

Návrh vstřikovací formy pro díl pojistkové skříně do automobilu

Patrik Kotrla

Bakalářská práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Patrik Kotrla
Osobní číslo:	T20157
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Návrh vstřikovací formy pro díl pojistkové skříně do automobilu

Zásady pro vypracování

- 1) Vypracovat literární studii na dané téma
- 2) Vymodelovat daný díl ve 3D
- 3) Provést konstrukci vstřikovací formy pro daný díl
- 4) Nakreslit 2D sestavu vstřikovací formy

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

Seznam doporučené literatury:

KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. Injection molding advanced troubleshooting guide, 2018, ISBN: 978-1-56990-645-3
BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. c2007, ISBN 978-1-56990-421-3
DUCHÁČEK, V. Polymery-výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2006, ISBN 80-7080-617-6

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vojtěch Šenkeřík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2023**
Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2023**

L.S.

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

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

Ve Zlíně dne 22. února 2023

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

Tato bakalářská práce pojednává o návrhu vstřikovací formy pro díl pojistkové skříně do automobilu. Práce se skládá ze dvou hlavních částí, a to je teoretická a praktická část.

Teoretická část se nejprve zabývá rozdělením a vlastnostmi polymerních materiálu, zejména technickým polyamidům. Dále se v této části věnuje principu činnosti vstřikovacího stroje až po samotné vstřikování polymerů. Poslední a nejobsáhlejší kapitola teoretické části popisuje činnost a konstrukční prvky vstřikovací formy.

Praktická část této bakalářské práce začíná volbou vstřikovaného dílu. Následně je modelován tento díl ve 3D softwaru. Dále se v této části věnuje konstrukci formy a jejího řešení pro daný vymodelovaný díl. V závěru této části je vytvořena výkresová sestava vstřikovací formy s kusovníkem. Veškeré modelování, konstrukce a tvorba výkresové dokumentace bylo provedeno v 3D softwaru SolidWorks.

Klíčová slova: polymer, polyamid, vstřikování, návrh, vstřikovací forma,

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of an injection mould for a fuse box part for an automobile. The thesis consists of two main parts, namely the theoretical and practical part.

The theoretical part firstly deals with the distribution and properties of polymeric materials, especially technical polyamides. Then, this part discusses the principle of operation of injection moulding machine up to the actual injection moulding of polymers. The last and most comprehensive chapter of the theoretical part describes the operation and design elements of the injection mould.

The practical part of this bachelor thesis starts with the selection of the injection moulded part. Subsequently, this part is modelled in 3D software. Next, this part deals with the mould design and its solution for the modelled part. At the end of this section, a drawing of the injection mould with a BOM is produced. All the modelling, design and creation of drawings was done in SolidWorks 3D software.

Keywords: polymer, polyamide, injection molding, design, injection mold,

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Vojtěchu Šenkeříkovi Ph.D. za jeho rady a trpělivost při psaní této práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Františku Masaříkovi za jeho iniciativu a podporu při psaní této práce a celého studia.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERY.....	12
1.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	12
1.2 TECHNICKÉ POLYMERY – POLYAMIDY	13
1.2.1 Obecná charakteristika materiálu polyamid.....	13
1.3 ZÁKLADNÍ MECHANICKO – FYZIKALNÍ VLASTNOSTI PA	14
1.3.1 Mechanické vlastnosti polyamidu.....	14
1.3.2 Odolnost vůči povětrnostním vlivům.....	14
1.3.3 Tepelné vlastnosti polyamidu	15
1.3.4 Chemické vlastnosti polyamidu	15
2 VSTŘÍKOVÁNÍ	16
2.1 ZÁKLADNÍ PRINCIP ČINNOSTI VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	16
2.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	17
3 VSTŘIKOVACÍ FORMA	20
3.1 KONSTRUKCE FORMY	20
3.2 MATERIÁLY PRO VÝROBU FOREM.....	21
3.3 NÁSOBNOST FORMY	22
3.4 VTOKOVÁ SOUSTAVA	22
3.5 STUDENÉ VTOKOVÉ SYSTÉMY	23
3.6 VYHŘÍVANÉ VTOKOVÉ SYSTÉMY	23
3.7 VYHAZOVACÍ SYSTÉMY.....	26
3.7.1 Vyhazovací pomocí kolíků	27
3.7.2 Vyhazování pomocí stírací desky	27
3.8 BOČNÍ ODFORMOVÁNÍ.....	28
3.8.1 Řízené boční pohyby	28
3.8.2 Neřízené boční pohyby	28
3.9 TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	29
3.9.1 Temperační prostředky.....	29
3.10 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	29
II PRAKTICKÁ ČÁST	31
4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	32
4.1 POUŽITÉ SOFTWARE	32
5 VSTŘIKOVANÝ DÍL.....	33
5.1 SPECIFIKACE MATERIÁLU	34

6	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	35
6.1	VTOKOVÝ SYSTÉM	36
6.2	NÁSOBNOST FORMY	36
6.3	TVAROVÁ DUTINA FORMY	37
6.3.1	Tvárník	38
6.3.2	Výměnná tvarová vložka	39
6.3.3	Tvárnice	40
6.3.4	Boční odformování tvarové vložky	40
6.4	ODVZDUŠNĚNÍ	42
6.5	PRAVÁ PEVNÁ STRANA FORMY	43
6.6	LEVÁ STRANA FORMY	46
6.7	VYHAZOVACÍ PAKET	47
6.8	TEMPERACE	49
6.9	PŘEPRAVA, MANIPULACE	50
	ZÁVĚR	51
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	52
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	57
	SEZNAM TABULEK	59
	SEZNAM PŘÍLOH	60

ÚVOD

Technické polymerní materiály jsou dnes čím dál více využíván a ve spoustě průmyslových odvětvích hojně nahrazuje jiné materiály jako je například kov, dřevo, sklo atd. Díky metodě vstřikování plastů je možné vyrobit díly, které jsou tvarově složitě, pevné, houževnaté, lehké a rychle vyrobitelné ve velkých sériích oproti běžné konvekční metodě. V dnešní uspěchané době se tímto dostává polymerní materiál do popředí napříč všemi odvětvími od automobilového, leteckého, či spotřebitelského.

Přes všechny již zmíněné výhody nelze přehlednou ekologickou stránku polymerů a tím spojenou recyklaci. Termoplasty jsou opakovatelně tavitelné, a to přispívá k recyklování těchto polymerů.

Celkově se dá říct, že technologie vstřikování plastů je jedna z nejrychlejších způsobů tvarování plastů, která se využívá k málo i velkosériové výrobě.

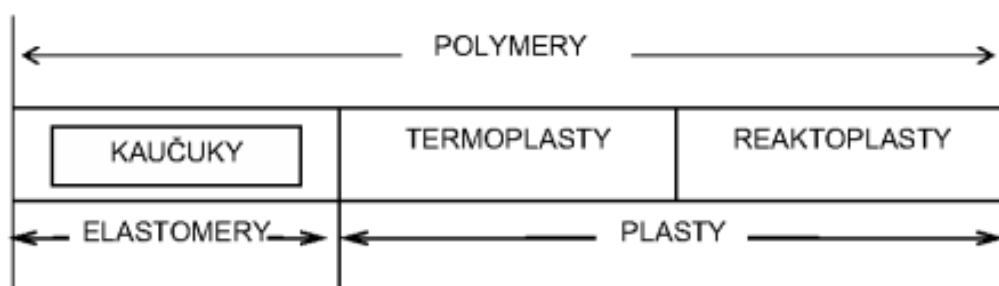
Nutno dodat že cesta k hotovému, a hlavně funkčnímu dílu z hlediska konstrukce a výroby formy je poměrně náročná a neobejde se bez klasifikovaných a zkušených pracovníků. Vzhledem k čím dál větším nárokům na tvarovou složitost dílu je z mého pohledu nutné využívat moderní softwary pro simulování proudění polymerů a jeho chování v tvarové dutině formy. K samotné konstrukci formy či výrobě se doporučuje využívat normálie od firem, které nabízejí konfigurátor těchto dílů nebo mohou podle zadání vstřikovaného polymeru navrhnout optimální vstřikovací trysku pro daný vstřikovaný díl.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Polymery jsou chemické látky neobvyklé šíře vlastností, obsahující ve svých obrovských molekulách převážně atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, často dusíku, chloru a dalších prvků. Polymery jsou ve formě výrobku převážně v tuhém stavu, ale v určitém stádiu zpracování jsou ve stavu v podstatě kapalném, umožňující většinou za zvýšené teploty a tlaku, udělit budoucímu výrobku nejrůznější tvar, podle předpokládaného použití. [1]

1.1 Základní rozdělení polymerů



Obrázek 1 Rozdělení polymeru [1]

Polymerní materiály (tudíž vysokomolekulární látky, jejich molekuly se skládají z opakujících se stavebních jednotek) se dělí na dvě hlavní části:

- Plasty – polymery, za běžných podmínek jsou většinou tvrdé i křehké. Při zvýšené teplotě je lze tvarovat, stávají se plastickými.
- Elastomery – polymery, které je možné za běžných podmínek malou silou značně tvarovat a po zafixování tvaru zůstávají pružná (elastická) tělesa.

Plasty dělíme na další dvě skupiny:

- Termoplasty – teplem tvarovatelné plasty, a přitom cyklus tvarování a fixace je opakovatelný, takže po jejich převedení do taveniny a převzetí tvaru ochlazením je možné je opět roztavit do stavu taveniny a opět zchladit do tuhého tvaru.
- Reaktoplasty – tvarovatelné plasty, které se po fixaci tvaru není možné opakovatelně tvarovat, tudíž při dalším ohřevu dochází k jejich tepelné degradaci.

Stejně jako plasty se na dvě skupiny dělí elastomery:

- Termoplastické elastomery – teplem tvarovatelné, přičemž stejně jako u termoplastů je cyklus tvarování a fixace opakovatelný, spojení mezi makromolekulami jsou chemického charakteru.
- Vulkanizované elastomery (pryže) – tvarovatelné elastomery, které po fixaci tvaru je možné opakovatelně tepelně tvarovat, spojení mezi makromolekulami jsou chemického charakteru. [2]

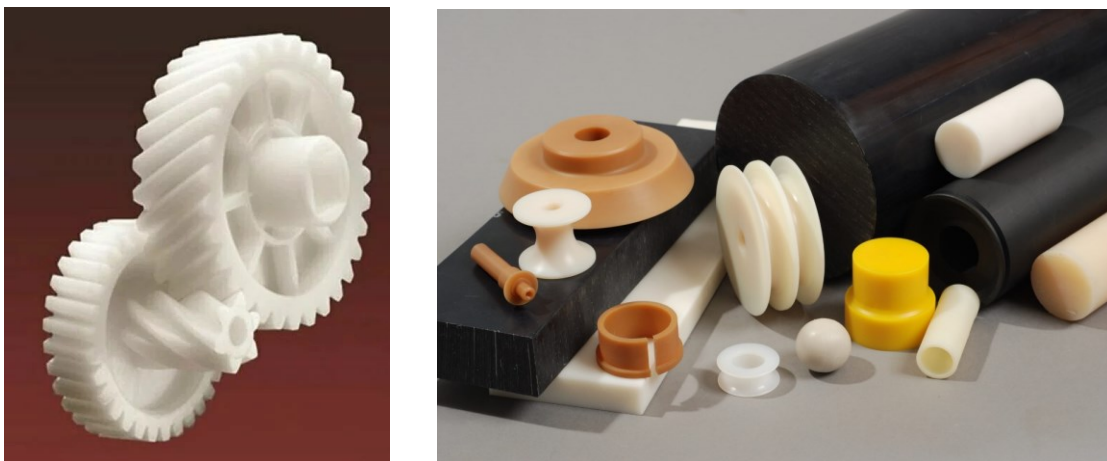
1.2 Technické polymery – Polyamidy

Polyamidy (PA) jsou lineární polymery s dlouhým řetězcem, který obsahuje amidové jednotky (N-H-C=O). Jsou to semikrystalické neprůhledné termoplasty s obsahem krystalické fáze 30 – 50 %. Polyamidy se označují čísly, které charakterizují výchozí polymery podle počtu atomů uhlíku v molekule. [3]

Polyamidové vláko objevil na počátku 20. století Wallace Carothers, který již kolem roku 1935 připravil první polyamidové vláko pod názvem Nylon, a to v podobě štětín zubních kartáčků. Od té doby byla zavedena výroba celé řady druhů polyamidů, které vynikají vlastností vyplývajících z amidové skupiny (silně polární skupina s vysokou mezimolekulární kohezí). [4]

1.2.1 Obecná charakteristika materiálu polyamid

Polyamidy se řadí mezi jedny z nejdůležitější komerční konstrukčních plasty, používané k výrobě velice namáhaných součástí pro různorodé oblasti. Kombinací houževnatosti a tuhosti se polyamidy vyznačují vysokou mechanickou pevností při statickém a dynamickém namáhání. Vynikají nízkým tečením i při dlouhodobém zatížení a použitelnosti v širokém rozsahu teplot. V současné době se využívá celá řada základních druhů polyamidů, které se liší svým chemickým složením a způsobem výroby, ale jsou si podobné svými základními vlastnostmi. Polyamidy se řadí mezi nejčastěji používanou skupinu plastů mezi technickými polymery. A to především díky jejich konkurenceschopné ceně a vlastnostmi. Mezi dva hlavní typy polyamidů patří Polyamid 6 (PA 6) a Polyamid 6.6 (PA 66). Změnou složení monomerů se dosáhlo mnoho různých variant polyamidů. Mezi tyto varianty patří např. (PA 11, PA 12, PA 46, PA 10). [4] [5]



Obrázek 2 Příklady použití polyamidů [6] [7]

1.3 Základní mechanicko – fyzikální vlastnosti PA

1.3.1 Mechanické vlastnosti polyamidu

Polyamidy jsou pevné, tuhé a mají nízký koeficient tření a jsou odolné proti opotřebení. Podílem skelných vláken se také zvýší ohebnost a tvarová stálost při zahřátí. Polyamidy obsahují relativně velký podíl vody, který se v závislosti na typu a oblasti použití mohou měnit podle relativní vlhkosti vzduchu. Pouze s určitým podílem vlhkosti si můžou polyamidy zachovat svou úplnou pružnost, tuhost a rázovou pevnost. Proto by se tyto produkty měly skladovat v chladných a tmavých místech. Obecně lze říct, že klíčovými vlastnostmi polyamidu jsou rychlá krystalizace, což znamená rychlý cyklus vstřikování, houževnatost, odolnost vůči ohybové a mechanické únavě, proto jsou vhodné k využití jako konstrukční materiál. [8]

1.3.2 Odolnost vůči povětrnostním vlivům

Polyamidy jsou citlivé na UV záření. Při běžném používání jsou často vystaveny slunečnímu záření, které způsobuje žloutnutí a rozsáhlou degradaci těchto látek. Při dlouhodobém působení tohoto záření může dojít ke zbarvení, ze světlého odstínu až na tmavý. Polyamidy jsou dosti citlivé vůči povětrnostním vlivům a stárnutí. Společný účinek světla, kyslíku, vlhkosti, a kysele reagujících látek působících v atmosféře způsobuje značné zhoršení mechanických vlastností a tvorby trhlin. Při venkovním použití může být odolnost proti povětrnostním vlivům zvýšena, pokud UV stabilizátory jsou součástí složení. Nejčastěji používaným UV stabilizátorem jsou saze. Použitím sazi se snižuje tažnost a houževnatost jako kompromis za UV stabilitu. [9] [8]

1.3.3 Tepelné vlastnosti polyamidu

I při širokém teplotním rozsahu si polyamidy udržují velmi dobrou stálost rozměrů. Vyztužené polyamidy skelným vláknem mají roztažnost ještě menší. U polyamidů tepelná vlastnost závisí na obsahu krystalické fáze. Polyamidy vyztužené skelnými vlákny mohou krátkodobě odolat teplotám do 250 °C. Maximální dovolené provozní teploty jsou odvozené od zatížení a tvaru výrobku, ty se pak pohybují v rozmezí od -40 °C do 80 °C až do 125 °C. Některé PA lze krátkodobě vystavovat teplotám do cca 200 °C. Polyamidy se začínají tavit při teplotách nad 170 °C. Ke vznícení dochází při teplotě mezi 450 °C až 500 °C. Polyamidy velice špatně hoří a při hoření stékají po kapkách, ze kterých se tvoří vlákna, která po chvíli uhasnou. [8]

1.3.4 Chemické vlastnosti polyamidu

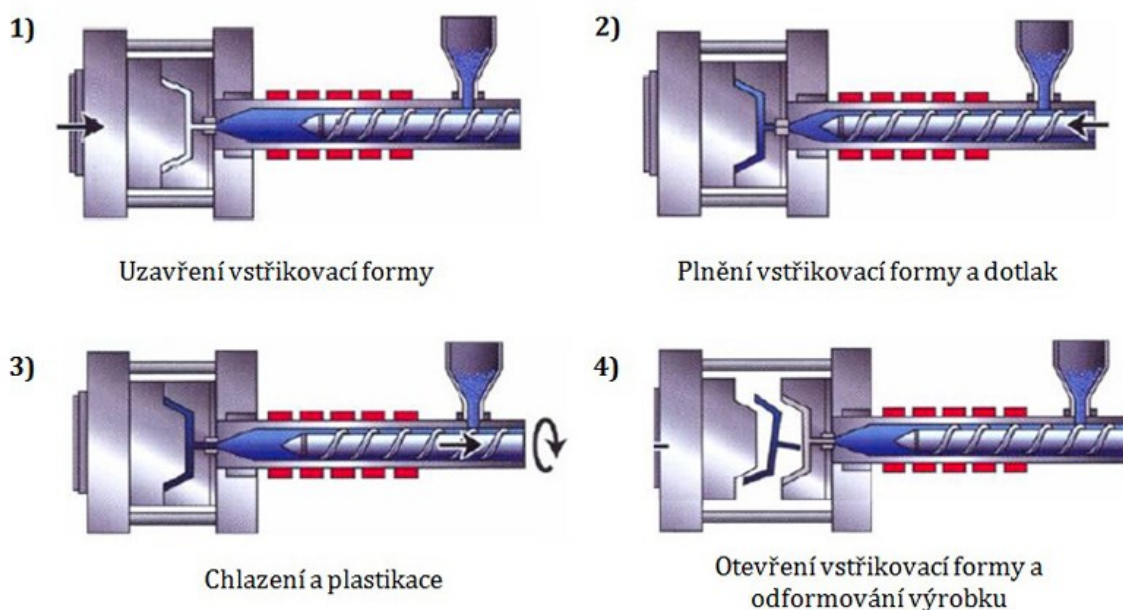
Lze říct, že polyamidy jsou odolné proti běžným rozpouštědlům (např. aceton, alkohol, benzol), olejům, tukům a všem alkáliím a také většině sloučenin kyselin. Polyamidy nejsou odolné proti koncentrovaným kyselinám. [8]

