

Technický návrh vstřikovací formy

Tomáš Teplý

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: Tomáš Teplý
Osobní číslo: T20218
Studijní program: B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Technický návrh vstřikovací formy

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární studii na dané téma.
- Provedte konstrukci 3D modelu vstřikovaného plastového dílu.
- Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl.
- 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. OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6
3. BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.
4. NEUHÄUSL, E., ZEMAN, I.: Vstřikování plastů-teorie a praxe: Základní kurs. Interní dokument fy PLAST FORM SERVICE, s.r.o., Praha, 2006
5. 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:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se věnuje konstrukci návrhu vstřikovací formy. Práce má dvě části, a to teoretickou a praktickou. Teoretická část bakalářské práce informuje čtenáře obecně o vstřikování polymerů, vlastnostech polymerů a konstrukci formy pro vstřikování. Praktická část je založena na zkoumání potřeb materiálu pro konstrukci výrobku, vytvoření 3D modelu dílu a formy pro vstřikování. Dále se praktická část soustředí na zvolení správného stroje. Praktická část je doplněna výkresovou dokumentací.

Klíčová slova: konstrukce vstřikovací formy, polymery, vstřikování, software

ABSTRACT

The bachelor thesis is devoted to the design of an injection mold. The thesis consists of two parts, namely theoretical and practical. The theoretical part of the bachelor thesis provides general information to the reader about polymer injection, polymer properties, and mold construction for injection. The practical part is based on material requirements for product construction, creating a 3D model of the part and injection mold. Furthermore, the practical part focuses on selecting the appropriate machine. The practical part is supplemented with drawing documentation.

Keywords: construction of the injection mold, polymers, injection molding, software

Chtěl bych touto cestou vyjádřit upřímné díky své rodině, která mi vždy poskytovala pevnou oporu, a mým nejbližším, kteří mě vždy podporovali v každém kroku mého studia i mimo něj. Rovněž bych rád poděkoval vedoucímu této bakalářské práce, Ing. Václavu Janoščíkovi, Ph.D, za jeho ochotu, rady a spolehlivost při vypracovávání práce.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 INOVACE V OBLASTI VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	12
1.1 AUTOMATIZACE	12
1.2 TRENDY V OBLASTI RECYKLACE A UDRŽITELNOSTI.....	12
1.3 MICROMOLDING.....	13
1.4 VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ PRO AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL A MEDICÍNU.....	13
2 VSTŘIKOVÁNÍ	14
2.1 ROZDĚLENÍ MATERIÁLŮ	14
2.2 TERMOPLASTY	14
2.2.1 Komoditní nebo univerzální termoplasty.....	15
2.2.2 Polyethylen (PE)	15
2.2.3 Polypropylen (PP).....	16
2.2.4 Polyvinylchlorid (PVC)	17
2.2.5 Polystyren (PS).....	17
2.3 REAKTOPLASTY	18
2.3.1 Fenoplasty	18
2.3.2 Aminoplasty	19
2.3.3 Epoxidové pryskyřice.....	19
2.4 ELASTOMERY	19
2.4.1 Molekulární pozadí elastomerů.....	20
2.5 VOLBA MATERIÁLU PŘI NÁVRHU SOUČÁSTI.....	20
2.5.1 Stárnutí polymerů.....	20
2.5.2 Optimalizace životnosti plastů	21
2.6 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	22
2.6.1 Vstřikovací jednotka	22
2.6.2 Uzavírací jednotka	22
2.7 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	22
3 VSTŘIKOVACÍ FORMY	24
3.1 VTOKOVÉ SYSTÉMY	25
3.1.1 Studený vtokový systém	25
3.1.2 Vtokový kanál	26
3.1.3 Vyhřívaný vtokový systém	26
3.2 VYHAZOVACÍ SYSTÉMY.....	27
3.2.1 Manuální nebo poloautomatické vyhazování.....	28
3.2.2 Automatické vyhazování.....	28
3.3 TEMPERACE FOREM.....	29

4	KONSTRUKCE VÝROBKU	30
4.1	TLOUŠŤKA STĚN	30
4.2	KONSTRUKCE ŽEBER	31
4.3	ÚKOSY	32
4.4	ZAOBLNĚNÍ	33
4.5	VOLBA UMÍSTĚNÍ VTOKŮ.....	33
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	34
5	CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	35
6	POUŽITÝ SOFTWARE.....	36
6.1	CATIA V5	36
6.2	AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2023.....	36
6.3	MEUSBURGER	36
7	ANALÝZA POŽADAVKŮ NA VSTŘIKOVACÍ PROCES.....	37
7.1	ZKOUMÁNÍ SPECIFIKACÍ GEOMETRIE DÍLU.....	37
7.2	ZKOUMÁNÍ POŽADAVKŮ NA MATERIÁL	41
8	VOLBA MATERIÁLU	42
9	KONSTRUKCE FORMY NA VSTŘIKOVÁNÍ.....	43
9.1	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU	44
9.2	ZÁKLADNÍ SPECIFIKACE FORMY	45
9.3	NÁSOBNOST FORMY	45
9.4	VTOKOVÝ SYSTÉM	46
9.5	TVAROVÉ VLOŽKY	48
9.5.1	Tvárník	48
9.5.2	Tvárnice.....	49
9.5.3	Jádrová vložka.....	50
9.6	CHLAZENÍ FORMY	51
9.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	54
9.8	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY	55
9.9	MANIPULACE S FORMOU	55
9.9.1	Zabezpečení formy před otevřením během přepravy.....	56
9.10	NEPOHYBLIVÁ ČÁST FORMY	57
9.11	POHYBLIVÁ ČÁST FORMY	58
10	VOLBA STROJE PRO VSTŘIKOVÁNÍ.....	60
	ZÁVĚR	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	67

SEZNAM OBRÁZKŮ	68
SEZNAM TABULEK.....	70
SEZNAM PŘÍLOH	71

ÚVOD

Vstřikování plastů představuje klíčový proces v průmyslové výrobě, který je široce využíván napříč různými odvětvími, od automobilového průmyslu po spotřební elektroniku. Tento proces umožňuje masovou výrobu plastových dílů s různorodými tvary a funkcemi. Kvalita vstřikovaných plastových výrobků je přímo ovlivněna nejen výběrem vhodného materiálu, ale také pečlivým plánováním a provedením samotného procesu vstřikování.

V teoretické části bakalářské práce je důkladně zkoumáno téma vlastností materiálů a obecné principy vstřikování plastů. Je dbáno na správné porozumění materiálovým vlastnostem, které mají zásadní vliv na zvolení správného materiálu pro výrobek.

V teoretické části bakalářské práce je rovněž zkoumáno téma vstřikovacích strojů, vstřikovacích forem a správná konstrukce výrobku.

Cílem praktické části této bakalářské práce je provedení návrhu a konstrukce vstřikovaného plastového dílu a návrh vstřikovací formy. Následně byla součástí praktické části vytvořena výkresová dokumentace vstřikovací formy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 INOVACE V OBLASTI VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Inovace v oblasti vstřikování plastů představují zásadní prvek v moderním průmyslu. Nejenže zvyšují efektivitu výrobních procesů a snižují náklady, ale také umožňují pružnější a udržitelnější výrobu. Cílem inovací je neustálé zlepšování výrobních postupů, včetně zkracování času výroby a zvyšování kvality výsledných produktů. Díky rychlému tempu technologického pokroku se inovace v oblasti vstřikování plastů neustále vyvíjejí, což otevírá nové možnosti a výzvy pro průmyslové subjekty.

Slibná budoucnost vstřikování je poháněna novými trendy, které mají zlepšit výsledky výroby, přijmout digitalizaci a udržitelnost, a tím si udržet konkurenční výhodu na trhu. [26] [27]

1.1 Automatizace

Odvětví vstřikování plastů prochází procesem digitalizace a výrobci se adaptují na technologie IoT (internet věcí) a AI (umělé inteligence). To umožňuje provozovat výrobu na dálku, monitorovat podmínky pomocí digitálních prostředků a dostávat upozornění podle potřeby.

V moderní době dochází ke stále většímu využívání kolaborativních robotů. Tito roboti nejsou určeni k samostatnému provozu, ale spíše asistují lidským operátorům strojů a pracují s nimi. Jejich hlavní funkcí je ulehčovat operátorům opakující se úlohy, z nichž některé mohou být nebezpečné. Tato technologie tedy pomáhá snižovat rizikové faktory určitých výrobních procesů a ulehčuje technikům různé rutinní úkoly. [26]

1.2 Trendy v oblasti recyklace a udržitelnosti

Výrobci z různých zemí se snaží vyvíjet trendy pro lepší recyklaci a opětovné využití plastů během výrobního procesu. Cílem je snížit odpad a znečištění.

S rostoucím povědomím o potenciálu udržitelnosti ve vstřikování plastů začínají výrobní společnosti vyvíjet sofistikovanější strategie při navrhování výrobků a procesů výroby. Tím dochází k redukci odpadu a zvýšení efektivity.

Porozumění nákladů forem na vstřikování je pro firmy klíčové. Odhady nákladů na formy hrají zásadní roli ve fázi plánování. Díky vývoji nových softwarových nástrojů pro cenové nabídky v oblasti forem na vstřikování plastů, se proces návrhu značně zjednodušuje a umožňuje efektivnější stanovení nákladů. [26]

1.3 Micromolding

Vzhledem k tomu, že většina moderních zařízení se buď zmenšuje nebo vyžaduje drobnější součástky, roste poptávka po mikroformování plastů.

Mikroformování je vysoko specializovaný proces, používající formy z oceli nebo hliníku. Formy jsou strojově opracovávány s tolerancí v řádu mikronů, nebo dokonce submikronů.

Mikroformování se využívá pro malé vstřikované díly vážící pouhý zlomek gramu. Hlavní rozdíl mezi touto specifickou metodou a tradičními technologiemi formování spočívá ve velikosti vstříknuté dávky a přesnosti vstřikovacích strojů. Stroje pro mikroformování mohou vstřikovat zlomek gramu s vysokou přesností. Při mikroformování se také používají menší formy. [27]

1.4 Vstřikování plastů pro automobilový průmysl a medicínu

V automobilovém průmyslu je vstřikování plastů klíčové pro výrobu komponentů, které splňují přísné bezpečnostní, výkonnostní a estetické standardy. Od vnějších panelů po složité prvky palubní desky. Využívání vstřikování přispívá k efektivitě vozidel a snižuje emise, zejména při vytváření tenkostěnných komponentů.

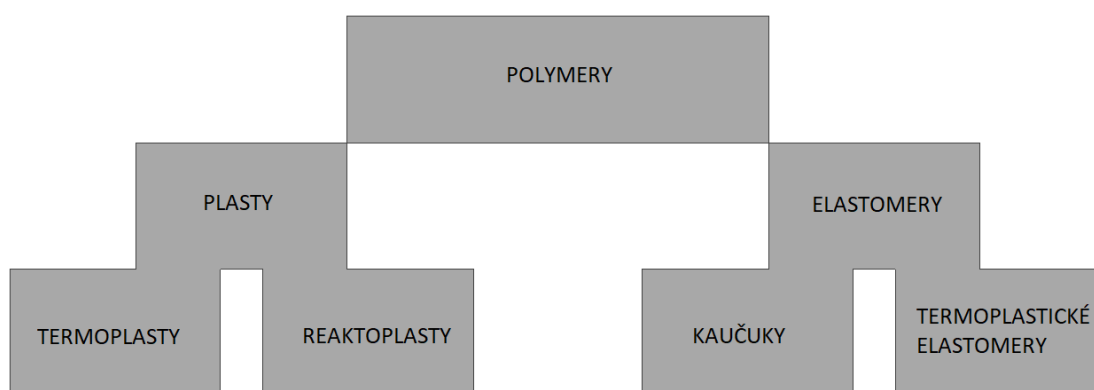
Medicínský sektor využívá vstřikování pro jeho schopnost vyrábět sterilní a precizní díly. Vstřikování plastů v čistých místnostech zajišťuje, že komponenty používané v medicínských prostorech splňují nejvyšší standardy čistoty a bezpečnosti. Společnosti specializované na vstřikování plastů do medicínského sektoru se zaměřují na výrobu všeho od chirurgických nástrojů po implantabilní zařízení. [25]

2 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování plastů je považováno za efektivní a rozsáhlou technologii pro výrobu plastových součástí, která je využívána v různých odvětvích průmyslu. Tento proces je klíčový pro vytváření plastových dílů s přesnými rozměry a komplexními tvary.

2.1 Rozdělení materiálů

Polymery mohou být klasifikovány na základě několika kritérií, přičemž hlavními kategoriemi jsou materiály označované jako plasty a elastomery.



Obrázek 1: Rozdělení polymerů

Plasty projevují deformace převážně trvalého charakteru při působení vnějšího zatížení. Obvykle jsou tvrdé a často křehké za normálních podmínek. Jsou klasifikovány podle svého chování při zahřívání do kategorií termoplastů a reaktoplastů. [2]

2.2 Termoplasty

Termoplasty jsou polymery, které mohou být převedeny z tuhého do plastického stavu pomocí zvýšení teploty, což znamená působením tepla či termické energie, a tato transformace je reverzibilní.

Klasifikace termoplastických materiálů je důležitá a významná, protože poskytuje rámec pro předběžný, ale nákladově efektivní výběr těchto materiálů pro aplikace.

S ohledem na funkční použití existuje pět hlavních kategorií:

Termoplasty pro všeobecné použití (komoditní), kvazi-komoditní termoplasty, technické termoplasty, speciální termoplasty, nové a vznikající termoplasty. [1] [3]

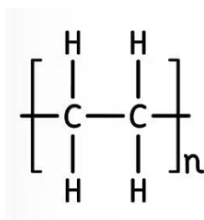
2.2.1 Komoditní nebo univerzální termoplasty

Tato skupina zahrnuje především polyethylen (PE), polypropylen (PP), polyvinylchlorid (PVC), polystyren (PS) a některé kopolymery, které jsou odvozeny od jejich monomerů. Tyto čtyři termoplasty jsou zastoupeny více než 50 % všech termoplastických materiálů. Komoditní termoplasty jsou obvykle charakterizovány průměrnými mechanickými vlastnostmi, což se projevuje jejich nízkými cenami. Vzhledem k jejich efektivním následkům na náklady jsou široce využívány ve velkém měřítku. [3]

2.2.2 Polyethylen (PE)

Polyethylen vyniká mezi plastovými materiály díky své mimořádné všestrannosti a širokému rozsahu možného využití.

Polyethylen zahrnuje homopolymer ethylenu a jeho kopolymer s obsahem komonomeru do 10 %. Charakteristické vlastnosti těchto polymerů jsou výrazně ovlivněny molekulovou hmotností, prostorovým uspořádáním merů v makromolekulárním řetězci a mírou krystalinity, přičemž tyto faktory závisí hlavně na technologii výroby samotného polyethylenu.



Obrázek 2: *Struktura polyethylenu [22]*

Tabulka 1 - Vlastnosti polyethylenu

Vlastnost	Polyethylen	
	Lineární	Rozvětvený
Hustota [kg/m ³]	do 960	do 930
Krystalinita [%]	do 93	do 64
Pevnost v tahu [MPa]	do 25	do 10
Tažnost [%]	do 1000	do 1000

Využití – Trubky na potrubí, hračky, vnější plášť na napájecí kabely, automobilové potahy sedadel

Vstřikování polyethylenů – Polyethylen ve formě granulí je během vstřikování roztavován v komoře vstřikovaného lisu při teplotě 200–300 °C. Připravený materiál je následně pod tlakem pístu vstřikován do formy, která je ohřátá na teplotu 30–60 °C. Tímto procesem jsou vyráběny různé předměty denní potřeby, jako jsou pohárky, kbelíky a podobně.

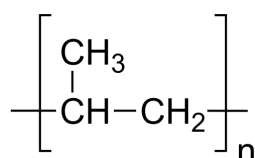
T_g – Teplota skelného přechodu: -30 °C

T_m – Teplota tání: 100 °C [1] [4] [5]

2.2.3 Polypropylen (PP)

Polypropylen, nacházející se pod zkratkou PP, je řazen do termoplastických polymerů z polyolefinové skupiny. Tento plast je široce využíván díky svým vlastnostem a často se objevuje v potravinářském, textilním a chemickém průmyslu a v neposlední řadě v laboratořích.

Mezi fundamentální atributy polypropylenu patří zcela určitě jeho bezpečnost pro zdraví. Další užitečné vlastnosti jsou odolnost vůči chemikáliím a mechanická pevnost. Navzdory nízké hmotnosti je charakterizován vysokou odolností vůči teple a nízkou hořlavostí.



Obrázek 3: Struktura polypropylenu [23]

Tabulka 2 - Vlastnosti polypropylenu

Hustota [kg/m ³]	900 až 910
Pevnost v tahu [MPa]	22 až 32
Tažnost [%]	120 až 700
Houževnatost [kJ/m ²]	10 až 15
Navlhavost [%]	0,1

Využití – Izolace elektrických kabelů, různé druhy sáčků, obalů a kelímků

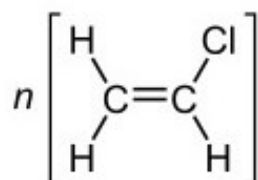
Polypropylen je také velmi dobře recyklovatelný

T_g – Teplota skelného přechodu: -15 °C

T_m – Teplota tání: 170 °C [1] [6]

2.2.4 Polyvinylchlorid (PVC)

Polyvinylchlorid je řazen mezi klíčové zástupce vinylových polymerů a představuje jeden z nejvíce vyráběných syntetických plastů, stejně jako polyethylen nebo polypropylen. Vysoká obliba polyvinylchloridu je důsledkem relativně nízkých nákladů na jeho samotnou výrobu a významných vlastností jeho polymeru.



