění

Nedostatečným odvzdušněním dutiny formy mohou vzniknout komplikace. Vzduch uvězněný v dutině formy může být příčinou nedostatečného zaplnění dutiny, nebo vzniku vad. Odvzdušnění je běžně řešeno pomocí odvzdušňovacích kanálků, případně speciálních vložek.

Při konstrukci téhle formy bylo uvažováno, že odvzdušnění proběhne přes dělicí roviny a vůlemi kolem vyhazovačů.

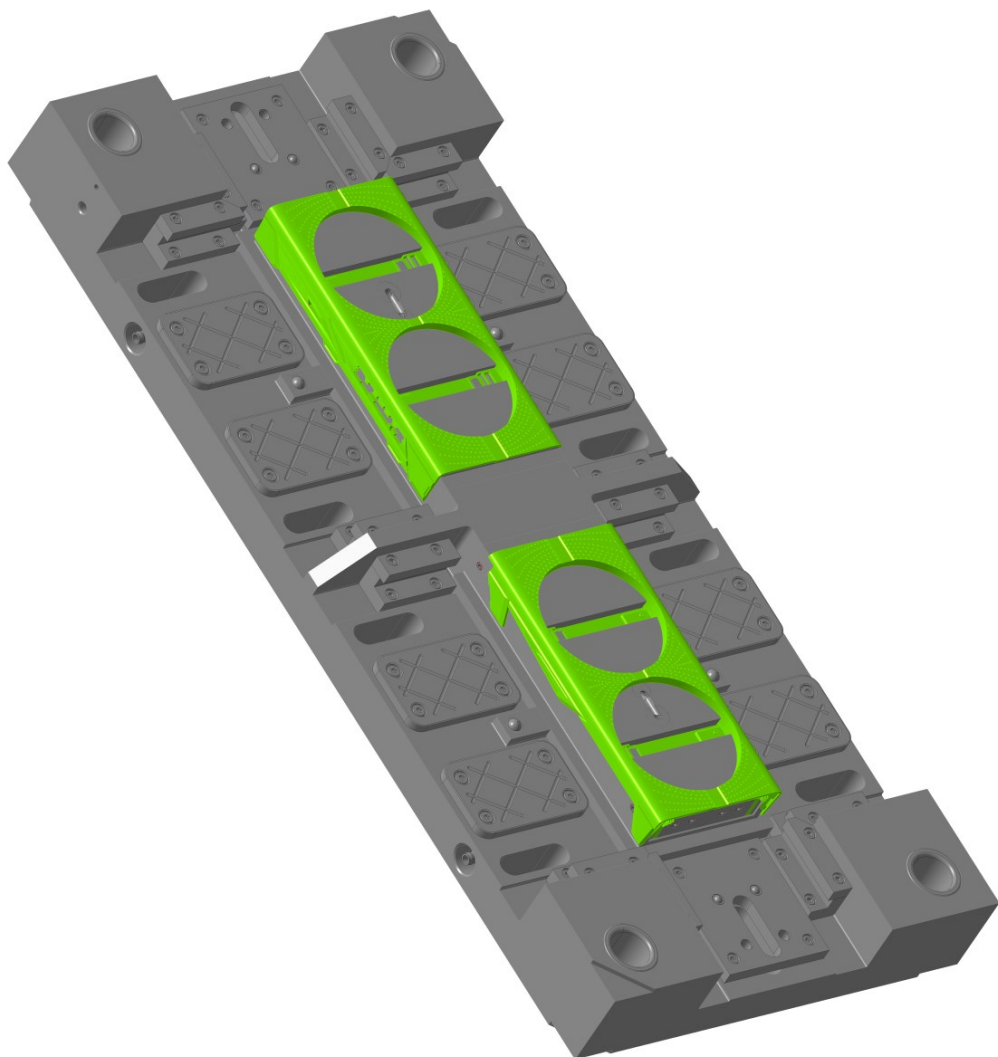
## 8.5 Násobnost formy

Násobnost formy je ovlivněna mnoha faktory. Mezi nejvýraznější patří velikost, geometrie, kvalita výrobků a požadovaný objem výroby. S rostoucí násobností se snižuje kvalita

jednotlivých výrobků a zároveň rostou parametry jako složitost, rozměry formy a potřebné vstřikovací tlaky.

V případě této práce byla s ohledem na výše vypsané faktory zvolena násobnost jako dvojnásobná.

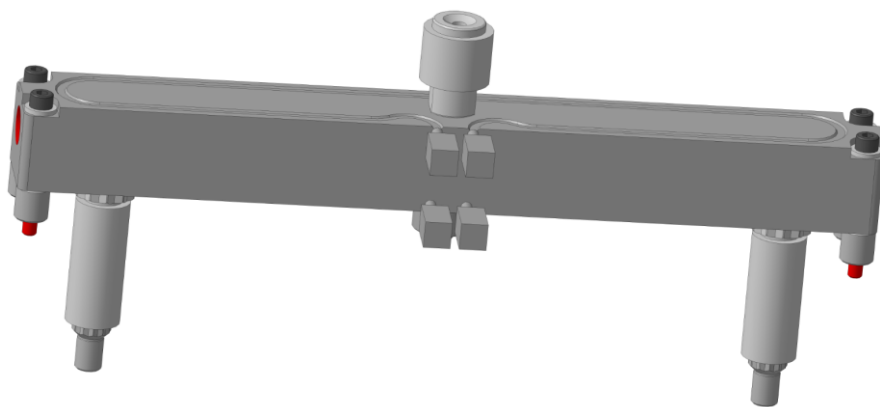
Rozložení výrobků ve formě lze vidět níže na obrázku. Pro lepší přehlednost byla barva výrobků v obrázku změněna na zelenou. Výrobky byly vzhledem ke způsobu jejich odformování od sebe otočeny o 180°



Obr.: 42 Rozložení výrobků ve formě

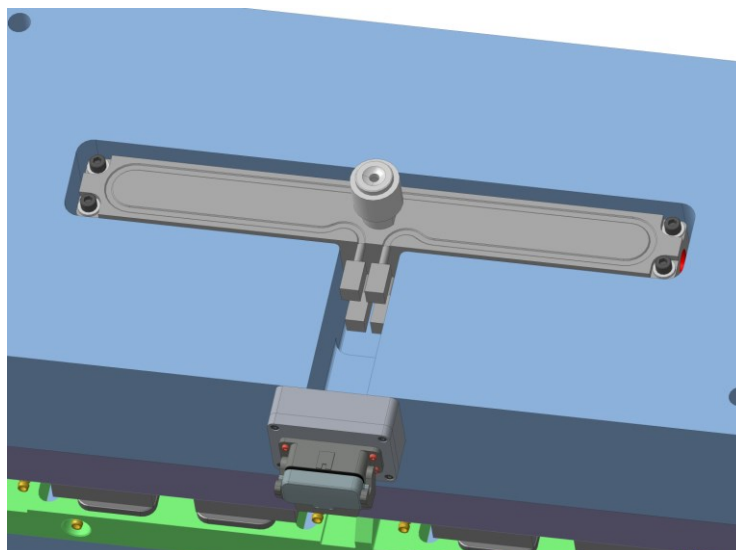
## 8.6 Vtokový systém

Cílem vtokového systému je doprava taveniny ze vstřikovacího stroje do dutin formy a jejich následné zaplnění v co nejkratším čase. Pro tuto formu byla zvolena kombinace horkého i studeného vtokového systému. Návrh horkého vtokového systému byl proveden přes online konfigurátor od společnosti Meusburger. Po zadání požadovaných parametrů a výběru příslušných normálií byl vtokový systém konfigurátorem automaticky vygenerován včetně příslušné rozvodné desky, do které byl ve formě uložen.