2 VSTŘÍKOVÁNÍ

Je jedním z nejpoužívanějších procesů výroby plastových dílů. Je to hlavní zpracovatelská technika pro zpracování polyamidů pro různá konečná použití, od automobilového průmyslu přes elektroniku, zdravotnictví, sport, stavebnictví až po spotřební výrobky s dokonalou povrchovou úpravou, v různých barevných provedeních, (např. nehlučná ozubená kola, pouzdra, ložiska, atd.). Vstřikování je definováno jako metoda výroby dílů pomocí tepelně tavitelného materiálu – termoplastu. K tomu se používají pístové vstřikovací stroje, stroje se šnekovou předplastikací nebo šnekové vstřikovací stroje bez předplastikace, při vstřikovací teplotě, která se pohybuje okolo 230 až 270 °C. Proto se teplota taveniny volí zpravidla o 15 až 20 °C vyšší, než je teplota tavení požadovaného typu polyamidu. U polyamidu s přidáním skelného vlákna je teplota taveniny vstřikovaného polyamidu o 25 až 30 °C. Výhodu vstřikování polyamidu je, že mají nízkou viskozitu taveniny, proto lze s nimi pracovat i při nižších vstřikovacích tlacích. Dále lze krystalinitu ovlivnit změnou teploty formy pomocí temperovacího systému. Technické dílce se vstřikují do upnuté vyhřáté formy pod vysokým tlakem (50-150 MPa). U technických dílců, kde má být zajištěna optimální pevnost, houževnatost, tažnost a lesklý povrch, se vstřikují do chladné formy. Smrštění polymerů ve formě se pohybuje v rozmezí 0,5 až 1 %. Hotové díly lze vyrobit v jednom kroku, často zcela automaticky. Obecně platí, že následující zpracování není nutné. [10] [11]

2.1 Základní princip činnosti vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroj je tvářecí stroj pro zpracování plastu, který má dvě základní části. První část je vstřikovací jednotka, jejíchž hlavní úlohou je vstřikovat potřebné množství roztaveného termoplastu do formy. Druhou úlohu vykonává uzavírací jednotka, jejímž účelem je držet formu v uzavřené poloze během vstřikování, aby odolávala tlakům dopravního nebo vstřikovacího systému do vytvarování určitého materiálu daného tvaru a po vychladnutí se otevřela, aby bylo možné vyhození dílu z formy. Plastový materiál je dodáván v granulátové formě nejčastěji čirý, nebo barevný. Barevného materiálu se docílí přidáním granulového barviva do směsi. Směs se poté nasype do násypky, kde mnohdy dochází k sušení při teplotě až 150 °C. Násypka vyústí ve válcové komoře, kde se otáčí šnek, který nabírá granulát a dopravuje ho do plastikační jednotky. Rotace šneku promíchává směs, to má za následek vznik tlaku a následné zahřátí granulátu na teplotu, která je požadovaná pro vstřikování. Teplota vstřikovaného materiálu se pohybuje od 150 °C do



Obrázek 4 Vstřikovací cyklus. [14]

1. Dávkování a plastikační fáze

Velikost dávky optimálního objemu zplastikovaného plastu umístěného před čelem šneku, která musí zabezpečit naplnění tvarové dutiny formy a vtokového systému, ale i kompenzovat změnu objemu, vyvolanou smrštěním je zvětšena o materiálový polštář. Tento polštář je o 5 až 10 % větší, než je objem vstřikovací dávky. Vzniká ve vstřikovacím válci před čelem šneku a na konci každého vstřikovacího cyklu během plastikace kdy šnek rotuje a současně koná zpětný pohyb. Během plastikace dochází k ohřívání směsi granulátu pomocí přenosu tepla ze stěn válce a frikčním teplem, vzniklým třením plastu o stěny komory a o tření povrchu šneku. Správná konstrukce šneku a určení jeho otáček lze ovlivnit homogennost taveniny, případně velikost vstřikovací dávky pomocí otáčkami nebo zpětným tlakem. [13]

2. Vstřikovací fáze

Roztavený polymer se do uzavřené dutiny formy vstřikuje přes vtokové ústí, přičemž tlak a rychlost taveniny jsou řízeny axiálním pohybem šneku v tavicí komoře. Proces plnění dutiny formy je nutné řídit tak, aby tavenina nevtékala volným tokem, ale aby materiál vtékal do formy postupně, tak aby čelo taveniny se pohybovalo laminárně. Jedině tak je možné docílit konstantního plnění dutiny formy v každém průřezu formy. Doba plnění dutiny formy se pohybuje řádově do několika sekund. K určité hodnotě vstřikovací rychlosti patří určitá hodnota vstřikovacího tlaku, a teploty tavenin, aby na povrchu nevznikalo smykové napětí.

Tavenina při styku s formou okamžitě tuhne a tvoří se vrstva nepohyblivé hmoty. [13]

3. Dotlaková fáze

Jakmile je tvarová dutina formy naplněna, dochází ke stlačování hmoty, kdy tlak stoupne a rychlost klesne. Účelem této fáze cyklu je dodávání materiálu do formy a tím dochází ke kompenzaci smrštění, deformací a optimalizaci zkopírování povrchu dutiny formy. Dotlakovou fází lze také docílit odstranění propadlin, staženin, trhlin a lunkrů. Tato fáze činí několik sekund až desítky sekund, kde hlavně záleží na průřezu vtokového kanálu. Tlak v průběhu dotlakové fáze může být po celou dobu stejně vysoký jako je maximální tlak, nebo se může po několika sekundách snížit a poté další ochlazování probíhá při sníženém tlaku. [13]

4. Ochlazovací fáze

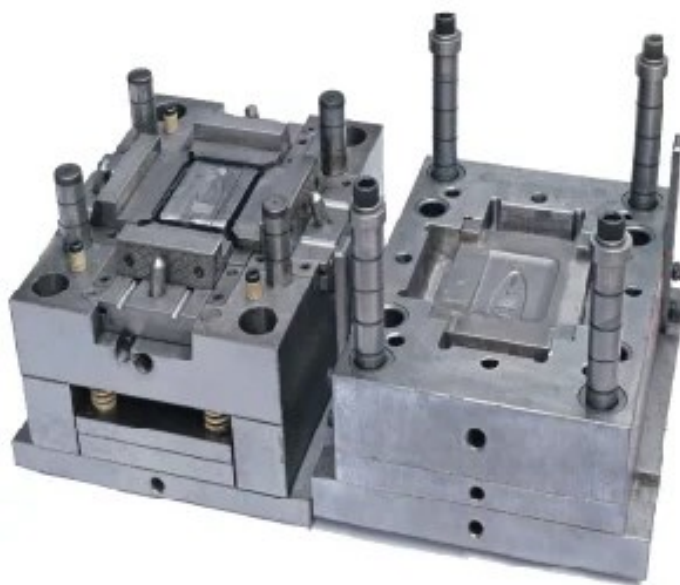
Doba chlazení je nejen významným faktorem konečné kvality dílu, ale také časově nejnáročnější součástí vstřikovacího cyklu. Chlazení tvoří obvykle 80 až 85 % celkové doby cyklu. Materiál začíná chladnout, jakmile opustí vyhřívanou vstřikovací trysku a vstoupí do dutiny formy. V tomto okamžiku začíná vstřikovaný zkapalněný termoplast znovu tuhnout a držet tvar dutiny formy. Ochlazování probíhá až od vyhození dílu z formy. Nedostatečná doba chlazení může způsobit vady nebo deformace na konečné dílu vyhazovacím systémem. [15]

5. Vyjmutí výstřiku z formy

Na konci každého vstřikovacího cyklu musí být výrobek uvolněný z dutiny formy, aby bylo možné opět začít nový cyklus. Po dostatečně dlouhé době musí být ochlazený vstřikovaný polymer vyhozený / vysunutý společně i s vtokovým zbytkem, který je spojený s výstřikem nebo je vyhozen samostatně, to záleží na konstrukci formy. Vyjmutí může nastat mechanicky, hydraulicky nebo také pneumaticky. Při otevření formy se díl vytlačí z dutiny formy, k tomu je zapotřebí použít velkou sílu, protože díl se během ochlazování smrští a přilepí k formě. Po vyjmutí dílu z formy lze formu opět zavřít a vstříknout další výstřik, aby proces začal znovu. [16]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Forma je nástroj, který se upíná do vstřikovacího stroje, je nositelem konečného tvaru vstřikovaného materiálu. Jedná se o vyměnitelnou část uzavírací jednotky vstřikovacího stroje, která se skládá z dílů vymezujících tvarovou dutinu formy, z chladicího (temperančního) systému, vtokové soustavy, vyhazovacího systému a z upínacích a vodících elementů. Konstrukční řešení, uspořádání formy a způsobu výroby formy závisí rozměrové tolerance výrobků a v neposlední řadě také efektivnost a ekonomika výroby. U návrhu formy je podstatná velikost produkce, která určuje násobnost formy. [17]

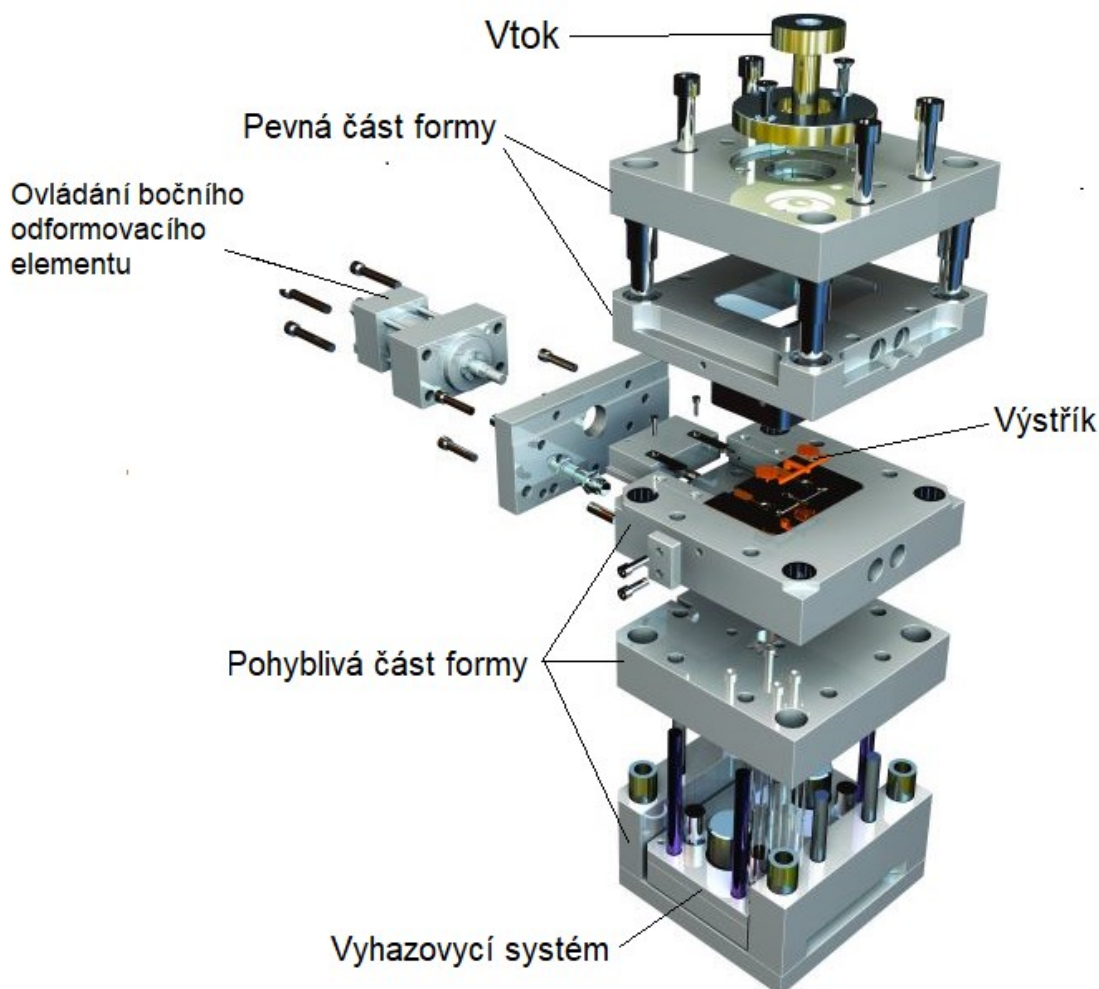


Obrázek 5 Ukázka vstřikovací formy. [18]

3.1 Konstrukce formy

Konstrukce formy je klíčovým faktorem při určování kvality hotového výrobku. Pevnost, životnost a tvar závisí na typu použité formy. Vstřikovací formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů, které se liší, podle toho, jestli vykonávají hlavní nebo vedlejší funkci. Hlavní funkcí je myšleno proces, který přímo ovlivňuje vstřikování. Do této skupiny patří části formy jako je vtoková soustava, tvarové dutiny – tvárník, tvárnice, vyhazovací systém, temperanční systém. K vedlejší pomocné funkci se řadí části formy jako jsou vodící a středící prvky, dále upevňovací díly a prvky pro přenos pohybu. Každá vstřikovací forma obsahuje další důležitý prvek, který je nositelem funkčních částí a tím jsou rámy. Rám formy představuje skupinu desek vzájemně spojených vodícím, středícím a spojovacím příslušenstvím. Spojený celek tvoří funkční nosič tvarových dutin a vtoků,

vypracovaných přímo v deskách, nebo ve zvláštních vložkách. Rám doplněný o další funkční celky pak tvoří kompletní formu s požadovanou funkcí. [14]



Obrázek 6 Příklad sestavy vstříkovací formy. [19]

3.2 Materiály pro výrobu forem

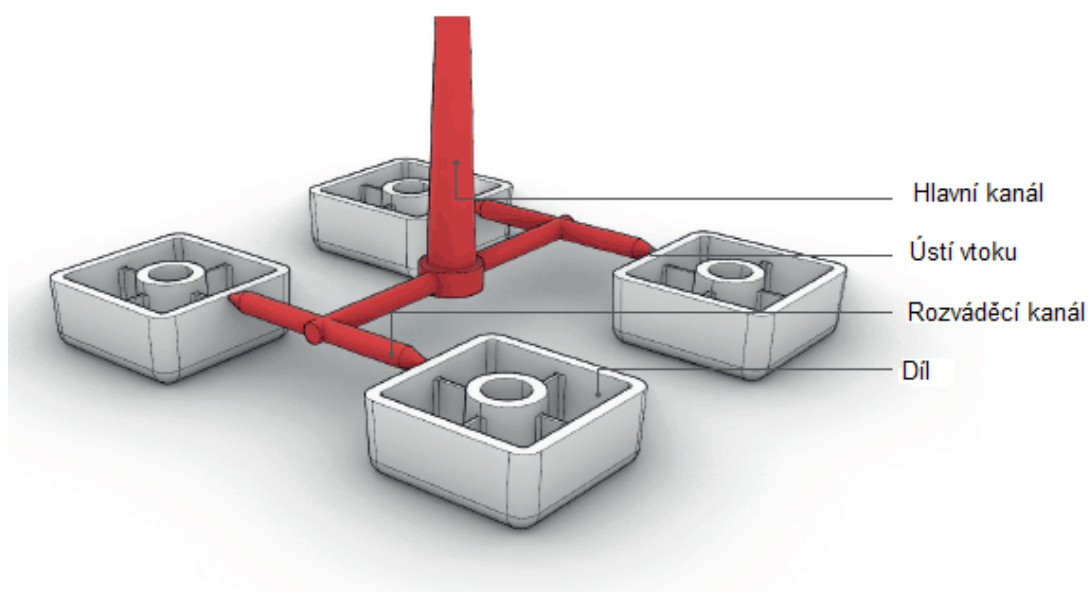
Na každý z dílů vstříkovací formy jsou kladeny specifické materiálové požadavky (opotřebení, životnost atd.) Proto se od vstříkovacích forem vyžaduje dosažení požadované kvality, dlouhé životnosti a nízkých pořizovacích nákladů. S tím výrazně souvisí správná volba materiálu, která je ovlivněna provozními podmínkami výroby například: druhem vstříkovaného materiálu, požadovaná přesnost a jakost výstříku atd. Z toho hlediska jsou upřednostňovány materiály s širokým rozsahem užitečných vlastností, jako jsou oceli různých jakostí, neželezné kovy a jejich slitiny (slitiny Cu, slitiny Al). Životnost formy závisí na volbě materiálu a tepelném zpracování funkčních částí jako je tvárník, tvárnice atd. [20]

3.3 Násobnost formy

Přechod z formy s jednou dutinou na formu, která vyrábí dva, čtyři nebo osm dílů najednou, se zdá být snadným způsobem, jak zvýšit objem výroby a snížit náklady na výrobu dílů. U vícenásobných vstřikovacích forem je nutné dbát, aby všechny tvarové dutiny byly plněny současně a při stejných technologických podmínkách, to znamená při stejné teplotě taveniny a tlaku. V případě vícenásobných vstřikovacích forem se dutina formy umísťuje buď do hvězdy nebo v do řady. V případě volby vícenásobné formy je důležité zvolit optimální násobnost, která je závislá na mnoha faktorech což může mít vliv na charakter a kvalitu výstřiku, velikosti a kapacitě vstřikovacího stroje atd. [17]