Obrázek 4: *Struktura polyvinylchloridu [24]*

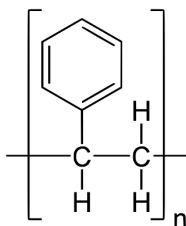
Využití – Trubky, profily, různé fólie, ochranné rukavice, kabely, hadice

T_g – Teplota skelného přechodu: 80 °C [1] [7]

2.2.5 Polystyren (PS)

Polystyren, jako jeden z historicky nejstarších syntetických polymerů, je v současné době řazen mezi nejčastěji využívané polymery spolu s polyolefiny a polyvinylchloridem. Jeho výroba může být snadno prováděna pomocí různých polymeračních technik, přičemž klíčovými metodami jsou polymerace v monomerní fázi a suspenzí polymerace.

Je vyznačován tvrdostí a křehkostí. Jedná se o vodojasný polymer s vysokým leskem, který vykazuje vynikající elektroizolační schopnosti. Při normálních podmínkách je dostatečně odolný vůči oxidaci, avšak není vhodný pro používání venku, protože pod vlivem fotooxidace může nažloutnout a stát se křehkým.

Obrázek 5: *Struktura polystyrenu [23]*

Využití – Používá se především na levné nebo jednoduché konzumní produkty, mezi které patří kelímky, hračky a různé ozdobné předměty

T_g – Teplota skelného přechodu: od 90 °C do 110 °C [1]

2.3 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou polymery, jejichž struktura je transformována z lineárního do síťového stavu prostřednictvím nevratné chemické reakce. Obvykle je uváděno, že probíhá proces vytvrzování. Tyto plasty, když jsou zahřáté nebo jim je přidán vytvrzovací prostředek, přecházejí do nerozpustného a netavitelného stavu a ztrácejí termoplastický charakter. Reaktoplasty jsou využívány v různých oblastech jako například při výrobě lisovacích hmot, vrstvených materiálů, lehkých hmot, lepidel, nátěrových hmot a prostředků pro úpravu papíru, textilu, dřeva a kůže.

Základní rozdělení reaktoplastů:

- Fenoplasty,
- animoplasty,
- epoxidové pryskyřice,
- polyesterové pryskyřice,
- silikonové pryskyřice. [1]

2.3.1 Fenoplasty

Výrazem fenoplasty se rozumí syntetické pryskyřice vytvořené z fenolu a aldehydů. Fenolformaldehydová pryskyřice, získaná polymerací fenolu a formaldehydu, byla prvním průmyslově vyráběným syntetickým polymerem. Proces polykondenzace fenolu s formaldehydem je prováděn ve vodném prostředí. Struktura výsledkového produktu je závislá na poměru obou monomerů v reakční směsi, na pH prostředí a teplotě. Při alkalickém

prostředí a nadbytku formaldehydu vznikají rezoly, což jsou nízkomolekulární produkty s vysoce reaktivními methylovými skupinami. Jejich vzájemnou reakcí vzniká produkt zvaný rezit. Produkty kondenzace vedené v kyselém prostředí s nadbytkem fenolu jsou označovány jako novolaky. [1] [12]

2.3.2 Aminoplasty

Termínem aminoplasty, nebo též aminopryskyřice, jsou označovány reakční produkty aminosloučenin, zejména močoviny, dikyandiaminu, melaminu, anilinu a jejich derivátů, s aldehydy, především formaldehydem. Tyto produkty jsou schopny pod vlivem tepla nebo katalyzátoru dále reagovat a přejít do stavu vytvrzených makromolekulárních hmot. Na rozdíl od fenoplastů jsou aminoplasty bezbarvé. Tato vlastnost je využívána při výrobě dekoračních vrstvených hmot s vysokým leskem, které jsou uplatňovány například jako obkladový materiál při výrobě nábytku nebo ve stavebnictví. Dále jsou využívány jako lisovací hmoty a prostředky pro úpravu papíru a textilních materiálů. [1] [12]

2.3.3 Epoxidové pryskyřice

Pod názvem epoxidové pryskyřice jsou skrývány pryskyřičné látky, jejichž řetězce obvykle obsahují více než jednu epoxidovou skupinu. Jejich výrazná reaktivita s mnoha sloučeninami, vedoucí k vytvrzeným makromolekulárním produktům, a vynikající vlastnosti, včetně silné adheze k většině materiálů, chemické odolnosti a minimálního smrštění během vytvrzování, byly klíčovými faktory pro rychlé rozšíření jejich využití od počátku výroby, před více než 60 lety. Epoxidové pryskyřice jsou aplikovány jako lepidla, nátěrové hmoty, zalévací a lisovací materiály, pojiva pro skelné lamináty a lékařské pryskyřice. [1]

2.4 Elastomery

Elastomery jsou materiály s vysokou pružností a nízkou tuhostí, což umožňuje jejich podstatnou deformaci za běžných podmínek pouhým působením malé síly, aniž by došlo k jejich poškození. Tato deformace je převážně reverzibilní, což znamená, že materiál se po odstranění síly vrátí do své původní podoby.

Elastomery nabízejí inženýrům příznivé mechanické vlastnosti. Věda o polymerech dokonce umožňuje specifický návrh vynikajících vlastností pomocí směsí různých elastomerových sloučenin nebo přidáním různých typů plniv. [2] [13]

2.4.1 Molekulární pozadí elastomerů

Mikrostruktura elastomerů může fyzikálně vysvětlit jejich materiálové vlastnosti na makroskopické úrovni. Elastomery jsou charakterizovány jak geometrickým, tak fyzikálně silně nelineárním mechanickým chováním při zatížení. Experimenty na elastomerech odhalují, že hlavními rysy elastomerů jsou:

- Nelineární konečná elasticita,
- stresové změkčování,
- rychlostně závislá neelasticita,
- rychlostně nezávislá neelasticita. [13]

2.5 Volba materiálu při návrhu součásti

Volba materiálu je klíčovým rozhodnutím, které ovlivňuje výsledné vlastnosti, funkčnost a náklady na výrobu dané části. Zvolený materiál musí být schopen splnit požadavky aplikace a specifické požadavky vstřikovacího procesu.

Je nutno zohlednit širokou škálu faktorů, které mají nezbytný vliv na naplnění specifikovaných požadavků a na volbu vhodného materiálu pro výrobu vstřikované části. Při plánování jsou tedy zohledňovány například finanční aspekty, do kterých spadá cena materiálu a různé systémové náklady. Dále konstruktéři počítají s rozměrovými parametry, mechanickými vlastnostmi atd. [7][8]

2.5.1 Stárnutí polymerů

V důsledku dlouhodobé expozice vnějšímu prostředí může docházet k transformaci vlastností polymerů, což je projevováno jejich stárnutím neboli korozí.

Koroze představuje poškození nebo postupné zhoršování plastových materiálů. V porovnání s kovovými materiály nejsou plasty ovlivněny elektrochemickými faktory.

Proměny v polymerech, vyvolané působením povětrnostních podmínek, jsou často projevovány jako počáteční změny barvy, ztráta lesku nebo průhlednosti a povrchové praskání materiálu, často doprovázené zhoršením mechanických vlastností.

Klíčovými faktory, přispívajícími k procesům stárnutí polymerů, jsou: expozice světlu, kyslíku, ozónu, vodě, teplotě, atmosférickým nečistotám a také působení mikroorganismů.

Stárnutí polymerů je primárně ovlivňováno slunečním zářením, zejména ultrafialovým zářením, které je součástí slunečního světla. Obvykle jsou vazby mezi atomy v řetězci makromolekuly narušovány ultrafialovými paprsky, což vede k rozpadu makromolekuly na menší části, které snadno reagují s okolním kyslíkem. Tento proces je známý pod pojmem fotooxidace.

Odolnost vůči UV záření vykazuje pouze omezené procento polymerů. [8] [9]

		PC/ABS	
		PPO	
		PET	
		PBT	
		PC	
	LCP	PA-12	POM
	PEI	PA-11	ABS
	PEEK	PA-6	PA-46
	PPS	PP	PA-66
PI			
excelentní	dobrá	nízká	špatná

Obrázek 6: Odolnost plastů vůči UV záření [9]

2.5.2 Optimalizace životnosti plastů

I přes nezvratnost procesu stárnutí a jeho nevyhnutelnost, existují strategie ke zpomalení degradace plastů a prodloužení výdrže.

Jedním z předních opatření je zlepšení pevnosti a tepelné odolnosti plastů pomocí plniv, přičemž organická plniva mohou zahrnovat materiály jako dřevěný prášek, zatímco organická plniva mohou zahrnovat skelnou vatu nebo azbest.

Dalšími aditivami pro zpomalení stárnutí jsou: změkčovadla, stabilizátory, antioxidanty, zpomalovače hoření, barviva a antistatická činidla.

V neposlední řadě lze proces ztráty kvality plastů účinně zpomalit prostřednictvím operace známé jako galvanické pokovování, které představuje standardní metodu úpravy povrchu plastových materiálů. Tímto procesem vznikají kompozitní struktury plast-kov, které vykazují zvýšené užitné i estetické vlastnosti. Tyto struktury mohou lépe odolávat tepelnému

působení. Kromě toho, kovový povlak poskytne ochranu plastů proti stárnutí způsobenému UV zářením a dalším fyzikálním nebo chemickým vlivům. [10] [11]

2.6 Vstříkovací stroj

Pomocí vstříkovacích strojů je možno zpracovávat plasty i kaučukové směsi.

Lis, jako klíčový prvek ve výrobním procesu, může být uspořádán různými způsoby. Od něj se vyžaduje, aby prostřednictvím kvalitních parametrů a precizního řízení zajistil výrobu výstřiků vysokých kvalit. V současné době existuje široká škála různých konstrukcí lisů, které se liší v provedení, úrovni řízení, stabilitou a reprodukovatelností jednotlivých parametrů, rychlostí výroby, obsluhou a cenou. Charakteristiky konstrukce lisu jsou definovány podle:

- Vstříkovací jednotky,
- uzavírací jednotky,
- ovládání a řízení stroje. [14] [15]

2.6.1 Vstříkovací jednotka

Připravuje a přepraví potřebné množství roztaveného plastu do formy. Vstříkovací jednotka funguje tak, že zpracovávaný plast z násypky je přepravován pohybem šneku do tavného válce. Plast je následně šnekem posouván přes vstupní, přechodové a výstupní pásmo. Během tohoto procesu je postupně vstříkovací jednotkou plastikován, homogenizován a hromadí se před šnekem, přičemž současně je tlačěn do zadní polohy. [14]

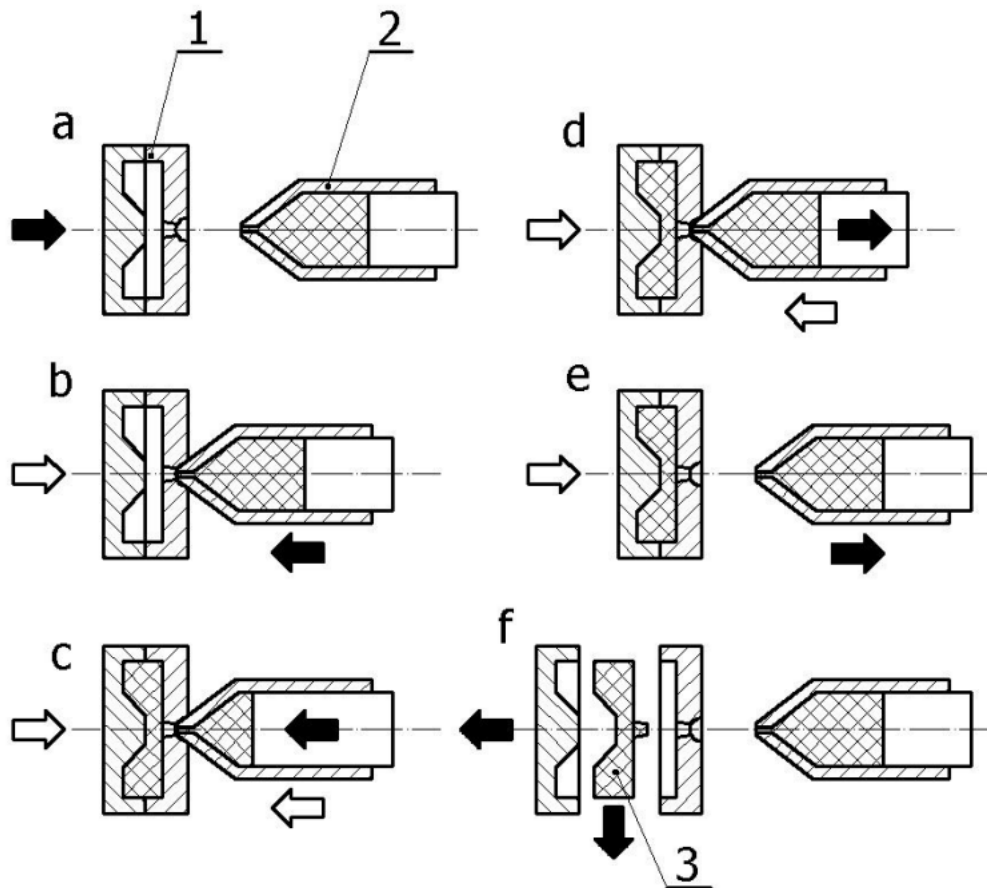
2.6.2 Uzavírací jednotka

Forma je řízena a její kompletní uzavření, otevření a potřebné vyprázdnění jsou zajišťovány uzavírací jednotkou. Charakteristický uzavírací mechanismus je využíván jako indikátor kvality uzavírací jednotky a může být realizován v různých variantách, například hydraulické nebo hydraulicko-mechanické jednotky. [14]

2.7 Vstříkovací cyklus

Vstříkovací proces je prováděn pomocí vstříkovacího stroje. Nejprve je uzavřena vstříkovací forma, přičemž vstříkovací jednotka zůstává ve výchozí poloze. Vstříkovací jednotka je následně posunuta a připojena k uzavřené formě. Po připojení začíná proces vstříkování taveniny, která naplní dutinu formy; jakmile je dutina plně naplněna taveninou, začíná

tuhnout. Postupné dokončování formy probíhá s postupným tuhnutím taveniny bez působení tlaku. Poté následuje odtažení vstřikovací jednotky zpět do výchozí polohy. Po úplném ztuhnutí taveniny následuje otevření formy a vyjmutí hotového výrobku. Předtím, než tavenina vstoupí do formy, je nutná příprava, která zahrnuje temperaci, vložení zálisků, závitových jader a podobně.

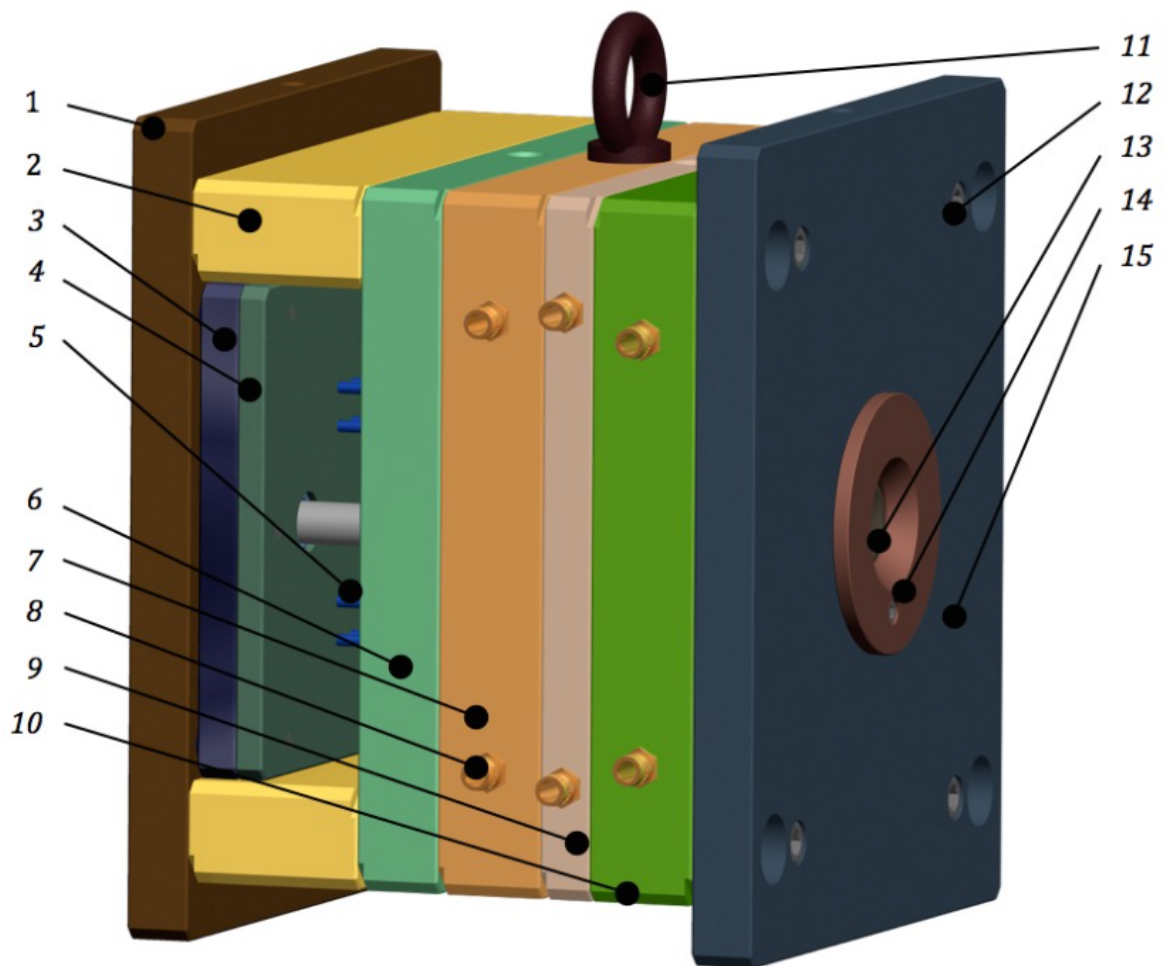


Obrázek 7: Vstřikovací cyklus [15]