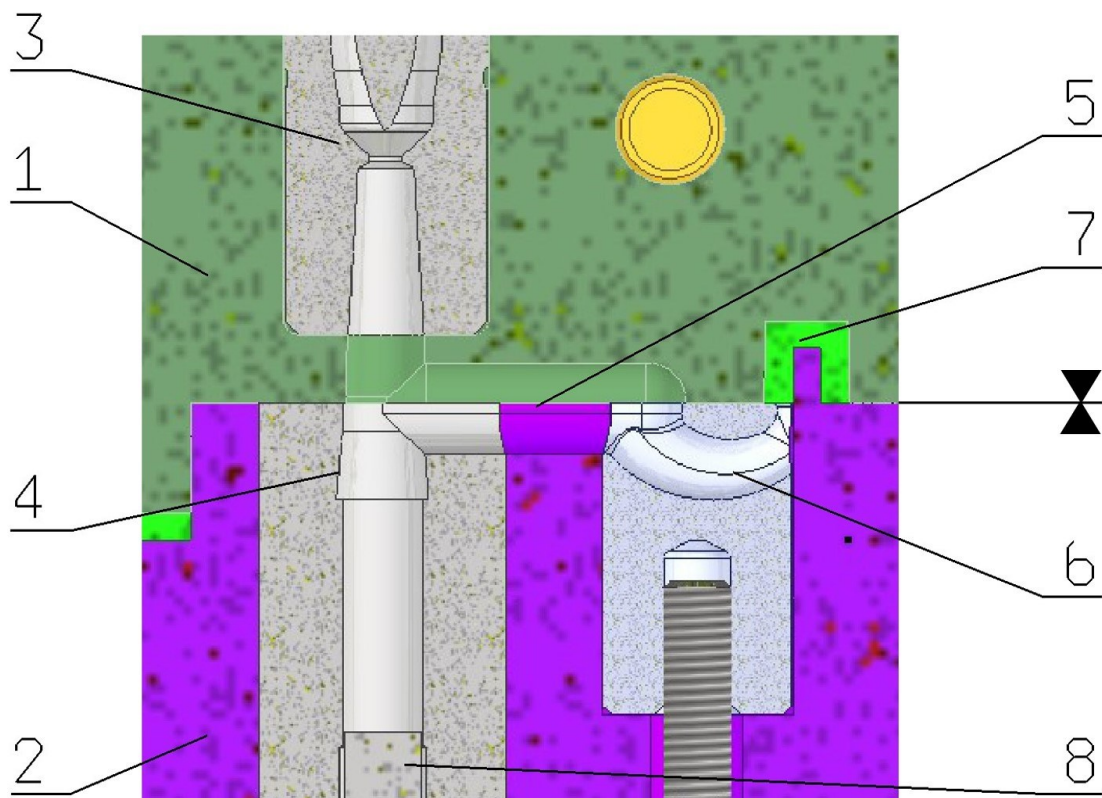
Obr.: 43 Horký vtokový systém

Kabeláž horkého vtokového systému je vedena vyfrézovanou drážkou do zásuvky umístěné na okraji rozvodné desky.



Obr.: 44 Drážka pro vyvedení kabeláže horkého bloku

Tavenina je přiváděna tryskou do krátkého rozvodného kanálu, kterým je vedena do vtokové vložky. Pro formu byla použita vtoková vložka s konturou banánového vtoku z katalogu Meusburger, díky které bylo ústí vtoku přemístěno mimo pohledovou stranu výrobku a nebyla tak zhoršena jeho estetika. Oddělení výrobku od vtokového zbytku je rovněž umožněno vybraným vtokovým systémem přímo ve formě.

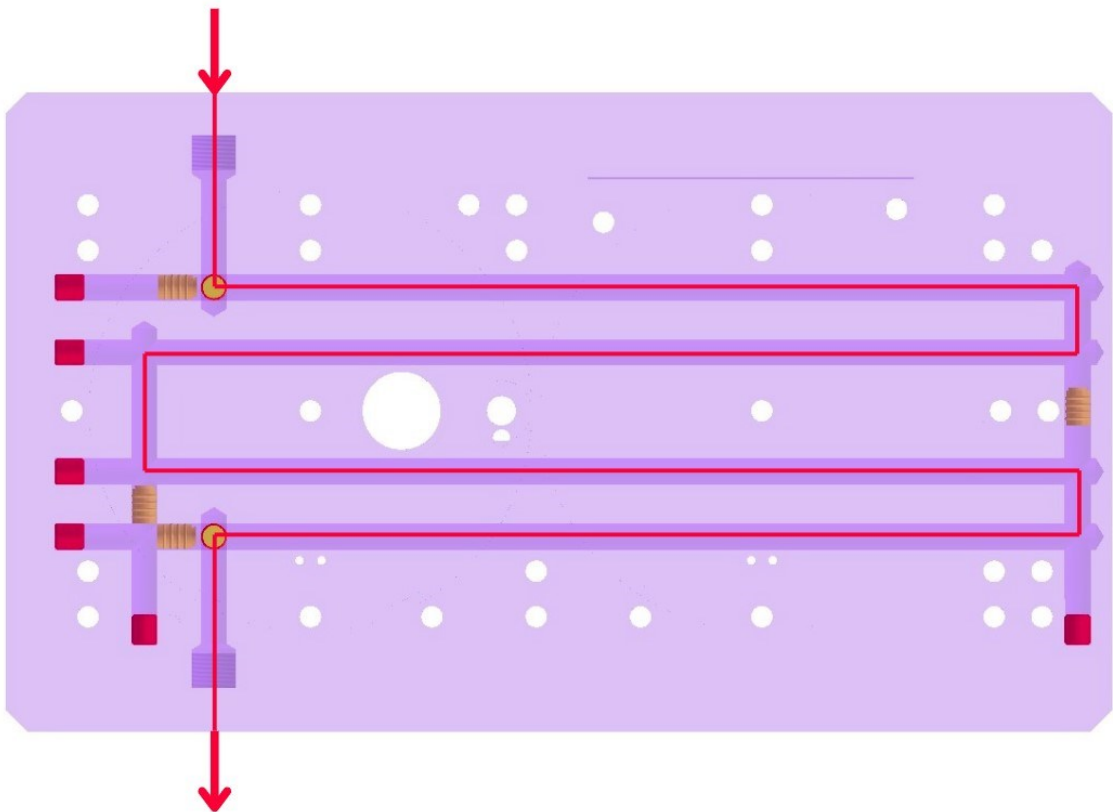


Obr.: 45 Řez formou v místě vtoku 1 – tvárnice, 2 – tvárník  
 3 – tryska horkého vtoku, 4 – přidržovač vtoku, 5 – rozvodný kanál,  
 6 – vtoková vložka, 7 – výrobek, 8 - vyhazovač