3.4 Vtoková soustava

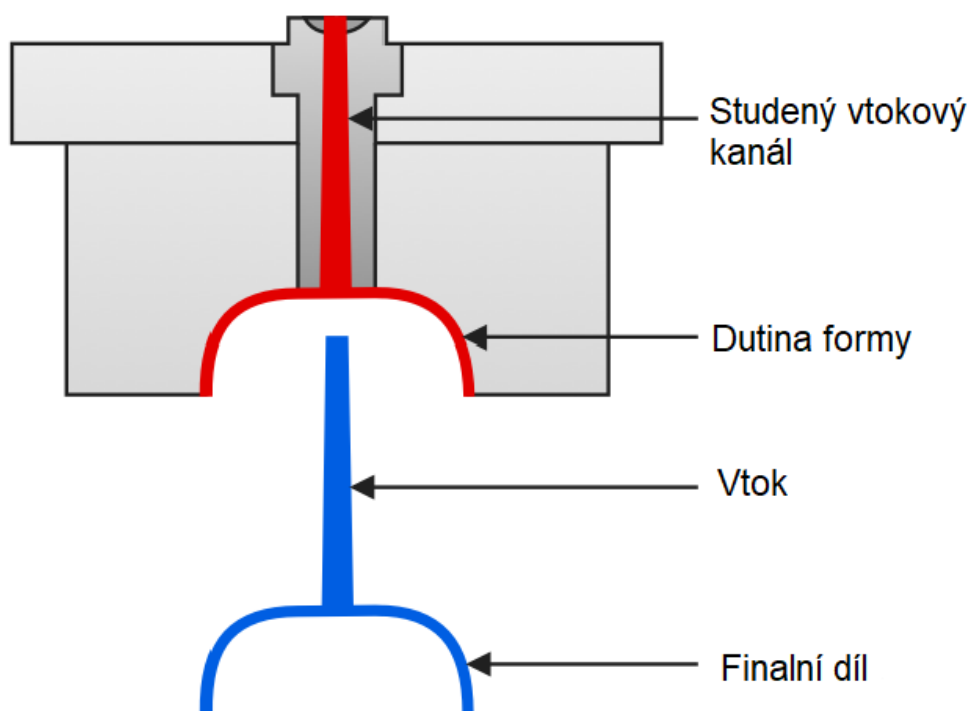
Je to systém kanálu a ústí vtoku, který má za úkol zajistit rovnoměrné zásobování tvarové dutiny taveninou plastu nejkratší cestou s co nejkratším možným čase a s minimální tlakovou a tepelnou ztrátou. Dále musí umožnit bezproblémové oddělení výstřiku a vyhození vtokového zbytku. Konstrukce vtoku by měla poskytnout co nejdelší působení dotlaku pro kompenzaci objemového smrštění. Z tohoto důvodu se zpravidla umísťuje do nejtlustšího místa dutiny. Správná volba vtokové soustavy a jejího uspořádání záleží na konstrukci formy tzv. násobnosti. Pokud je forma řešena jako vícenásobná, umístění tvarových dutin se provádí do hvězdy nebo do řady. [21] [22]



Obrázek 7 Příklad vtokového systému formy [23]

3.5 Studené vtokové systémy

Systém se studeným vtokovým kanálem je nákladově efektivnější, než je to u vtoků s vyhříváním kanálem. Tavenina vstřikovaného dílu zcela vychladne na konci každého vstřikovacího cyklu. Jednou z hlavních nevýhod systému studených vtoků je, že dochází ke ztuhnutí vstřikovaného plastu jak v hlavním vtokovém kanále, tak i rozváděcích kanálech. To má za následek, že je nutné vtoky po každé sérii oddělit od dílu jako vtokový zbytek. Během průtoku taveniny studeným vtokovým systémem je nutné zajistit naplnění dutiny formy v co nejkratším čase a s minimálním odporem, protože se snižující teplotou vstřikované taveniny roste viskozita taveniny a také roste odpor proti toku, to má za následek zvyšujícímu se vstřikovacímu tlaku. Proto se tento typ vtokového systému volí především u menší sériové výroby a jednodušších tvarů. [24]

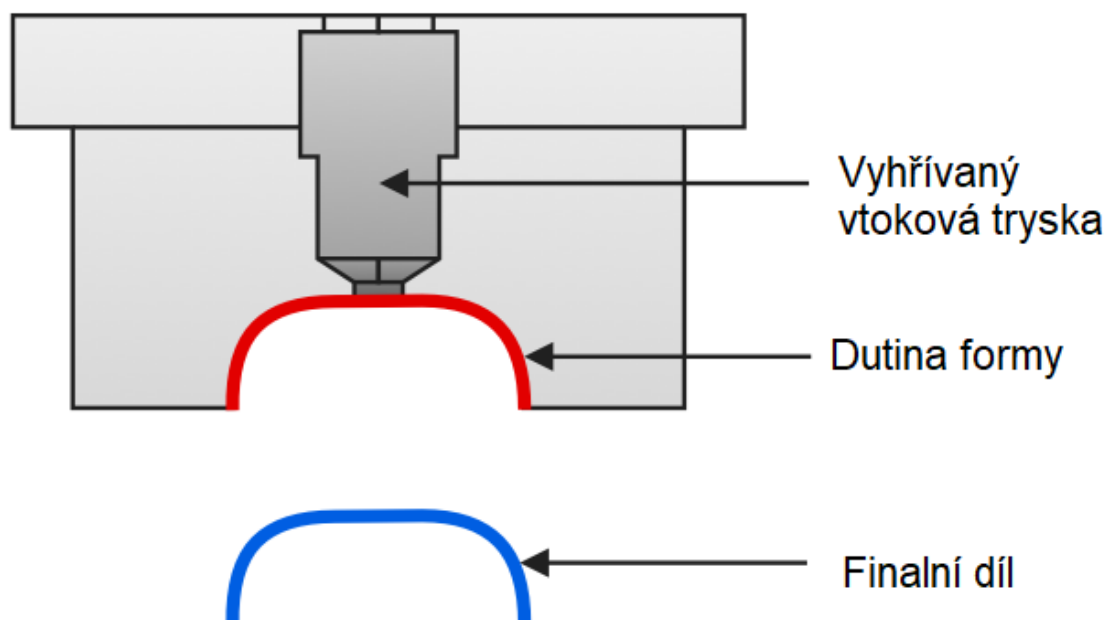


Obrázek 8 Ukázka studeného vtokového systému. [25]

3.6 Vyhřívání vtokové systémy

Systém s vyhříváním vtokem má obecně výrazně kratší dobu vstřikovacího cyklu, než je to u systému se studeným vtokem. Toho je docíleno u této technologie tím, že po vstřiknutí polymeru do tvarové dutiny formy, zůstává tavenina v plastickém stavu v celé délce vtokového systému, to je myšleno od tvarové dutiny po ústí formy. Vyhřívání vtokové soustavy jsou tvořeny nejčastěji pomocí vyhřívání trysek s minimálním úbytkem tlaku a

teploty při optimálních tokových vlastnostech taveniny. Vyhřívané vtokové systémy jsou tvořeny nejčastěji ve formě vyhřívaných rozváděcích kanálků (externí vyhřívání), v kombinaci s vyhřívanou tryskou (interní). Vzhledem k tomu, že soustava rozvodu taveniny je značně tepelně i mechanicky namáhána, vyžaduje větší tuhost formy, a tudíž i větší přesnost její výroby. Tím dochází k nárustu výsledné ceny formy. Díky tomuto nepříznivému faktoru nejsou tyto formy ekonomicky vhodné pro krátkodobý nebo přerušovaný provoz. Eliminace vtokových kanálků výrazně snižuje počet po výrobních činnostech jako je odstranění vtokových kanálků a vtoků, přebroušení a recyklace. Absence vtokových kanálků také snižuje potenciální odpad během procesu vstřikování a eliminuje potřebu robotizace při odstraňování vtokových kanálků. To přispívá k celkovému snížení nákladů a zvyšuje efektivitu procesu. [17] [21]

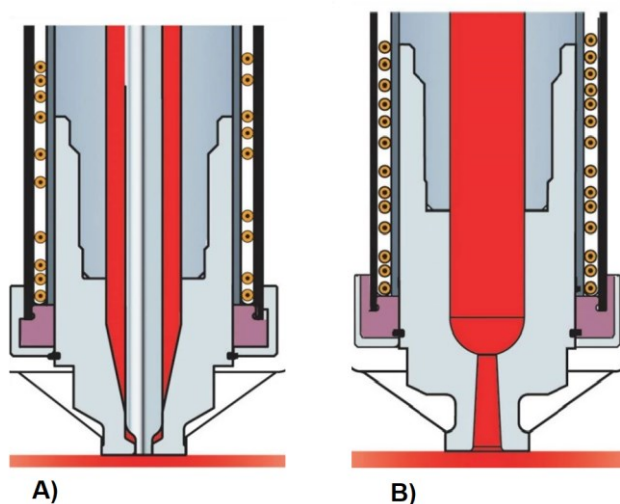


Obrázek 9 Ukázka systému vyhřívaného vtoku. [25]

Základní rozdělení konstrukcí vyhřívaných vstřikovacích trysek:

- a) s vnitřním vyhříváním – tavenina obtéká vnitřní vyhřívanou vložku
- b) s vnějším vyhříváním – tavenina proudí vnitřní otvorem trysky, topení je z vnější strany trysky

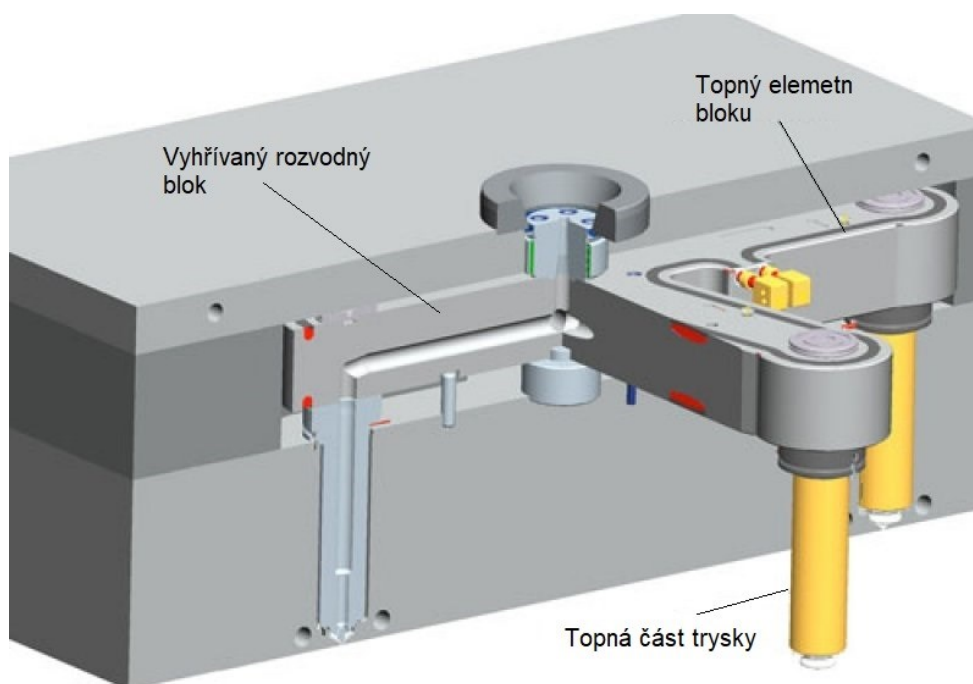
Vyústění vtoku do dutiny formy může být provedeno jedním nebo více otvory a tím se odstraňuje nevýhoda stopy vtoku na výstřiku. [20]



Obrázek 10 Vyhřívání vstříkovací trysky [26]

Vyhřívání rozvodné bloky

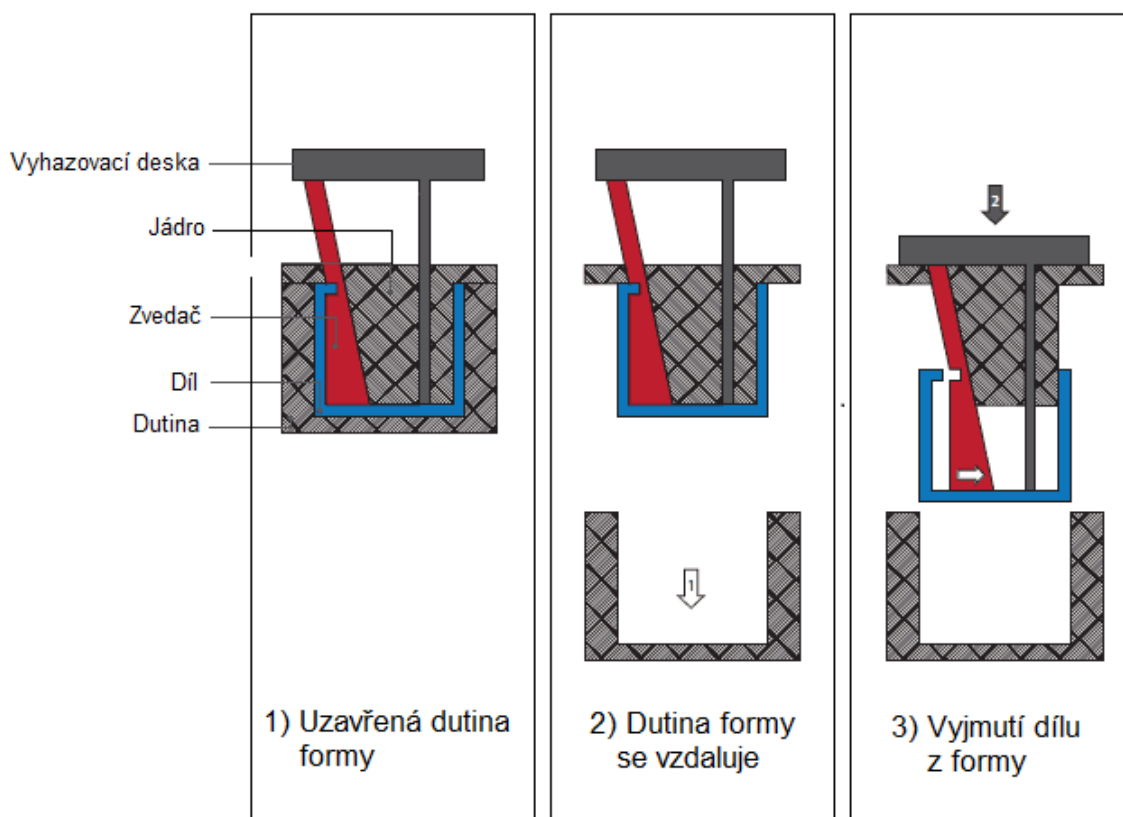
Hlavní topnou částí formy jsou vyhřívání bloky, které pomáhají k rozvodu taveniny do tvarových dutin vícenásobných forem. Správná funkce je podmíněna stejně jako u vyhřívání vstříkovací trysky rovnoměrným teplotním polem, pomocí topných hadů zalitých v mědi, topných patron apod. Takto vyhřívání bloky umožní rychlého ohřevu, dostatečné teploty a teplotního pole pro nižší rychlost proudění a zajištění stejnoměrné dodávky tepla. Nevýhodou tohoto řešení je potřeba dodávky poměrně velkého množství tepla na ohřev tvarového bloku formy a nutnost izolovat vyhřívání blok a ostatní části formy.



Obrázek 11 Vyhřívání rozváděcí kanálky formy [27]

3.7 Vyhazovací systémy

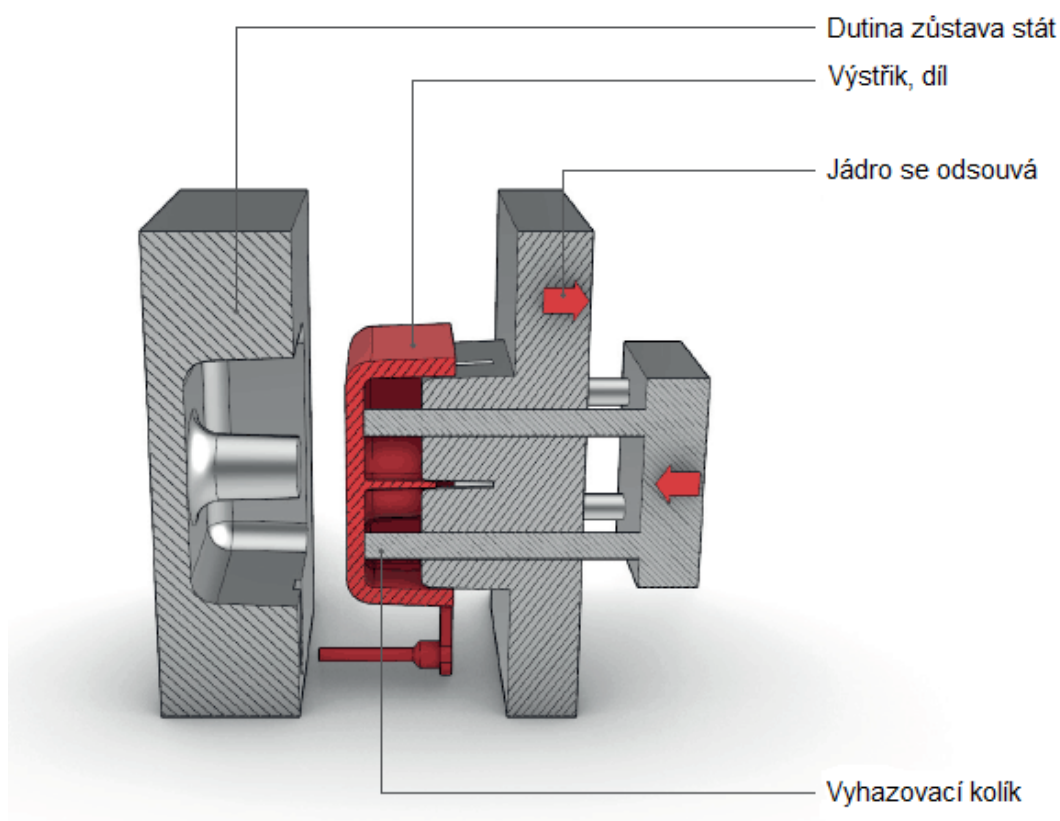
Vyhazování výstřiku z formy je fáze, která po dokončení vstřikovací a dotlačkové fáze z dutiny nebo tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí hotový díl. K vyhození slouží různá vyhazovací zařízení, které doplňují formu o svojí funkci a fungují z pravidla automaticky nebo poloautomaticky. Při vyhazování se z dutiny formy odstraňuje výrobek včetně vtokového zbytku. Vyhazovací pohyb lze rozdělit na dvě fáze. První pohyb, u kterého dochází k vlastnímu vyhazování dílce je dopředný pohyb. Poté následuje druhý pohyb vyhazovacího zařízení a tím je zpětný pohyb, kdy se vyhazovací zařízení vrací zpět do původní polohy. Po otevření formy zůstává výrobek zpravidla na straně tvárníku. Obecně lze říct že je snahou, aby výrobek zůstal na straně vyhazovacího zařízení. Aby vysunutí dílu z formy probíhalo správně je nutné dodržet základní podmínky vyhazování. K tomu je zapotřebí hladkých stěn a úkosovitost stěn ($0^{\circ}30'$ a více) ve směru vyhazování. Další podmínkou je, aby vyhazovací síla působila rovnoměrně na výrobek a tím se zamezilo vzniku deformací nebo k poškození. Snahou je docílit, aby stopy po vyhazovacím zařízení byly minimální nebo ideálně žádné. [21]