Temperace formy se odvíjí od mnoha faktorů, mezi které se řadí například typ používaného polymeru. Dále pak rozměry a tvar daného výrobku. [14] [15]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Kompletní naplnění formy roztaveným polymerem a účinný odvod tepla jsou zajišťovány vstřikovací formou, která je zodpovědná za splnění mnoha požadavků spojených s procesem vstřikování termoplastů. Hlavním úkolem formy je přenášet roztavený polymer do formovací dutiny a zajišťovat její kompletní naplnění. Tvar výsledného výrobku je odvozen od tvaru dutiny formy. Vedle toho má vstřikovací forma druhotnou funkci efektivního odvodu tepla, který vzniká vlivem roztaveného polymeru. Současně musí být zajištěno bezpečné, rychlé a opakované vyjmutí výrobku v krátkých časových intervalech. [16]



Obrázek 8: Uzavřená dvoudesková vstřikovací forma [16]

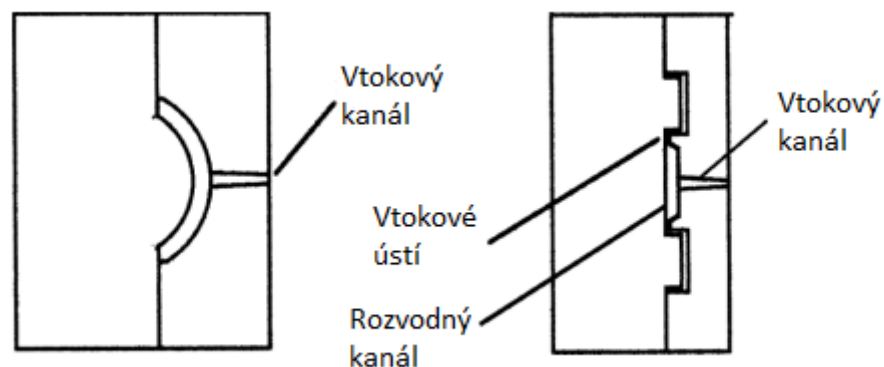
1 – upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2 – rozpěra, 3 – hlavní vyhazovací deska, 4 – přidržovací vyhazovací deska, 5 – vyhazovač, 6 – podpěrná deska, 7 – „B“ deska, 8 – přípojka chlazení, 9 – „C“ deska, 10 – „A“ deska, 11 – manipulační oko, 12 – hlavní montážní šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek pevné části vstřikovací formy, 15 – upínací deska pevné části vstřikovací formy

Vstřikovací forma představuje trvalý nástroj, což znamená, že je-li správně navržena, konstruována a udržována, má velice dlouhou životnost. Tento koncept se odlišuje od jednorázových forem, jako jsou například formy pro odlévání do písku v kovových slévárnách, které jsou použity pouze jednou. Vstřikovací forma může být opakovaně využívána k výrobě výrobků z plastu různých tvarů, což umožňuje téměř neomezenou variabilitu. Klíčovou vlastností je také to, že výrobek lze vyjmout bez poškození formy po vytvarování, což se liší od postupu při odlévání do písku, kde je forma obvykle zničena při odstraňování výrobku. [17]

3.1 Vtokové systémy

Pro dosažení naplnění vstřikovací formy plastem v kapalném stavu je nutné zajistit možnost přivedení plastu do těchto dutinových prostor. Tento proces je prováděn s dostatečným tlakem tak, aby byly dutinové prostory plně naplněny předtím, než se plast v procesu vstřikování ochladí natolik, že již nemůže proudit. Vtokový systém je složen z následujících částí:

- Vtokový kanál (Spure)
- Rozvodný kanál (Runner)
- Vtokové ústí (Gate) [17]



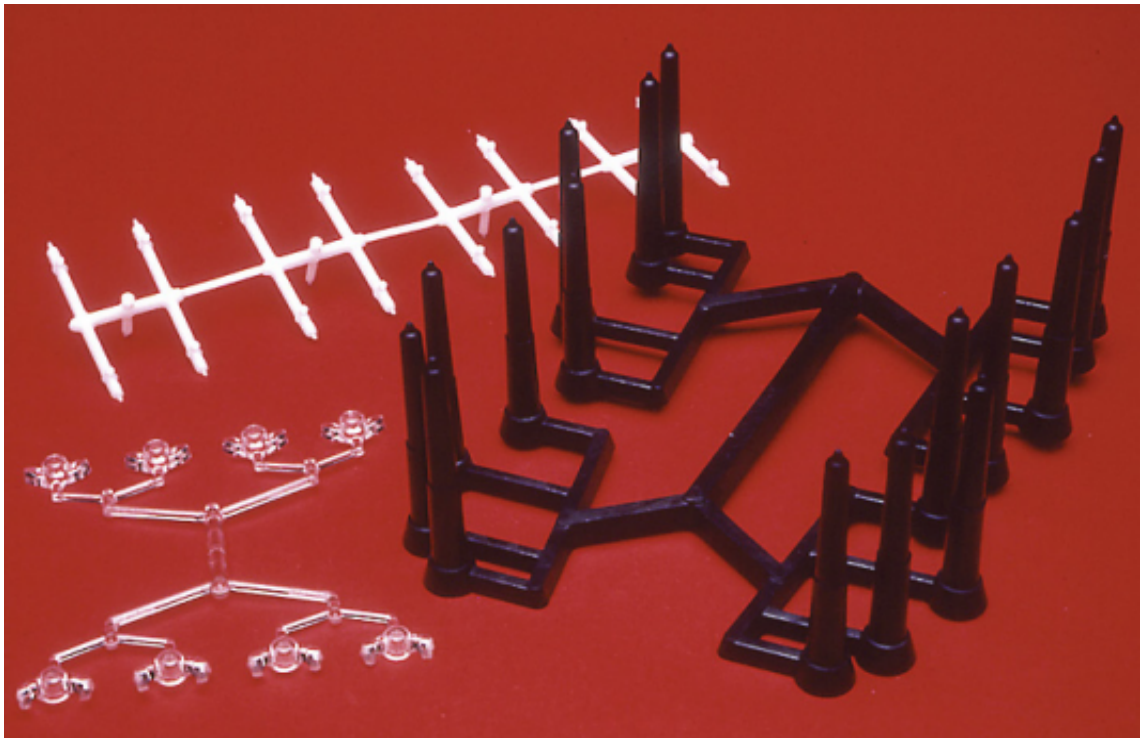
Obrázek 9: Schéma formy [17]

3.1.1 Studený vtokový systém

Studený vtokový systém odkazuje na formu, ve které je rozvodný kanál během každého formačního cyklu chlazen, zatvrzen a vypuzen společně s formovanými díly. Přibližně 70 % forem v současné době představují formy se studeným vtokovým systémem.

System obvykle zahrnuje vtokový kanál, rozvodný kanál a alespoň jedno vtokové ústí. Formy, které nejsou vícenásobné, mohou mít pouze vtokový kanál.

Formy se studeným vtokovým systémem jsou zdaleka nejjednodušší a nejběžnější. Jsou levnější na konstrukci a jednodušší na provoz a údržbu než formy s horkým vtokovým systémem. [17] [19]



Obrázek 10: Výsledek po vstřikování ve formě se studeným vtokovým systémem [17]

3.1.2 Vtokový kanál

Rozpuštěný materiál je přenášen vtokovým kanálem z trysky vstřikovacího stroje buď do rozvodného kanálu, nebo přímo do dutiny tvořící díl. U formy s jednou dutinou bývá dutina obvykle umístěna uprostřed formy, kde materiál může být přenesen vtokovým kanálem přímo do středu dutiny. Ve formě s více dutinami vtokový kanál přenáší materiál do rozvodného kanálu, který následně rozvádí materiál do dutin tvořících výrobky. [19]

3.1.3 Vyhřívání vtokový systém

Vyhřívání vtokový systém se stává stále oblíbenější volbou pro rozvodné systémy. V dnešní době jsou používány téměř v každém segmentu trhu. V případech, kdy je potřeba vyrobit více než 50 000 nebo 100 000 dílů za rok, lze tuto variantu snadno odůvodnit.

Jednou z výrazných výhod je eliminace potřeby pracovat s nepotřebným rozvodným kanálem.

Další výhody:

- Kratší doba cyklu,
- konstantní teplota taveniny,
- zlepšená automatizace,
- čistší pracovní prostředí,
- nižší vstřikovací tlak.

Nevýhody:

- Požadavek na operátory, procesní techniky nebo procesní inženýry,
- vysoké náklady na údržbu,
- omezená flexibilita při změně plastových materiálů. [17] [19]

3.2 Vyhazovací systémy

Vyhazování výrobků je důležitým požadavkem každé formy a často je považováno za jeden z nejnáročnějších aspektů návrhu formy. Složitost jakéhokoli systému pro vyhazování z formy závisí na požadované produktivitě a požadované kvalitě. S cílem snížit čas cyklu by měly být výrobky vyjmuty z formy co nejdříve. Určité metody vysunutí umožňují dřívější vysunutí, jiné jsou závislé na tuhosti plastu. Například metoda stripping umožňuje vyhození horkých (měkčích) výrobků bez jejich poškození, zatímco vyhození pomocí otáčení nebo vyhození pomocí čepů vyžaduje, aby byly kusy pevnější.

Obvykle jsou výrobky vyhazovány jednou z následujících metod:

- Vysunovací čepy, vysunovací čepele a pouzdra,
- stírací deska, kroužek nebo tyče,
- pneumatické vyhození,
- speciální mechanismy pro vyhození,
- kombinace výše uvedených metod.

Podle typu automatizace vyhazování je možno rozdělit formy na formy s:

- Manuálním nebo poloautomatickým vyhazováním,
- automatickým vyhazováním. [17]

3.2.1 Manuální nebo poloautomatické vyhazování

Některé formy jsou navrženy pro manuální nebo poloautomatické vysunutí. To vyžaduje, aby operátor stál vedle stroje a po každém cyklu odebral výrobky z oblasti formování a spustil další formovací cyklus. Některé formy nižší kvality, které nejsou správně navrženy nebo mají nespolehlivé systémy vstřikování a vyhození, vyžadují, aby operátor dosáhl do formovací oblasti a uvolnil zaseknutý výrobek, a občas i mazal povrchy formování speciálními prostředky. Tyto komplikace nejsou pouze náročné na pracovní sílu, což výrazně zvyšuje náklady na výrobu, ale jsou také velmi nebezpečné a příčinou mnoha vážných zranění.

Z tohoto důvodu může být vynaloženo mnoho úsilí na eliminaci operátorů ze samotného procesu formování. Vzhledem k uvedeným komplikacím je proto ekonomičtější a efektivnější postavit formu, která automaticky a spolehlivě vyhazuje díly a pokračuje v cyklování bez zásahu operátora při každém cyklu. [17]

3.2.2 Automatické vyhazování

Formy navrženy pro automatické vyhazování mají mnoho výhod. Těmi nejdůležitějšími výhodami jsou:

- Konstantní doba cyklu,
- konstantní kvalita výrobku,
- zlepšená bezpečnost,
- snížení doby cyklu,
- omezení poruch.

V oblasti automatického vyhazování se využívají dvě odlišné metody:

- Volný pád – při volném pádu produkty padají volně do krabice nebo na dopravní pás.
- Řízené odstranění – pro řízené odstranění jsou produkty odebrány z oblasti formování za pomoci robota nebo speciálního mechanismu. [17]

3.3 Temperace forem

Úkolem temperace je přivést formu na potřebnou teplotu pomocí cirkulace kapalného média a automaticky udržovat konstantní teplotu prostřednictvím ohřevu a chlazení. Tato funkce umožňuje efektivní řízení teploty v procesu formování a zvyšuje přesnost výsledných výrobků.

Volba, návrh a dimenzování temperačního systému vstřikovací formy a technologické podmínky temperace mají výrazný dopad na konečné fyzikálně-mechanické vlastnosti výstřiků, jejich kvalitativní parametry, dobu trvání výrobního cyklu a energetickou spotřebu potřebnou k temperaci.

Při navrhování formy by konstruktér měl mít na zřeteli, že umístění temperačního systému do formy je nezbytné již při zvážení násobnosti formy a formování dílu, spolu s distribucí polymerní taveniny do jednotlivých tvarových dutin formy.

Standardem by mělo být rozčlenění temperace do samostatných okruhů, přičemž v případě forem s horkými tryskami by měl být každý okruh umístěn přímo u ústí každé horké trysky.

[8] [18]

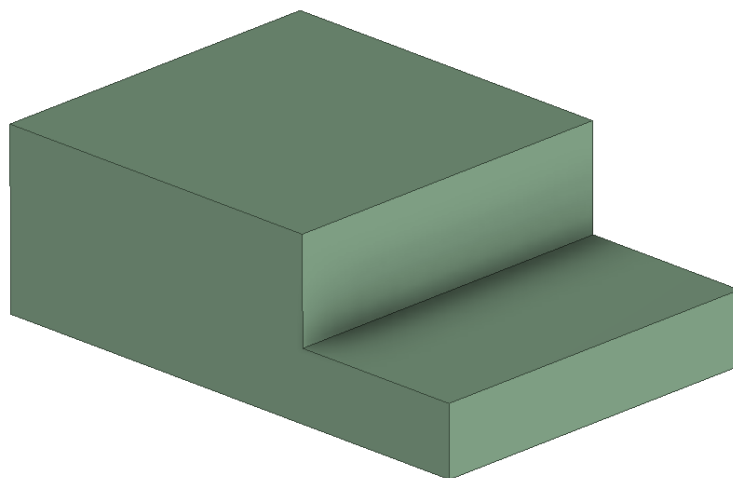
4 KONSTRUKCE VÝROBKU

Před zahájením konstrukce výrobků je nezbytné pečlivě zvážit všechny faktory, které úzce souvisí a ovlivňují proces vstřikování nebo proces tuhnutí.

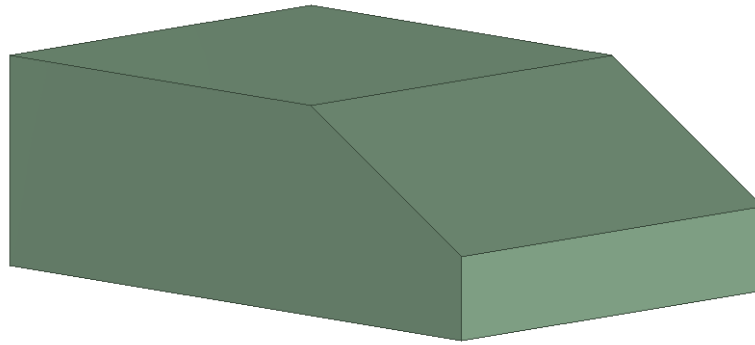
Pokud jde o přesnost tvaru a rozměrů, klíčovým prvkem při navrhování vstřikování je správné navržení tloušťky stěn a vhodný způsob žebrování. [8]

4.1 Tloušťka stěn

Tloušťka stěny má významný vliv na klíčové vlastnosti plastového výrobku, jako jsou mechanická odolnost, estetický dojem, celkový vzhled, zpracovatelnost a ekonomika. Optimální tloušťka stěny zpravidla vyžaduje vyvážený kompromis mezi protichůdnými požadavky, například pevnost versus hmotnost nebo trvanlivost versus náklady. Správná volba tloušťky stěny je klíčová pro minimalizaci potenciálních nákladných úprav vstřikovací formy a pomáhá předejít komplikacím při výrobě. Důležité je udržet konzistentní tloušťku stěn po celém výrobku. Požadavek na stejnou tloušťku stěn vychází z poznání, že s rostoucí tloušťkou stěny se zvyšuje smrštění v daném místě. Nesoulad v tloušťce může způsobit problémy jako vnitřní vzduchové kapsy, nerovnoměrný povrch, nepředvídatelné smrštění a prodloužení výrobního cyklu. Pokud je nezbytné změnit tloušťku, měla by být provedena plynule, aby se minimalizovalo vnitřní napětí, které může způsobit rozpad výrobku během testování nebo vstřikování plastu, což by zvýšilo náklady na úpravu formy. [8] [20] [21]



Obrázek 11: Chybné provedení návrhu změny tloušťky



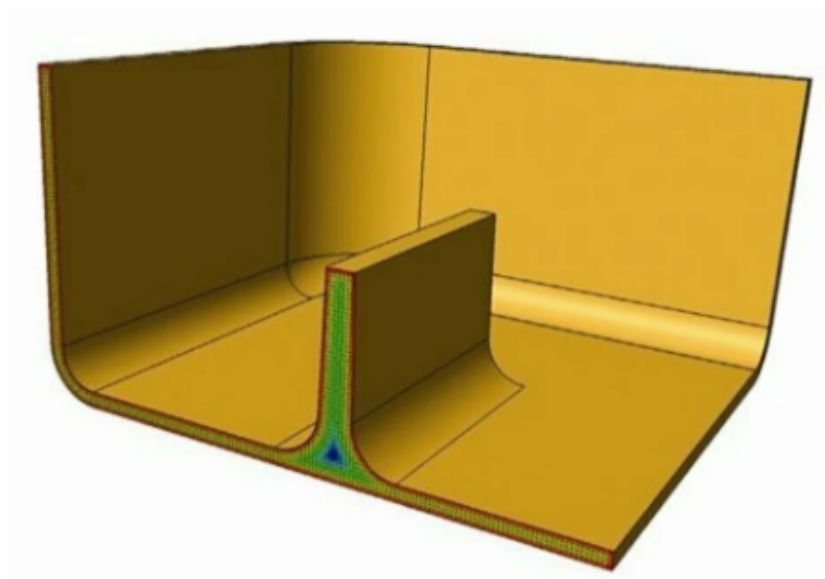
Obrázek 12: Správné provedení návrhu změny tloušťky

4.2 Konstrukce žeber

Žebra poskytují možnost zvýšit pevnost a tuhost vstříkovaného dílu bez potřeby zvyšování celkové tloušťky stěn.