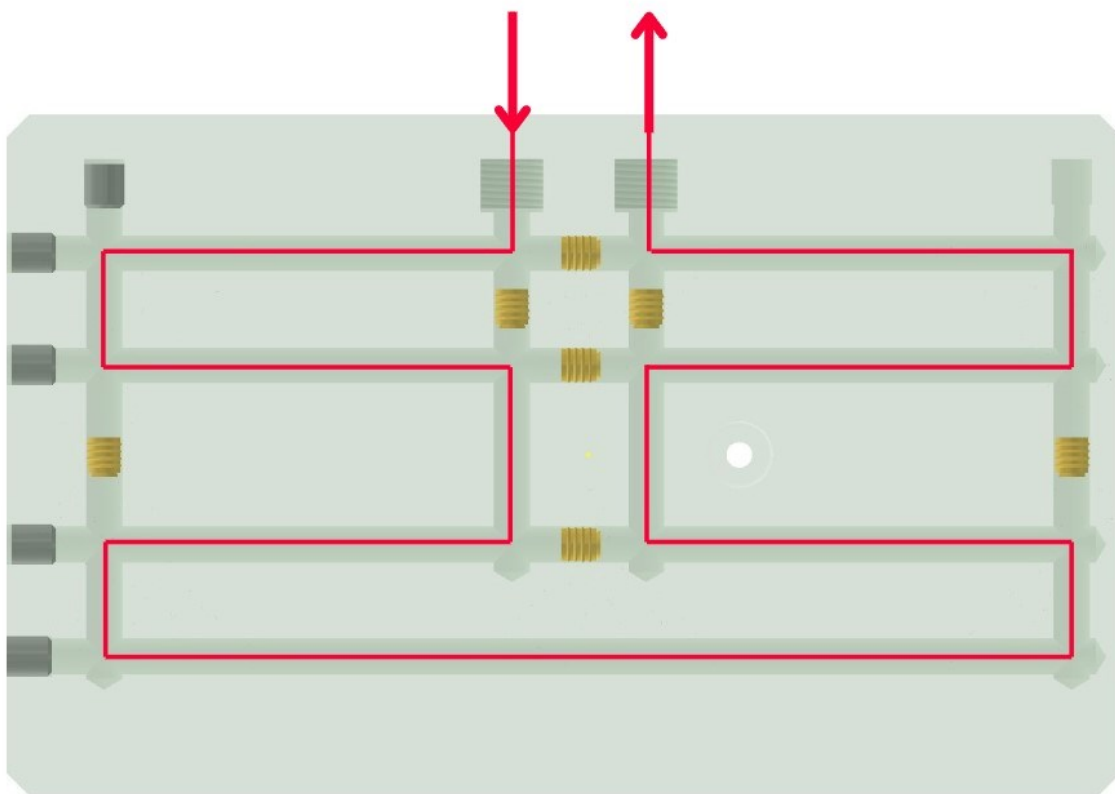
## 8.7 Temperace formy

Během procesu vstřikování je formou přebíráno teplo ze vstřikované taveniny a tím je způsobeno její zahřívání. Temperací je zajištěn efektivní odvod přivedeného tepla za pomoci proudícího temperačního média ve vyvrtaných kanálech. Temperace může být také použita k zahřívání studené formy do provozní teploty.

Každá tvarová část ve formě a rozvodná deska byly opatřeny temperačním okruhem k odvodu tepla. Přívod temperace do tvárniku a tvárnice byl vyřešen pomocí prodloužených přípojek vedených přes kotevní desky. Jako temperační médium byla zvolena voda.



Obr.: 46 Temperační okruh tvárniku

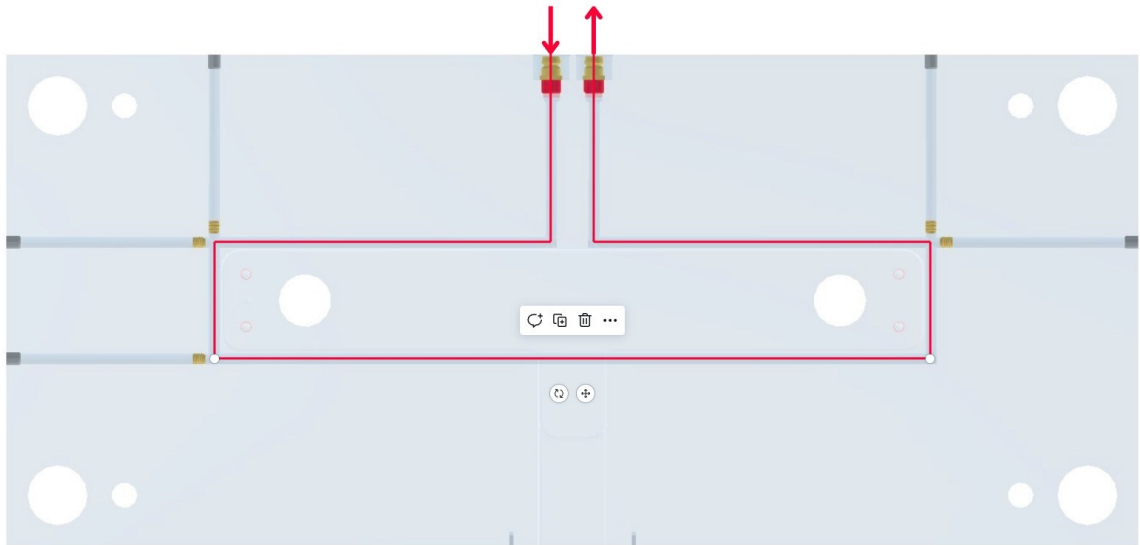


Obr.: 47 Temperační okruh tvárnice



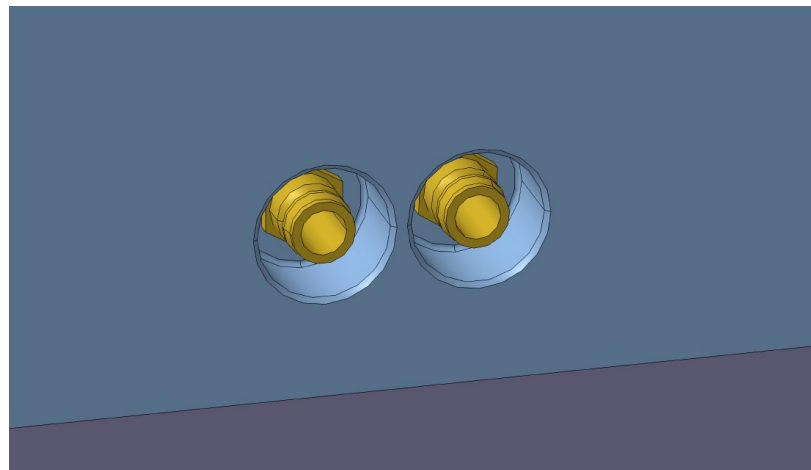
Obr.: 48 Temperační okruh boční čelisti





Obr.: 49 Temperační okruh rozvodné desky

Všechny přípojky byly navrženy tak, aby nepřesahovali ven za hranice desek formy, tím byla značně snížena možnost jejich poškození během manipulace s formou. Přípojky nacházející se v deskách formy byly opatřeny zahloubením dle rozměrů doporučených dodavatelem.