Obrázek 12 Ilustrace vyhazovacího systému v průběhu vyjmutí dílu z dutiny formy [23]

3.7.1 Vyhazovací pomocí kolíků

Mechanické vyhazování je nejrozšířenějším vyhazovacím systémem. Mezi nejčastěji používané mechanické vyhazování se řadí vyhazovací kolíky. Jsou nejčastějším a nejlevnějším způsobem vyhazování výrobků z dutiny formy. Jsou výrobně jednoduché a funkčně spolehlivě zaručené. Správná volba typu vyhazovacího kolíku a jeho umístění umožní snadné vyhození bez jakéhokoliv poškození výrobku. Z toho důvodu se volí umístění vyhazovacího kolíku tak, aby se opíral o nepohledovou stěnu nebo žebro výrobku, které se nesmí během vyhazování bortit. Vyhazovací kolíky se kotví ve vyhazovacích deskách formy. Množství a umístění vyhazovacích kolíků se volí s ohledem na temperační systém. [17]



Obrázek 13 Příklad mechanického vyhazovacího systému pomocí kolíků. [23]

3.7.2 Vyhazování pomocí stírací desky

Vyhazování stírací deskou, představuje stahování výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu. Vzhledem k využití velké styčné vyhazovací ploše, nezanechává na výstřiku stopy po vyhazování a tím jsou pak jeho deformace minimální, kdež to stírací síla je velká. Tento systém se především využívá u tenkostěnných výrobků nebo u rozměrných, které vyžadují velkou vyhazovací sílu. [17]

3.8 Boční odformování

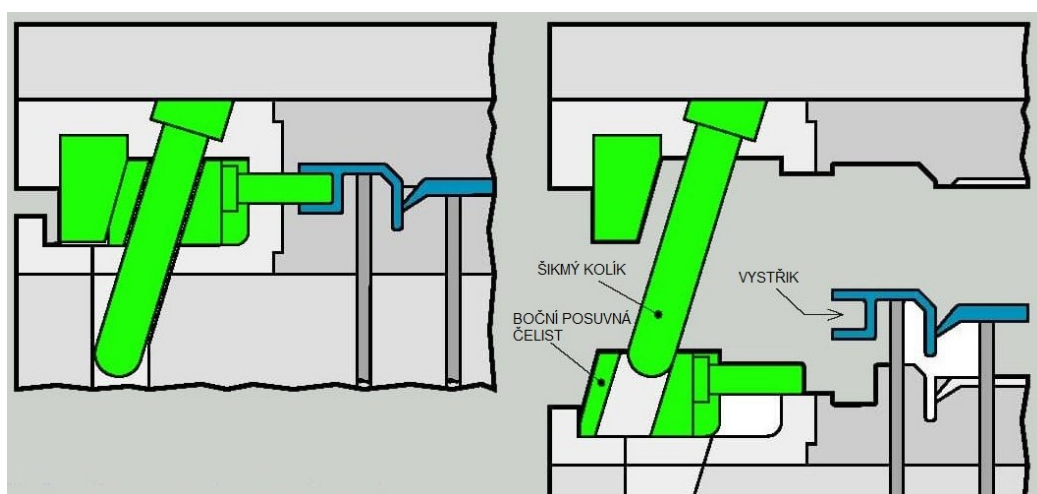
Tvarová složitost plastových dílů je dnes velmi vysoká. Geometrická složitost plastových dílů je dána širokou škálou možností odformátování. To umožňuje vyrábět i složité tvary, které je nemožné vyrábět jinými technologiemi nebo je výroba velmi nákladná, jako jsou otvory kolmé nebo pod úhlem k hlavní dělicí rovině formy. Dále výstupky, zahloubení, podkosí atd. Obecně lze rozdělit odformování bočních tvarů do dvou kategorií podle ovládání posuvných elementů. A to na řízené boční pohyby a neřízené boční pohyby. [28]

3.8.1 Řízené boční pohyby

Pohyb čelistí je zajištěný pomocí hydraulického nebo pneumatického válce. Odformování může být provedeno kdykoliv během otevření formy, což je výhodou tohoto nezávislého pohonu. Osa pohybu může být umístěna libovolně vzhledem k dělicí rovině formy. Při použití pneumatického ovládání čelistí je nutné brát v úvahu stlačitelnost vzduchu, který může mít za následek trhavý nebo nerovnoměrný pohyb válce. Hydraulické válce se u pohyblivých čelistí používají pro vytažení dlouhých nebo těžkých jader, popřípadě i několika jader najednou. [28] [20]

3.8.2 Neřízené boční pohyby

Existuje mnoho posuvníků, ale nejčastější se používá jádrový posuvník. Jedná se o mechanický pohyb, který ovládá jádra. Tyto mechanické pohyby mají definovanou délku a čas pohybu odformování. Základní ovládací prvek je vždy umístěn kolmo na dělicí rovinu formy. Pohyb lze ovládat pomocí šikmého kolíku, který táhne pohyblivou čelist.

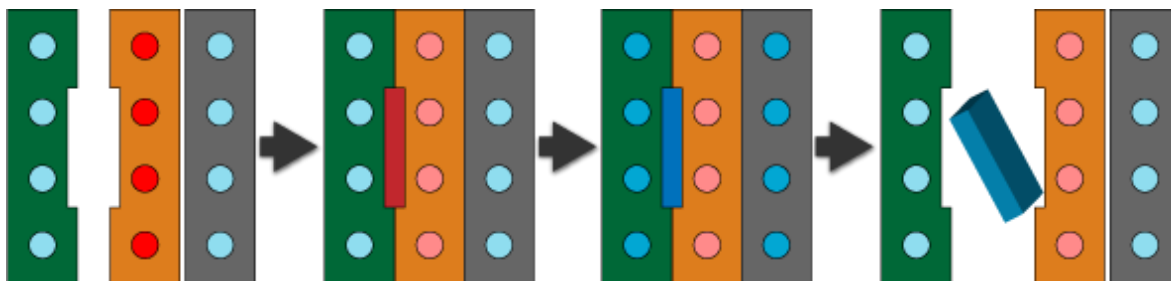


Obrázek 14 Ukázka bočního odformování pomocí šikmého válcového kolíku. [30]

Moderní a ekonomičtější způsobem je pružinový prvek, který vyosí tvarovou část mimo plastový díl a umožní vyjmutí plastu z dutiny. Odpružené nebo šikmé vyhazovače se 3 stupni volnosti výrazně zkracují dobu cyklu. [28]

3.9 Temperační systém

Temperace vstřikovací formy je faktor, který výrazně ovlivňuje dobu vstřikovacího cyklu, včetně mnoha kvalitativních parametrů, jako je rozměrová a geometrická stálost, deformace, kvalita povrchu a mechanické vlastnosti. Toho lze dosáhnout ochlazováním nebo vyhříváním celé formy nebo její části. Temperování probíhá buď to v pevné nebo pohyblivé části formy. [13] [17]



Obrázek 15 Zjednodušená ilustrace rychlého ohřívání/ochlazování formy [31]

3.9.1 Temperační prostředky

Volba termperačního prostředku je ovlivněna především koncepcí formy a požadavky na technologii výroby výstřiků. Používají se obvykle ve vzájemné vazbě. Temperační prostředky se dělí do dvou skupin. Ty, které působí přímo na formě jsou aktivní prostředky, odvádí nebo přivádí teplo z formy. Mezi tyto prostředky patří kapaliny, vzduch, topné elektrické články atd. Pasivní prostředky jsou takové, které svými fyzikálními vlastnostmi ovlivňují tepelný režim formy, jako jsou například tepelně izolační a vodivé materiály. [32]

3.10 Odvzdušnění forem

Během plnění dutiny formy výstřikem plastu je vzduch v dutině stlačován a tím jeho tlak narůstá, což může mít za následek nežádoucí účinek, který může vyústit až k zažehnutí vzduchu a tím ke spálení plastu. Takto deformovaný díl je zasažen tzv. Dieslovým efektem. Působení vzduchu v dutině formy má také negativní vliv na mechanické vlastnosti výstřiku, a to v podobě tvoření bublin, které často zůstávají uzavřené ve stěnách výstřiku. Proto je nutné dbát na důkladné odvzdušnění formy. To lze zajistit odvzdušňovacími kanálky ve formě drážky kolem tvarové dutiny do kterých se příčně přivádí vzduch. Dále je možné

k odvzdušnění využít vyhazovacích kolíků, které se po části průřezu zploští a tím vzniká vůle, což umožní úniku vzduchu. [17] [12]



Obrázek 16 Dieselův efekt [33]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Stanovení hlavních cílů bakalářské práce bylo:

- Vypracovat literární studii na dané téma
- Vymodelovat daný díl ve 3D
- Provést konstrukci vstřikovací formy pro daný díl
- Nakreslit 2D sestavu vstřikovací formy

4.1 Použité softwary

Jak model, tak i celkový návrh formy je modeloval ve 3D programu SolidWorks, ve kterém je také vytvořený výkres sestavy.

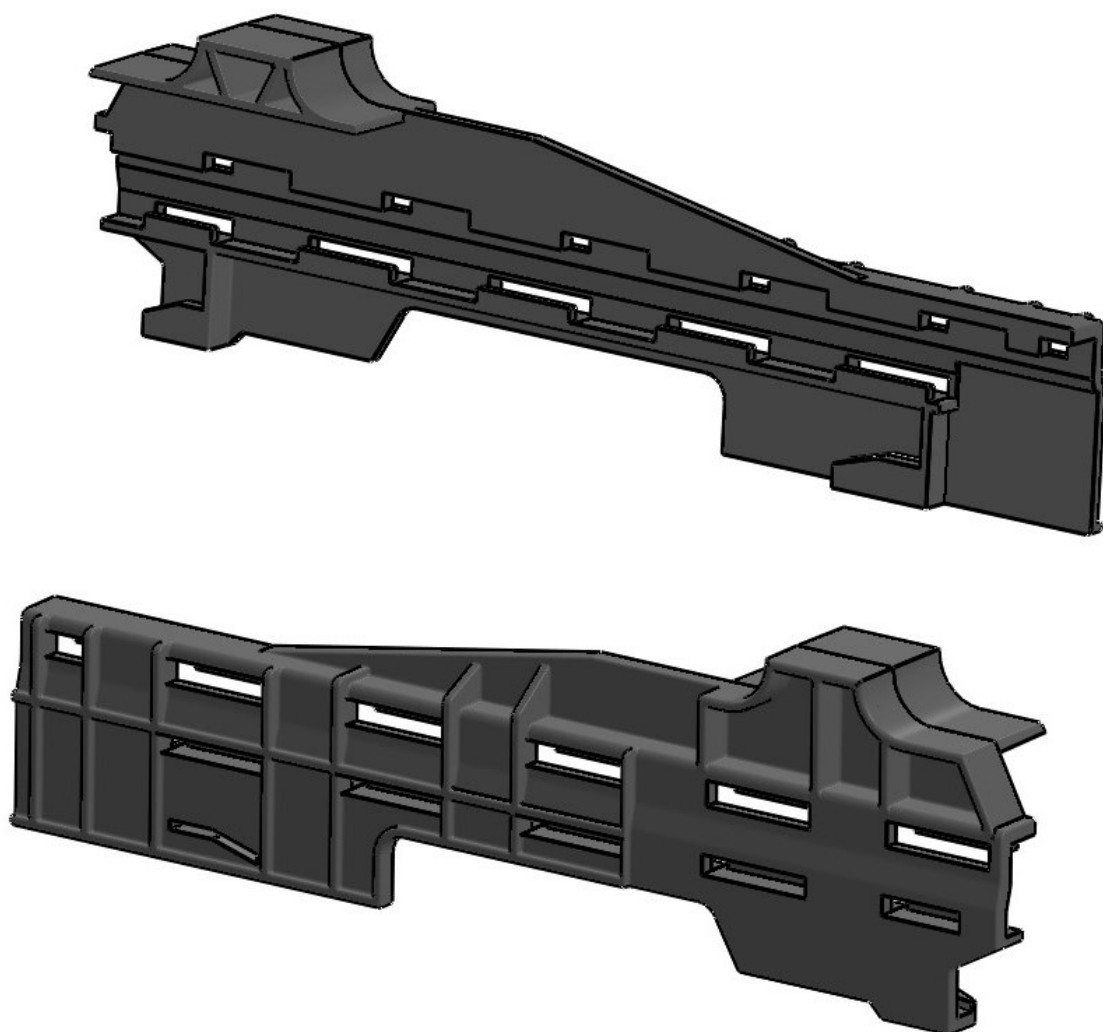
Dále bylo využito k tvorbě formy stažených normálií od firmy Meusburger a Hasco.

5 VSTŘIKOVANÝ DÍL

Jako vstříkovaný díl této práce je uzávěr pojistkové skříně automobilu, konkrétně uzávěr na pravé straně pojistkové skříně. Hmotnost dílu je 29,89 g a jeho rozměry jsou, délka 192 mm šířka 54 mm a hloubka 23 mm.

Jedná se o díl, který spojuje box pojistkové skříně s víkem v motorovém prostoru automobilů. Ke spojení boxu a víka dojde zasunutím uzávěru, který má na jedné straně drážku a boční výstupky. Na druhé straně uzávěru jsou žebra, která zvyšují pevnost celého dílu. Vzhledem k tomu že se jedná o díl v motorovém prostoru, tak není kladen tak velký důraz na vzhled tohoto dílu oproti interiérovým prvkům v kabině vozidla. Materiál toho dílu je volen s ohledem na mechanické a tepelné namáhání. Proto je zvolen materiál

PA 66 bez plniv.



Obrázek 17 Vstříkovaný díl

5.1 Specifikace materiálu

Polyamid 66 patří mezi technické polymery. Jedná se o semikrystalický termoplast, který se primárně vyrábí polykondenzací a řadí se do skupiny aminokyselin. Jak už bylo zmíněno polyamid 66 se vyznačuje vysokou tuhostí, tvrdostí, oteřuvzdorností, jeho provozní teplota je v rozmezí od -40 °C do 80 °C (dlouhodobě) až 120 °C (krátkodobě). Proto se tento materiál hojně používá ve strojnictví a automobilovém průmyslu. [33]

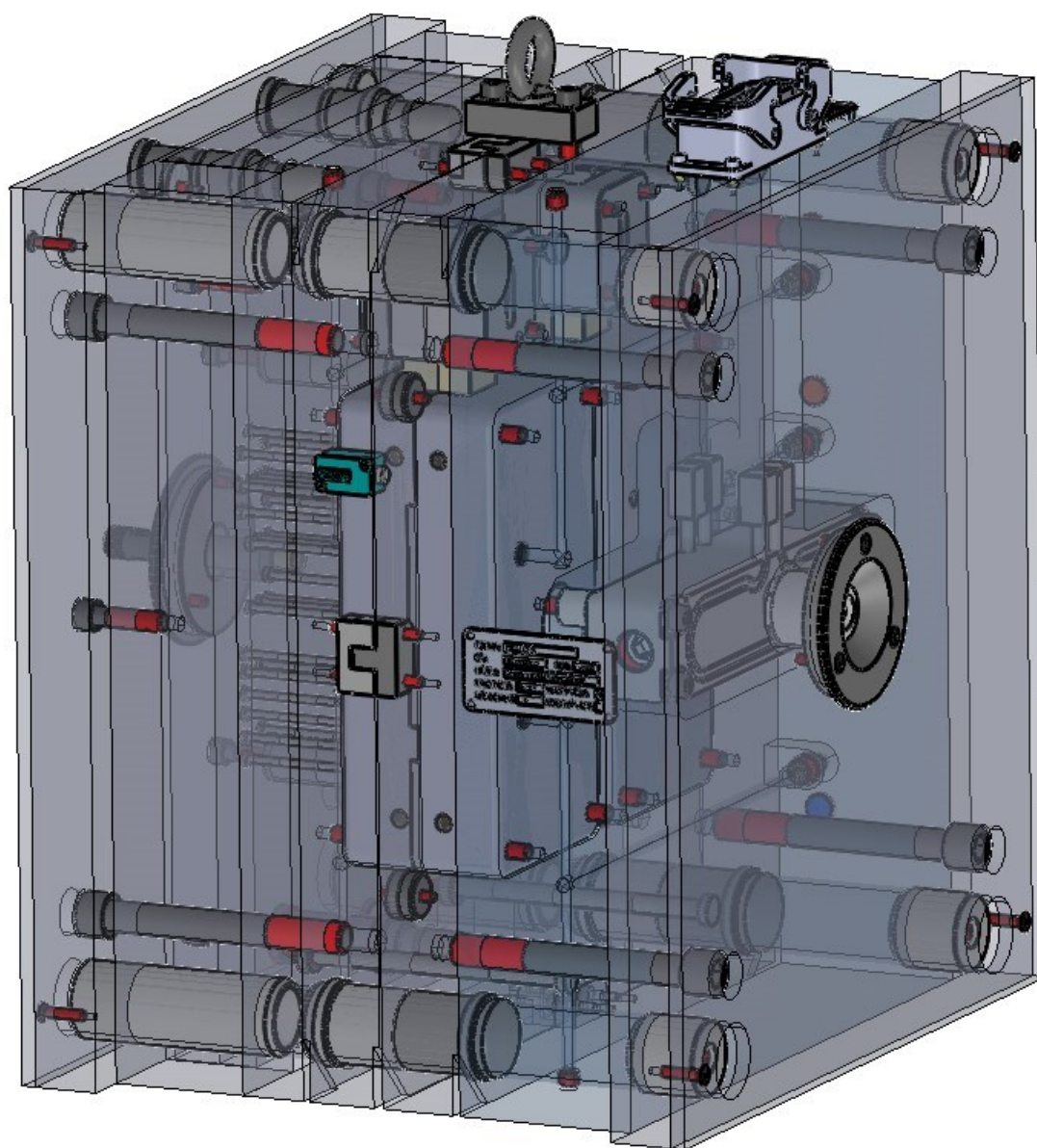
Tabulka 1 Vlastnosti PA 66

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Hustota	1,14	g.cm ⁻³
Bod tání	215 - 235	°C
Pevnost v tahu (přetržení)	min. 65	MPa
Mez kluzu v tahu	68 – 73	MPa
Tažnost	30 – 50	%
E – modul pružnosti v tahu	min. 2450	MPa
E – modul pružnosti v ohybu	min. 2100	MPa
Smrštění	1,25	%

Vlastnosti PA 66 (suchý materiál) [34]

6 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

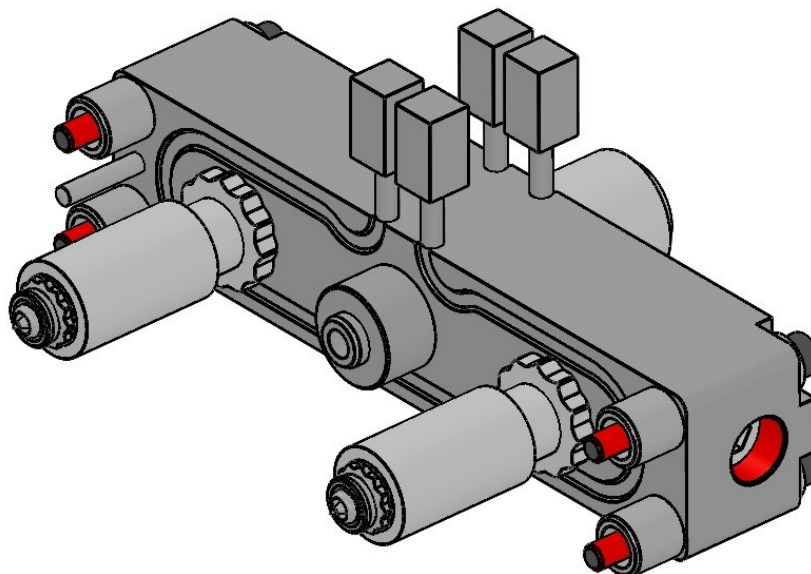
Vzhledem k pořizovací cenové náročnosti celé formy, by měla být forma konstruovaná tak aby svojí funkčností byla co nejpřesnější a současně konstrukčně co nejjednodušší s ohledem na tvarovou složitost vstřikovaného výrobku. Při konstruování formy lze použít konfigurátor normalizovaných dílů od firmy Meusburger, Hasco atd. Nebo si lze normalizované díly stáhnout, uložit což urychluje a zjednodušuje celý proces navrhování formy. Hmotnost vstřikované formy je 487 kg a její vnější rozměry jsou, délka 396 mm, šířka 446 mm a výška 496 mm.