Určení správných rozměrů žebra je ovlivněno následujícími faktory:

- Tloušťka – Která by měla být v rozmezí 60–80 % tloušťky stěny.
- Výška – Nevyšší výška žebra by neměla přesáhnout trojnásobek tloušťky stěny.
- Umístění – Dvojnásobek nominální tloušťky stěny by měl být dodržen jako minimální odstup mezi žebry.
- Četnost – Zvýšením počtem žeber dosáhneme zvýšení pevnosti.
- Vyrobitelnost. [20] [21]



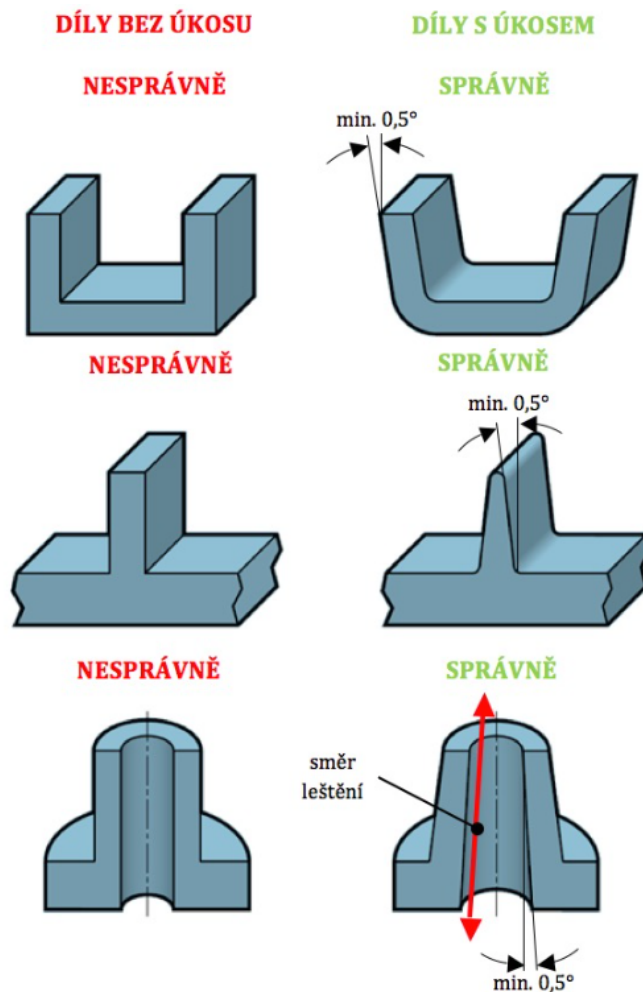
Obrázek 13: Žebrování [21]

4.3 Úkosy

Hlavní podstatou úkosů u vstřikovaného dílu je zlepšení jeho odformovatelnosti.

Přesné pravidlo pro volbu úkosu podle konkrétního modelu neexistuje, avšak existuje několik faktorů ovlivňujících optimální hodnotu. V obecnosti platí, že pro tenkostěnné díly s vysokým tlakem vstřikování je vhodné zvolit větší úkos, protože materiál je do dutiny více vtlačován. Díly vstřikované pod nižším tlakem mohou mít menší úkos.

Pro hladké povrchy se doporučuje minimální úkosový úhel $0,5^\circ$ na každé stěně, zatímco úhel 1° umožňuje snazší vyjmutí vylisku ze většiny povrchů. Při práci se strukturovanými povrchy je přístup odlišný, protože nestandardní povrch může při nedostatečném úkosu táhnout a drhnout. Doporučuje se přidat k standardnímu úkosu nejméně $1,5^\circ$ na každých $0,025$ mm hloubky nerovnosti povrchu. [20] [21]



Obrázek 14: Základní doporučení pro konstrukci úkosů na vstřikovaném plastovém dílu [20]

4.4 Zaoblení

Mnoho plastových výlisků je postiženo problémy způsobenými ostrými rohy a nedostatečnými poloměry zaoblení. Výskyt ostrých hran vytváří lokální vnitřní napětí, což může vést k prasknutí a předčasnému rozpadu plastového dílu.

Přidání zaoblení na všechny ostré rohy nejenže redukuje vnitřní napětí a zvyšuje pevnost, ale také zlepšuje tok materiálu. Minimální poloměr zaoblení stěny by měl být přibližně 0,25krát tloušťka stěny. [8] [21]

4.5 Volba umístění vtoků

Rozmístění vtoků má zásadní vliv na chování tekoucího materiálu, vytváření studených spojů, smrštění, zvlnění a kvalitu povrchu lisovaného dílu.

Často je preferováno umístění vtoků do nejtlustší části dílu, aby se předešlo propadům povrchu způsobeným nedostatečným stlačením materiálu.

Studené spoje jsou vytvářeny tam, kde se setkávají dva toky materiálu, vytvářejíce relativně slabé a potenciálně studené spoje, které jsou náchylné k praskání pod zatížením. Komplexní tvary často obsahují tento typ spojů, a pokud není možné minimalizovat jejich počet, měly by být přemístěny do méně kritických oblastí dílu. To lze obvykle dosáhnout úpravou umístění vtoků nebo změnou tloušťky stěn dílu. [21]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

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

V teoretické části bakalářské práce bylo podrobně rozebráno téma vlastností materiálů a obecné principy vstřikování plastů. Důraz byl kladen na pochopení materiálových charakteristik, které mají zásadní vliv na výsledné vlastnosti vstřikovaných plastových dílů. Dále byla provedena analýza procesu vstřikování plastů, zahrnující jeho základní principy, používané technologie a faktory ovlivňující kvalitu výrobků.

Cílem praktické části této bakalářské práce bylo provést návrh a konstrukci vstřikovaného plastového dílu. Prvním krokem bylo vytvoření 3D modelu daného dílu ve zvoleném softwaru CATIA V5, ve kterém je zahrnováno navržení jeho geometrie a struktury s ohledem na požadované funkční vlastnosti. Následně byla provedena konstrukce vstřikovací formy pro tento díl. Tato fáze zahrnuje plánování a design vstřikovací formy v souladu s požadavky pro optimální výrobu a kvalitu vstřikovaných dílů. Nakonec byl vypracován 2D řez vstřikovací formou zahrnující potřebné pohledy a kusovník. Celý proces návrhu a konstrukce byl prováděn s využitím katalogu Meusburger.

6 POUŽITÝ SOFTWARE

6.1 CATIA V5

CATIA je široce používaný software, vyvinutý francouzskou firmou Dassault Systèmes, který je průmyslovým standardem v různých odvětvích, včetně automobilového, leteckého a mnoho dalších. Mnoho firem volí tento software pro návrh a vývoj svých výrobků.

Zvolení softwaru CATIA V5 pro návrh dílu a formy na vstřikování přináší několik klíčových výhod, které napomáhají efektivitě v procesu navrhování. Jednou z hlavních předností softwaru je, že umožňuje uživatelům vytvářet komplexní modely a složité geometrie. CATIA V5 nabízí možnosti pro simulaci a analýzu, které umožňují návrhářům ověřit funkčnost a proveditelnost dílů. Tyto výhody dokážou ušetřit velkou spoustu času.

6.2 Autodesk Inventor Professional 2023

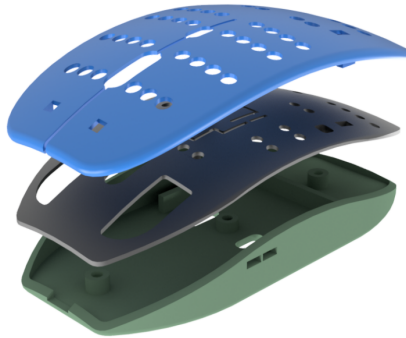
Při práci bylo také využíváno softwaru Autodesk Inventor. Tento software umožňuje profesionální návrhy strojírenských výrobků, nástrojů a komponentů, jejich dokumentaci, simulaci a mnoho dalších funkcí.

6.3 Meusburger

Meusburger je společnost, která je specializována na výrobu vysoce přesných standardizovaných komponentů. Její produkty jsou využívány po celém světě díky dlouholetým zkušenostem v oblasti zpracování oceli. Její sortiment zahrnuje širokou škálu produktů.

Meusburger má svůj katalog. Jedná se o platformu, která poskytuje výběr normálií pro konstrukci různých typů forem. Katalog společnosti Meusburger umožňuje uživatelům vygenerovat a sestavit vybrané normalizované prvky formy do jednoho modelu. Tento model lze následně snadno exportovat do softwaru CATIA, kde mohou uživatelé pracovat s prvky dále podle svých potřeb.

7 ANALÝZA POŽADAVKŮ NA VSTŘIKOVACÍ PROCES



Obrázek 15: Sestava vstřikovaných dílů

7.1 Zkoumání specifikací geometrie dílu

Vstřikovanými díly jsou části ochranného plastového krytu počítačové myši. Sestava se skládá ze tří částí. Díly představují tenkostěnné součásti zkonstruované ke snadné montáži.

Horní část:

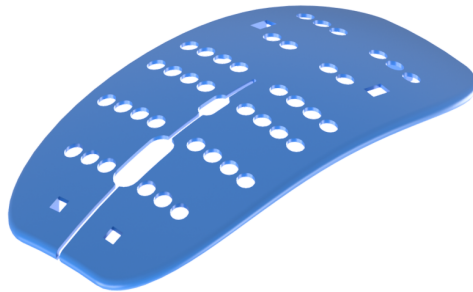
Jedná se o tenkostěnný díl s otvory pro chlazení. Vespod se nachází zobáčky a prvky pro následnou montáž.

Prostřední část:

Tento díl slouží jako hlavní propoj mezi horní a spodní částí. Obsahuje otvory pro chlazení ale také pro jednoduché zacvaknutí horní části.

Spodní část:

Spodní část je díl, sloužící k pohybu počítačové myši po stole. Obsahuje výstupky a otvory pro sešroubování k prostřední části. Díl má prvky, které zajistí tištěný obvodový nosič myši proti pohybu a také obsahuje otvory pro boční tlačítka a optický snímač.



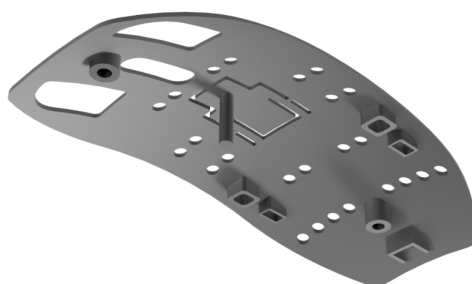
Obrázek 16: *Horní část (pohled č.1)*



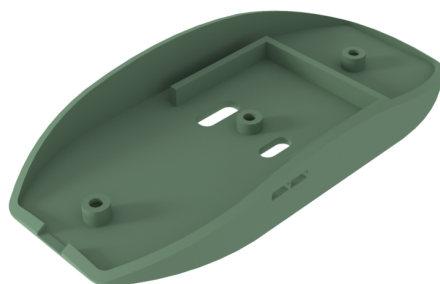
Obrázek 17: *Horní část (pohled č.2)*



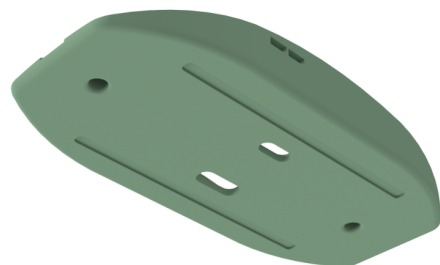
Obrázek 18: *Prostřední část (pohled č.1)*



Obrázek 19: *Prostřední část (pohled č.2)*



Obrázek 20: *Spodní část (pohled č.1)*



Obrázek 21: *Spodní část (pohled č.2)*

7.2 Zkoumání požadavků na materiál

Pro výrobu plastového krytu na počítačovou myš musí materiál splňovat určité požadavky, aby zajistil optimální funkčnost a životnost.

Mezi klíčové požadavky na materiál se řadí:

- Pevnost a odolnost proti nárazům – materiál musí být dostatečně pevný a odolný.
- Ergonomie – materiál by měl umožnit výrobu krytů s ergonomickým designem.
- Odolnost proti opotřebení a poškrábání.
- Chemická a tepelná odolnost.
- Estetická flexibilita – vstříkovaný materiál by měl být snadno barvitelný a měl by umožnit různé povrchové úpravy.

8 VOLBA MATERIÁLU

Pro herní myš byl zvolen specifický typ ABS plastu ABS/R KC99 z několika důvodů. Tento materiál byl vybrán kvůli svým vlastnostem, které jsou vhodné pro požadovanou aplikaci. Jeho pevnost a odolnost vůči nárazům zaručují dlouhou životnost a spolehlivost krytu myši. Díky své tvárnosti je možné vytvořit složité tvary, které odpovídají ergonomickým požadavkům uživatelů. Tato volba materiálu rovněž umožňuje snadné upravování designu a přizpůsobení estetickým preferencím.

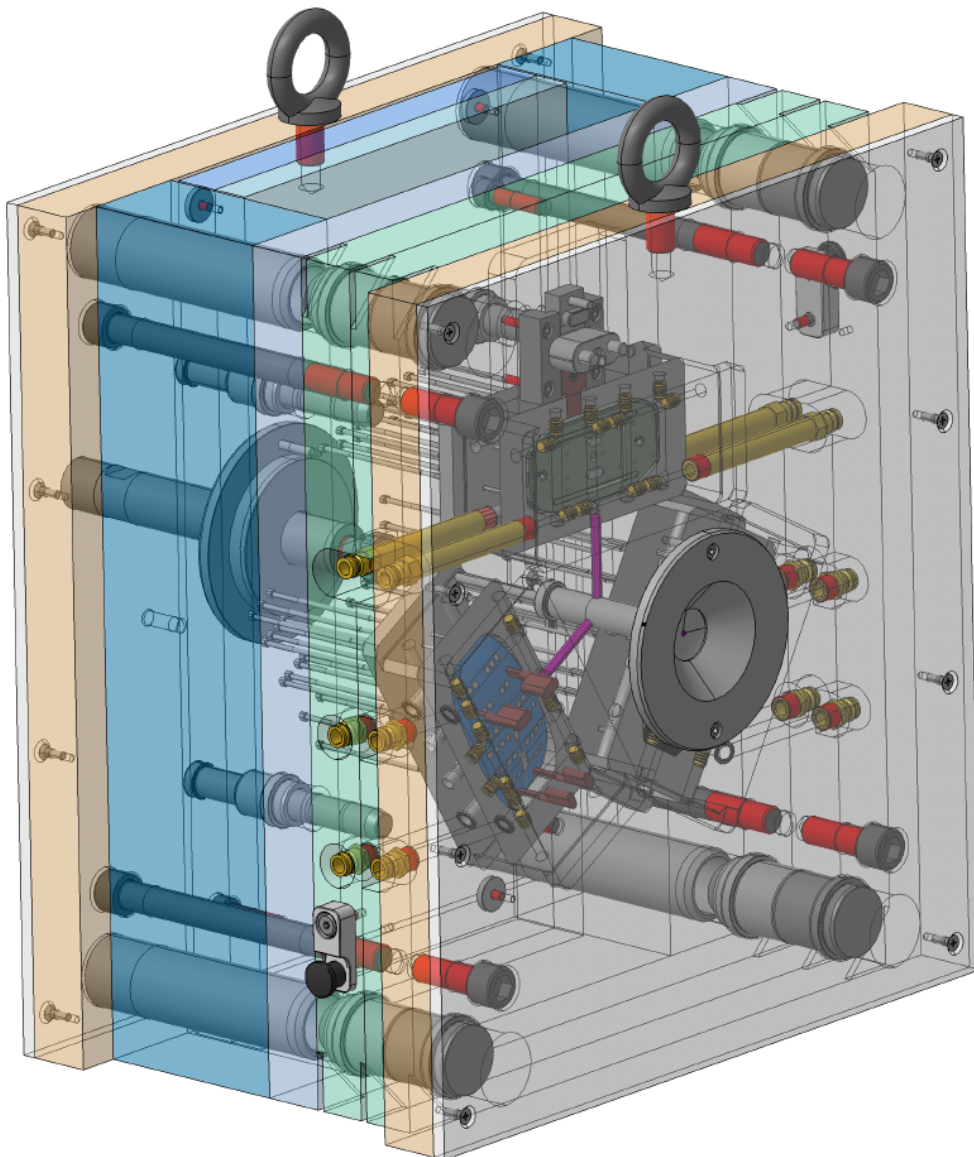
Tabulka 3 – Vlastnosti materiálu ABS

Typ materiálu	ABS / Akrylonitril-Butadien-Styren	
Obchodní pojmenování	ABS/R KC99	
Výrobce	RENOplastic	
Index toku taveniny	17-22	g / 10 min
Hustota	1,05	g / cm ³
Pevnost v tahu	36	MPa
Tažnost	15	%
Modul pružnosti	2100	MPa
Vrubová houževnatost Charpy 23°C	18	kJ / m ²

9 KONSTRUKCE FORMY NA VSTŘIKOVÁNÍ

Při konstrukci formy byla zvláštní pozornost věnována zvolení správného tvaru konstrukce formy. Tento krok byl zásadní, neboť správně navržený tvar mohl minimalizovat deformace materiálu a výrazně zlepšit celkovou kvalitu výsledného výrobku.