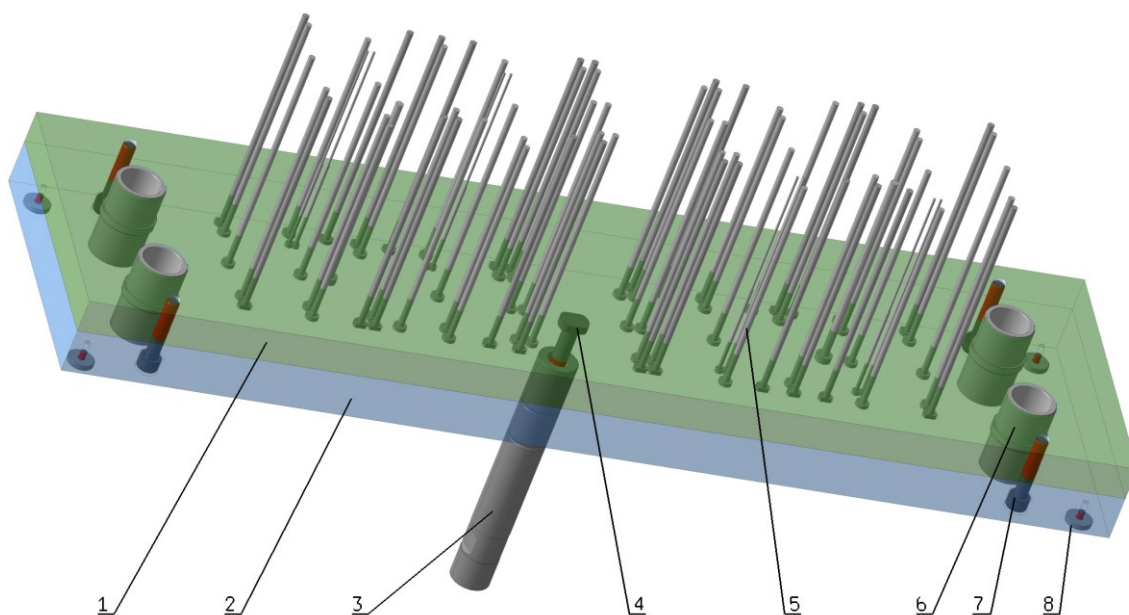


Obr.: 50 Zahloubení pro přípojky temperace

Temperační kanály byly na několika místech úmyslně zaslepeny a tím byly vytvořeny optimální cesty pro chladící médium. Zaslepení kanálů uvnitř součástí bylo provedeno pomocí mosazných záslepek instalovaných klešťovou sadou. Venkovní otvory temperačních kanálů byly ucpány kuličkovými záslepkami.

## 8.8 Vyhazovací systém

K vyhození výrobků byl použit vyhazovací paket od firmy Meusburger. Paket je seskládán ze dvou desek a to kotevní, ve které jsou uloženy vyhazovače a opěrné. Tato sestava je ovládána pomocí vodícího čepu. Vodící čep je přišroubován závitovým čepem s tvarovou hlavou uloženým v opěrné desce paketu.



Obr.: 51 Vyhazovací paket 1 – kotevní deska, 2 - opěrná deska, 3 – vodící čep, 4 – závitový čep, 5 – vyhazovač, 6 – vodící pouzdro, 7 – šroub, 8 – dosedka

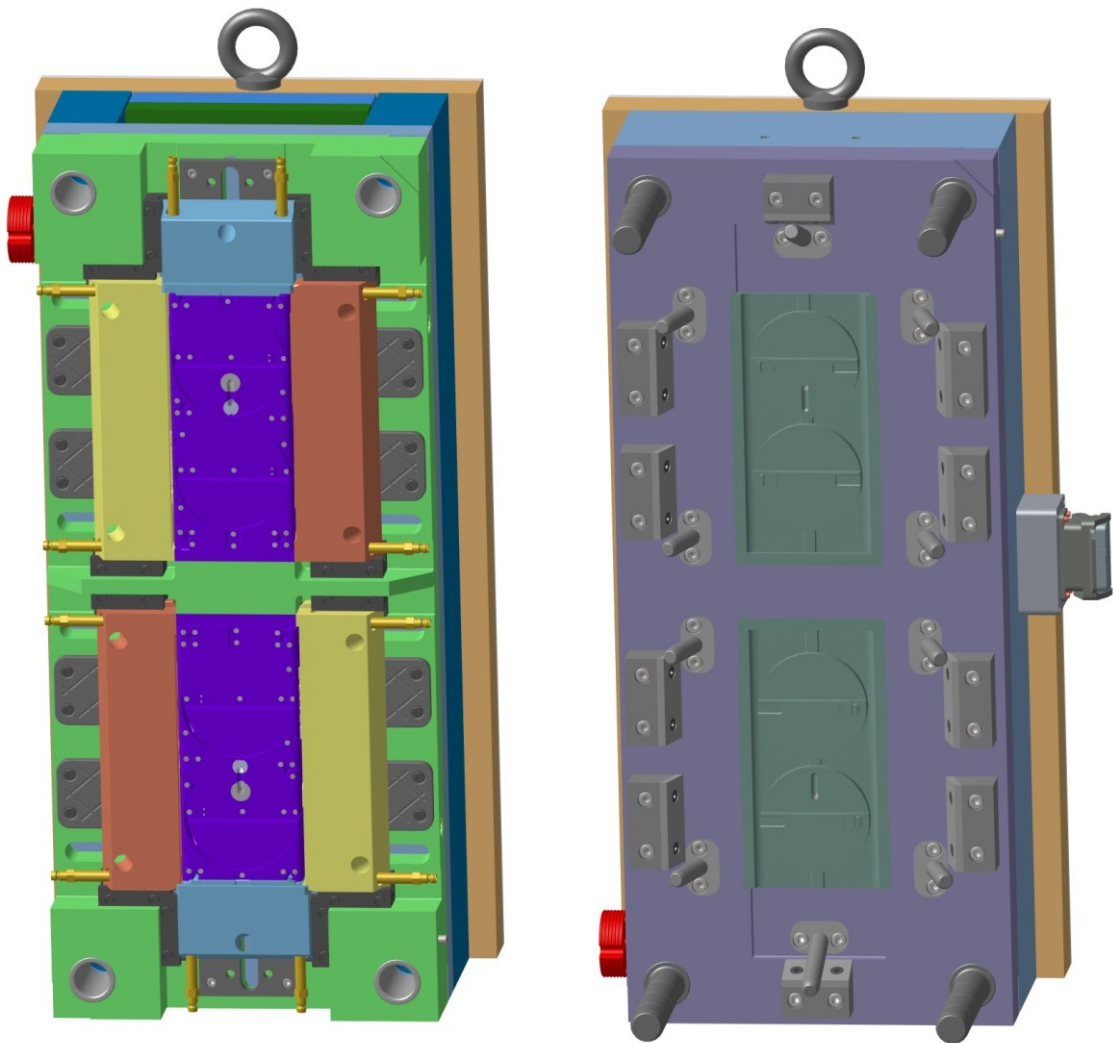
K dosažení rovnoměrné vyhazovací síly a bezproblémového vyhození výrobků a vtokových zbytků bylo použito celkem 72 válcových vyhazovačů různých rozměrů. Jelikož je část vyhazovačů umístěna v místech s nerovnou geometrií, byla nutnost pro tyto místa použít vyhazovače se zajištěním proti pootočení a vhodně upravit plochy jimiž dosedají na výrobek.