Obrázek 18 Vstřikovací forma

6.1 Vtokový systém

Vzhledem k tvarové složitosti vstřikovaného dílu a násobnosti, byla zvolena vyhřívaná vtoková soustava. Pro návrh celého horkého vtokového systému byl použitý konfigurátor od firmy Meusburger, který po zadání všech potřebných parametrů vygeneroval celý vtokový systém. V prvním kroku se volí počet trysek, tedy dvě. V druhém kroku se volí konfigurace rozvaděče. Mezi požadované parametry pro vygenerování vtokového systému bylo nejprve nutné vyplnit materiál vstřikovaného dílu, v tomto případě tedy PA 66 a hmotnost jednoho dílu, což je 29,89 g. Další parametr, který bylo potřeba zadat je vzdálenost mezi tryskami a jak má být rozvaděč horkého vtoku orientován vůči desce pro horký vtok. V tomto případě bylo zadáno, že vzdálenost mezi tryskami je 140 mm a orientace rozvaděče byla volena tak, aby trysky byly v horizontální poloze a vývody pro kabel směřovaly směrem nahoru ven z formy. Ve třetím kroku se zadává průměr středícího kroužku, rozměrové velikosti desek, hloubka zapuštění trysek a její průměr. Ve čtvrtém kroku je nutné vybrat typ trysky a sestavu ústí, v tomto případě je brán zřetel na doporučení výrobce.



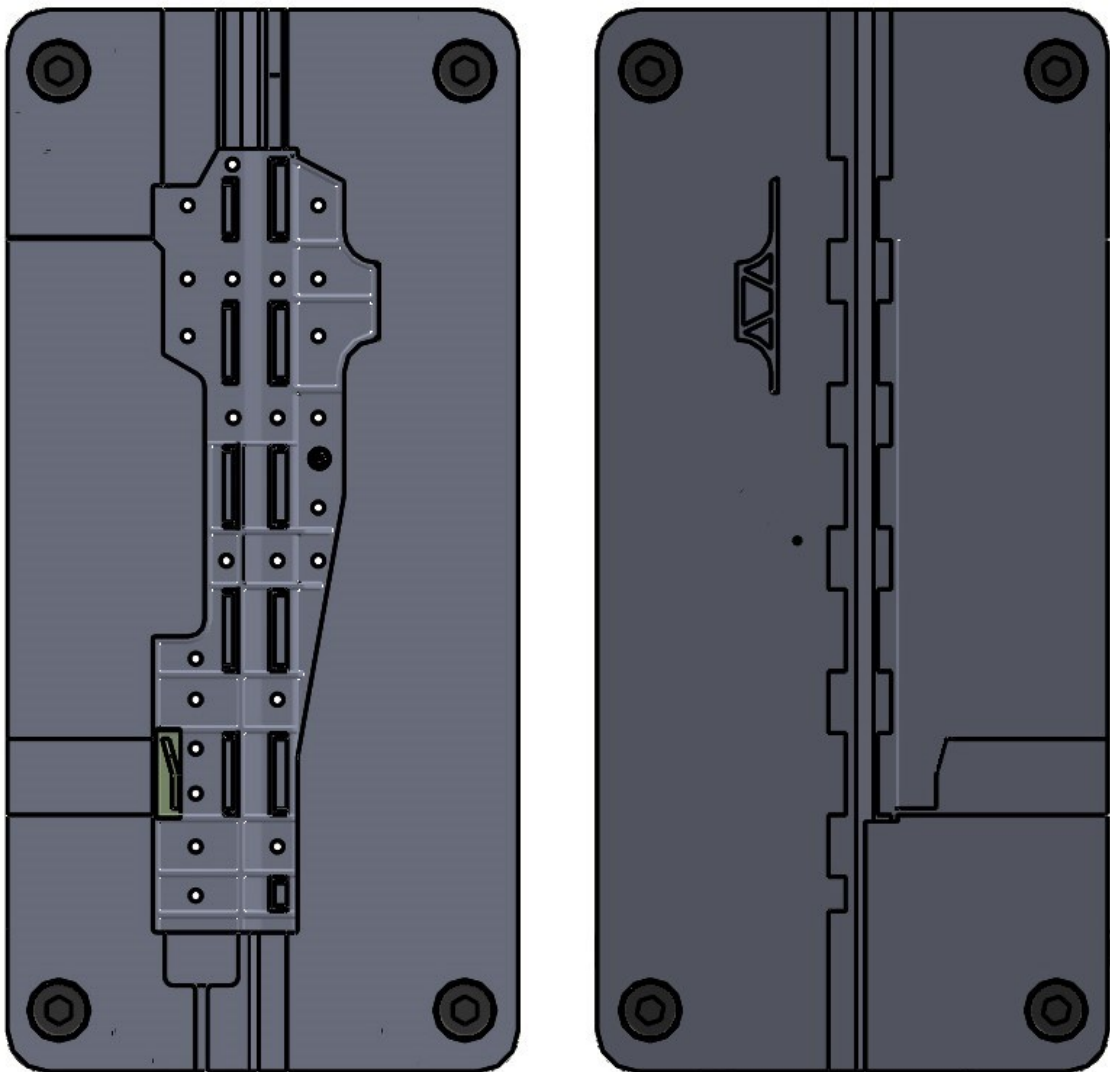
Obrázek 19 Rozvaděč vtokového systému

6.2 Násobnost formy

Násobnost formy byla volena na základě složitosti tvaru výrobku, přesnosti, velikosti a také kapacitě vstřikovacího stroje. Dále je násobnost formy volena s ohledem na požadované množství výrobků. Pro řešení praktické části bakalářské práce byla zvolena dvojnásobná forma.

6.3 Tvarová dutina formy

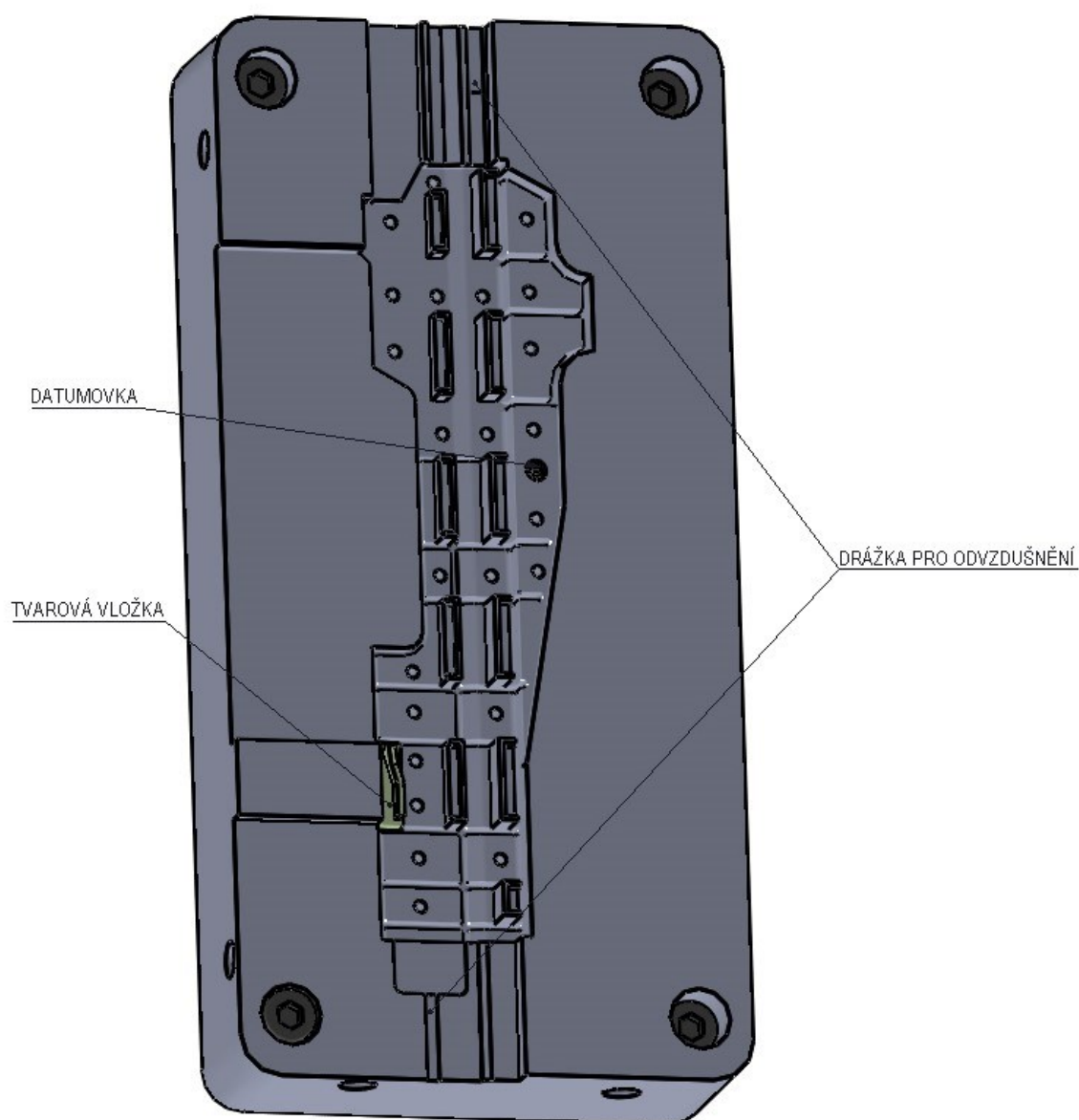
Tvarová dutina formy je navržena s ohledem na vyrobiteľnosť a správnu funkčnosť pro daný výrobek. Skládá se ze tří částí, tvárník, tvárnice a pohyblivá tvarová vložka. Tyto tři části společně tvoří negativ daného vstřikovaného výrobku. Vzhledem k mechanickému opotřebení jsou tyto části vyrobeny z nástrojové oceli, které jsou následně cementovány a kaleny. Tvarová dutina je vložena do kotevní desky formy a šrouby připevněna k opěrné desce.



Obrázek 20 Tvarová dutina formy, tvárník a tvárnice

6.3.1 Tvárník

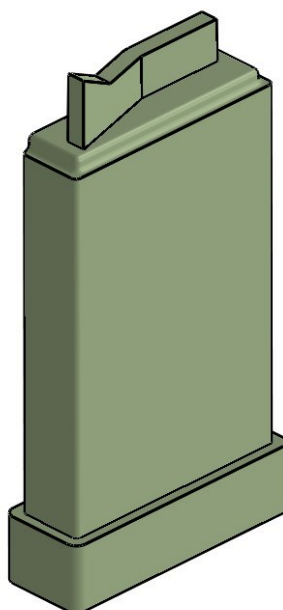
Tvárník je umístěný na levé (pohyblivé) straně formy, kde je vsazen v kotevní desce a 4 ks šroubu připevněn k levé opěrné desce. Tvárník obsahuje tvarovou vložku, aby bylo možné docílit požadovaného tvaru. Tato vložka je vsazena do tvárníku a opřena o opěrnou desku. Datumovka nebo také číselník je umístěn ve tvárníku z důvodu označení výrobku číslem, aby bylo možné po vyhození dílu z dutiny formy na pás zjistit, ze které dutiny byl výrobek vyhozen. V tvárníku jsou dále vyfrézovány drážky pro odvzdušnění. Řešení odvzdušnění tvarové dutiny formy je popsáno v kapitole odvzdušnění.



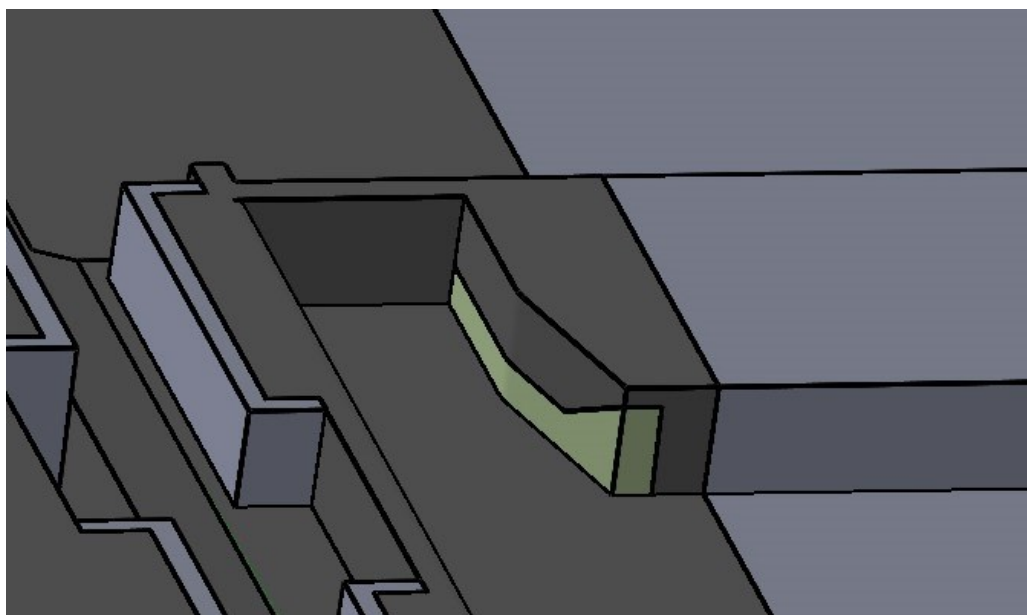
Obrázek 21 Tvárník

6.3.2 Výměnná tvarová vložka

Výměnná tvarová vložka je umístěná ve tvárníku, kde je zapuštěná a opírá se o opěrnou desku. Otvor ve tvárníku pro tvarovou vložku je podle třídy přesnosti H, tím je docíleno přesné umístění tvarové vložky. Táto vložka tvoří malou dutinu ve výrobku a je mechanicky namáhána, z tohoto důvodu jsou tyto vložky vyráběné z nástrojové oceli, cementovány a kaleny, lze je z tvárníku vyjmout v případě potřeby. Aby bylo možné tvarovou vložku vylisovat z tvárníku je ve spodní části tvarové vložky závitová díra.



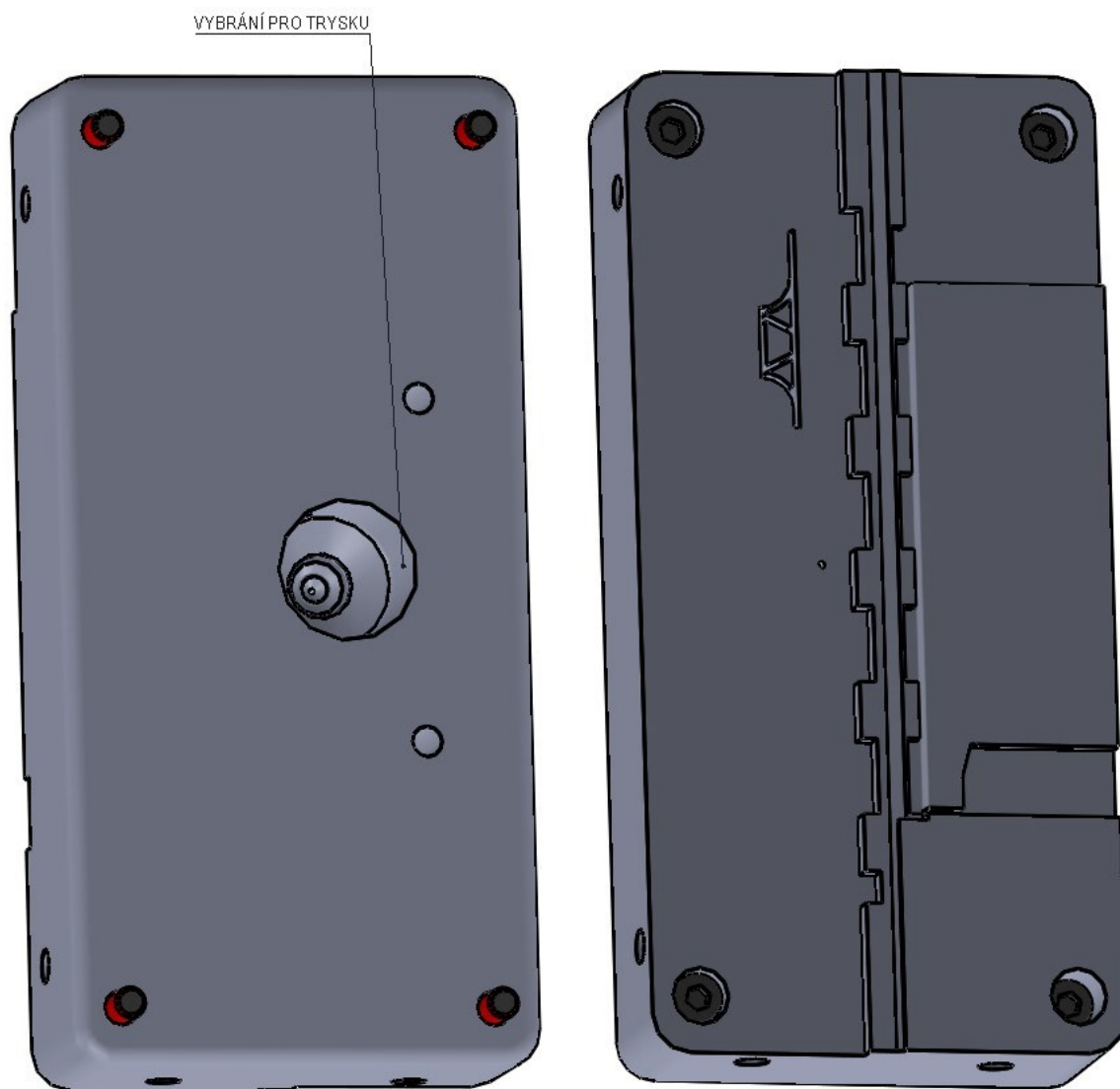
Obrázek 22 Výměnná tvarová vložka



Obrázek 23 Ukázka vyplnění dutiny tvarovou vložkou

6.3.3 Tvárnice

Tvárnice je umístěna na pravé (pevné) straně formy, kde je vsazena v kotevní desce a 4 ks šroubu připevněna k desce pro rozvaděč horkých vtoků. Na vnější straně tvárnice je vybrání pro trysku horkého vtoku. Veškeré plochy v dutinách tvárnice, ale i také tvárníku, jsou zkosena minimálně pod úhlem $0,5 \times 45^\circ$ a to z důvodu snazšího vyhození dílu z dutiny formy.