Forma byla také navržena s ohledem na snadné odstranění hotového vylisku. Byl zde kladen důraz na design, který umožňuje efektivní a bezproblémové odstranění vylisku po dokončení procesu vstřikování.

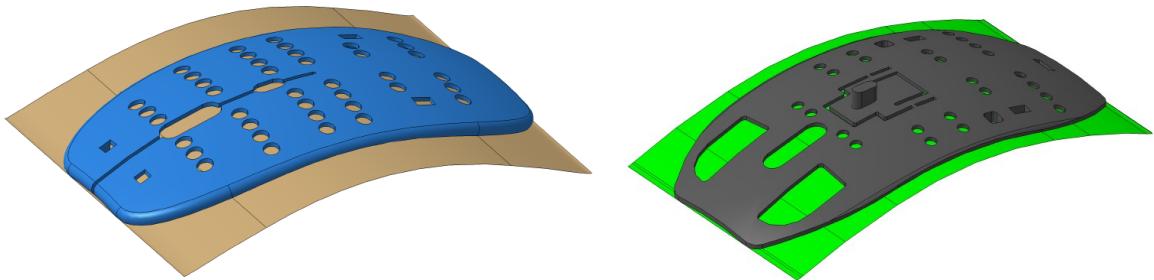


Obrázek 22: 3D model formy pro vstřikování

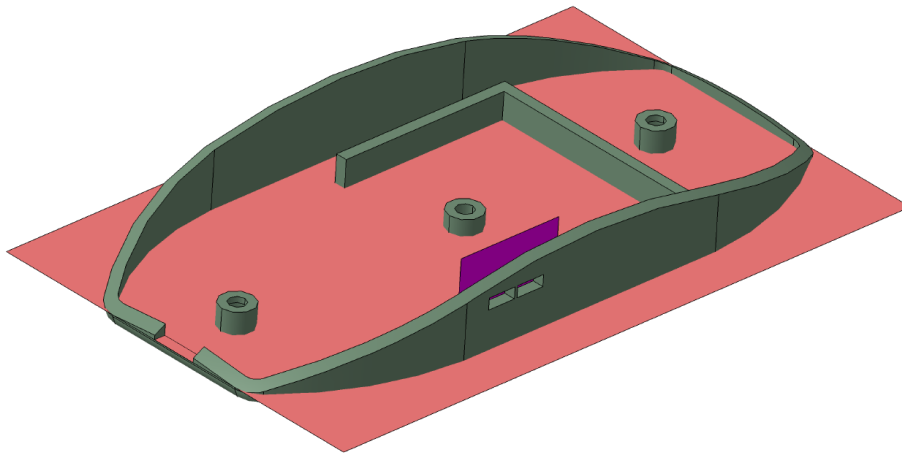
9.1 Zaformování výrobku

Hlavní dělicí rovina byla navržena tak, aby byla vhodně umístěna pro všechny tři dutiny formy. Bylo důležité zajistit, aby tato rovina umožňovala snadné odformování vylisků.

Vedlejší rovina byla zvolena pro odformování jednoho ze tří dílů v místě určeném pro boční tlačítka myši. Tato rozhodnutí byla provedena s ohledem na minimální riziko poškození výrobku a optimalizaci procesu vstřikování.



Obrázek 23 - Hlavní dělicí rovina



Obrázek 24 – Hlavní a vedlejší dělicí rovina

9.2 Základní specifikace formy

Během konstrukce formy bylo využito normalizovaných dílů od firmy Meusburger, což umožnilo dosažení efektivní a spolehlivé konstrukce.

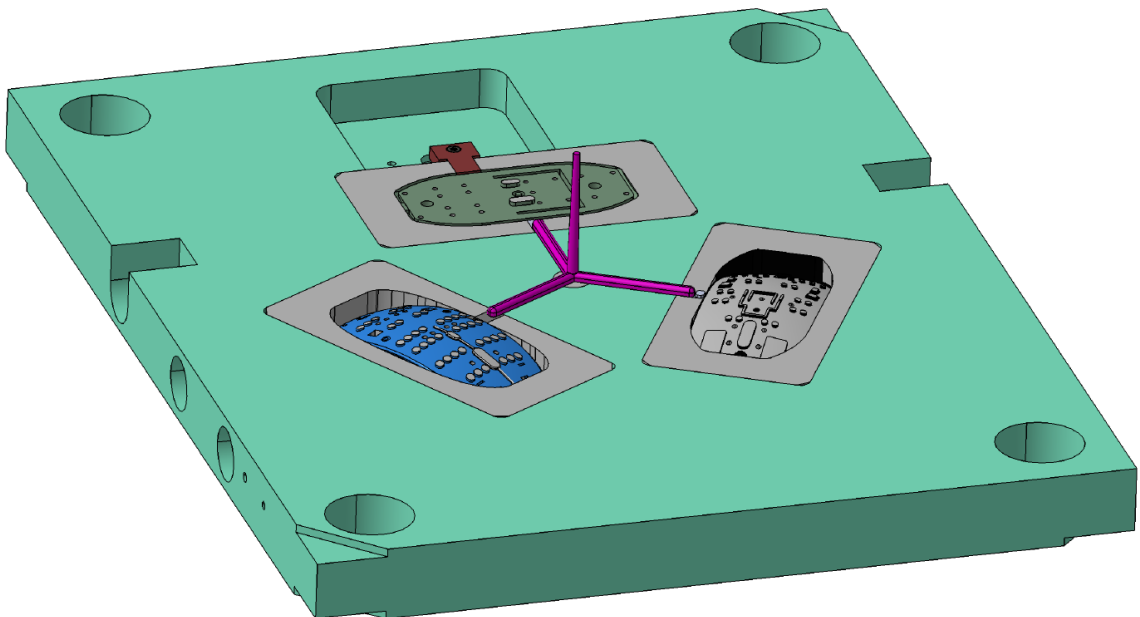
Základní rozměry jsou 496 x 446 x 312 mm.

Hmotnost formy je 460 kg.

Pro většinu desek formy byl použit materiál 1.1730. Materiálem je nástrojová ocel, s vysokou houževnatostí a velmi dobrou obrobiteľností. Izolační desky jsou vyrobeny ze syntetické pryskyřice.

9.3 Násobnost formy

S ohledem na unikátní řešení rozložení dutin formy a uvážení požadavku na přesnost, byla zvolena jednonásobná forma se třemi dutinami. Každá dutina je přiřazena jednomu dílu myši.

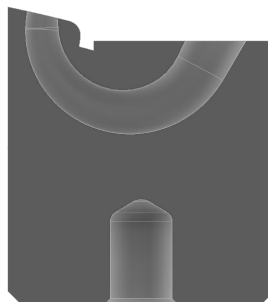


Obrázek 25 - Náhled do tvarové desky tvárníků

9.4 Vtokový systém

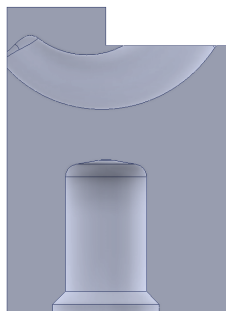
Vtokový systém byl vybrán s přihlédnutím k atypickému rozložení formy a důrazem na minimalizaci možných vad a deformací výrobku. Byl zvolen studený vtokový systém. Jeho využití umožňuje zavádění plastu do formy při nižší teplotě, což snižuje riziko deformací a stresu materiálu. Dalším důvodem pro volbu studeného vtokového systému bylo snížení nákladů.

Pro horní část myši byla zvolena vtoková vložka s banánovým ústím. Použití tohoto typu vtokového ústí umožnilo, aby pohledová strana byla hezká a esteticky příjemná.



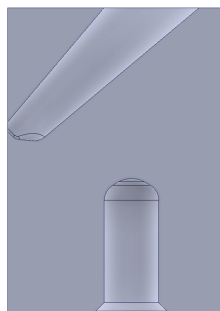
Obrázek 26: Vtoková vložka s banánovým ústím

Pro prostřední část bylo zvolena vtoková vložka s dutinou banánového tvaru.



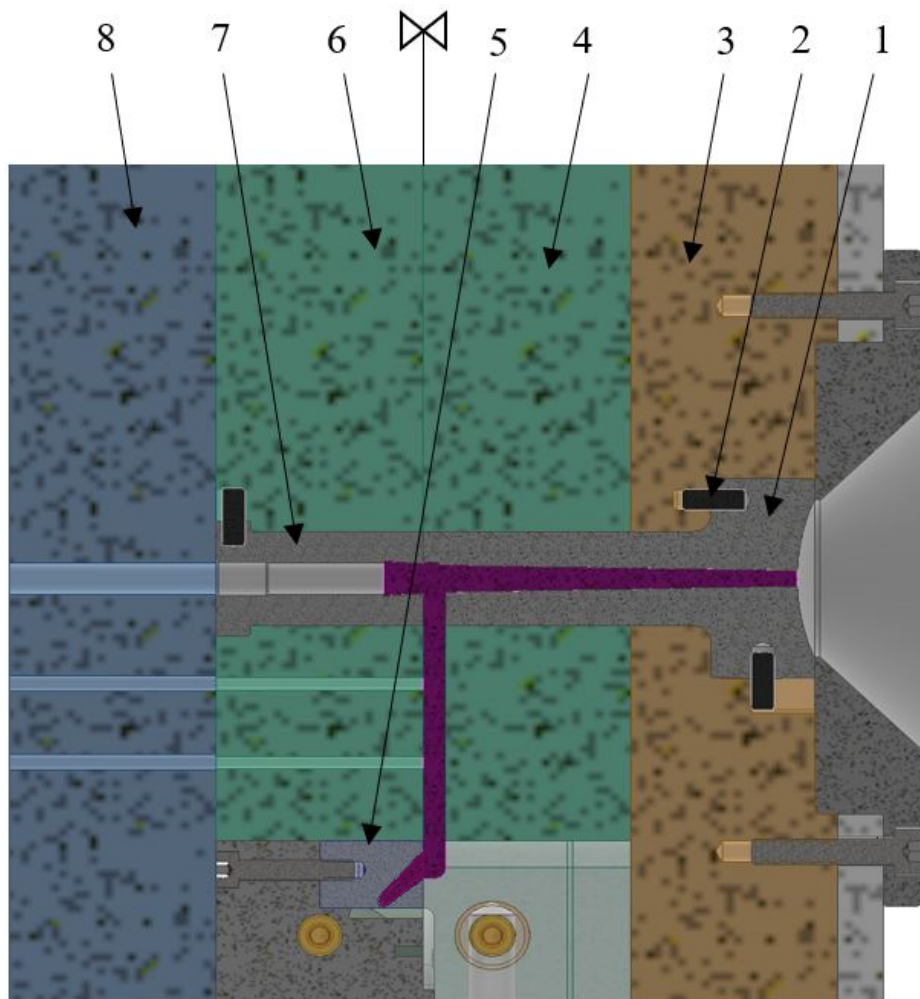
Obrázek 27: Vtoková vložka s banánovým ústím

Pro spodní část myši byl zvolen tunelový vtok kvůli lepší kontrole procesu.



Obrázek 28: Vtoková vložka s tunelovým ústím

Jako průchod pro taveninu do rozvodných kanálů formy slouží vtoková tryska. V její přední části je drážka, která odpovídá tvaru rozvodného kanálu ve formě. Pro zajištění stabilního toku taveniny a přesného rozložení materiálu je proti ní umístěn přídržovač vtoku. Tento prvek je navržen k stabilizaci proudící taveniny a minimalizaci možného rozptylování či nekontrolovaného rozložení, čímž přispívá k dosažení přesnějších a kvalitnějších výsledků v procesu vstřikování plastů.



Obrázek 29 - Řez formou v oblasti vtokového systému

1 – vtoková tryska, 2 - kolík, 3 – upínací deska,

4 – tvarová deska tvárnic, 5 – vtoková vložka

6 – tvarová deska tvárníků, 7 – přídržovač vtoku

8 – opěrná deska

9.5 Tvarové vložky

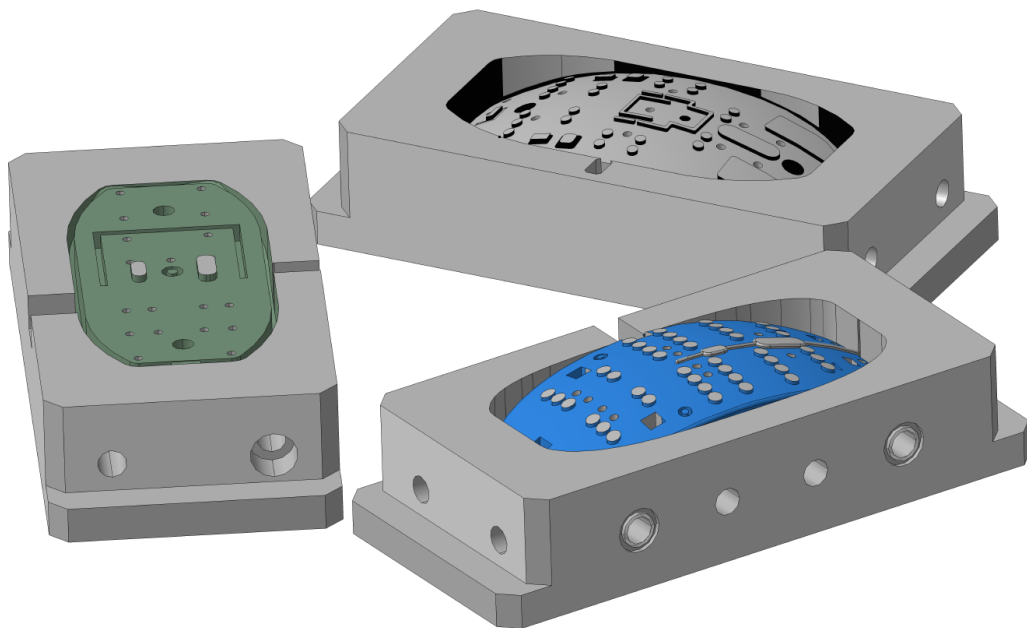
K vytvoření dutiny, ve které se formuje vstříkovaný díl, jsou využívány tvarové vložky. V této práci jsou tvarové vložky složeny z tvárníku, tvárnice a jádrové vložky pro boční odformování.

Pro výrobu tvárníku a tvárnice byla použita nástrojová ocel 1.2343 která byla následně cementována a kalena.

Pro vložku na boční odformování, byla použita vysokoteplotní slitina AMPCOLOY 83, která nabízí řadu výhod počínaje vysoké tepelné odolnosti, přes odolnosti proti opotřebení a konče vysokou chemickou odolností.

9.5.1 Tvárník

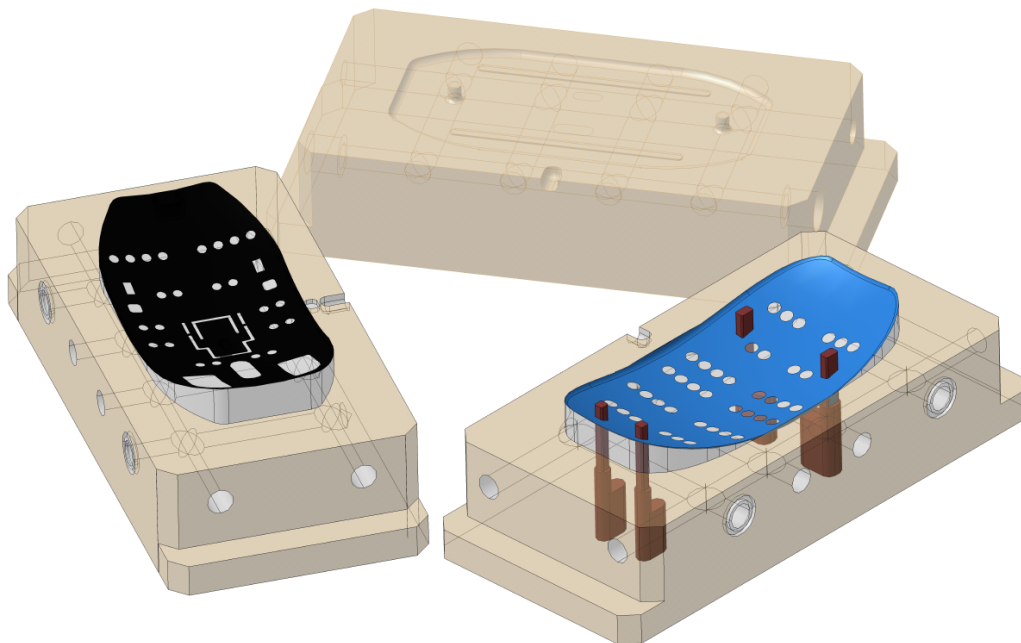
V pohyblivé části formy se nacházejí jednotlivé tvárníky, které jsou osazeny na krajích s cílem zlepšit jejich uložení do formy. V každém tvárníku jsou vytvořeny díry umožňující průchod vyhazovačů a dále jsou zde vyvrtány otvory pro temperaci. Tvarová deska, která slouží k uložení tvárníků, obsahuje vyvrtaný otvor pro umístění přídržovače vtoku. Každý tvárník je navíc opatřen vyfrézovaným otvorem pro umístění vtokové vložky, která je upevněna šroubem.