Tab 3 Přehled použitých vyhazovačů

Typ vyhazovače	Počet použitých kusů.
Vyhazovač $\varnothing$ 6 mm	2
Vyhazovač $\varnothing$ 5 mm	62
Odsazený vyhazovač $\varnothing$ 2 mm	8

## 8.9 Rám formy

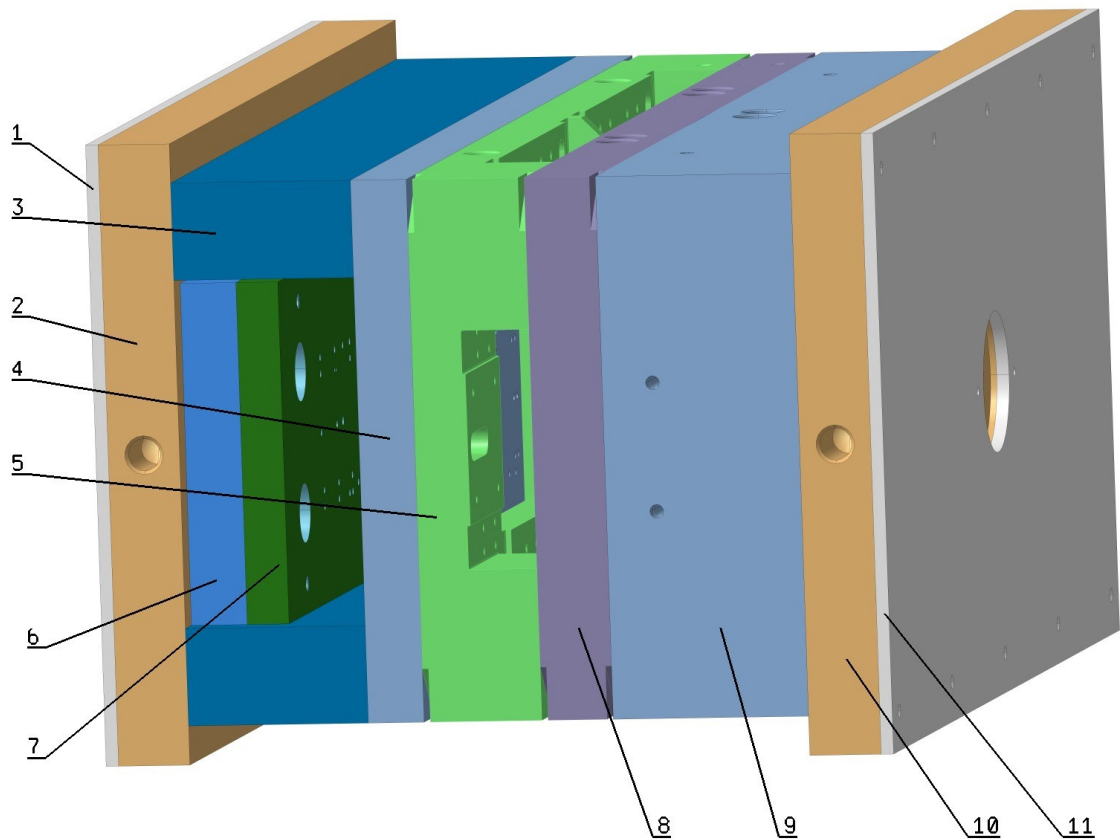
Celkové rozměry vstřikovací formy jsou udávány jejím rámem. Rám formy je seskládán z desek, vodících, středících a spojovacích prvků. Vstřikovací forma byla rozdělena na levou pohyblivou a pravou nepohyblivou část.



Obr.: 52 Render levé a pravé části vstřikovací formy

### 8.9.1 Desky vstřikovací formy

Při konstrukci vstřikovací formy bylo použito celkem 11 desek. Všechny použité desky byly vybrány z katalogu Meusburger a dále upraveny dle potřeby.

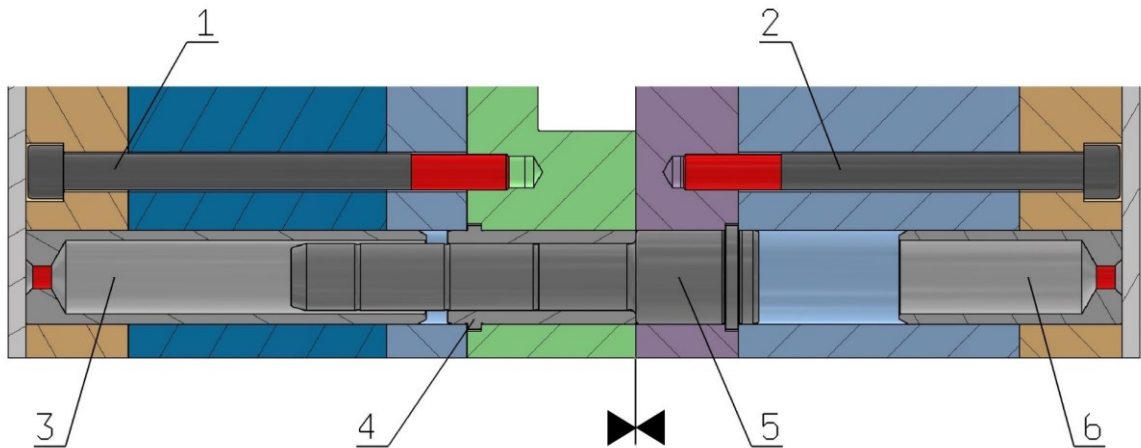


Obr.: 53 Sestava desek vstřikovací formy

- 1 – izolační deska levá, 2 – upínací deska levá, 3 – rozpěrné desky, 4 – opěrná deska,  
5 – kotevní deska levá, 6 – opěrná deska vyhazovacího paketu,  
7 – opěrná deska vyhazovacího paketu, 8 – kotevní deska pravá, 9 – rozvodná deska,  
10 – upínací deska pravá, 11 – izolační deska pravá

### 8.9.2 Vodící, středící a spojovací prvky

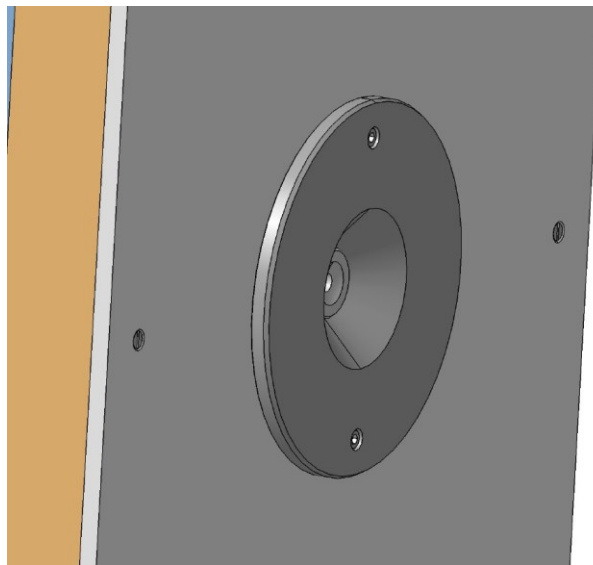
Vedení a vzájemné středění desek formy bylo uskutečněno pomocí vodících pouzder, čepů a středících trubek. Desky v obou částech formy byly spojeny pomocí šroubů s hlavou s vnitřním šestihranem.



Obr.: 54 Řez formou v místě vodících, středících a spojovacích prvků

1 – šroub M16x200, 2 – šroub M16x180, 3 – středící trubka levá, 4 – vodící pouzdro,  
5 – vodící čep, 6 – středící trubka pravá

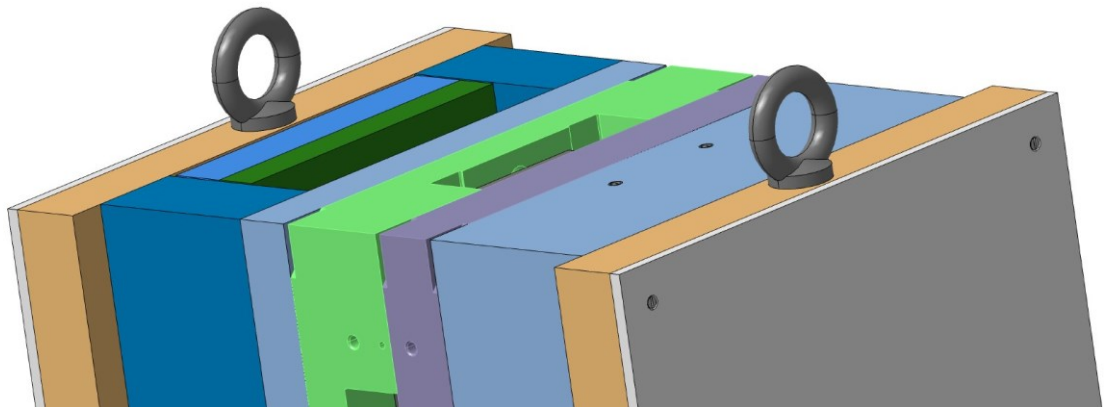
K vystředění formy na vstříkovací stroj byly použity dva středící kroužky o průměru 160 mm.



Obr.: 55 Středící kroužek pravý

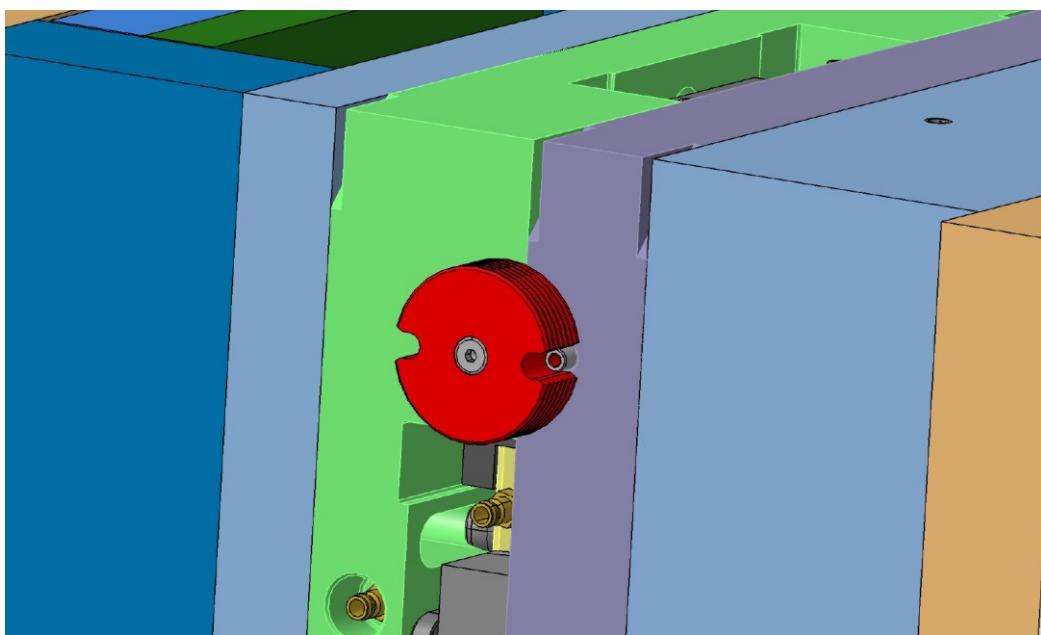
## 8.10 Transport

K manipulaci jsou na vrchní straně formy našroubovány dvě transportní oka, která byla dimenzována s ohledem na její váhu. Pro formu byly vybrány oka se závitem M24, jejichž nosnost při použití dvou kusů je stanovena na 1290 kg, což při celkové hmotnosti formy 1028 kg vyhovuje.



Obr.: 56 Transportní oka

Otevření formy během transportu bylo zabráněno pomocí dvou transportních zámků. Zámky byly umístěny do kotevních desek a tím je zabráněno otevření hlavní dělicí roviny.



Obr.: 57 Transportní zámek v odemknuté poloze

## ZÁVĚR

Během tvorby bakalářské práce bylo postupováno podle jednotlivých kroků oficiálního zadání.

V teoretické části byla popsána technologie vstřikování a rozdělení polymerních materiálů, dále byly vysvětleny zásady při konstrukci vstřikovacích forem a návrhu výrobků.

Praktická část byla věnována konstrukci 3D modelu krytu chladiče grafické karty, návrhu vstřikovací formy pro tento výrobek a tvorbě výkresové dokumentace obsahující příslušné pohledy a kusovník.

Jako materiál výrobku byl zvolen PA 6 obohacený 15 % skelných vláken, který je vhodný pro výrobky tohoto typu a vyhovuje také prostředí ve kterém se bude výrobek během svého životního cyklu nacházet.

Na základě modelu výrobku byly stanoveny dělicí roviny a vytvořeny tvarové vložky formy. Mimo tvárníku a tvárnice bylo třeba zkonstruovat tři boční posuvné čelisti kvůli složité geometrii výrobku. Odformování posuvných čelistí je řešeno pomocí šikmých kolíků.

Vstřikovací forma byla zvolena dvojnásobná, kde jsou z důvodu odformování výrobky od sebe otočeny o 180°.

Vtokový systém byl navrhnout jako kombinovaný a byl seskládán z horkého vtokového systému, rozvodných kanálů a vtokových vložek. Vtokové vložky byly použity k přesunu vtokového ústí na nepohledovou stranu výrobku a nebyly tak zhoršeny jeho estetické vlastnosti. Navrhnutým systémem je způsobeno oddělení výrobku od vtokového zbytku již při jeho vyhození.

Temperace je řešena vrtanými kanály zavedenými do všech tvarových vložek formy. Kvůli horkému vtokovému systému byla temperace zavedena také do rozvodné desky, ve které se tento systém nachází. Jako temperační médium byla zvolena voda.

K vyhození obou výrobků bylo použito celkem 72 válcových vyhazovačů. Vyhazovače byly rozmístěny dle geometrie výrobku tak, aby na něj působily rovnoměrnou silou a bylo zaručeno jeho bezproblémové vyhození.

K transportu formy slouží dvě transportní oka upevněná v upínacích deskách.

Pro formu byl vybrán elektrický vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 820 A.

Posledním krokem bylo zhotovení výkresové dokumentace navrhnuté formy a kusovníku.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 9788027106141.
- [2] L. BĚHÁLEK, Polymery, Pardubice: Code Creator, s.r.o, 2015.
- [3] CATOEN, Bruce a Herbert REES. Injection mold design handbook. Munich: Hanser publishers, 2021. ISBN 978-1-56990-815-0.
- [4] LENFELD, Petr. Technologie vstřikování [online]. [cit. 2023-11-08]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
- [5] STANĚK, M. Konstrukce forem (přednášky) UTB Zlín, 2023
- [6] L. PTÁČEK, Nauka o materiálu II., Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002, p. 392.
- [7] MM průmyslové spektrum Polymery amorfni a semikrystalické z hlediska vstřikování [online]. [cit. 2024-01-02]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/polymery-amorfni-a-semikrystalicke-z-hlediska-vstrikovani>
- [8] LENFELD, Doc. Dr. Ing. Petr. [online]. Dostupné z WWW: [https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/obsah\\_plasty.htm](https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm)
- [9] DUCHÁČEK, Vratislav, 2011. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 9788070807880.
- [10] BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů: I.díl – Vstřikování termoplastů. 2. vydání – Brno: Uniplast, 1999.
- [11] HYNEK, M. a kol. Vstřikovací lisy. In: Plastové díly [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2024-01-03]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/10453752-Vstrikovaci-lisy-k-5-plastove-doc-ing-martin-hynek-ph-d-a-kolektiv-verze-1-0.html>
- [12] SEDIL, M. Stroje pro zpracování polymerních materiálů. 1. vyd. Střední odborné učiliště Svitavy, 2015, ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
- [13] J. BOBEK, Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů, Pardubice: Code Creator, s.r.o., 2015.
- [14] KAZMER, David O. *Injection Mold Design Engineering* [online]. 3rd Edition. Hanser Publishers, 2022 [cit. 2024-01-06]. ISBN 978-1-56990-891-4. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpIMDE0011/toc>
- [15] PRUNER, Harry a Wolfgang NESCH. *Understanding Injection Molds* [online]. 2nd Edition. Hanser Publishers, 2020 [cit. 2024-01-06]. ISBN 978-1-56990-843-3. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpUIME0002/toc>
- [16] MM průmyslové spektrum Vady výstřiků – 1. díl [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje>



- [17] MM průmyslové spektrum Vady výstřiků – 2. díl [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady>
- [18] Arburg [online]. [cit. 2024-01-12]. Dostupné z: [https://www.arburg.com/media/\\_processed\\_/a/0/csm\\_177551-GESTICA-FillAssist\\_en\\_2ee71495fb.jpg](https://www.arburg.com/media/_processed_/a/0/csm_177551-GESTICA-FillAssist_en_2ee71495fb.jpg)
- [19] Meusbürger [online]. [cit. 2024-01-12]. Dostupné z: <https://www.meusbuerger.com/CS/CZ/produkty>
- [20] BEAUMONT, John P., c2007. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers. ISBN 9781569904213.
- [21] Yang Y., Chen X., Lu N., Gao F. Injection molding process control, monitoring and optimization. Munich: Hanser, 2016, XVI, 397 s. ISBN 9781569905920
- [22] Materiálový list SLOVAMID®6 [online]. Plastcom spol. [cit. 2024-05-12]. Dostupné z: <http://plastcom.sk/wp-content/uploads/2014/02/Materialovy-list-102000-SLOVAMID-6-GF-15.pdf>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

T <sub>g</sub>	Teplota skelného přechodu
T <sub>m</sub>	Teplota bodu tání krystalického podílu
PS	Polystyren
PC	Polykarbonát
PMMA	Polymethylmethakrylát
PP	Polypropylen
PE	Polyethylen
POM	Polyoxymethylen
TPE	Termoplastický elastomer
mm	milimetr
kg	kilogram
g	gram
cm <sup>3</sup>	centimetr krychlový
V	objem
M	hmotnost
ρ	hustota
%	procento
°	stupeň
°C	stupeň Celsia
kN	kilonewton
h	hodina
min	minuta
MPa	megapascal
∅	průměr

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr.: 1 Vstřikovací cyklus [5]</i> .....	12
<i>Obr.: 2 Rozdělení polymerů dle chování za tepla</i> .....	12
<i>Obr.: 3 Struktura amorfního</i> .....	13
<i>Obr.: 4 Výrobky z amorfních</i> .....	14
<i>Obr.: 5 Struktura semikrystalického</i> .....	15
<i>Obr.: 6 Výrobky ze semikrystalických termoplastů [7]</i> .....	16
<i>Obr.: 7 Výrobky z reaktoplastů [2]</i> .....	16
<i>Obr.: 8 Výrobky z kaučuků [2]</i> .....	17
<i>Obr.: 9 Výrobky z termoplastických elastomerů [2]</i> .....	18
<i>Obr.: 10 Základní prvky vstřikovacího stroje [11]</i> .....	19
<i>Obr.: 11 Vstřikovací jednotka [12]</i> .....	20
<i>Obr.: 12 Schéma uzavírací jednotky [8]</i> .....	21
<i>Obr.: 13 Řídící jednotka [18]</i> .....	21
<i>Obr.: 14 Základní části studeného vtokového systému [3]</i> .....	23
<i>Obr.: 15 Plnění dutiny formy pomocí vtokového</i> .....	24
<i>Obr.: 16 Vyhřívání vtokový systém se znázorněným</i> .....	25
<i>Obr.: 17 Odvzdušňovací kanál v dělicí rovině [13]</i> .....	26
<i>Obr.: 18 Odvzdušňovací vložka [14]</i> .....	27
<i>Obr.: 19 Válcový vyhazovací kolík [19]</i> .....	28
<i>Obr.: 20 Tloušťka stěn výrobku. Vlevo nesprávná konstrukce, vpravo správná konstrukce [3]</i> .....	30
<i>Obr.: 21 Doporučená konstrukce úkosů [13]</i> .....	31
<i>Obr.: 22 Zamaskování propadlin vhodným umístěním žeber [3]</i> .....	32
<i>Obr.: 23 Návrh zaoblení rohu výrobku [13]</i> .....	33
<i>Obr.: 24 Propadlina na výrobku [13]</i> .....	34
<i>Obr.: 25 Vrub na výrobku vytvořený studeným spojem [16]</i> .....	35
<i>Obr.: 26 Dieselefekt na výrobku [16]</i> .....	36
<i>Obr.: 27 Vstřikovaný výrobek – pohled 1</i> .....	40
<i>Obr.: 28 Vstřikovaný výrobek – pohled 2</i> .....	40
<i>Obr.: 29 Vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 820 A [18]</i> .....	42
<i>Obr.: 30 3D model vstřikovací formy</i> .....	44
<i>Obr.: 31 Poloha hlavní dělicí roviny</i> .....	45
<i>Obr.: 32 Poloha bočních dělicích rovin</i> .....	45
<i>Obr.: 33 Tvarové vložky 1 – výrobek, 2 – tvárník, 3 – tvárnice,</i> .....	46

<i>Obr.: 34 Tvárník</i> .....	47
<i>Obr.: 35 Tvárnice</i> .....	48
<i>Obr.: 36 Boční posuvná čelist pro stranu s logem</i> .....	48
<i>Obr.: 37 Boční posuvná čelist pro dlouhou stranu</i> .....	49
<i>Obr.: 38 Boční posuvná vložka pro krátkou stranu</i> .....	49
<i>Obr.: 39 Posuvná jednotka 1 – posuvná čelist, 2 – kluzné desky,</i> .....	50
<i>Obr.: 40 Uzavírací klín</i> .....	50
<i>Obr.: 41 Princip pohybu posuvných čelistí 1 – posuvná čelist, 2 – šikmý kolík, 3 – uchycení šikmého kolíku</i> .....	51
<i>Obr.: 42 Rozložení výrobků ve formě</i> .....	52
<i>Obr.: 43 Horký vtokový systém</i> .....	53
<i>Obr.: 44 Drážka pro vyvedení kabeláže horkého bloku</i> .....	53
<i>Obr.: 45 Řez formou v místě vtoku 1 – tvárnice, 2 – tvárník</i> .....	54
<i>Obr.: 46 Temperační okruh tvárníku</i> .....	55
<i>Obr.: 47 Temperační okruh tvárnice</i> .....	56
<i>Obr.: 48 Temperační okruh boční čelisti</i> .....	56
<i>Obr.: 49 Temperační okruh rozvodné desky</i> .....	57
<i>Obr.: 50 Zahloubení pro přípojky temperace</i> .....	57
<i>Obr.: 51 Vyhazovací paket 1 – kotevní deska, 2 - opěrná deska, 3 – vodící čep,</i> .....	58
<i>Obr.: 52 Render levé a pravé části vstřikovací formy</i> .....	59
<i>Obr.: 53 Sestava desek vstřikovací formy</i> .....	60
<i>Obr.: 54 Řez formou v místě vodících, středících a spojovacích prvků</i> .....	61
<i>Obr.: 55 Středící kroužek pravý</i> .....	61
<i>Obr.: 56 Transportní oka</i> .....	62
<i>Obr.: 57 Transportní zámek v odemknuté poloze</i> .....	62

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab.: 1 Vlastnosti vybraného materiálu [22] .....</i>	<i>41</i>
<i>Tab 2 Porovnání parametrů stroje s požadovanými parametry .....</i>	<i>43</i>
<i>Tab 3 Přehled použitých vyhazovačů.....</i>	<i>58</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list

Příloha P II: Technický list stroje

Příloha P III: Výkres sestavy

Příloha P IV: Kusovník

# PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST



## Materiálový list SLOVAMID® 6 GF 15

Plastcom spol. s r.o.

Konštrukčné plasty pre vstrekovanie

Vydanie:

Kópia:

Strana: 1/2

Polymer	Charakteristika	Applikácia	Kvalita	Kód výrobku
polyamid 6	PA6 vystužený skleneným vláknom	vstrekovanie	prvá kvalita	102000

Vlastnosti (v prírodnom prevedení pri 23°C)	Jednotka	Skúšobná metóda	Hodnota
<b>Všeobecné</b>			
Symboły a skratky		STN EN ISO 1043-1	PA 6
Hustota	g/cm <sup>3</sup>	STN EN ISO 1183-1	1,23
Typ plniv: GF, GB, MF, G			GF
Stabilizácia: TS, LS, K			
Modifikácia: FR, HI, MI, ME			
Farba: NA, F, BK			NA/F
<b>Spracovateľské</b>			
Technológia: IM, E	°C		IM
Teplota topenia DSC	°C	STN EN ISO 11357-1	220
Teplota taveniny	°C		250-270
Teplota formy	°C		70-80
Vstrekovací tlak	MPa		70-120
Sušenie: teplota/čas	°C/H		80/4
Obsah vody	%	STN EN ISO 3344	0,15
Index toku taveniny pri 230°C/2,16 kg	g/10 min	STN EN ISO 1133	3
Výrobné zmraštenie v smere / kolmo	%	STN EN ISO 294-4	0,57/1,12
<b>Mechanické</b>			
Pevnosť v ťahu	MPa	STN EN ISO 527-2	110
Ťažnosť	%	STN EN ISO 527-2	3
Modul pružnosti v ťahu	MPa	STN EN ISO 527-2	5950
Modul pružnosti v ohybe	MPa	STN EN ISO 178	5200
Pevnosť v ohybe	MPa	STN EN ISO 178	172
Rázová húževnosť Charpy 23°C	kJ/m <sup>2</sup>	STN EN ISO 179	55
Rázová húževnosť Charpy -20°C	kJ/m <sup>2</sup>	STN EN ISO 179	45
Vrubová húževnosť Charpy 23°C	kJ/m <sup>2</sup>	STN EN ISO 179	7
Vrubová húževnosť Charpy -20°C	kJ/m <sup>2</sup>	STN EN ISO 179	6
<b>Tepeľné</b>			
Teplota priehybu pri zaťažení	°C	STN EN ISO 75-2 (A)	200
Odoľnosť za tepla podľa Vicata B	°C	STN EN ISO 306	200
<b>Horľavosť</b>			
Horľavosť	*horľav.	UL - 94	HB
Žeravá slučka	°C	STN EN 60695-2-12	650 (3mm)

**Centrála:**

Plastcom, spol. s r.o.  
Hattalova 4, 831 03 Bratislava  
Tel: 00421 2 44 259 160  
Fax: 00421 2 44 259 223

**Závod:**

Plastcom, spol. s r.o.  
Štrúbova 53, 949 01 Nitra  
Tel: 00421 37 77 29 419  
Fax: 00421 37 77 29 418

Spoločnosť je zapísaná  
v Obchodnom registri Okresného súdu  
Bratislava I,  
oddel. Sro. Vložka číslo: 903/0

# PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST STROJE

## TECHNICAL DATA | 820 A

Clamping unit		820 A	
with clamping force	max. kN	4000	
Opening force   stroke	max. kN   mm	---   750	
Mould height, fixed   variable	min.-max. mm	---   350-850	
Platen daylight fixed   variable	max. mm	---   1100-1600	
Distance between tie bars (w x h)	mm	820 x 820	
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	1171 x 1171	
Weight of movable mould half	max. kg	4000	
Ejector force   stroke	max. kN   mm	86   250	
Dry cycle time EUROMAP	Comfort	2,3 - 574	
	Ultimate	1,8 - 574	

Injection unit		1300			2100			
with screw diameter	mm	55	60	70	60	70	80	
Effective screw length	LD	22	20	17	23	20	17,5	
Screw stroke	max. mm	240			280			
Calculated stroke volume	max. cm <sup>3</sup>	570	678	923	792	1078	1407	
Shot weight	max. g PS	521	620	844	723	984	1286	
Material throughput	max. kg/h PS	86	96	115	125	145	175	
	max. kg/h PA6.6	43	48	58	62	74	88	
Injection pressure	max. bar	2380	2000	1470	2500	2000	1530	
Holding pressure time	max. s - bar	300-1900	300-1600	300-1170	300-2180	300-1600	300-1220	
Injection flow <sup>2</sup>	Comfort [+]	max. cm <sup>3</sup> /s	261 [356]	311 [424]	423 [577]	339 [452]	462 [616]	603 [804]
	Ultimate [+]	max. cm <sup>3</sup> /s	476	566	772	707 [919]	962 [1251]	1257 [1634]
Injection speed <sup>4</sup>	Comfort [+]	max. mm/s	110 [150]			120 [160]		
	Ultimate [+]	max. mm/s	200			250 [325]		
Screw circumferential speed	max. m/min	55	60	70	51	60	69	
Screw torque	max. Nm	1510	1640	1920	2140	2500	2850	
Nozzle contact force   retraction stroke	max. kN   mm	90   500			110   600			
Heating capacity   zones	kW	22,9   8			31,2   8			
Feed hopper	l	---			---			

Drive and connection		Comfort		Ultimate		
with injection unit		1300	2100	1300	2100	
Net weight of machine	kg	22300	23500	22300	23500	
Sound press. level   Insecurity <sup>4</sup>	dB(A)	57   3		57   3		
Electrical connection <sup>3</sup>	kW	70	95	76	100	
	Total	A	148	---	142	---
	Machine	A	125	160	125	160
	Heating	A	40	50	40	50
Cooling water connection	max. °C	30		30		
	min. Δp bar	1,5   DN 25		1,5   DN 25		

**Machine type**  
with EUROMAP size designation <sup>1</sup>  
820 A 4000-1300 | 2100

**Upon request: other machine types and mould installation heights, screws, drive powers etc.**  
All specifications relate to the basic machine version. Deviations are possible depending on versions, 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<sup>3</sup>) x max. injection pressure (kbar)
  - 2) Specification of maximum injection flow at maximum injection pressure.
  - 3) Specifications relate to 400 W/50 Hz.
  - 4) Emission sound pressure level at the workplace. Detailed information in the operating instructions.
  - 5) Forward speed of plasticising screw at 1000 bar injection pressure.
- [ ] Specifications apply to alternative equipment.