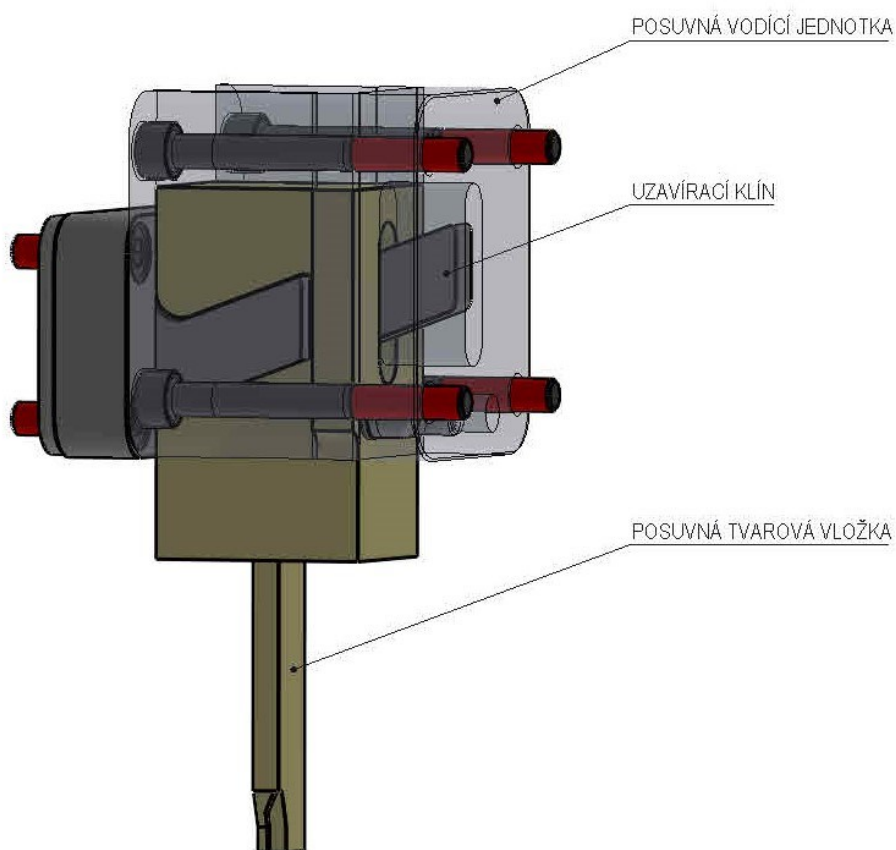


Obrázek 24 Tvárnice

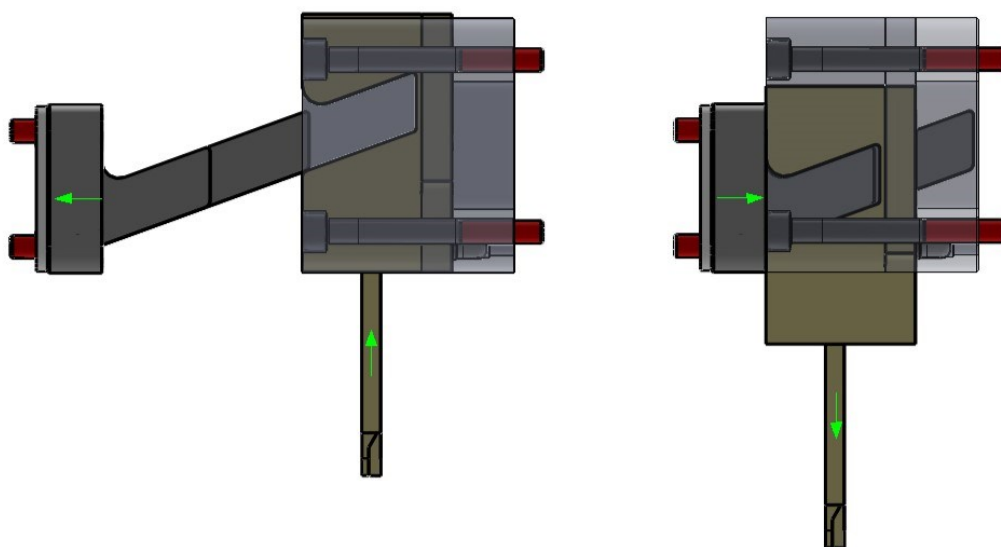
6.3.4 Boční odformování tvarové vložky

Boční odformování tvarové dutiny dílu je zajištěno pomocí posuvné jednotky, která je umístěna mezi levou a pravou stranou formy. Skládá ze tří hlavních částí. Posuvná vodící jednotka, která je uchycena k pravé pevné části formy. Dále uzavírací klín, který je uchycený k levé pohyblivé části. Hlavní pohyb vykonává posuvná tvarová vložka, která je pomocí uzavíracího klínu pohybována ve vertikálním směru. Jakmile se začne forma otevírat,

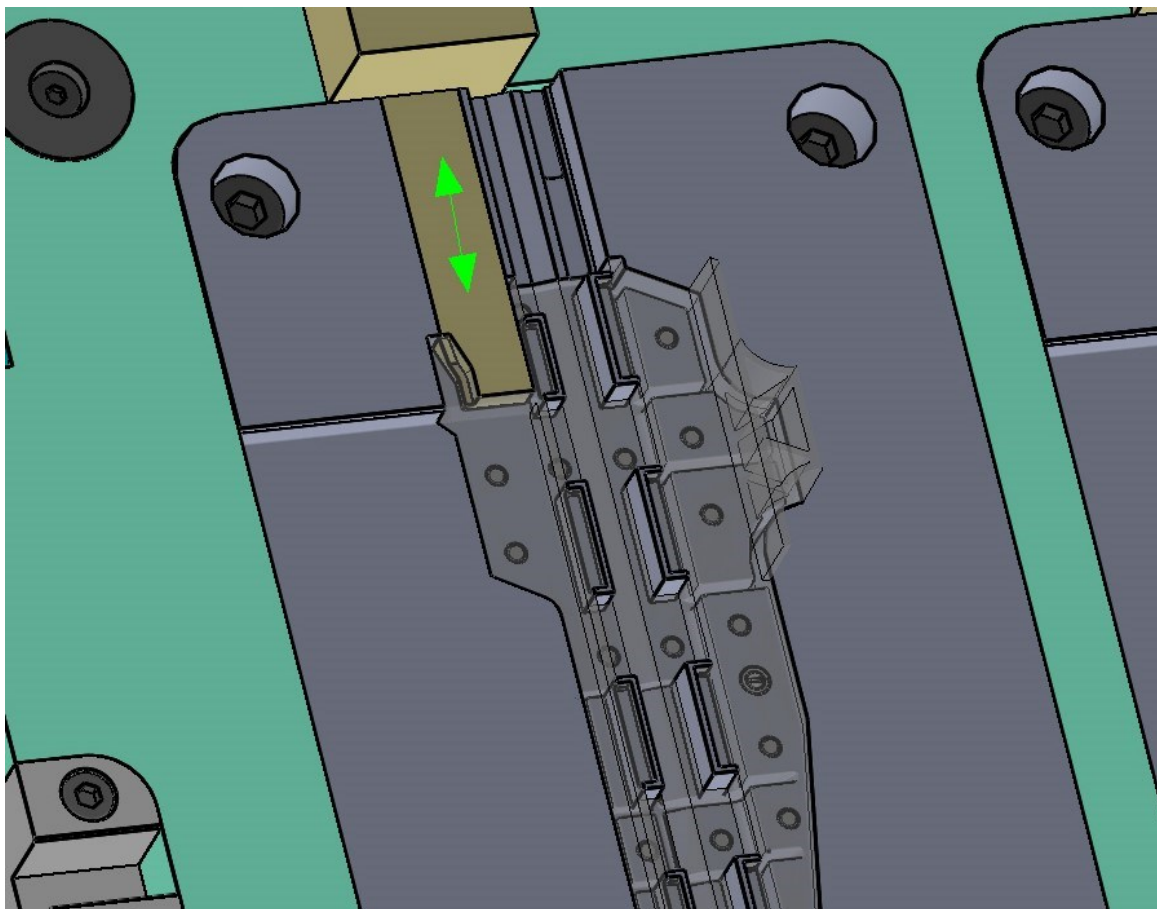
tvárová vložka se začne pohybovat směrem z dutiny formy ven. Minimální zdvih, který musí posuvná vložka vykonat je 11 mm, aby bylo možné vyhodit díl z formy. Podle parametrů výrobce disponuje tato posuvná jednotka zdvihem do 17,4 mm.



Obrázek 25 Posuvná tvarová vložka



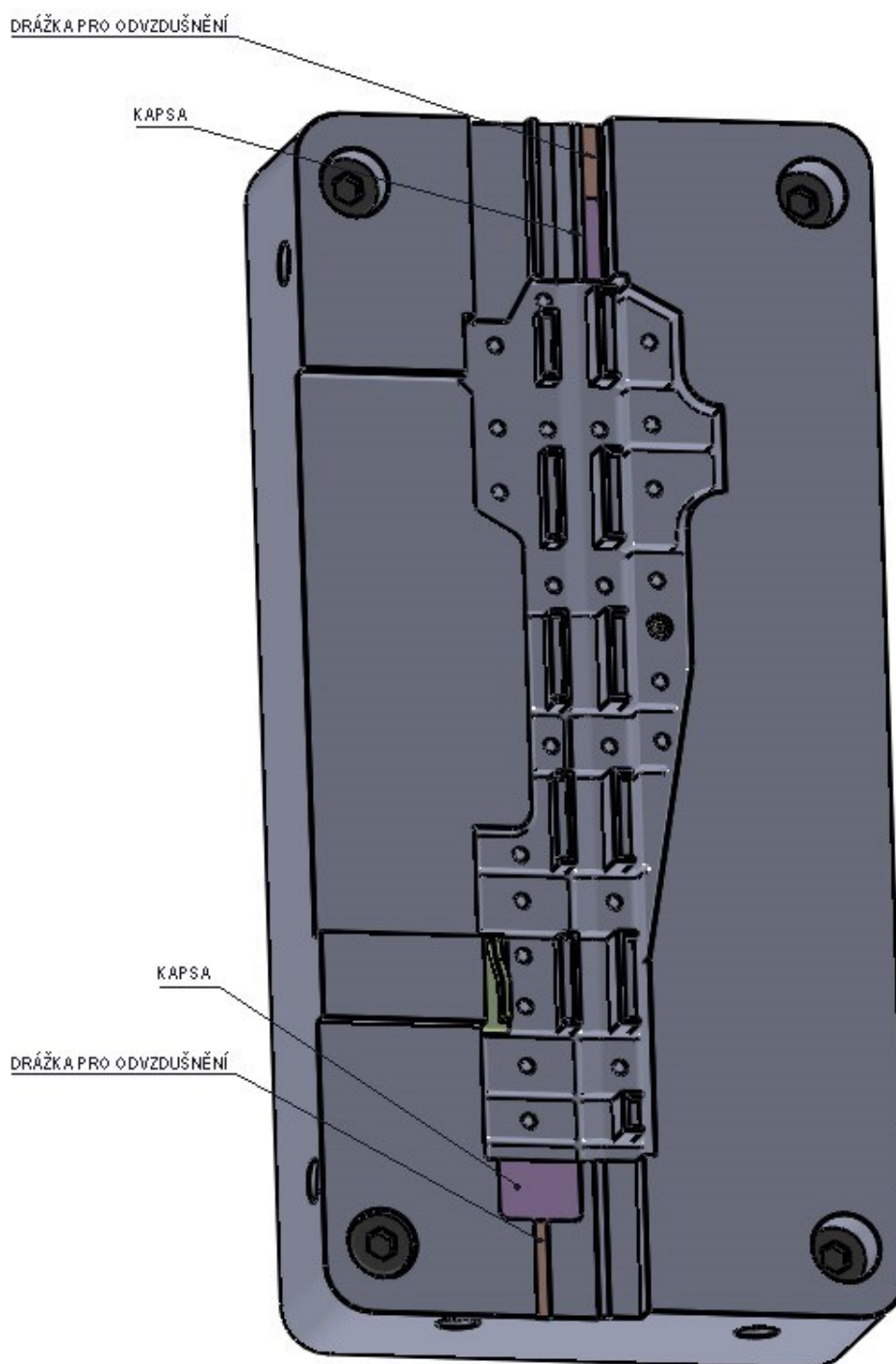
Obrázek 26 Posuvná tvarová vložka – otevřená forma / uzavřená forma



Obrázek 27 Pohled na posuvnou tvarovou vložku umístěnou ve tvárníku

6.4 Odvzdušnění

Aby nedocházelo ke shromáždění vzduchu a vzniku defektů při plnění polymeru v tvarové dutině formy je nutné zajistit odvzdušnění. To je vyřešeno pomocí vyfrézovaných kapes ve tvárníku, které jsou umístěny na horní a spodní straně tvarové dutiny. Tyto kapsy jsou vyfrézovány do hloubky 0,2 mm, takže když dojde k uzavření formy, to znamená, kdy dosedne tvárník na tvárnici vznikne v daném místě štěrbina, která má na hloubku 0,2 mm. To je taková mezera, do které vstříkovaný polyamid nezateče. Dále je vzduch odváděn drážkou, která navazuje na kapsu. Tím se vzduch dostává do dělicí roviny, odkud samovolně odchází ven z formy.

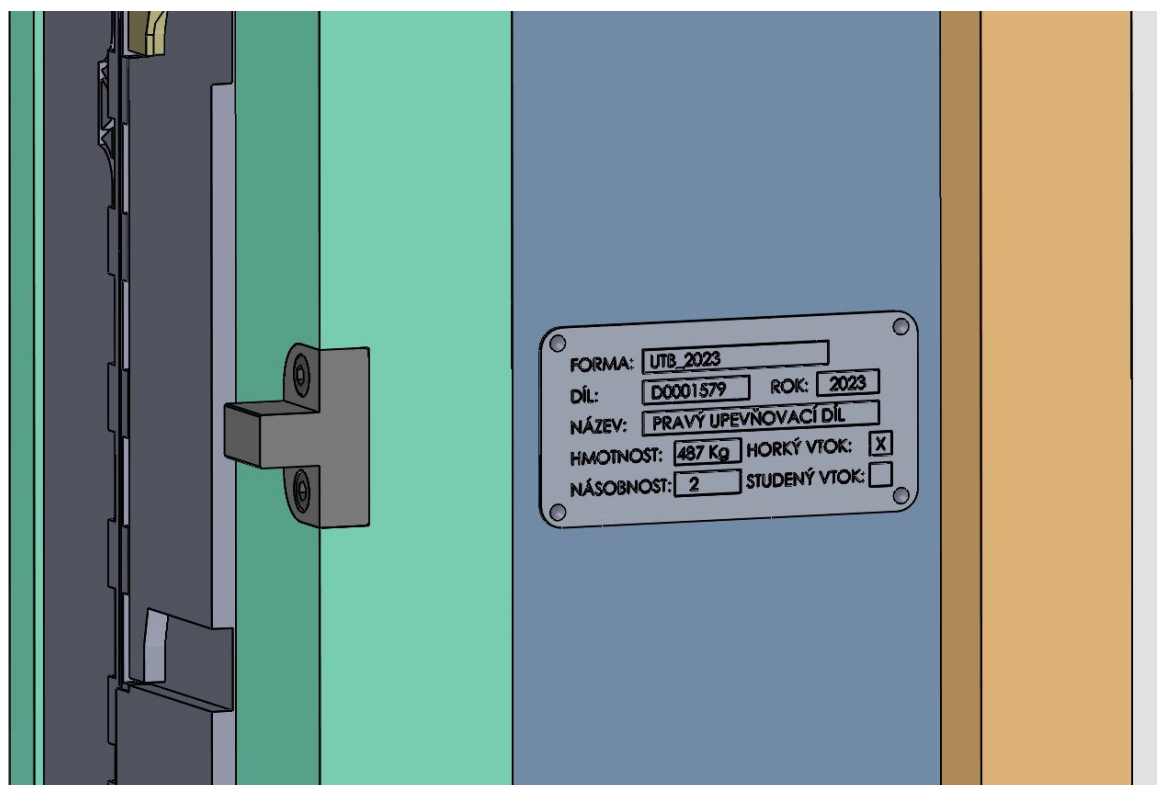


Obrázek 28 Tvárník, ukázka odvzdušnění tvarové dutiny.