Obrázek 30: Tvárníky

9.5.2 Tvárnice

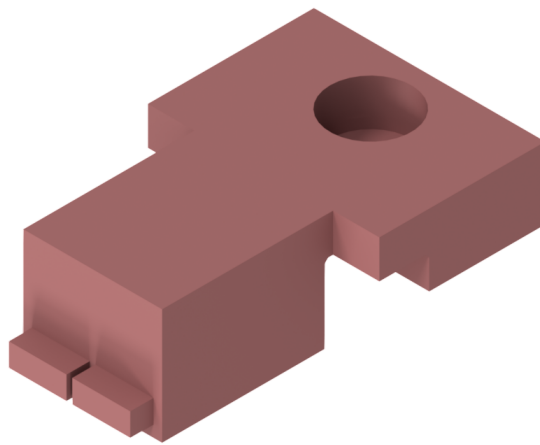
Tvárnice se nacházejí v nepohyblivé části formy. Jsou také osazeny na krajích a zároveň jsou přitlačeny deskou zezadu. Pro účely temperace jsou v tvárnici vyvrtány díry. Tvarová deska, ve které jsou tvárnice umístěny, je opatřena otvorem pro vtokovou trysku a vyfrézovaným otvorem pro rozvodný kanál.



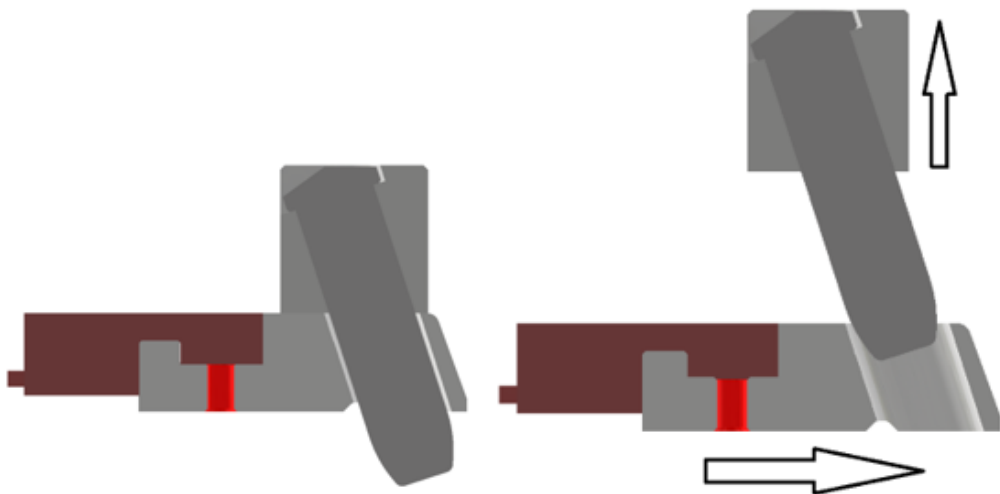
Obrázek 31: *Tvárnice s tvarovými vložkami pro odformování zobáčků*

9.5.3 Jádrová vložka

Jádrová vložka je využívána k bočnímu odformování. Je připevněna šrouby k posuvnému dílu mechanické čelisti. Pohyb posuvného dílu je omezen vodičmi lištami a je řízen pohybem po kluzné desce při otevírání formy. Tento systém je založen na principu mechanické síly a klouzavého pohybu. Pohyb mechanické čelisti je řízen šikmým kolíkem, který je uložen pod úhlem 18° . Poloha posuvného dílu je zajištěna pomocí kuličkové aretace, která zabrání pohybu posuvného dílu.



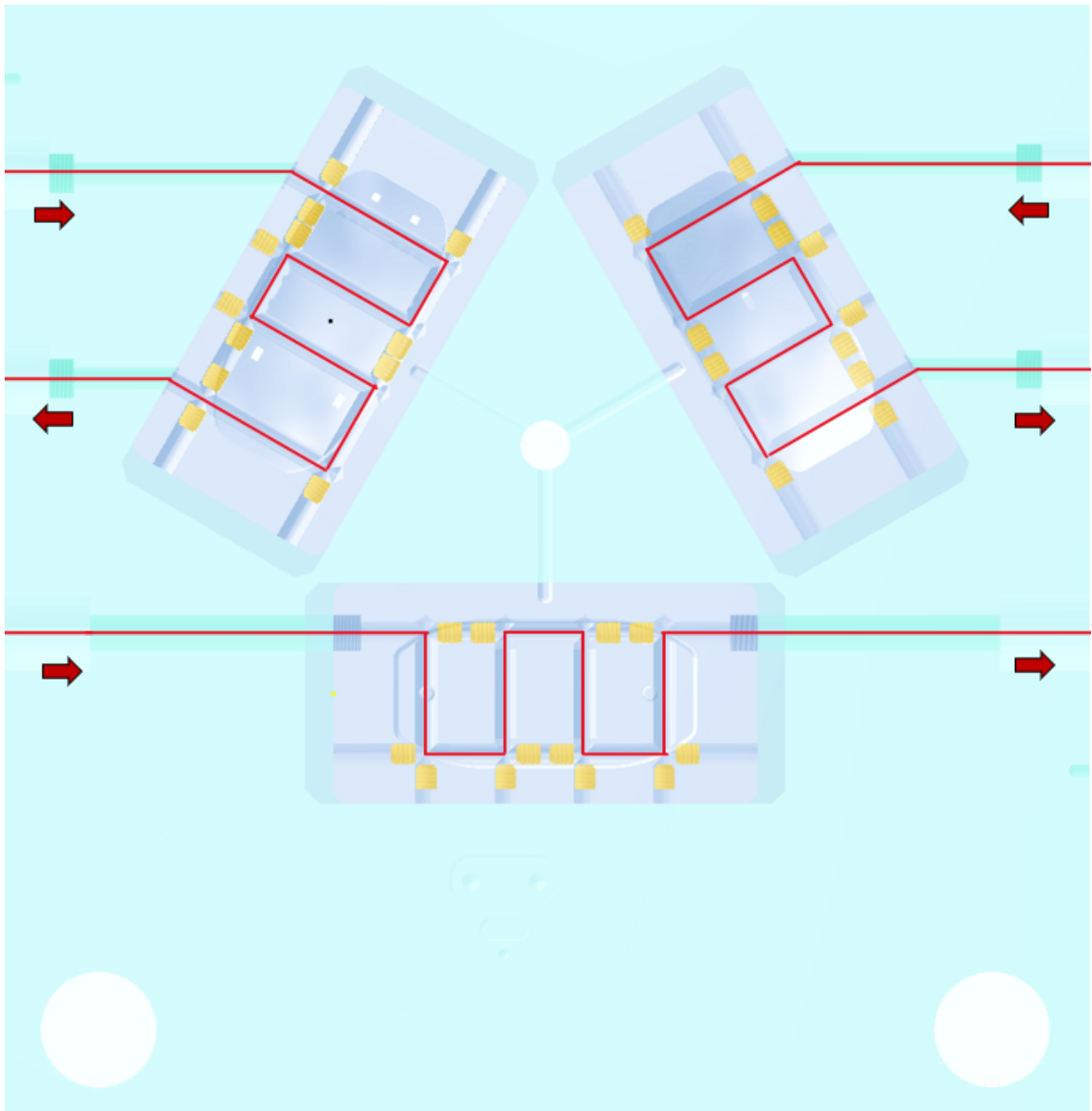
Obrázek 32: *Jádrová vložka*



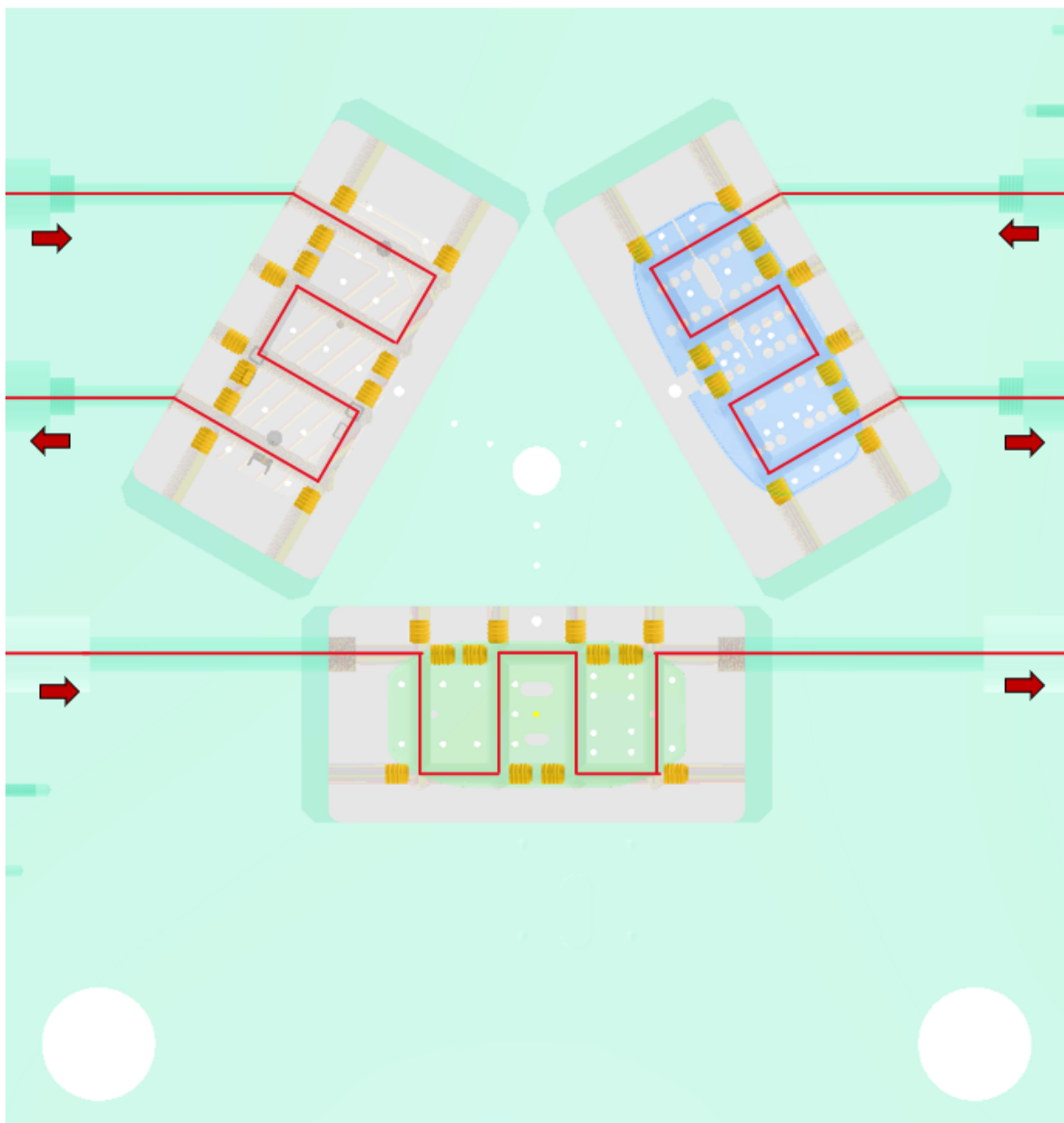
Obrázek 33: *Princip pohybu mechanické čelisti*

9.6 Chlazení formy

Chlazení je vyřešeno pomocí temperačního systému. Forma je rozdělena kvůli atypickému rozložení do celkem 6 temperačních okruhů, které jsou navrženy tak, aby udržovaly konstantní teplotu během procesu vstřikování na místech, kde je to potřeba. Ve čtyřech z šesti okruhů je těsnění přívodu temperace do tvárníku a tvárnice řešeno o-kroužky. Ve zbylých dvou okruzích je tato problematika řešena přípojkami s prodloužením, díky kterým se temperace přivádí rovnou až do tvárníku nebo tvárnice. Pro všechny přípojky byly vytvořeny otvory s cílem, aby mohly být schovány ve formě, a to z toho důvodu, aby nebyly při přepravě poškozeny. Jako chladicí médium byla vybrána voda, která má za úkol ochlazovat příslušné oblasti pomocí turbulentního proudění.

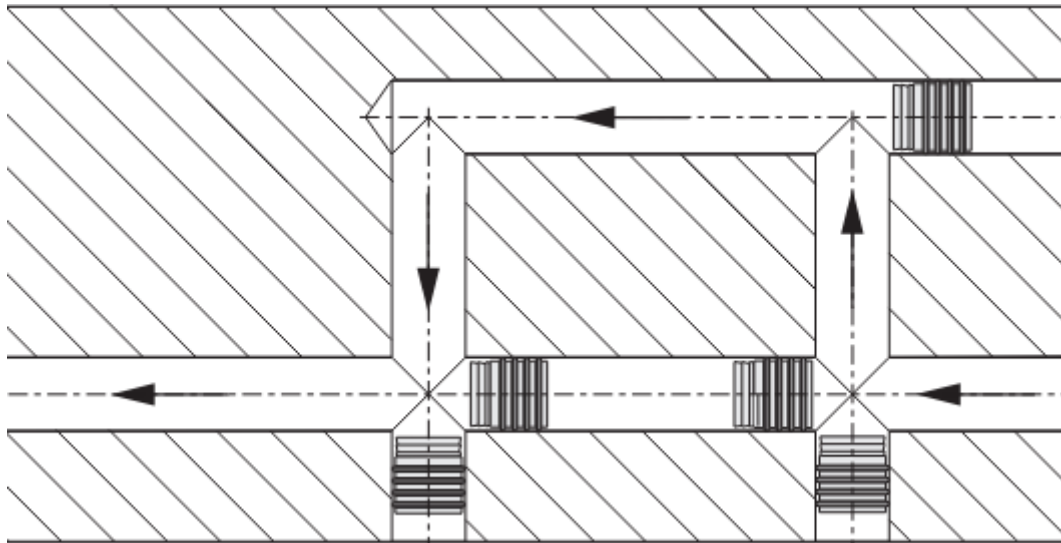


Obrázek 34: *Temperace tvárnice*



Obrázek 35: *Temperace tvárníků*

V temperačních kanálcích jsou rozmístěny mosazné záslepky, které jsou využívány k určování směru proudění temperace.



Obrázek 36: Uložení záslepek [31]

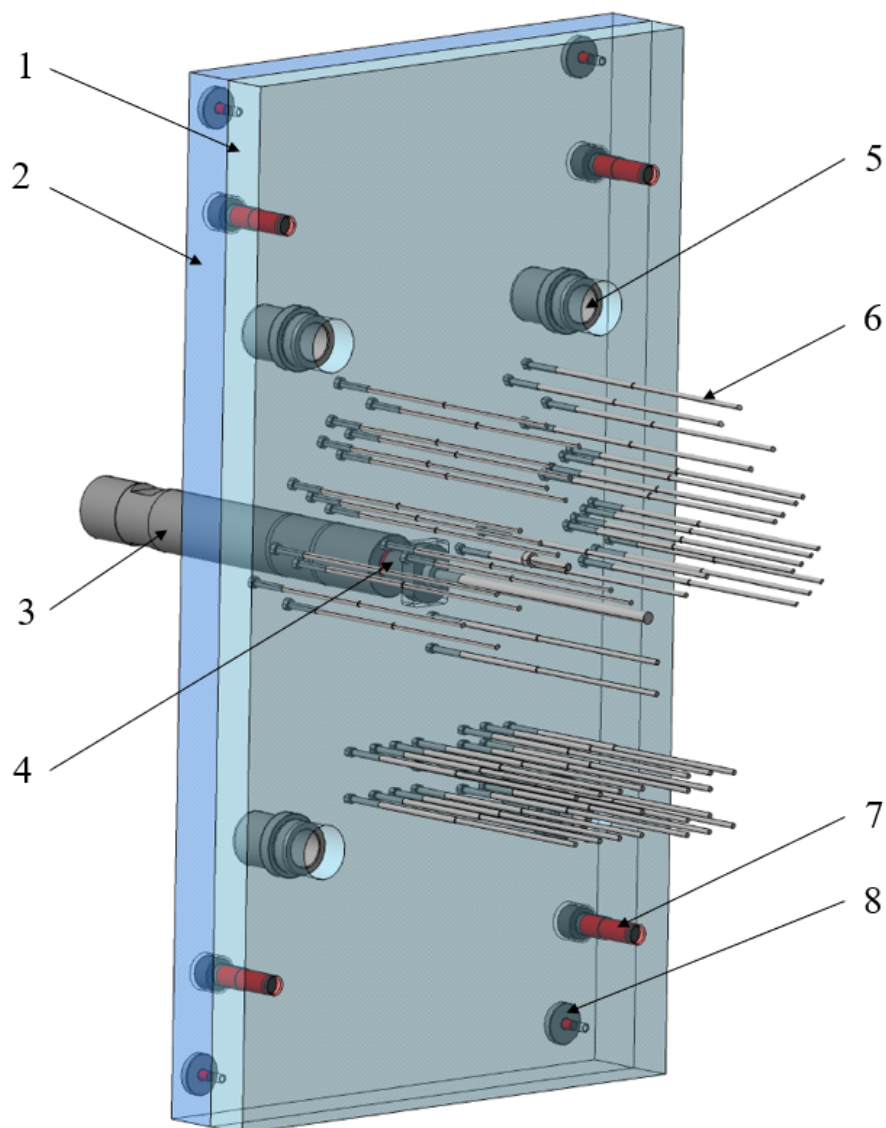
Montáž záslepek je uskutečňována montážní sadou obsahující montážní tyč a montážní kleště.



Obrázek 37: Montážní sada pro montáž záslepek [29]

9.7 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém slouží k oddělení výlisku z prostorů dutin. Vyhazovací systém je tvořen vyhazovači a vodícím čepem vyhazovačů, který je upevněn závitovým čepem uloženým ve vyhazovacím paketu, složeném z desky opěrné a kotevní. Vyhazovače jsou upraveny na koncích podle tvarů tvárníků. Celkem 47 vyhazovačů prochází všemi třemi tvárníky, dalších 6 vyhazovačů je uloženo do tvarových desek tam, kde vedou rozvodné kanálky vtoku, a 1 vyhazovač je použit v přídržovači vtoku. Vyhazovací paket je dále opatřen vodícími pouzdry a dorazovými destičkami.



Obrázek 38: Vyhazovací paket

1 – upínací deska, 2 – kotevní deska,

3 – vodící čep pro vedení vyhazovačů 4 – závitový čep,

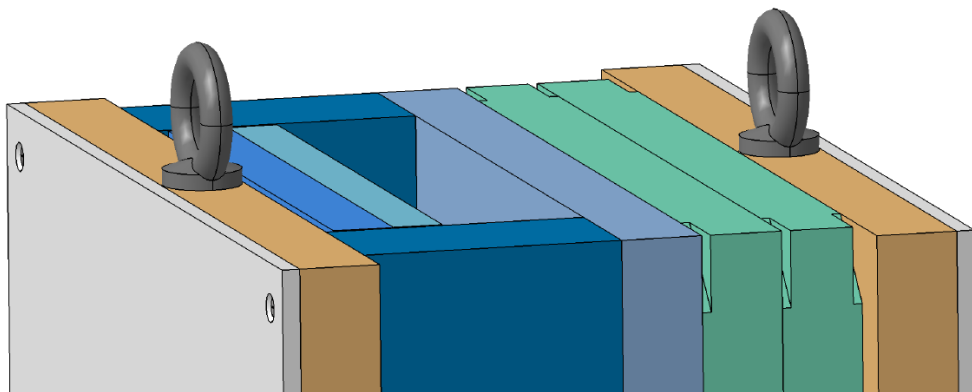
5 – vodící pouzdro, 6 – vyhazovač, 7 – šroub, 8 – dorazová destička

9.8 Odvzdušnění formy

Špatné odvzdušnění formy může mít spoustu nežádoucích důsledků. Například mohou vzniknout vzduchové bubliny ve vylisku, výrobek se může deformovat nebo může dojít k přehřátí materiálu a vzniku vad. Přítomnost vzduchu také může způsobit nedostatečné naplnění dutin. Je nutné zajistit, aby vzduch, který nebyl schopen uniknout z dutiny formy před jejím uzavřením, byl odstraněn. Při konstruování této formy bylo uvažováno, že přebytečný vzduch v dutině bude unikat prostřednictvím mezírek mezi tvárníkem a vyhazovači.

9.9 Manipulace s formou

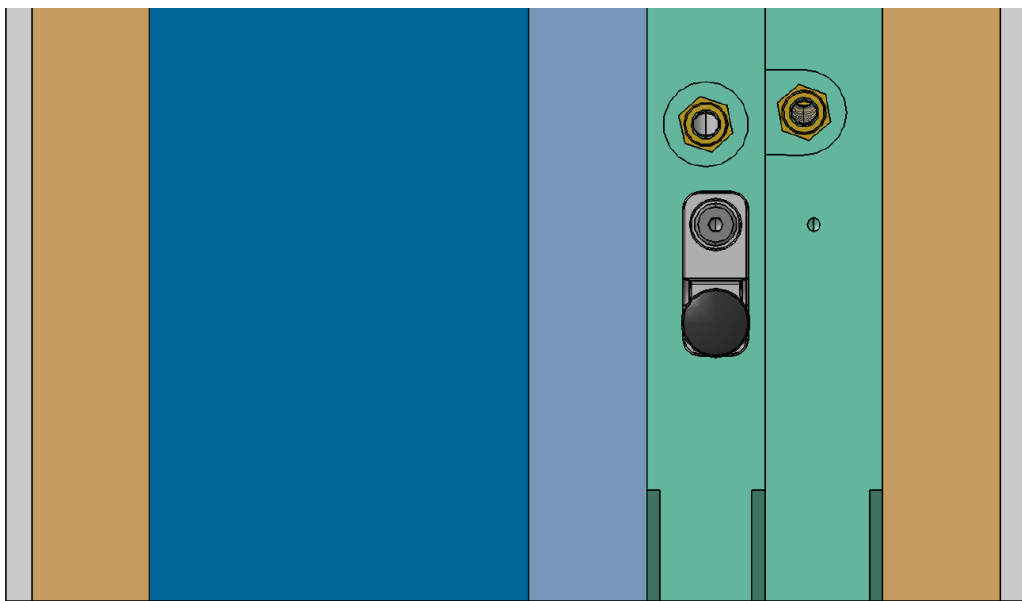
Byla zvolena dvě závěsná oka s nosností 500 kg pro manipulaci s formou. S ohledem na hmotnost formy, která činí 460 kg, jsou tato závěsná oka vhodná pro manipulaci s danou formou. Závěsná oka jsou upevněna v upínacích deskách.



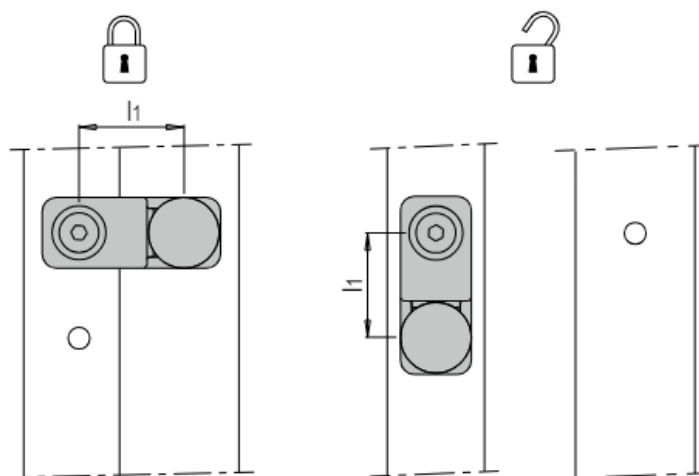
Obrázek 39: Transportní oka pro manipulaci s formou

9.9.1 Zabezpečení formy před otevřením během přepravy

Pro zabezpečení formy před otevřením během přepravy byl zvolen plastový transportní zámek, který spolehlivě uzamyká formu. Zámek je neodnímatelný, trvale zůstává na formě. Při přepravě je ve formě spojována tvarová deska levá s tvarovou deskou pravou pomocí transportního zámku. Jakmile je potřeba otevřít formu, zámek se jednoduše předělá do pozice, při které je otevření formy možné.



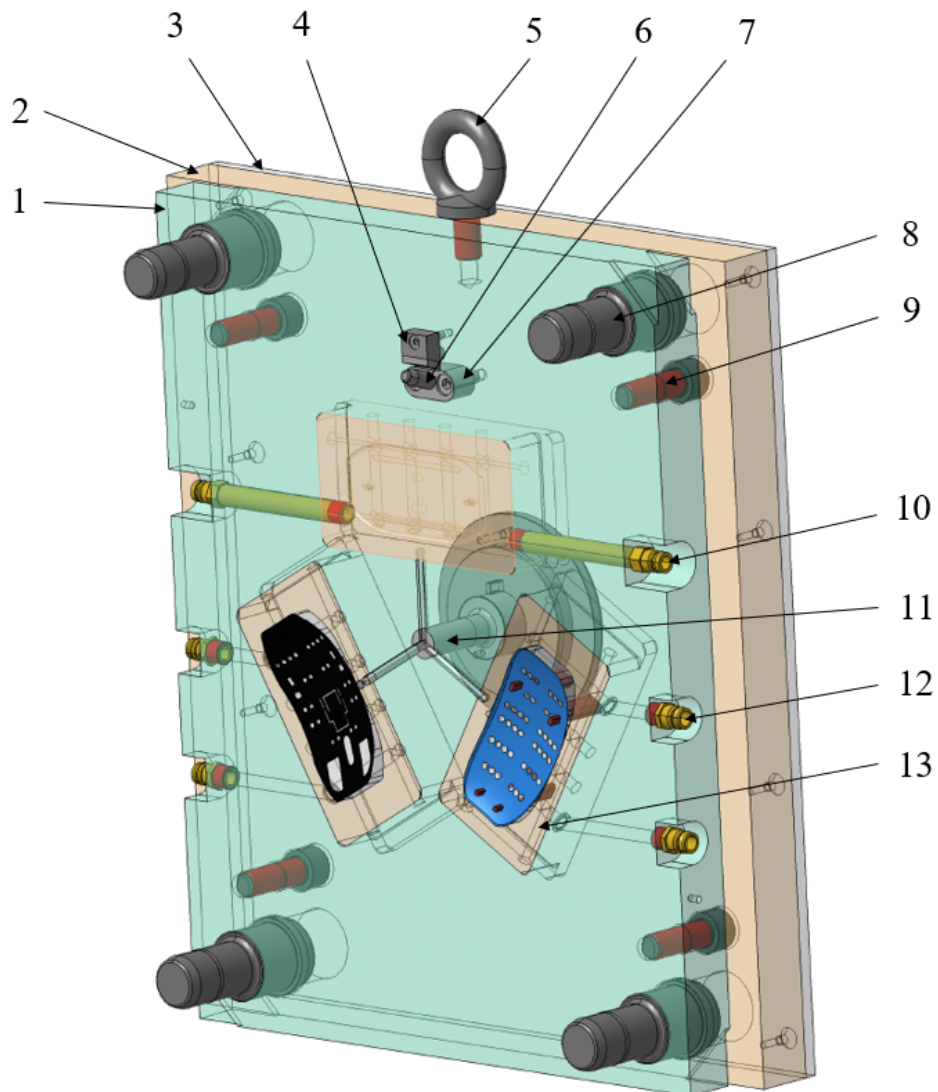
Obrázek 40: Detail upevněného plastového zámku v pozici odemčené formy



Obrázek 41: Pozice transportního zámku [28]

9.10 Nepohyblivá část formy

Nepohyblivá část formy při vstřikování plastů zahrnuje části formy, které zůstávají statické během celého procesu vstřikování. Jejich hlavní funkcí je poskytnout oporu a geometrickou stabilitu pro formování hotového výrobku. Tato část je složena z izolační desky, která slouží k izolaci a oddělení jednotlivých částí formy nebo nástroje. Jejím hlavním účelem je minimalizovat tepelné přenosy mezi jednotlivými částmi formy. Další desky obsaženy v nepohyblivé části jsou upínací, která slouží k upnutí formy do stroje, a kotevní, ve které jsou uloženy tvárnice. Dále je do ní upevněno uložení šikmého kolíku a doraz pro boční odformování.

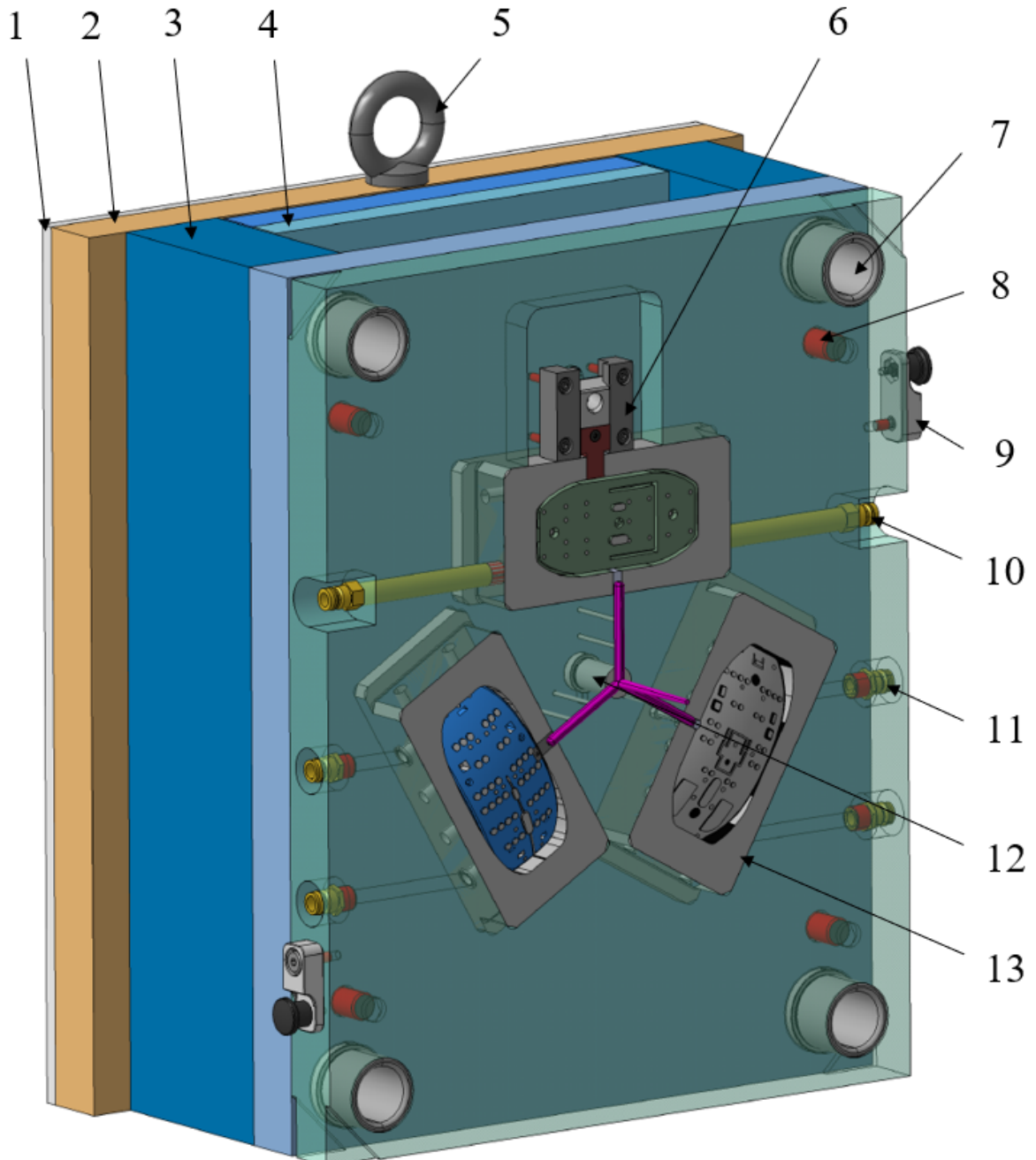


Obrázek 42: Nepohyblivá část formy

1 – tvarová deska tvárnic, 2 – upínací deska, 3 – izolační deska, 4 – doraz, 5 – závěsné oko,
6 – šikmý kolík, 7 – uložení šikmého kolíku, 8 – vodící čep, 9 – šroub,
10 – přípojka s prodloužením, 11 – vtoková tryska, 12 – přípojka, 13 – tvárník

Nepohyblivá část formy také obsahuje středící kroužek a vtokovou trysku, která je zajištěna kolíky proti pohybu. Dále jsou v této části formy umístěny přípojky pro temperaci. Desky jsou připevněny šrouby a jsou vystředěny vodícími prvky.

9.11 Pohyblivá část formy



Obrázek 43: Pohyblivá část formy

1 – izolační deska, 2 – upínací deska, 3 – rozpěrná deska, 4 – závěsné oko,
6 – systém pro boční odformování, 7 – vodící pouzdro, 8 – šroub, 9 – plastový zámek,
10 – přípojka s prodloužením, 11 – přípojka, 12 – přidržovač vtoku, 13 – tvárník

Pohyblivá část formy je složena z izolační upínací desky, na kterou navazují dvě rozpěrné desky. Mezi rozpěrnými deskami se nachází vyhazovací paket s vyhazovači a vyhazovacím systémem. Na druhé straně rozpěrných desek je situována opěrná deska a za ní tvarová deska tvárníků. Středění je zde řešeno pomocí středících trubek, které středí jak desky, tak pohyblivou část vůči nepohyblivé. Desky jsou připevněny šrouby.

10 VOLBA STROJE PRO VSTŘIKOVÁNÍ

Objem a plocha vtoku, rozvodných kanálů a dutin formy byly analyzovány a vypočítány pomocí softwaru Catia V5R20.

- Rozměry upínacích desek: 496 x 446 mm.
- Výpočet hmotnosti vstříkovaného polymeru:

$$V = 31,22 \text{ cm}^3$$

$$\rho = 1,05 \text{ g / cm}^3$$

$$m = \rho \cdot V = 1,05 \cdot 31,22 = 32,781 \doteq 33 \text{ g}$$

Pro vstříkování byl zvolen vstříkovací stroj ARBURG ALLROUNDER 570 S z důvodu jeho schopnosti dosáhnout vysoké přesnosti. Odpovídá také potřebným požadavkům a rozměrům.



Obrázek 44: Vstříkovací stroj ARBURG ALLROUNDER 570 S [30]

Tabulka 4 – Vlastnosti vstřikovacího stroje

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Max. uzavírací síla	1600	kN
Max. otevírací síla	520	kN
Otevírací zdvih	650	mm
Max. vyhazovací síla	70	kN
Prostor mezi vod. sloupky stroje	560 x 560	mm
Průměr šneku	35	mm
Max. objem vstřikovaného polymeru	154	cm ³
Max. vstřikovací tlak	2500	bar

ZÁVĚR

Úkolem praktické části bylo navrhnout efektivní vstříkovací formu pro daný výrobek.

Proces návrhu formy i samotného výrobku byl realizován s využitím sofistikovaných softwarových nástrojů, konkrétně CATIA a Autodesk Inventor.

Efektivnímu sestavení formy a minimalizaci časové náročnosti celého procesu konstruování bylo umožněno díky použití standardizovaných dílů z katalogu MEUSBURGER.

V rámci zkoumání požadavků pro výrobek byly detailně analyzovány požadavky na geometrii výrobku a vlastnosti materiálu, což vedlo k optimálnímu výběru polymeru ABS.

Byla vyžadována implementace dvou dělicích rovin ve formě, zajišťujících snadné odformování výrobků.

Pro dopravu polymeru do dutin byl vybrán studený vtokový systém. Vyhození hotových výrobků je zrealizováno pomocí vyhazovacího systému.

Jako chladicí médium byla zvolena voda, která má za úkol turbulentním prouděním temperovat tvarové vložky.

Rozměry základních částí formy jsou 496 x 446 x 312 mm, přičemž celková hmotnost formy činí 460 kg.

Pro formu s těmito parametry byl zvolen vstříkovací stroj ARBURG ALLROUNDER 570 S.

V posledním bodě práce byla vytvořena výkresová dokumentace s řezy vedeny formou a pohledem do pohyblivé i nepohyblivé části.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav, 2011. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 9788070807880. Dostupné také z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/uid_isbn-978-80-7080-788-0/anotace/.
- [2] Rozdělení a charakteristika polymerů, © 2011-2024. Online. Publi. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/04.html>. [cit. 2024-01-18].
- [3] IBEH, Christopher C., [2011]. Thermoplastic materials: properties, manufacturing methods, and applications. Boca Raton, FL: CRC Press. Dostupné z: <https://doi.org/9780429150968>.
- [4] FRY, Bill a BARHOUSE, Phillip, 1999. Working with polyethylene. Speaking of plastics manufacturing. Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers. ISBN 9781613449813. Dostupné také z: https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpWPSPMS01/working_with_polyethylene__speaking_of_plastics_manufacturing_series.
- [5] Polyethyleny, © 2019. Online. Samosebou. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/2019/10/25/encyklopedie-plastu-polypropylen-pp/>. [cit. 2024-01-18].
- [6] Polypropylen, © 2019. Online. Samosebou. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/2019/10/25/encyklopedie-plastu-polypropylen-pp/>. [cit. 2024-01-18].
- [7] PVC - Polyvinylchlorid, © 2021. Online. Oneindustry. Dostupné z: <https://www.oneindustry.cz/lexikon/pvc-polyvinylchlorid/>. [cit. 2024-01-18].
- [8] ZEMAN, Lubomír, 2018. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Grada. ISBN 978-80-271-0614-1. Dostupné také z: <https://www.bookport.cz/AccountSaml/SignIn/?idp=https://shibboleth.utb.cz/idp/shibboleth&returnUrl=/kniha/vstrikovani-plastu-4633/>
- [9] Stárnutí polymerů, © 2011-2024. Online. Publi. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/16.html>. [cit. 2024-01-18].

- [10] Jak zpomalit stárnutí plastů a prodloužit jejich životnost? Online. Cz.ky-plastics. Dostupné z: <https://cz.ky-plastics.com/info/how-to-slow-down-the-ageing-of-plastics-and-ex-76693635.html>. [cit. 2024-01-18].
- [11] Jak se galvanicky pokovují plastové díly vyrobené 3D tiskem. Online. 3d-tisk. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/jak-se-galvanicky-pokovuji-plastove-dily-vyrobene-3d-tiskem/>. [cit. 2024-01-18].
- [12] PROKOPOVÁ, Irena, 2007. Makromolekulární chemie. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT. ISBN 9788070806623. Dostupné také z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-978-80-7080-662-3/pages-img/.
- [13] STÖCKELHUBER, Klaus Werner; DAS, Amit a KLÜPPEL, Manfred, 2017. Designing of Elastomer Nanocomposites: From Theory to Applications. Advances in Polymer Science. Cham: Springer International Publishing. Dostupné z: <https://doi.org/9783319476964>.
- [14] BOBČÍK, Ladislav, 1999. Formy pro zpracování plastů. I. díl, Vstřikování termoplastů. 2. vydání. Brno: Uniplast Brno.
- [15] MAŇAS, Miroslav; TOMIS, František a HELŠTÝN, Josef, 1990. Výrobní stroje a zařízení: gumárenské a plastikářské stroje. Díl 2. Brno: VUT. ISBN 802140213X.
- [16] Vstřikovací forma a její funkce, © 2011-2024. Online. Publi. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/02.html>. [cit. 2024-01-25].
- [17] CATOEN, Bruce a REES, Herbert, 2021. Injection Mold Design Handbook. München: Hanser. ISBN 9781569908167. Dostupné také z: <https://proxy.k.utb.cz/login?url=https://www.sciencedirect.com/science/book/9781569908150>.
- [18] MENGES, Georg; MICHAELI, Walter a MOHREN, Paul, c2001. How to make injection molds. 3rd ed. Munich: Hanser. ISBN 3446212566. Dostupné také z: <https://proxy.k.utb.cz/login?url=http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHMIME006/how-make-injection-molds>
- [19] BEAUMONT, John P., c2007. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers. ISBN 9781569904213.
- [20] BOBEK, Jiří. Základní principy konstrukce plastových dílů, © 2011-2024. Online. Publi. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/10.html>. [cit. 2024-01-26].

- [21] Principy konstrukce plastových výrobků, © 2013. Online. MMSpectrum. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/principy-konstrukce-plastovych-vylisku>. [cit. 2024-01-26].
- [22] Chemický vzorec z polyethylenu. Aplikace polyethylenu, 2020. Online. Puntomariner. Dostupné z: <https://cs.puntomariner.com/the-chemical-formula-of-polyethylene/>. [cit. 2024-05-07].
- [23] Arti Simbol Segitiga Pada Plastik, 2024. Online. Sinotif. Dostupné z: https://www.sinotif.com/berita-acara/berita-artikel/detail/arti-simbol-segitiga-pada-plastik?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAAR0oucXJhhtOomqCsB7aXveDzLnhWJRpbfGJfW0oI1IWVPGEPoS2jDd8wUc_aem_AYgCx6GGR4PahH2h9VITFO4NXOH4PEUnq qml3jAY4lzSjq4JuXF11tGaIBdGKBIXDye22-Q19C7j_wsMFodOQipn. [cit. 2024-05-07].
- [24] POLYVINYLCHLORID, 2016. Online. Geocaching. Dostupné z: <https://www.geocaching.com/geocache/GC6AR16>. [cit. 2024-05-07].
- [25] Revolutionizing Manufacturing: The Impact of Plastic Injection Molding in Automotive and Medical Industries, 2024. Online. Medium. Dostupné z: <https://medium.com/@mouldtru/revolutionizing-manufacturing-the-impact-of-plastic-injection-molding-in-automotive-and-medical-ed449352079>. [cit. 2024-05-07].
- [26] The Top 5 Trends in Plastic Injection Molding for 2023, 2023. Online. Camresources. Dostupné z: <https://camresources.net/top-5-trends-in-plastic-injection-molding-2023/>. [cit. 2024-05-07].
- [27] Micromolding - in Depth Insights, 2021. Online. Micromolds. Dostupné z: https://www.micromolds.eu/micromolding-in-depth-insights?_gl=1*1oo8qzt*_up*MQ..&gclid=CjwKCAjwh4-wBhB3EiwAeJspH0DhsYH9gzIPPYoawYVDHUlpv3TOfi220ktsIgbVqtN5j47pRhyRoCMoIQAvD_BwE. [cit. 2024-05-07].
- [28] Katalog polotovarů pro výrobu vstřikovacích forem, 2022. Online. MEUSBURGER. Dostupné z: <https://ecom.meusburger.com/e/index.asp?id=2747>. [cit. 2024-05-07].
- [29] KLEŠŤOVÁ SADA PRO ZÁSLEPKY E2078, 2022. Online. MEUSBURGER. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/dilenske-potreby/assembly-equipment/assembly-tools/e-2077>. [cit. 2024-05-07].

[30] ALLROUNDER S, 2024. Online. ARBURG. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/svet-vyrobku/vstrikovaci-stroje/hydraulicke-stroje/allrounder-s/>. [cit. 2024-05-07].

[31] Katalog polotovarů pro výrobu vstříkovacích forem, 2022. Online. MEUSBURGER. Dostupné z: <https://ecom.meusburger.com/e/index.asp?id=223>. [cit. 2024-05-07].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AI	Umělá inteligence
cm ³	Kubický centimetr
g	Gram
IoT	Internet věcí
kJ	Kilojoule
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
m ²	Metr čtvereční
min	Minuta
MPa	Megapascal
mm	Milimetr
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
T _g	Teplota skelného přechodu
T _m	Teplota tání
V	Objem
ρ	Hustota
m	Hmotnost
°C	stupeň Celsia

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Rozdělení polymerů	14
Obrázek 2: Struktura polyethylenu [22]	15
Obrázek 3: Struktura polypropylenu [23]	16
Obrázek 4: Struktura polyvinylchloridu [24]	17
Obrázek 5: Struktura polystyrenu [23]	18
Obrázek 6: Odolnost plastů vůči UV záření [9]	21
Obrázek 7: Vstřikovací cyklus [15]	23
Obrázek 8: Uzavřená dvoudesková vstřikovací forma [16]	24
Obrázek 9: Schéma formy [17]	25
Obrázek 10: Výsledek po vstřikování ve formě se studeným vtokovým systémem [17]	26
Obrázek 11: Chybné provedení návrhu změny tloušťky	30
Obrázek 12: Správné provedení návrhu změny tloušťky	31
Obrázek 13: Žebrování [21]	31
Obrázek 14: Základní doporučení pro konstrukci úkosů na vstřikovaném plastovém dílu [20]	32
Obrázek 15: Sestava vstřikovaných dílů	37
Obrázek 16: Horní část (pohled č.1)	38
Obrázek 17: Horní část (pohled č.2)	38
Obrázek 18: Prostřední část (pohled č.1)	39
Obrázek 19: Prostřední část (pohled č.2)	39
Obrázek 20: Spodní část (pohled č.1)	40
Obrázek 21: Spodní část (pohled č.2)	40
Obrázek 22: 3D model formy pro vstřikování	43
Obrázek 23 - Hlavní dělicí rovina	44
Obrázek 24 – Hlavní a vedlejší dělicí rovina	44
Obrázek 25 - Náhled do tvarové desky tvárníků	45
Obrázek 26: Vtoková vložka s banánovým ústím	46
Obrázek 27: Vtoková vložka s banánovým ústím	46
Obrázek 28: Vtoková vložka s tunelovým ústím	46
Obrázek 29 - Řez formou v oblasti vtokového systému	47
Obrázek 30: Tvárníky	48
Obrázek 31: Tvárnice s tvarovými vložkami pro odformování zobáčků	49
Obrázek 32: Jádrová vložka	50
Obrázek 33: Princip pohybu mechanické čelisti	50

Obrázek 34: <i>Temperace tvárnic</i>	51
Obrázek 35: <i>Temperace tvárníků</i>	52
Obrázek 36: <i>Uložení záslepek [31]</i>	53
Obrázek 37: <i>Montážní sada pro montáž záslepek [29]</i>	53
Obrázek 38: <i>Vyhazovací paket</i>	54
Obrázek 39: <i>Transportní oka pro manipulaci s formou</i>	55
Obrázek 40: <i>Detail upevněného plastového zámku v pozici odemčené formy</i>	56
Obrázek 41: <i>Pozice transportního zámku [28]</i>	56
Obrázek 42: <i>Nepohyblivá část formy</i>	57
Obrázek 43: <i>Pohyblivá část formy</i>	58
Obrázek 44: <i>Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 570 S [30]</i>	60

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Vlastnosti polyethylenu	15
Tabulka 2 - Vlastnosti polypropylenu	16
Tabulka 3 – Vlastnosti materiálu ABS	42
Tabulka 4 – Vlastnosti vstřikovacího stroje	61

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list

Příloha P II: Technický list stroje

Příloha P III: Výkresová dokumentace

Příloha IV: Soubory vymodelované formy

Příloha V: Soubory vymodelovaných výrobků

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST



RENOplastic družstvo
Kolínská 929, Varnsdorf, 407 47, CZ



Materiálový list

ABS / R

Vlastnost	Norma	Jednotka	Hodnota
Viskozita (H ₂ SO ₄)	DIN 53 727	ml / g	-
	ČSN 64 0363		
MFI 230°C / 2,16kg	EN ISO 1133	g / 10 min	17-22
	ČSN 64 0861		
Hustota	DIN 53 735	g / cm ³	1,05
	ČSN 64 0605		
Pevnost v tahu	EN ISO 527-1,2	MPa	36
	ČSN 64 0604		
Pevnost v přetržení	EN ISO 527-1,2	MPa	-
	ČSN 64 0605		
Tažnost	EN ISO 527-1,2	%	15
	ČSN 64 0614		
E - Modul	EN ISO 178	MPa	2.100
	ČSN 64 0614		
Vrubová houževnatost Charpy 23°C	EN ISO 179-1	kJ / m ²	18
	ČSN 64 0612		
Rázová houževnatost Charpy 23°C	EN ISO 179-1	kJ / m ²	-
	ČSN 64 0612		
Vicat B	EN ISO 306	°C	103
	ČSN 64 0521		
Smrštění	EN ISO 294-4	%	-
	ČSN 64 0210		
Zkouška rozžhavenou smyčkou	IEC 695-2-1	°C	-
	ČSN 34 5616		

Data obsažená v tabulce představují typické hodnoty jednotlivých vlastností. Jedná se o údaje informativního charakteru a netvoří meze specifikací daného typu.

Vydáno 05/2018

RENOplastic
družstvo
CZ 407 47 Varnsdorf, Kolínská 929

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÝ LIST STROJE

TECHNICAL DATA 570 S

Clamping unit		570 S		
with clamping force	max. kN	1600	2000	2200
Opening force stroke	max. kN mm	520 650		
Mould height, fixed variable	min. mm	250 ---		
Platen daylight fixed variable	max. mm	900 ---		
Distance between tie bars (w x h)	mm	570 x 570		
Mould mounting platens (w x h)	max. mm	795 x 795		
Weight of movable mould half	max. kg	1400		
Ejector force stroke	max. kN mm	70 200		
Dry cycle time EUROMAP ²	1 pump	min. s - mm	3,1 2,8 - 399	
	2 pumps	min. s - mm	2,4 - 399	
	Accum.	min. s - mm	2,3 - 399	

Injection unit		400			800			1300			
with screw diameter	mm	35	40	45	45	50	55	55	60	70	
Effective screw length	L/D	23	20	18	22	20	18	22	20	17	
Screw stroke	max. mm	160			200			240			
Calculated stroke volume	max. cm ³	154	201	254	318	392	474	558	664	904	
Shot weight	max. g PS	141	184	232	291	359	434	510	607	826	
Material throughput	max. kg/h PS	25	29	35	46	53	59	86	96	115	
	max. kg/h PA6.6	12,5	15	17,5	23	27	30	43	48	58	
Injection pressure	max. bar	2500	2000	1580	2470	2000	1650	2380	2000	1470	
Holding pressure	max. bar	2500	2000	1580	2470	2000	1650	2380	2000	1470	
Injection flow ²	1 pump	max. cm ³ /s	128	168	212	138	170	208	---		
	2 pumps	max. cm ³ /s	128	168	212	138 174	170 214	208 260	238	284	388
	Accum.	max. cm ³ /s	492	642	814	530	656	792	714	848	1156
Screw circumferential speed ²	1 pump	max. m/min	47	53	60	45	50	60	---		
	2 pumps	max. m/min	52	60	67	45 54	50 60	55 66	40	43	51
	Accum.	max. m/min	16	19	21	15	17	19	19	21	25
Screw torque	max. Nm	480	550	610	880			1510	1640	1920	
Nozzle contact force retraction stroke	max. kN mm	60 400			70 400			90 550			
Heating capacity zones	kW	9,7 5			19,9 8			22,9 8			
Feed hopper	l	50			50			50			

Drive and connection		1 pump		2 pumps			Accum.			
with injection unit		400	800	400	800	1300	400	800	1300	
Net weight of machine	kg	8350	8650	8350	8650	9850	---			
Sound press. level Insecurity ⁴	dB(A)	70 3			70 3			70 3		
Oil filling	l	260		260	330	410	360	360	---	
Drive power ²	max. kW	30	30	30	30	37	22	30	30	
Electrical connection ³		kW			42	53	63	34	53	55
	Total	A			100	125	125	80	125	125
	Machine	A			---			---		
	Heating	A			---			---		
Cooling water connection	max. °C	25			25			30		
	min. Δp bar	1,5 DN 25			1,5 DN 25			1,5 DN 25		

Machine type		Drive
with EUROMAP size designation ¹		
570 S 1600-400 800		1 2 Accum.
570 S 2000-400 800		1 2 Accum.
570 S 2200- --- 800 1300		- 2 pumps

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 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 (cm³) x max. injection pressure (kbar)
2) Specifications depend on the drive config. - 1st value applies to the lowest clamping force.

3) Specifications relate to 400 V/50 Hz.

4) Detailed info in the operating instr.

[] Specifications apply to alternative equipment.