6.5 Pravá pevná strana formy

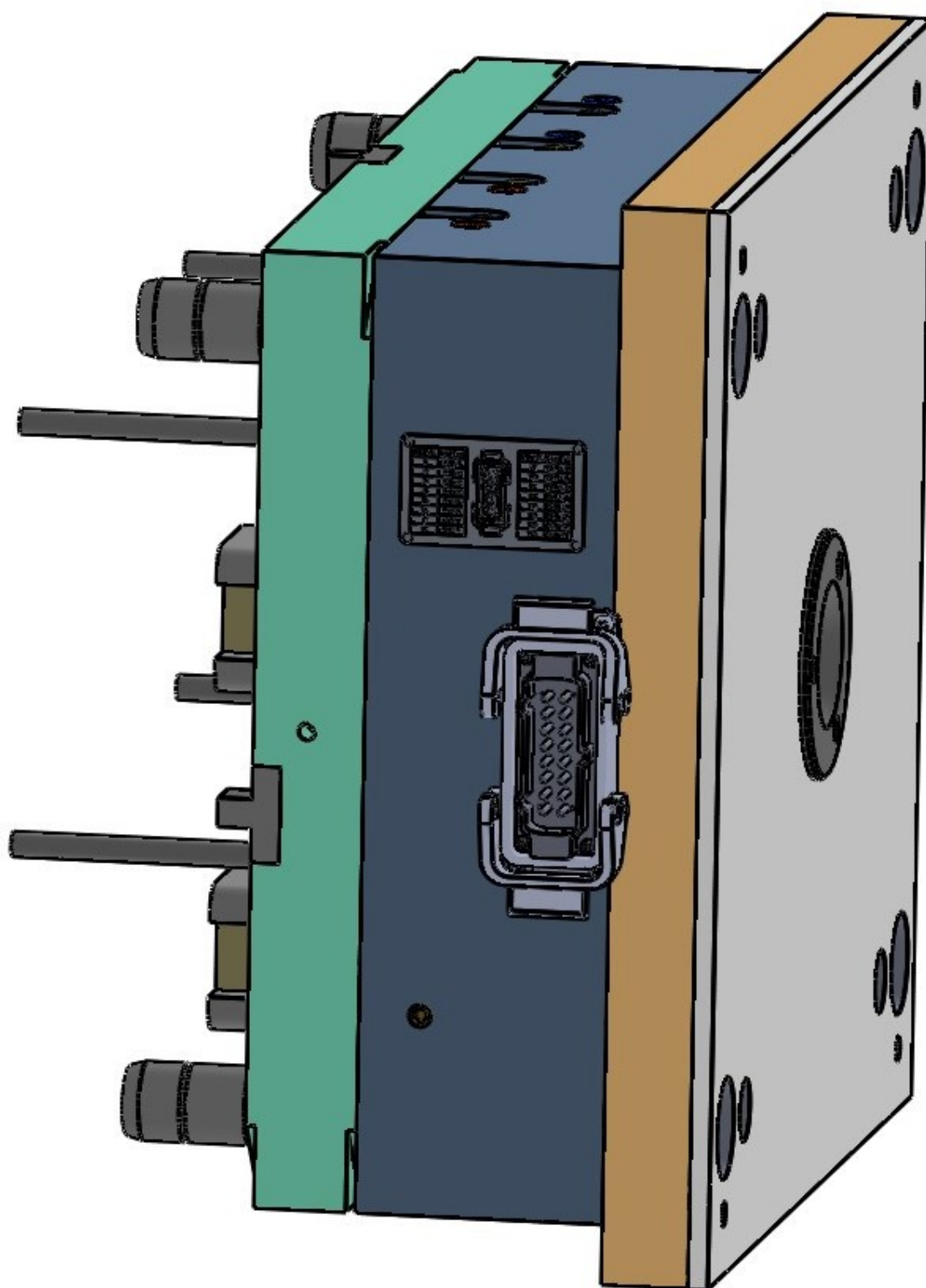
Na pravé straně formy se nachází celá vtoková soustava společně s rozvaděčem horkých vtoků a tryskami, které jsou umístěny v desce pro rozvaděč horkých vtoků. Tato deska je středěná vodícím sloupkem ke kotevní desce, ve které jsou vsazeny tvárnice. Izolační deska

a upínací deska je středěná pomocí centrovacího pouzdra. Dále jsou na kotevní desce umístěny centrovací vedení pro lepší přesnost seřízení vstřikovací formy. Aby bylo možné dosáhnout přesného dosednutí tvárníku na tvárnici, je zde na kotevní desce umístěno 4 ks dosedek, na které dosedá levá pohyblivá strana, která má také na levé kotevní desce umístěno 4 ks dosedek. Mezera mezi pravou a levou stranou formy je cca 1,7 mm. Dosedky se podle potřeby brousí na požadovaný rozměr, aby bylo docíleno přesného dosednutí tvárníku na tvárnici. Dále jsou v kotevní desce zapuštěny kolíky pro vrácení vyhazovacího paket, o tomto systému je více popsáno v kapitole vyhazovací paket. Každá forma by měla obsahovat výrobní štítek, který obsahuje hlavní informace o formě, to znamená výrobní označení formy, název vstřikovaného dílu, hmotnost, násobnost, jestli se jedná o formu s horkým vtokem atd.

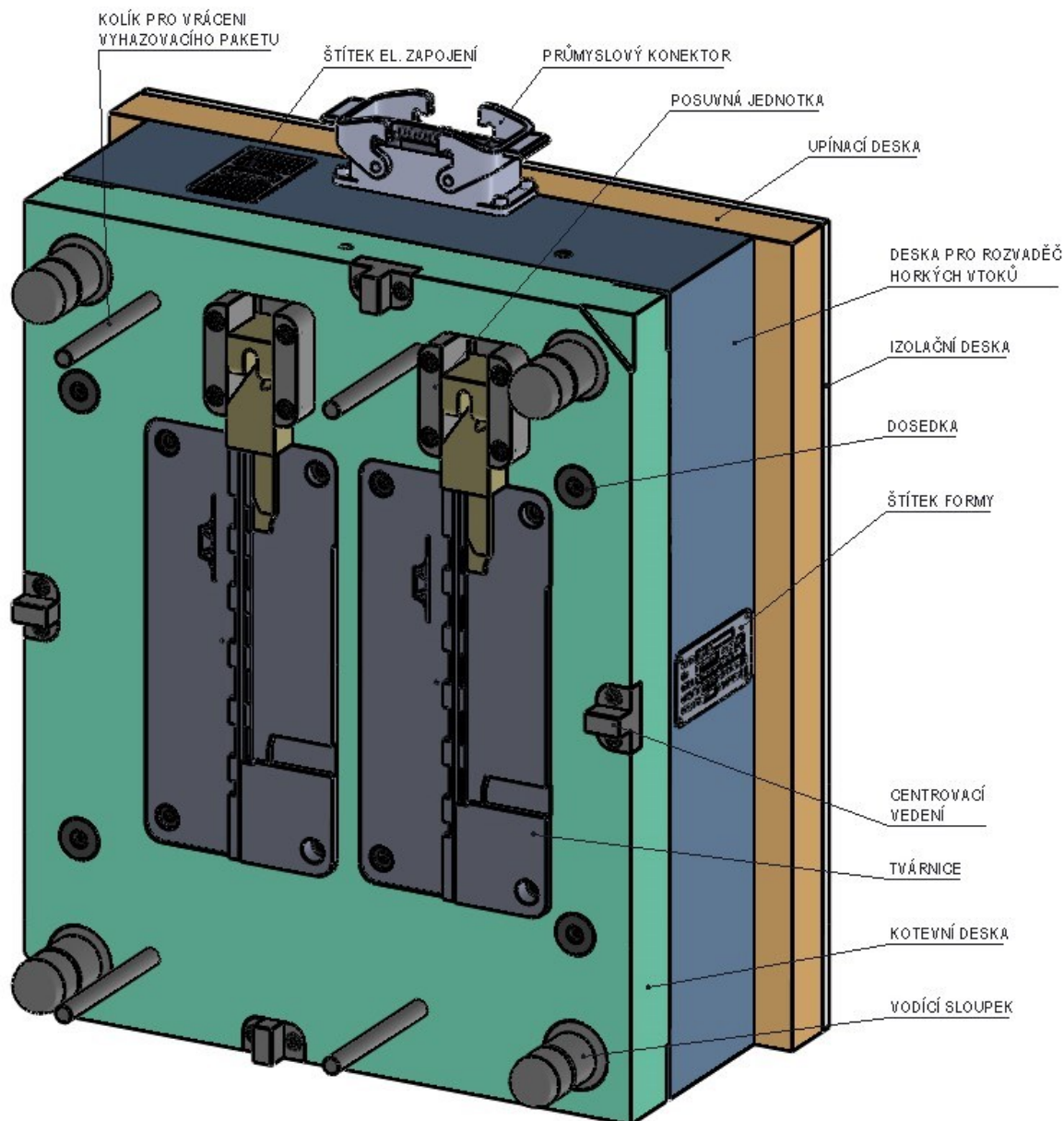


Obrázek 29 Výrobní štítek

V případě horkých vtoku by měla forma obsahovat také štítek se zapojením elektrického průmyslového konektoru.



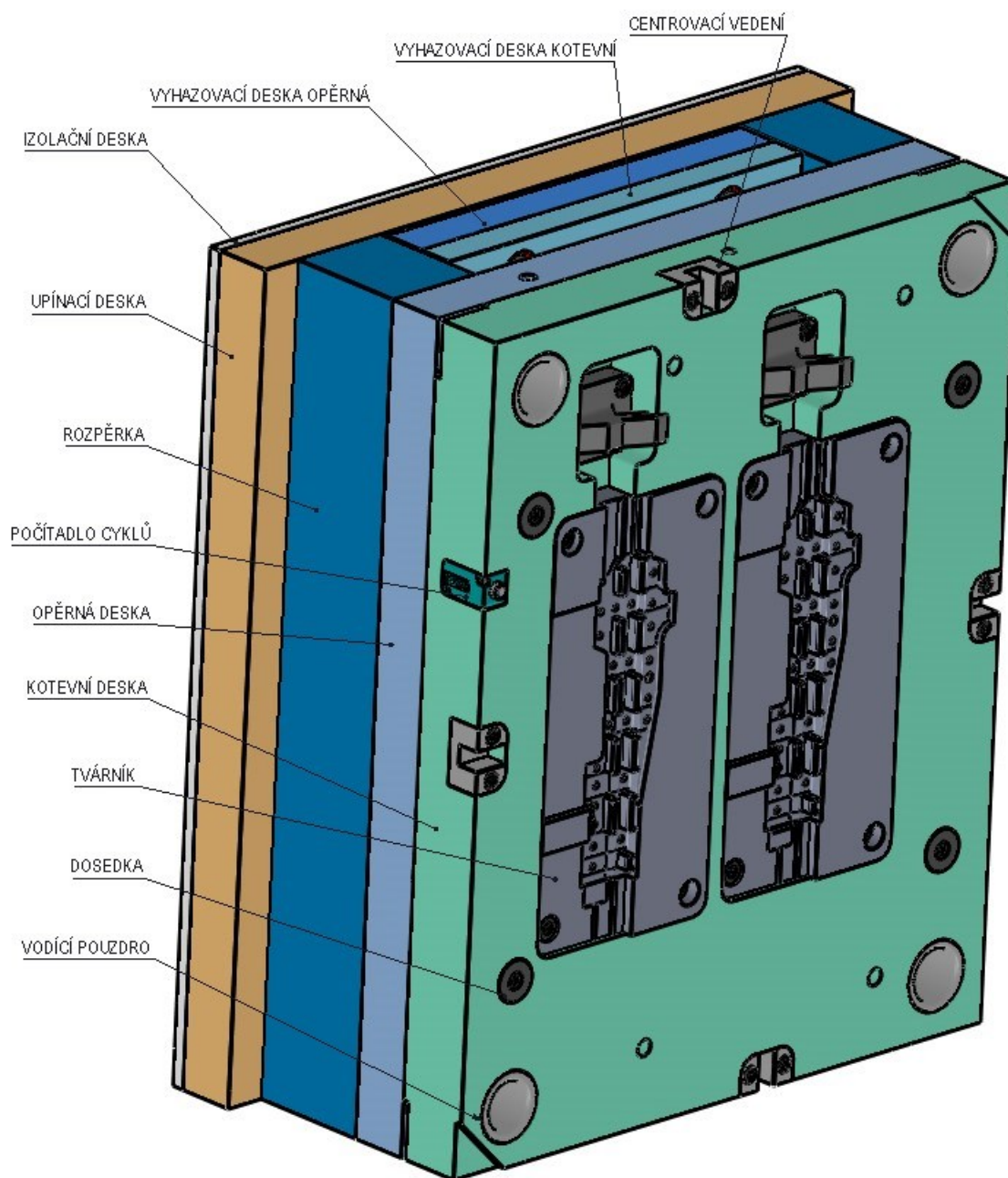
Obrázek 30 Štítek elektrického zapojení horkých vtoků



Obrázek 31 Pohled na pravou stranu formy

6.6 Levá strana formy

Levá pohyblivá strana formy obsahuje tvárníky, kteří jsou umístěni v levé kotevní desce, a dosedají na opěrnou desku, ke které jsou uchyceny šrouby. Na kotevní desce jsou umístěny centrovací vedení, dosedky a počítadlo cyklu. Kotevní a dosedací deska je centrována pomocí vodícího pouzdra. Dále se levá strana formy skládá ze dvou rozpěrek, upínací desky a kotevní desky, tyto desky jsou centrovány pomocí centrovacího pouzdra. Součástí levé strany formy je také vyhazovací paket, který se pohybuje na vodících sloupech a pouzdrech mezi opěrnou deskou a upínací deskou. Mezi vyhazovacím paketem a upínací deskou jsou umístěny dosedky. Více o vyhazovacím paketu je popsáno v kapitole vyhazovací paket.

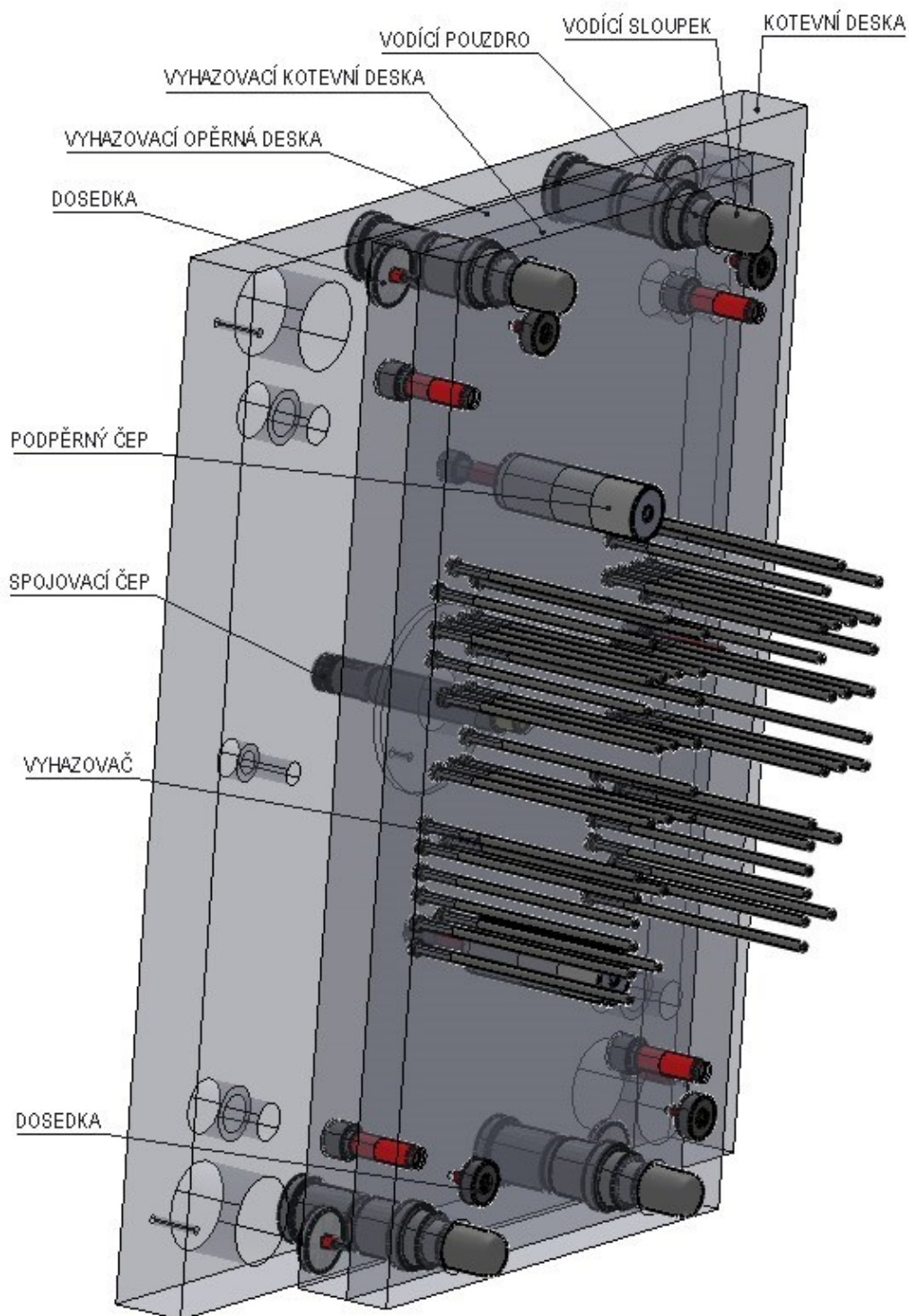


Obrázek 32 Pohled na levou stranu formy

6.7 Vyhazovací paket

Vyhození dílu z dutiny formy je zajištěno pomocí válcových vyhazovačů o průměru 3 mm které jsou ukončený na stěně dutiny tvárníku, kde tvoří rovnou funkční plochu, proto není nutné řešit zablokování otáčení vyhazovačů. Tyto vyhazovače jsou ukotveny ve vyhazovací desce, kde jsou zapuštěny a dosedají na opěrnou vyhazovací desku. Tyto desky jsou centrovány pomocí vodícího pouzdra a spojeny šrouby. Tento celek se pohybuje po vodících sloupcích, které jsou umístěny v kotevní desce. Pohyb je přenášen spojovacím čepem, který

je upevněný k vyhazovací opěrné desce a na druhém konci upevněný k vstřikovacím stroji. Dále se na vyhazovací opěrné desce nachází dosedky, aby nedocházelo k přímému kontaktu s kotevní deskou.

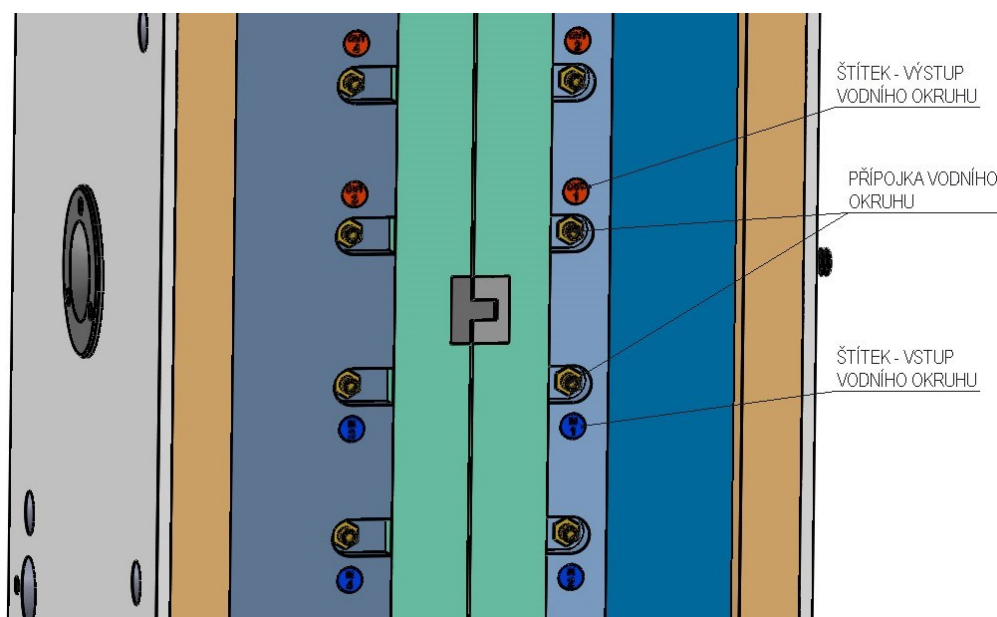


Obrázek 33 Vyhazovací paket

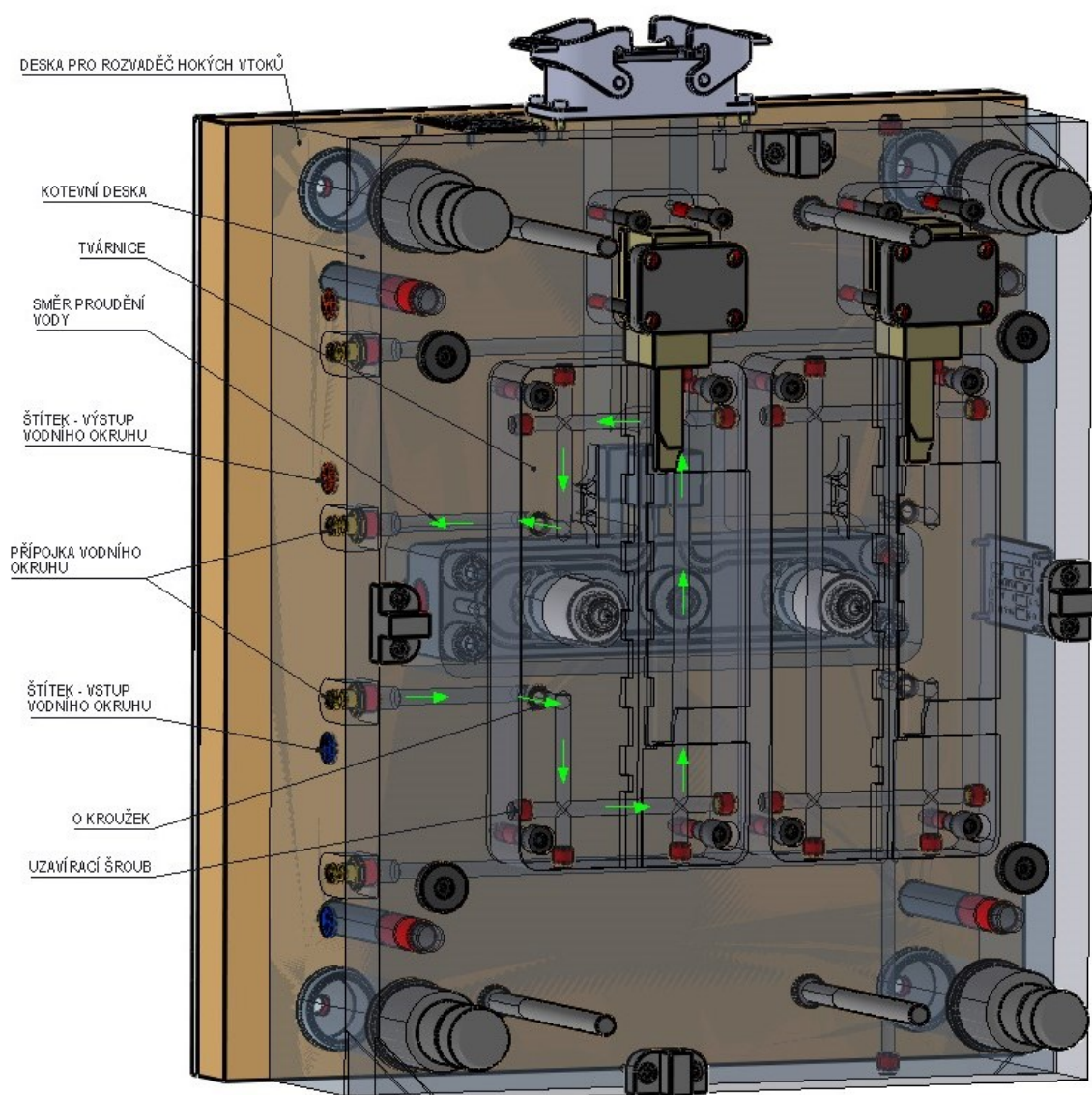
Při uzavírání formy může nastat, že se vyhazovací paket z nějakého důvodu nevrátí do své původní polohy, a to nejen při vstřikovacím cyklu, ale také při opravě či seřizování formy nebo také se může pohybovat při transportu formy. Aby nedošlo ke kolizi vyhazovacího paketu, konkrétně válcového vyhazovače s dutinou formy při uzavírání formy, je nutné tomu předcházet pomocí systému, který vrátí vyhazovací paket zpět do své původní polohy. Existuje několik způsobů, jak lze tomu předejít. V tomto případě je volený mechanický systém pomocí kolíku, jedná se o válcové kolíky o $\varnothing 10$ mm. Tyto válcové kolíky jsou umístěny v pravé pevné straně formy, konkrétně v kotevní desce a dosedají na dosedky, které jsou umístěny v kotevní vyhazovací desce.

6.8 Temperace

Temperační systém je řešen pomocí vrtaných kanálků o $\varnothing 8$ mm. Na pravé straně formy vstupuje voda přípojkou, která je umístěna na boční straně desky pro rozvaděč horkých vtoků, směrem od obsluhy formy. Přípojka je zapuštěna ve vybrání, aby nedošlo při manipulaci s formou k poškození či jejímu ulomení. Dále voda proudí do spodní strany tvárnice. Mezi deskou pro rozvaděč horkých vtoků a tvárnicí se nachází o – kroužek, aby nedocházelo k úniku vody. Jakmile voda projde vrtanými kanálky tvárnice kolem dutiny tvárnice, vrací se voda opět do desky pro rozvaděč horkých vtoků a následně přes přípojku odchází z formy ven. Stejným způsobem je temperace řešena i na pravé pohyblivé straně formy, jen s tím rozdílem, že voda proudí od dosedací desky přes tvárník. Forma obsahuje štítky, aby obsluha věděla, kde je vstup a výstup jednotlivých temperačních okruhů.



Obrázek 34 Pohled na označení připojení temperačního media k formě



Obrázek 35 Pohled na pravou stranu formy, a řešení temperace

6.9 Přeprava, manipulace

Aby bylo možné s formou bezpečně manipulovat, aniž by se forma otevřela během přepravy je nutné, aby obsahovala transportní zámek a závěsné oko. Oko je našroubované do transportního můstku, který spojuje obě strany formy a zabraňuje tak k otevření formy. Oko je umístěno z horní strany v těžišti formy pro lepší manipulaci při osazování formy do vstřikovacího stroje.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout vstřikovací formu pro díl pojistkové skříně do automobilů. Díl je boční uzávěr pojistkové skříně, který se používá u vozů Volkswagen, ale i v řadě dalších koncernových vozech jako je Škoda.

Materiál pro vstřikovaný díl byl zvolen technický polymer polyamid PA 66.

Konstrukce formy byla navržena tak, aby vstřikovací forma obsahovala horký vtok, dále, aby forma byla dvojnásobná s bočním odformováním.

V teoretické části bakalářské práce je nejprve popsáno rozdělení a vlastnosti polymerů zejména polyamidů. Dále se v této části věnuje principu činnosti vstřikovacího stroje, až po samotné vstřikování polymerů. V poslední a zároveň nejobsáhlejší kapitole teoretické části je popsána činnost a konstrukční prvky vstřikovací formy.

Praktická část bakalářské práce spočívala nejprve ve vymodelování vybraného dílu ve 3D softwaru, kterým byl zvolen 3D software SolidWorks. Na základě tohoto modelu a zadání bylo možné nejprve modelovat dutinu formy, kde bylo nejdůležitější vypracovat dělicí rovinu tvarové dutiny. Poté následovala samotná konstrukce vstřikovací formy včetně horkých vtoků, bočního odformování, vyhazovacího paketu, veškerých potřebných desek, vodících čepů, centrovacích pouzder atd., kde bylo využito konfigurátoru výrobce normálii Muesburger a také normálie od firmy Hasco, tak jak se běžně používá v praxi. Dalším krokem praktické části bylo vypracování výkresové 2D sestavy vstřikovací formy včetně kusovníku a podle zásad technického kreslení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [2] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. První vydání. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [3] Polyamidy. In: *Www.polyamidy.cz* [online]. Nedakonice: VM Plast, 2022 [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: <https://www.polyamidy.cz/>
- [4] *Applied plastics engineering handbook: Processing, Materials, and Applications*. 2. Elsevier Inc., 2017. ISBN 978-0-323-39040-8.
- [5] Polyamidy (PA 6, PA6.6, PA11, PA 12). In: *Www.resinex.cz* [online]. Praha 4: RESINEX, 2019 [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://www.resinex.cz/polymerove-typy/pa.html>
- [6] MM Spektrum. P. *MM Spetrum: Perspektivy plastových ozubených převodů*. [online]. 2014, 2014(20142), 2 [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/perspektivy-plastovych-ozubenych-prevodu>
- [7] Polyamid PA 6 G - Tyče. In: *Www.tenartplasty.cz* [online]. Příbram: TENART PLASTY [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: <https://tenartplasty.cz/produkt/polyamid-pa-6-g/>
- [8] Heyman: Všeobecné vlastnosti polyamidu. In: *Www.heyman.de* [online]. [cit. 2022-10-30]. Dostupné z: http://www.heyman.de/media/useruploads/files/de/documentation/eigenschaften_kunststoffen.pdf
- [9] *The effects of UV light and weather: on Plastics and Elastomers*. 2. USA: William Andrew Publishing, 2007. ISBN 9781455728510.
- [10] *Vstřikování plastů*. 1. Praha: BEN, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [11] GOODSHIP, Vannessa, ed. *ARBURG: Practical Guide to Injection Moulding*. 1. Anglie: Rapra Technology Limited, 2004. ISBN 1-85957-444-0.

- [12] KREBS, Stefan, Ladislav KOLAŘÍK a Barbora BRYKSÍ STUNOVÁ. *Teorie zpracování plastů a kompozitů*. 1. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2020. ISBN 978-80-01-06722-2.
- [13] *Technologie II - Zpracování plastů.: LENFELD Petr, Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie, Oddělení tváření kovů a plastů* [online]. In: . [cit. 2022-11-03]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [14] *Tech portal: Rámy forem pro vstřikování plastů a jejich vybavení* [online]. 2015 [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/ramy-forem-pro-vstrikovani-plastu-a-jejich-vybaveni-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1Gxuid-eWKzQ4A/>
- [15] *Revpart* [online]. USA: Written by RevPart, 2021 [cit. 2022-12-06]. Dostupné z: <https://revpart.com/understanding-injection-molding-cooling-time/>
- [16] *Automaticplastics: The Cycles of the Injection Moulding Process* [online]. 2019 [cit. 2022-12-18]. Dostupné z: <http://www.automaticplastics.com/the-cycles-of-the-injection-moulding-process/>
- [17] Odbor technologie tváření kovů a plastů. In: *Odbor technologie tváření kovů a plastů* [online]. Brno [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf
- [18] *Plastic Injection Mould.: Made in China.com* [online]. [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://time-mold.en.made-in-china.com/product/cMbJOFjdGqkn/China-Plastic-Injection-Mould-HYT-952-.html>
- [19] *Image Library.: Solidwoks.* [online]. [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: https://files.solidworks.com/InternalMarketing/PressRoom/MTD/JK_Mold.jpg
- [20] STANĚK, Michal. *Přednáška z předmětu konstrukce forem*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2022.

- [21] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204.
- [22] WEISS, Viktorie a Elena STŘIHAVKOVÁ. *Polymery*. Vyd. 1. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta výrobních technologií a managementu, 2014. ISBN 978-80-7414-738-8.
- [23] *Geomiq: Principy formování* [online]. [cit. 2022-11-16]. Dostupné z: <https://geomiq.com/injection-moulding-design-guide/>
- [24] *Injection Molds 101: Cold Runners vs. Hot Runner Molds* [online]. Jill Worth, 2016 [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <https://www.rodongroup.com/blog/injection-molds-101-cold-runner-vs-hot-runner-molds>
- [25] *Cold / hot runner injection molds* [online]. Estonsko: Sumar Tools [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <https://www.sumartools.ee/en/cold-hot-runner-injection-molds/>
- [26] *Hot Runners: Optimize High - Performance Polymer Molding* [online]. 2017 [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <https://www.moldmakingtechnology.com/articles/optimize-high-performance-polymer-molding>
- [27] *Plastic Portal: Řešení nerovnováhy v systému horkých vtoků* [online]. Brno: Jan Svoboda, 2010 [cit.2022-12-18]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/Reseni-nerovnovahy-v-systemu-horkych-vtoku/c/291/>
- [28] *Jan Svoboda: Odformování bočních tvarů* [online]. Brno [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://jansvoboda.cz/mechanicke-celisti-c65001>
- [29] STEVEN. *Plastic molds: Sliders and lifters* [online]. In: . [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.plasticmoulds.net/what-is-plastic-mold.html>
- [30] *Rapid mold heating and cooling* [online]. AUTODESK, 2018 [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/moldflow-insight/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/MoldflowInsight-Analyses/files/GUID-2D69A8E5-36D6-4B22-8675-ADAF2707B403-htm.html>

- [31] *Plastic Portal, Odborný portál pro plastikařský průmysl.: Temperace vstřikovacích forem* [online]. Zeman, 2015 [cit. 2022-12-17]. Dostupné z: <https://www.plasticportal.cz/cs/temperacia-vstrekovacich-foriem-dolezita-podmienka-vyroby-vystrekov-z-termoplastov-1-cast/c/3085/>
- [32] *Diesel Effect - BASF: Injection - Molding Problems in Engineering Thermoplastics* [online]. [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: https://download.basf.com/p1/8a8082587fd4b608017fd6631d5a24b1/en/Injection-Molding_Problems_in_Engineering_Thermoplastics_-_Causes_and_Solutions_Brochure_English.pdf?view
- [33] *Tech plasty: PA66 - polyamid 66* [online]. Žilina: Tech plasty, 2014 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.techplasty.cz/material/polyamid/pa66-polyamid-66>
- [34] *Plastics.cz: Polyamid - PA66* [online]. Přelouč: Plastics.cz, 2019 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.plastics.cz/prehled-plastu/polyamid-pa6-silon>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvojměrný
3D	Trojměrný
Al	Hliník
C	Uhlík
cm ³	Kubický centimetr
Cu	Měď
E	Modul pružnosti
g	Gram
H	Vodík
min.	Minimum
mm	Milimetr
MPa	Megapascal
N	Dusík
O	Kyslík
PA	Polyamid
UV	Ultrafialové záření
°C	Stupeň celsia
%	Procento
°	Stupně
'	Minuty

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Rozdělení polymeru [1].....	12
Obrázek 2 Příklady použití polyamidů [6] [7].....	14
Obrázek 3 Základní schéma vstřikovacího stroje. [13]	17
Obrázek 4 Vstřikovací cyklus. [14]	18
Obrázek 5 Ukázka vstřikovací formy. [18]	20
Obrázek 6 Příklad sestavy vstřikovací formy. [19]	21
Obrázek 7 Příklad vtokového systému formy [23]	22
Obrázek 8 Ukázka studeného vtokového systému. [25].....	23
Obrázek 9 Ukázka systému vyhřívaného vtoku. [25].....	24
Obrázek 10 Vyhřívané vstřikovací trysky [26].....	25
Obrázek 11 Vyhřívané rozváděcí kanálky formy [27]	25
Obrázek 12 Ilustrace vyhazovacího systému v průběhu vyjmutí dílu z dutiny formy [23].	26
Obrázek 13 Příklad mechanického vyhazovacího systému pomocí kolíků. [23]	27
Obrázek 14 Ukázka bočního odformování pomocí šikmého válcového kolíku. [30]	28
Obrázek 15 Zjednodušená ilustrace rychlého ohřívání/ochlazování formy [31].....	29
Obrázek 16 Dieselův efekt [33]	30
Obrázek 17 Vstřikovaný díl.....	33
Obrázek 18 Vstřikovací forma.....	35
Obrázek 19 Rozvaděč vtokového systému	36
Obrázek 20 Tvarová dutina formy, tvárník a tvárnice.....	37
Obrázek 21 Tvárník	38
Obrázek 22 Výměnná tvarová vložka.....	39
Obrázek 23 Ukázka vyplnění dutiny tvarovou vložkou	39
Obrázek 24 Tvárnice.....	40
Obrázek 25 Posuvná tvarová vložka.....	41
Obrázek 26 Posuvná tvarová vložka – otevřená forma / uzavřená forma	41
Obrázek 27 Pohled na posuvnou tvarovou vložku umístěnou ve tvárníku.....	42
Obrázek 28 Tvárník, ukázka odvodu vzduchu tvarové dutiny.	43
Obrázek 29 Výrobní štítek.....	44
Obrázek 30 Štítek elektrického zapojení horkých vtoků	45
Obrázek 31 Pohled na pravou stranu formy	46
Obrázek 32 Pohled na levou stranu formy.....	47
Obrázek 33 Vyhazovací paket	48
Obrázek 34 Pohled na označení připojení temperačního media k formě	49

Obrázek 35 Pohled na pravou stranu formy, a řešení temperace.....	50
---	----

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vlastnosti PA 66	34
----------------------------------	----

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: CD – Vstrikovany_dil.STEP

– Vstrikovací_forma.STEP

– Vstřikovací_forma_sestava.pdf

Příloha P II: Výkres - Vstřikovací_forma_sestava.pdf

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY