

Konstrukční návrh vstřikovací formy pro výrobu dílu světlometu

Štěpán Hradil

Bakalářská práce
2021

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Štěpán Hradil**
Osobní číslo: **T18180**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Konstrukční návrh vstřikovací formy pro výrobu dílu světlometu**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Provedte konstrukci 3D modelu vyráběné součásti.
3. Navrhněte 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadané součásti.
4. Nakreslete 2D sestavu vstřikovací formy.

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

Seznam doporučené literatury:

- 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
- KERKSTRA, Randy a Steve BRAMMER. *Injection molding advanced troubleshooting guide*. Munich: Hanser Publishers, [2018], xx, 491 s. ISBN 978-1-56990-645-3
- STAUBER, R. a L. VOLLRATH. *Plastics in automotive engineering: exterior applications*. Munich: Hanser Publishers, 2007, xv, 407 s. ISBN 978-1-56990-406-0

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Michal Staněk, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **5. ledna 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2021**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

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 práce nesoucí název „Konstrukční návrh vstříkovací formy pro výrobu dílu světlometu“ pojednává o konstrukci vstříkovací formy pro plastový díl světlometu osobního automobilu.

Teoretická část obsahuje úvod do polymerních materiálů a jejich zpracování vstříkovaním. Dále také zahrnuje popis konstrukce formy pro vstříkování.

V praktické části bylo cílem vytvořit 3D model zadaného výrobku, navrhnout pro něj vhodnou vstříkovací formu, a vypracovat její 2D výkresovou dokumentaci včetně kusovníku. Pro konstrukci výrobku a formy byl využit program CATIA V5 R19.

Klíčová slova: vstříkování, forma, CATIA, automotive, světlomet

ABSTRACT

This thesis entitled "Design of an injection mould for the production of a rearlight part" deals with the design of an injection mould for a plastic part of a passenger car.

The theoretical part contains an introduction to polymer materials and their processing by injection moulding. It also includes a description of mould for injection moulding.

In the practical part, the aim was to create a 3D model of the specified product, to design a suitable injection mould for it, and to prepare its 2D drawing documentation including a bill of materials. CATIA V5 R19 was used for the design of the product and the mould.

Keywords: injection, mould, CATIA, automotive, rearlight

Rád bych poděkoval své rodině a přítelkyni za velkou a neutuchající podporu, důvěru a motivaci při studiu. Také bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce doc. Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za rady, čas a trpělivost, jež mi věnoval při tvorbě této práce. Mé poděkování si zaslouží také přátelé za vzájemnou pomoc po celou dobu studia.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 POLYMERY	11
1.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	11
1.2 POLYMERY VHODNÉ KE VSTŘIKOVÁNÍ	12
1.2.1 Polyolefiny	12
1.2.2 Polyamidy (PA).....	12
1.2.3 Polystyren a kopolymery styrenu.....	13
1.3 PŘÍPRAVA POLYMERŮ KE VSTŘIKOVÁNÍ	13
1.3.1 Přísady.....	13
1.3.2 Operace pro přípravu polymeru ke zpracování.....	15
1.4 POPIS VSTŘIKOVACÍHO PROCESU	16
1.5 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	17
1.5.1 Vstřikovací jednotka	18
1.5.2 Uzavírací jednotka	19
2 FORMA	20
2.1 OBECNÁ KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	20
2.2 DUTINA FORMY	21
2.3 STŘEDÍCÍ PRVKY VSTŘIKOVACÍ FORMY	22
2.3.1 Vodící čepy	22
2.3.2 Vodící sloupky	22
2.3.3 Vodící pouzdra	22
2.3.4 Středící trubky	23
2.3.5 Středící kroužky	23
2.4 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	24
2.4.1 Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků	25
2.5 STUDENÁ VTOKOVÁ SOUSTAVA.....	26
2.5.1 Bodový vtok	28
2.5.2 Tunelový vtok	28
2.5.3 Boční vtok	28
2.5.4 Filmový vtok	28
2.5.5 Plný kuželový vtok.....	29
2.6 VYHRÍVANÁ VTOKOVÁ SOUSTAVA	29
2.7 TEMPERACE FOREM.....	30
2.7.1 Charakteristika temperačního systému	30
2.7.2 Obecné zásady volby temperačních kanálů	31
2.8 BOČNÍ POSUVNÉ ČELISTI	32

2.8.1	Šikmé kolíky	32
2.8.2	Pneumatické ovládání čelistí.....	32
2.8.3	Hydraulické ovládání čelistí.....	33
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	34
3	STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	35
4	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	36
4.1	MATERIÁL.....	36
5	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	38
5.1	DĚLÍCÍ ROVINY	38
5.2	TVAROVÉ ČÁSTI FORMY	40
5.2.1	Tvárnice.....	40
5.2.2	Tvárník	40
5.2.3	Tvarová jádra	41
5.3	ODFORMOVÁNÍ.....	42
5.5	PEVNÁ ČÁST FORMY	44
5.6	POHYBLIVÁ ČÁST FORMY	46
5.7	TEMPERACE.....	47
6	VSTŘIKOVACÍ STROJ	49
	ZÁVĚR	50
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	51
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	53
	SEZNAM OBRÁZKŮ	54
	SEZNAM TABULEK.....	55
	SEZNAM PŘÍLOH.....	56

ÚVOD

Polymerní materiály jsou pro náš každodenní život velmi důležité. Obklopují nás ze všech stran. Téměř v každém okamžiku se člověk dotýká alespoň jednoho výrobku, který obsahuje polymery. Můžou to být polymerní vlákna v oblečení, kryt mobilního telefonu, vložka v botě a tak dále. V současnosti využíváme polymerní materiály téměř ve všech odvětvích. Ať už se jedná o módní průmysl, výrobky pro každodenní potřebu, stavebnictví či letecký průmysl. Nahrazujeme jimi kovy, dřevo, keramické materiály i látky. Způsoby, jakými můžeme využít polymery jsou díky jejich vlastnostem nepřeberné. Za takto rozmanitými vlastnostmi stojí především množství polymerních materiálů, přičemž je každý trochu jiný. Samozřejmě ne každý polymer je takto univerzální. Materiál, který je skvělý na výrobu pneumatik nepůjde využít na kuchyňské nádobí a naopak. Stejně jako jsou široké jejich vlastnosti, jsou široké i možnosti jejich zpracování. Můžeme je vstříkovat, přetlačovat, lisovat, vytlačet a tak dále.

Vstřikování polymerů patří mezi nejrozšířenější metody jejich zpracování. Za jeho oblibou stojí především vysoká produktivita a možnost automatizace.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Polymery jsou syntetické látky, v jejichž makromolekule se mnohonásobně opakuje základní monomerní jednotka. V těchto makromolekulách se nejčastěji vyskytuje uhlík, vodík a kyslík. Výjimkou však není ani dusík, chlor a jiné prvky. Tyto makromolekuly mají tvar dlouhého řetězce. Řetězce mohou mít tři základní uspořádání: Lineární, rozvětvené a síťované. Každé z těchto uspořádání má své výhody a nevýhody. Polymery s lineárními řetězci mají vyšší hustotu materiálu, pevnost a modul pružnosti. Rozvětvené řetězce polymeru poskytují vlastnosti jako jsou nižší hustota materiálu, nižší pevnost a vyšší tažnost oproti polymerům s lineárními řetězci. U polymerů se sesíťovanými řetězci se tyto vlastnosti odvíjí od hustoty sítě. Čím vyšší je síť hustější, tím má polymer vyšší pevnost, modulu pružnosti a teplotní odolnost. [1] [2] [3]

Výrobky z polymerů jsou v tuhém stavu. V určitém stádiu zpracování však mohou být též ve stavu kapalném. Tento stav nám dovoluje, často za zvýšené teploty a tlaku, udělit budoucímu výrobku požadovaný tvar. [4]

1.1 Základní rozdělení polymerů

Polymery se rozdělují na elastomery a plasty. Plasty se dále dělí na termoplasty a reaktoplasty.

Elastomery jsou vysoce elastické polymery. Mohou být za běžných podmínek deformovány bez porušení, přičemž je deformace převážně vratná. Nejpočetnější množinou elastomerů jsou kaučuky, z nichž je vyráběna pryž.

Plasty jsou polymery za běžných podmínek tvrdé, často i křehké. Při zvýšené teplotě se stávají plastickými a tvarovatelnými. Takové plasty nazýváme termoplasty. Druhou skupinou plastů jsou reaktoplasty. Ty prochází nevratnou strukturální změnou, protože je změna výsledkem chemické reakce, často probíhající za zvýšené teploty.

Další vlastnosti polymerů určuje uspořádání makromolekulárních řetězců. Podle toho se dělí polymery na amorfnní a semi-krystalické. Amorfní polymery mají makromolekulární řetězce v neuspořádaném stavu. Díky tomu jsou tyto polymery průhledné. Krystalické látky naopak mají své řetězce v pevně uspořádaném stavu. Ani semi-krystalické polymery však nedosahují 100% stavu krystalinity a mezi krystalickými částmi se stále vyskytuje určité procento náhodně uspořádaných řetězců. [5] [6] [7]

1.2 Polymery vhodné ke vstřikování

Nejvhodnější skupinou polymerů ke zpracování vstřikováním jsou termoplasty. Využívány jsou právě jejich schopnosti změnit stav z tuhého do plastického. Tato změna je u termoplastů vratná. V poslední době však přibývá případů, kdy vstřikováním zpracováváme i elastomery. Vstřikovat lze také reaktoplasty. U nich je ovšem nutné vyčkat až se jejich makromolekulární řetězce sesíťují a cyklus tedy trvá delší dobu.

Některé termoplasty jsou však vhodnější ke vstřikování než jiné. Vhodnost polymeru ke zpracování vstřikováním závisí především na tvaru makromolekulárního řetězce a jeho molární hmotnosti.

1.2.1 Polyolefiny

Do této skupiny patří semikrystalické termoplasty s nižší pevností, tuhostí, ale velkou houževnatostí. Je to skupina s největší spotřebou, v čemž sehrává roli i cenová dostupnost.

Polyetylen (PE)

- Polymer vyráběný v největším objemu.
- Převážně lineární tvar řetězců. Semi-krystalická struktura.
- Dělí se na další typy, které se od sebe liší především hustotou (PE-LD, PE-HD, PE-LLD, PE-UHMW).
- Pro aplikaci ve vstřikování je nepoužívanější vysoko-hustotní polyetylen (PE-HD)

Polypropylen (PP)

- Lineární řetězce, semi-krystalický
- Dobré tokové vlastnosti

1.2.2 Polyamidy (PA)

Semi-krystalické termoplasty. Tvrdé, tuhé, s vysokou rázovou a vrubovou houževnatostí. Patří mezi konstrukční polymery, pro zlepšení mechanických vlastností se také plní skelnými vlákny.

1.2.3 Polystyren a kopolymery styrenu

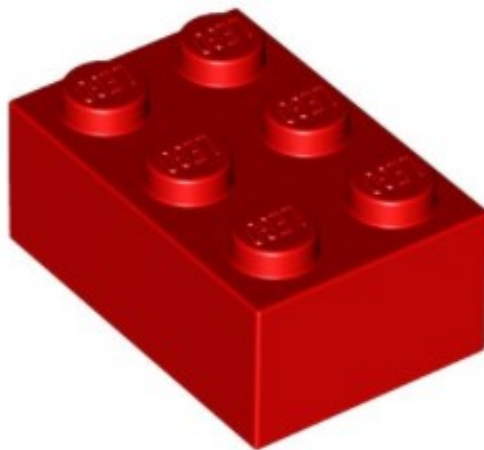
Amorfní polymery, ale obvykle se zpracovává na další typy polymerů semikrystalických. Jsou řazeny mezi nejčastěji zpracovávané polymery současnosti. Kopolymery řeší největší nedostatek polystyrenu. Jeho křehkost. [1] [4]

Polystyren (PS)

- Odolný vůči oxidaci i tepelné degradaci
- Nevhodný do vyšších teplot a na venkovní použití
- Tvrdý, křehký

Akrylonitrilbutadienstyrem (ABS)

Amorfní termoplast řadí se do skupiny styrenových polymerů, které patří na třetí místo v celosvětové produkci polymerů (za Polyolefiny a PVC). Houževnatý, chemicky odolný polymer s dobrými mechanickými vlastnostmi. Atraktivní vzhled díky tvrdému a lesklému povrchu, který může být i galvanicky pokoven. Také lze využít plnění skelnými vlákny pro zvýšení mechanických vlastností. [1] [4]



Obrázek 1 Typický výrobek z polymeru ABS [19]

1.3 Příprava polymerů ke vstřikování

1.3.1 Přísady

Podle požadovaných vlastností budoucího výrobku lze polymer upravit různými přísadami. Množství přísad je velké, takže je vhodné si je pro přehlednost rozdělit do několika kategorií.

Zpracovatelské přísady

- Příklad přísady, které usnadňují nebo dokonce umožňují přípravu a zpracování polymerních směsí. Každá tato přísada ovšem ovlivňuje i fyzické vlastnosti materiálu a tím i konečného výrobku.
- Mezi tyto přísady patří například změkčovadla, tepelné stabilizátory a separační činidla. Pro kaučuky se používá také plastikačních činidel, usnadňují plastifikaci kaučuků.
- Separacích činidel se využívá k usnadnění vyjímání výrobků z forem. Používají se například silikonové oleje.
- Změkčovadla poskytují polymerům tvárnost, vláčnost a ohebnost. Snižují také jejich teplotu zesklnění a viskozitu taveniny.
- Pro polymery, jejichž teploty měknutí a rozkladu leží v úzkém rozmezí, používáme tepelné stabilizátory. Ty umožňují tyto polymery tvářet za tepla tím, že chrání polymer před tepelnou degradací v průběhu zpracování směsi.

Přísady ovlivňující fyzikální vlastnosti

- Plniva, vyztužovadla, nadouvadla, pigmenty, opticky zjasňující látky
- Plniva umožňují zlepšit mechanické vlastnosti, ovlivňovat vzhled i cenu polymeru. Jsou to tuhé látky ve formě prášku či krátkých vláken.
- Vyztužovadla jsou látky které, hlavně u reaktoplastů, zpevňují polymerní výrobky. Jsou to vláknité a textilní materiály na základě bavlny, celulózy, papíru a dalších látek.
- Pro přípravu polymerů na lehčené hmoty se používá nadouvačel. To jsou přísady, které se při teplotě tavení polymeru rozkládají, přičemž vzniká plyn. Ten ve výrobku vytváří póry.
- Pigmenty jsou barevné prášky, které polymerům propůjčují příslušný odstín a kryvost.

Antidegradanty

- Skupina přísad, které chrání výrobky před vnějšími vlivy během jejich používání. Vnějšími vlivy rozumíme především účinky slunečního záření, tepelné energie a atmosférického kyslíku a ozonu.
- Světelné stabilizátory jsou přísady, jež absorbují UV záření. To má energii dostatečně velkou, aby způsobovala degradaci polymeru. Stabilizátory UV záření přemění na energeticky chudší záření, jehož energie nestačí na degradaci polymeru.
- Další látkou způsobující degradaci polymeru je vzdušný kyslík. Tato degradace se zrychluje při zvýšené teplotě. Přísady zpomalující tepelně-oxidační degradaci polymeru, se nazývají antioxidanty.

Speciální přísady

- Antistatické prostředky, faktisy, adhezni prostředky, prostředky snižující hořlavost, brusné prostředky, výbušniny a paliva [4] [8] [9]

1.3.2 Operace pro přípravu polymeru ke zpracování

Granulování

Tvar granulí je výhodný, jelikož lze snadno směšovat s barvivou, má dobrou sypnou hmotnost a lze pomocí něj dobře dávkovat materiál. Granule mohou mít různé tvary, jako například válečky, kuličky, čocky či krychličky. Granulace polymerů probíhá většinou buď za studena nebo za tepla. Výběr metody závisí na vlastnostech zpracovávaného materiálu.

Při granulaci za studena jsou struny vytlačené granulační hlavou chlazenou vodní lázní. Poté probíhá odstranění přebytečné vody a struny jsou nasekány na granule. Kvůli velkému množství strun se mohou struny slepovat a lámat.

Granulace za tepla není vhodná pro polymery s nízkou viskozitou taveniny. Rozlišujeme granulaci za tepla suchou a granulaci za tepla pod vodou. Při suché metodě je polymer řezán na granule a až poté padá do vodní lázně kde proběhne ochlazení. Granulace pod vodou je vhodná pro materiály, které mají tendenci se roztírat. Materiál je chlazen vodní lázní již při řezání a voda je po celou dobu v kontaktu s polymerem i reznými noži. [1]

Sušení

Materiál připravený pro vstřikování musí být suchý, protože voda by zapříčinila zhoršení kvality povrchu i mechanických vlastností. To může být u některých polymerů problém, jelikož jsou navlhavé. Kvůli procesu granulace, který se často odehrává z části pod vodou, je tedy nutné materiál důkladně vysušit před samotným zpracováním. V praxi jsou nejčastěji používány sušárny souprroudé, protiproudé a s křížovým proudem.

Výhodou souprroudých sušáren je nízká teplota polymeru odcházejícího ze sušárny. Jsou vhodné k sušení polymerů, které snášejí intenzivní sušení a mají malou hygroscopicitu.

K sušení polymerů, jež nesnesou velkou rychlost sušení, je využíváno sušení protiproudé. Nejsou zde velké rozdíly ve vlhkosti a teplotě, ale rychlost sušení je nižší. [1]

1.4 Popis vstřikovacího procesu

Vstřikování je nejrozšířenější technologií zpracování termoplastů. Vstřikováním se vyrábějí výrobky charakteru konečného výrobku, nebo jsou to polotovary pro sestavení konečného výrobku. Při vstřikování je dávka zpracovaného materiálu vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy. Tam poté tavenina ztuhne ve tvaru finálního výrobku. Mezi hlavní výhody tváření pomocí vstřikování patří krátký čas jednoho cyklu, schopnost vyrábět tvarově složité součásti s dobrou povrchovou úpravou, a možnost automatizace výroby. Metoda má však také své nevýhody. Hlavní nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady formy i stroje. Dále pak dlouhá doba nutná pro výrobu samotné formy, a potřeba používat stroj, který je neúměrně velký v porovnání s vyráběným dílem

Plast v podobě granulí je nasypán do násypky. Tou propadává do plastifikační jednotky vstřikovacího stroje. V plastifikační jednotce je polymer posouván dopředu šnekem a vnějším topným pásem je taven. Na konci plastifikační jednotky se nachází už jen čistě tavenina. Ta je poté vstříknuta do dutiny formy, ve které ztuhne a získá tak její tvar.

Vstřikování je cyklický proces tváření. Pro přesné popsání vstřikovacího cyklu si musíme jasně definovat jeho začátek. Vhodné je za počátek cyklu považovat okamžik počátku uzavření formy. V tento moment je dutina formy prázdná a forma je otevřená. Jak se forma uzavírá, tak zároveň probíhá přísun plastikační jednotky. Když je forma uzavřena a

plastikační jednotka připravena, dochází ke vstříknutí taveniny do dutiny formy. Vstříknutí je následováno dotlakem a doplňováním. Tento krok je nutný k tomu, aby tavenina dokonale zaplnila dutinu formy. Jakmile je dokonán dotlak, tak je plastikační jednotka opět stažena zpět. Forma zůstává uzavřená a probíhá v ní chlazení a tuhnutí polymerní taveniny. V plastikační jednotce mezitím probíhá plastikace další várky potřebné pro vstříknutí. Jakmile je polymerní materiál ve formě ztuhlý, je forma otevřena a výstřik je pomocí vyhazovacího systému vyhozen. Poté proběhne případná příprava formy pokud je jí zapotřebí. Když je forma připravena na další cyklus tak se začne uzavírat, a to znamená začátek dalšího cyklu. [10] [11]

1.5 Vstříkovací stroj

Vstříkovací proces je většinou plně automatizovaný na moderních strojích. To přispívá jejich vysoké produktivitě. Kvůli tomu a vysoké pořizovací ceně se používají hlavně v hromadné a velkosériové výrobě. Vstříkovací stroj se skládá ze vstříkovací jednotky, uzavírací jednotky a z řízení a regulace. Pro kvalitní výrobek je potřeba vhodná volba vstříkovacího stroje. Ten musí zajistit dostatečnou vstříkovací kapacitu, uzavírací sílu, vstříkovací tlak, ale také dostatečnou velikost pro upnutí námi používané formy. [1] [10] [11] [9]



Obrázek 2 Vstříkovací stroj [22]

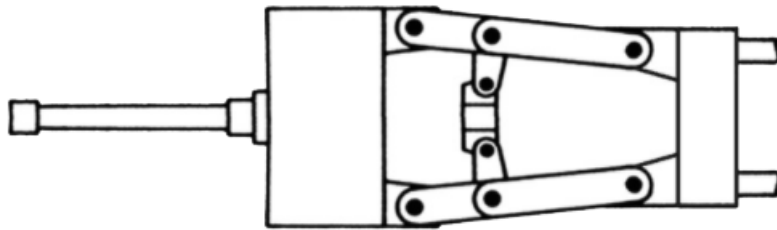
1.5.1 Vstřikovací jednotka

Hlavními úkoly vstřikovací jednotky jsou přeměna granulátu na taveninu a následně vstříknutí taveniny vysokou rychlostí a velkým tlakem do dutiny formy. Vstřikovací jednotky používané v historii byly pístové. V současnosti je však používají téměř výhradně šnekové vstřikovací jednotky. Šnekové jednotky mají výhodnější konstrukci ohledně tavení polymeru. V pístové jednotce je materiál rovnoměrně v tavicí komoře a neprobíhá u něj žádný pohyb během plastifikace. To znamená že granule, které se nacházejí ve středu tavicí komory budou roztaveny daleko později než granule nacházející se v blízkosti stěny tavicí komory. Oproti tomu ve šnekové vstřikovací jednotce je materiál držen u stěny tavicí komory tvarem jádra šneku. Navíc šnek během plastifikace rotuje, což zapříčiňuje pohyb granulí směrem dopředu. Při tomto pohybu dochází také ke tření materiálu jak o šnek, tak o stěny válce. Díky tomu je proces plastifikace rychlejší, rovnoměrnější, a hlavně ekonomicky výhodnější. Rotace šneku také mísí materiál, takže jej můžeme dodatečně barvit nebo přidat přísady. Tvar šneku je rozšiřující se směrem dopředu, čímž materiál stlačuje a dopravuje jej do vytápěné části tavicí komory. Šnek je během plastifikace posouván dozadu. Vstříknutí díky tomu probíhá tak, že je šnek posunut dopředu a funguje tak jako píst.

Šnek lze rozdělit podle funkce na tři pásma. Vstupní část, kompresní část a dávkovací část. Vstupní část se nachází pod násypkou. Průměr jádra je zde nejmenší a je konstantní. Materiál je zde stlačován, vytěšňuje se vzduch z prostoru mezi granulemi a také je ohříván. Až na konci vstupní části může začít tát. Následuje část šneku nazývaná jako kompresní část. V té je průměr jádra šneku zvětšující se směrem ke trysce. Důsledkem toho dochází ke stlačování materiálu. Odtud také název kompresní část. V této části vstřikovací jednotky dochází k nejintenzivnějšímu tavení materiálu. Tavenina je v této části však teplotně nehomogenní. K tomuto účelu slouží poslední třetí část šneku. Ta se nazývá dávkovací nebo homogenizační částí. Důležité je zakončení šneku, jelikož má tavenina během vstřikování tendenci stékat zpět k násypce. Tato tendence roste zároveň s tekutostí hmoty. Stékání taveniny nejspolehlivěji zabraňuje zpětný ventil. Používají se však také jiná konstrukční řešení, jako tupé zakončení šneku, nebo prodloužené zakončení špičky šneku. Vstřikovací jednotka je zakončena vstřikovací tryskou. Ty jsou vyráběny jako otevřené nebo jako uzavíratelné, které zamezují samovolnému vytékání materiálu při plastifikaci. Tryska slouží k dopravě taveniny do vtokových kanálů ve formě. Bývá zakončena kulovou plochou, která zajišťuje přesné dosednutí do sedla vtokové vložky. [10] [11] [12]

1.5.2 Uzavírací jednotka

Zajištění dokonalého uzavření, otevření a ovládní formy je úkolem uzavírací jednotky. Je nutné formu zavřít dostatečnou silou aby se při vstřikovacím cyklu neotevřela. Tato síla je nastavitelná a závisí na vstřikovacím tlaku a ploše dutiny a vtoků v dělicí rovině. Hlavními částmi uzavírací jednotky jsou: Pevná opěrná deska, upínací deska, vodící sloupky a uzavírací mechanismus. Uzavírací mechanismus může být ovládán pomocí hydraulické jednotky, nebo elektrické jednotky. Hydraulické jednotky zamykají formu neustálým hydraulickým tlakem. Hydraulicko-mechanické uzavírací systémy jsou sice ovládány hydraulicky, ovšem forma drží v zamknuté poloze díky zapříčení. Elektrické uzavírací systémy pracují na stejném principu, jen je ovládní jejich pohybu řízeno elektromotory namísto hydrauliky. [10] [11] [12] [13]



Obrázek 3 Hydraulicko-mechanický systém otevírání formy
[13]

2 FORMA

Vstřikovací forma je nástroj, který nám umožní vyrábět výrobky vstřikováním. Spolu s plastikační jednotkou je to nejdůležitější část vstřikovacího stroje. Na rozdíl od plastikační jednotky ale není pevnou součástí stroje a lze vyměnit a použít i na jiný stroj, pokud bude mít požadované parametry stejné se strojem pro nějž byla forma vyrobena. Forma dává polymerní tavenině požadovaný tvar a udržuje jej až do jejího ztuhnutí. Výroba těchto forem je finančně velmi nákladná. Forma se skládá z vodících a upínacích elementů, vtokového, temperačního a vyhazovacího systému a tvářecí části. Části formy, které přijdou do přímého kontaktu s polymerní taveninou nazýváme funkčními částmi stroje. Konstrukční části forem jsou zase části, jež zabezpečují její správnou činnost. [1] [10] [11] [14]

2.1 Obecná konstrukce vstřikovací formy

Podkladem konstruktéra při konstrukci vstřikovací formy, je výkres vyráběné součásti spolu s konstrukčním návrhem a dalšími doplňujícími údaji. Při konstrukci formy je postupováno následujícím způsobem: Je posouzen výkres součásti z hlediska tvaru, rozměrů a tvářecích podmínek. Nesmí být zanedbány úpravy ostrých hran a rohů. Dalším důležitým krokem je určení hlavní dělicí roviny a způsob zaformování. Jsou nadimenzovány tvarové dutiny a jejich uspořádání ve formě. Je zvolen vhodný typ vtokového systému, velikost průřezů, tvaru a délky hlavního a rozváděcího kanálku i ústí vtoku. Navrhne se vhodná koncepce temperace a vyhazovacího systému, případně odvodušnění. Je určeno, která kombinace desek bude použita pro naši formu, a to z hlediska vyhazovacího systému, temperace a druhu vtokového systému. Jsou navrženy rozměry rámu formy, včetně středění a upínacího systému s ohledem na dostupné prostředky. Posledním krokem je kontrola funkčních vlastností formy, hmotnosti výstřiku, jeho průmětnou plochu a pracovní tlaky. [14]

Výrobu, návrh konstrukci a složení formy většinou zajišťují specializované firmy které nazýváme jako nástrojárny. Pracují v nich lidé, kteří mají zkušenosti s návrhem formy a jsou tedy rychlejší, kvalitnější a celkově efektivnější.

Každá forma se skládá z velkého množství dílů. Používáme díly na vytvoření požadovaného tvaru dutiny, díly, které drží formu v jednom kuse, díly, které vedou formu a zajišťují její bezproblémový chod a také díly které udržují formu na požadované teplotě. Některé díly, musí obsahovat každá forma, jiné díly jsou obsaženy jen ve formách, kde jsou nezbytně nutné. Mezi díly, které se vyskytují ve všech formách patří vodící prvky, středící kroužky a

vtoková vložka. U moderních forem se také téměř vždy využívá temperace formy. Proto většina dnešních forem obsahuje také díly potřebné k zajištění jejich temperace.

Formy zpravidla dělíme na tři hlavní části. První částí je pevná strana formy. Ta je vždy pevná a je v kontaktu se vstřikovací jednotkou. Bývá v ní umístěna vtoková vložka, vyhřívaný vtokový systém a tvárnice formy. V dokumentaci se kreslí zpravidla na pravé straně od dělicí roviny. Díky tomu se můžeme setkat také s označením „pravá strana formy“. Druhou ze tří hlavních částí je pohyblivá strana formy. Podle technické dokumentace bývá zobrazována nalevo od dělicí roviny. Obsahuje tvárník formy. Tato strana formy koná po dokončení vstříknutí pohyb, umožňující otevření dělicí roviny. Třetí částí je vyhazovací paket. Ten se skládá ze systému vyhazovačů, stíracích desek a dvou desek v nichž jsou vyhazovače ukotveny. Vyhazovací paket koná pohyb, jenž odstraní výstřik z otevřené dutiny formy.

Jelikož je forma komplexní a velmi drahý nástroj, je důležité, aby se vrátila investice do ní i pro malé a levné výrobky. Toho lze dosáhnout pomocí rozšíření násobnosti formy. Násobnost formy označuje, kolik výstřiků je možno vyrobit na jeden pracovní cyklus formy. Nejčastěji využívané násobnosti forem jsou: 1, 2, 4, 8, 16, 32 a 64. U vícenásobných forem je nutno zajistit, aby byly všechny dutiny naplněny ve stejném čase. Toho lze dosáhnout stejnou vzdáleností všech dutin od centrálního vtokového systému, nebo také změnou průřezů vtokových kanálů.

2.2 Dutina formy

Dutina formy je místo, ve kterém polymerní tavenina tuhne a dostává požadovaný tvar. Abychom dosáhli požadovaného tvaru, musí mít dutina tvar negativu konečného výrobku.



Obrázek 4 Dutina vstřikovací formy s násobností 4 [20]

Její povrch musí být vyroben s velmi vysokou přesností. Každá nepřesnost je totiž promítnuta do tvaru a povrchu výrobku. Dále je také nutné, aby byly dutiny správně odvzdušněné. Odvzdušnění umožňuje vzduchu, jímž je forma před začátkem vstřikovacího cyklu naplněna, uniknout z dutiny. Pokud se tak nestane, může dojít ke komplikacím, jako například k takzvanému Dieselovu efektu. Ten způsobuje ohořelý povrch výrobku v místech, ve kterých je dutina formy špatně odvzdušněna. Rychlým stlačením vzduchu na malý objem je prudce zvýšena jeho teplota. Pokud je tato teplota dostatečně vysoká, dochází ke spálenému místu na výrobku. [15]

2.3 Středící prvky vstřikovací formy

2.3.1 Vodící čepy

Slouží k vedení ostatních pohyblivých částí formy, například vyhazovacího systému. Bývají pevně usazeny v upínací desce pohyblivé části formy a druhým koncem jsou zapuštěny do tvárníku. V tom jsou přesně ustaveny v pouzdře. [16]

2.3.2 Vodící sloupky

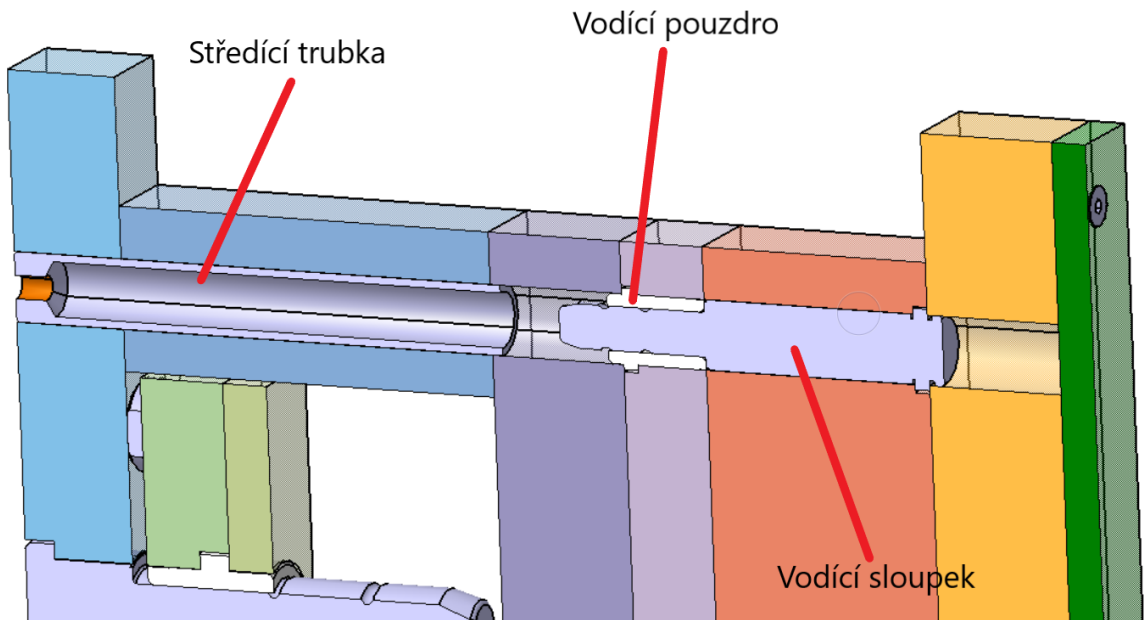
Mohou být umístěny na pohyblivé nebo pevné straně formy, podle potřeby. Zajišťují vedení pohyblivé části formy při otevírání a zavírání. [16]

2.3.3 Vodící pouzdra

Slouží jako protilehlé součásti vodících sloupků a čepů. [16]

2.3.4 Středící trubky

Zajišťují správnou pozici desek, které nejsou vystředěny pomocí vodících pouzder a sloupků. Jsou vyrobeny z oceli třídy 14 a upraveny cementováním a kalením. [16]



Obrázek 5 Uložení středících prvků uvnitř formy

2.3.5 Středící kroužky

Slouží k správnému ustavení nástroje do stroje. Mohou být na obou stranách formy. Díky nim je zajištěna správná funkce ovládání vyhadzovacího systému i správná pozice mezi vstřikovací jednotkou a vtokovou vložkou. [16]



Obrázek 6 Středící kroužek [HASCO] [21]

2.4 Vyhazovací systém

Vyhazování výstřiků z formy je úkon, při kterém se z tvárníku nebo tvárnice otevřené formy vysune nebo vytlačí hotový výstřik. Tento úkon má na starosti zařízení nazvané jako vyhazovací systém. Zařízení doplňuje formu a přispívá automatizaci výrobního cyklu. Samotný úkon vyhození výstřiku se skládá ze dvou fází. V první fázi je dopředný pohyb systému, jenž má za následek vlastní vyhození výstřiku z formy. Ve druhé fázi poté vyhazovací paket vykoná zpětný pohyb, čímž se vrátí do původní polohy.

Pro správné a bezproblémové vyhození výstřiku z formy je zapotřebí splnit několik základních podmínek. Mezi ně se řadí hladký povrch stěn a jejich úkosovitost ve směru vyhazování. Úkosy by měly být alespoň $0,5^\circ$. Důležité je také správné rozmístění vyhazovačů tak, aby bylo vyhození rovnoměrné a výstřik se ve formě nijak nezpřícil. Po vyhazovači zůstane na výstřiku patrná stopa. Pokud je na daném místě na obtíž tak je nutné vyhazovač přesunout na vhodnější pozici. Pokud to z určitého důvodu není možné, aby se zároveň zachovala funkčnost, je nutné stopy po vyhazovači odstranit pomocí přídatné technologické operace.

U forem se studeným vtokovým systémem je nutné vyhodit spolu s výrobkem i vtokový zbytek. [12]

Nejrozšířenějším způsobem vyhazování výstřiků je mechanické vyhazování. Jako mechanické vyhazování bereme vyhazování pomocí stíracích desek, trubkových vyhazovačů, válcových vyhazovačů, šikmé vyhazování a postupné vyhazování.

2.4.1 Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků

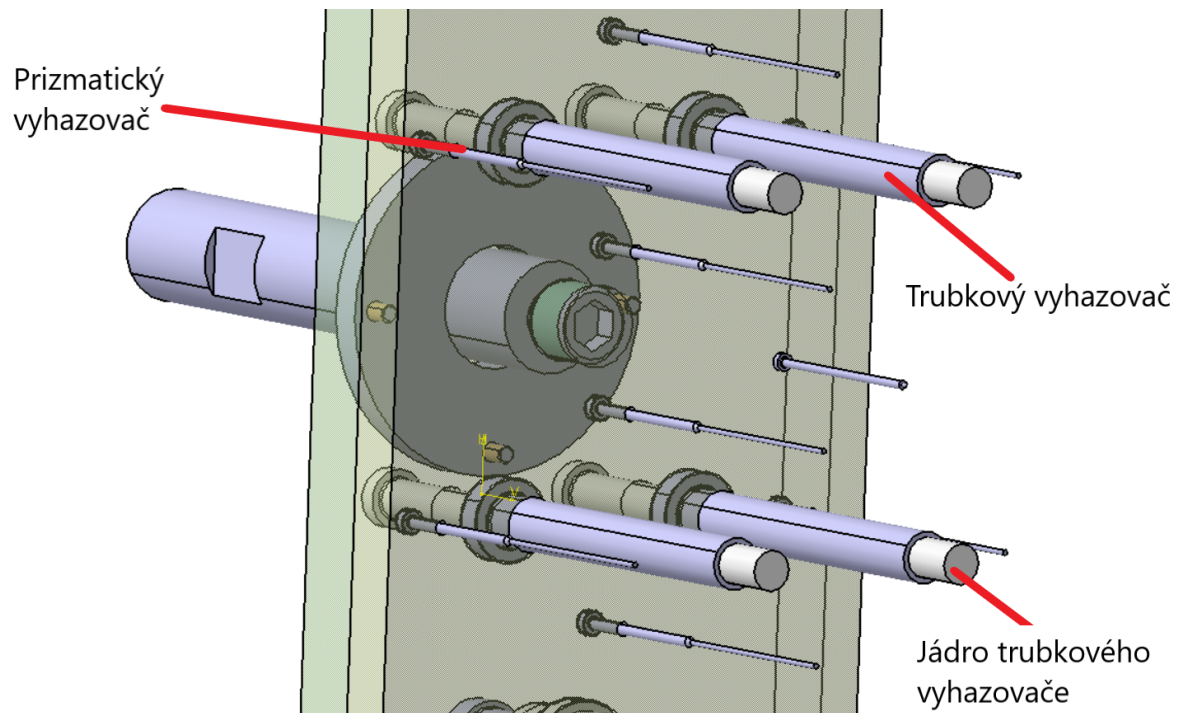
Tento typ vyhazování je nejlevnější a díky tomu i nejběžněji používaným. Lze jej používat všude kde je možnost umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhození. Vyhazovací kolík by se měl opírat o stěnu nebo žebro výstřiku a zároveň by jej při vyhození neměl deformovat. S rostoucím počtem vyhazovacích kolíků se zmenšuje prostor pro temperaci. Je tedy důležité navrhnout odpovídající počet kolíků a jejich vhodné umístění. Vyhazovací kolíky musí být dostatečně tuhé a snadno vyrobitelné. Pořizují se od specializovaných výrobců jako normálie. Vůle mezi formou a kolíkem funguje zároveň jako odvzdušnění formy. [12]



Obrázek 7 Válcový vyhazovač se zajištěním proti rotaci [23]

Vyhazovací kolíky nazýváme také jako vyhazovače. Existují v různých tvarech. Nejčastějším a nejlevnějším typem jsou válcové vyhazovače. Mají stejný válcový průřez po celé své délce a na konci osazení které slouží k ukotvení do kotevní desky vyhazovacího systému. Dalším typem vyhazovačů jsou vyhazovače prizmatické, někdy označované jako nožové. Mají na počátku válcový průřez, ale ke konci se jejich průřez stává čtyřhranným. Působí bodově. Dále jsou používány také trubkové vyhazovače. Ty mají tvar trubky a ke

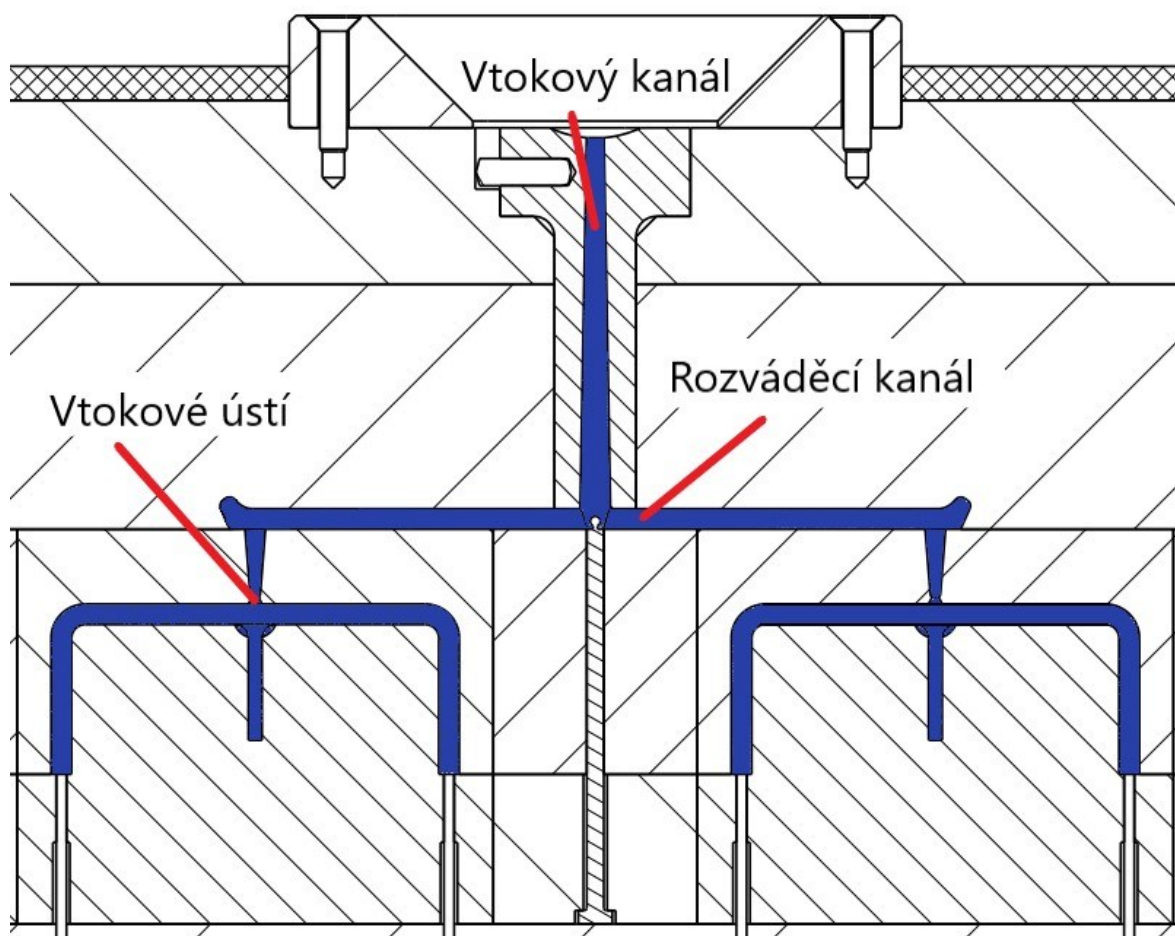
správné funkci potřebují oporu v podobě jádra trubkového vyhazovače.



Obrázek 8 Jednoduchý vyhazovací paket

2.5 Studená vtoková soustava

Vtokový systém zajišťuje distribuci taveniny polymeru od vstřikovací jednotky do dutiny formy. Je snaha o naplnění dutiny v co nejkratším možném čase a s minimálními odpory. U vícenásobných forem je nutné, aby byly všechny dutiny zaplněny ve stejném čase. [14]



Obrázek 9 Studený vtokový systém

Při návrhu vtokového systému je nutné dodržet několik následujících zásad:

- Dráha toku musí být co nejkratší, aby se předešlo tlakovým, časovým a tepelným ztrátám.
- Dráha toku musí být ke všem dutinám formy stejně dlouhá. Tím se zajistí rovnovážné plnění.
- Průřez vtokových kanálů musí být dostatečně velký, aby bylo zajištěno že po zaplnění dutiny bude jádro taveniny stále v plastickém stavu. To nám umožní působit dotlakem.
- Vtokový kanál by měl mít minimální povrch a maximální průřez, aby byly ztráty ochlazováním, co nejnižší. Této charakteristice odpovídá kruhový průřez vtokového kanálu. Lze však použít i jeho modifikace na lichoběžníkový tvar, který nám umožní především snadnější výrobu.

- Zaoblení všech ostrých hran vtokového kanálu musí být minimálně $R = 1$.
- Zajistit úkosovitost všech vtoků, pro jejich snadné odformování. Úkos by měl být minimálně $1,5^\circ$.

Jako zakončení vtokového kanálu používáme vtoková ústí. To je zúžení vtokového kanálu, které má za následek zvýšení teploty taveniny před vstupem do dutiny formy. Vtokové ústí by mělo mít co nejmenší průřez, avšak dostatečný, aby spolehlivě zaplnil celou dutinu formy a umožnil působení dotlaku. Existují různé druhy vtokových ústí. [14]

2.5.1 Bodový vtok

Zpravidla kruhový průřez vtokového ústí. Může vycházet přímo z vtokového kanálu, nebo z rozváděcích kanálů. U tohoto typu vtokového ústí je nutné, aby nejdříve došlo k odtržení vtokového ústí a teprve potom k otevření tvarové dutiny. Proto je nutno použít třídeskový systém forem. Odtržení probíhá ve zúženém místě. V místě odtržení se na výstřiku vytvoří kráter. Pro zachování požadovaných mechanických vlastností je tedy nutno použít čočkovitý náliček, nebo zúžení vtoku umístit dále od výstřiku. [14]

2.5.2 Tunelový vtok

Speciální případ bodového vtoku. Vtokový zbytek může ležet v téže dělicí rovině jako výstřik. Není tedy nutné využívat třídeskového systému formy. Pro funkčnost tunelového vtoku je nutná existence ostré hrany, oddělující při odformování vtokový zbytek od výstřiku. Je potřeba použít přidržovač vtoku. [14]

2.5.3 Boční vtok

Leží v dělicí rovině. Má nejčastěji obdélníkový průřez, ale lze použít i například kruhový nebo lichoběžníkový. Jedná se o nejrozšířenější a nejpoužívanější typ vtokového ústí. Při odformování zůstává vtokový zbytek neoddělený od výstřiku [14]

2.5.4 Filmový vtok

Nejpoužívanější typ vtokového ústí pro plnění dutin rotačního tvaru s vyššími požadavky na kvalitu. Používá se pro nižší vnitřní pnutí, odstranění studených spojů a dodržení tvarové přesnosti výstřiku. Rozvod taveniny do dutiny není rovnoměrný. Lze použít proměnnou tloušťkou ústí. [14]

2.5.5 Plný kuželový vtok

Výrobně nejjednodušší, bez zúženého vtokového ústí. Lze použít pro výrobu tlustostěnných symetrických výstřiků v jednonásobných formách. Umožňuje účinné působení dotlaku. Vtokový zbytek je nutno odstranit dodatečnou technickou operací. [14]

2.6 Vyhřívání vtokové soustavy

Tato metoda vznikla jako odpověď na požadavek snížení odpadu ve formě vtokového zbytku při produkci výstřiků. Jsou založeny na principu vyhřívání vtokového systému. Samotná tryska vstříkující polymer se nachází až těsně před vstupem do dutiny formy. Rozvodné kanály vedoucí od vtokové vložky jsou vyhřívány a polymer je v nich udržován v plastickém stavu. Moderní vyhřívání vtokové soustavy mají vyhřívání i samotné trysky, a dochází na nich k minimálnímu úpadku tlaku i teploty taveniny. Od forem s běžnou studenou vtokovou soustavou se liší hlavně tím, že samotnou vtokovou soustavu je nutno nakoupit u specializovaných výrobců. [14]



Obrázek 10 Vyhřívání vtokový systém [24]

Použití vyhřívaných vtokových systémů je komplikováno především omezením na nabídku jejich výrobců. I přes tuto nevýhodu se však tento typ vtokového systému používá stále častěji. Za to můžou jeho výhody v podobě zkrácení výrobního cyklu, snížení spotřeby polymeru a snižuje míru dokončovacích prací, které souvisejí s odstraněním vtokového zbytku. V místě vyústění bezvtokového vstřikování je vhodné provést na výrobku zahlobení. To slouží jako pojistka, že případný vtokový zbytek nebude vystupovat přes okraj výrobku a nijak tak nenaruší jeho funkčnost.

Mezi hlavní nevýhody vyhřívaných vtokových systémů patří zejména složitější a výrobně dražší formy a nutnost vyšší úrovně jak stroje, tak obslužného personálu. Také je potřeba zařídit regulátor a potřebné snímače, díky čemuž vzrůstá energetická náročnost výroby. Tyto nevýhody jsou však více než vyváženy výhodami vyhřívaných vtokových systémů. Díky tomu se tak používají stále častěji. [14]

2.7 Temperace forem

Během vstřikovacího cyklu je do dutiny formy vstříknut roztavený polymer, který v dutině chladne a tuhne. Při každém dalším vstřiku se tak forma ohřívá. To je nežádoucí, nelze zaručit stejné vlastnosti všech výstřiků. Stejně tak může ovlivnit teplotu formy i teplota v okolí vstřikovacího stroje. Teplota formy pro vstřikování musí být regulována a zároveň musí být stabilní proti vnějším vlivům. Za tímto účelem může být forma chlazená či vyhřívána teplonosným médiem. Tento systém udržování konstantní teploty formy, nazýváme temperace. Jejím úkolem je zajistit rovnoměrnou teplotu po celé ploše dutiny formy a zajistit odvod tepla z dutiny naplněné taveninou, aby byla zajištěna optimální doba ochlazení polymerní taveniny. Nerovnoměrné rozložení teplot uvnitř dutiny formy může mít za následek zhoršení tvarové a rozměrové přesnosti výstřiku. [13] [14]

2.7.1 Charakteristika temperačního systému

Temperace je zajištěna za pomoci vrtaných, frézovaných, nebo soustružených kanálů, kterými proudí teplonosné médium. Médium je nejčastěji voda. Používají se však také oleje a glykoly. Temperační kanály jsou napojeny na temperační jednotku. Ta reguluje teplotu kapaliny. Průtok temperačního média a délka temperačních kanálů by měla být taková, aby nebyl teplotní rozdíl na vstupu a na výstupu z formy větší než 5°C. Temperační jednotka má určitý počet cirkulačních okruhů, které je schopna regulovat. Pro zajištění

nejrovnoměrnějšího odvodu tepla je lepší použít více krátkých okruhů než jeden dlouhý. [13] [14]

2.7.2 Obecné zásady volby temperačních kanálů

Rozměry a rozmístění temperačních kanálů se volí s ohledem na celkovou konstrukci formy. Je potřeba dodržet dostatečnou tloušťku stěny, aby byly zachovány její optimální mechanické vlastnosti. Jako teplosměnná plocha působí povrch temperačního kanálu. Průřez se volí v závislosti na velikost výrobku, druhu polymeru a rámu formy. Nejčastěji se můžeme setkat s kruhovým průřezem. Používají se ale také kanály s obdélníkovými průřezy. Ty se vyrobí jako vyfrézování drážek do desky formy a poté se vodotěsně přikryjí. Lze do nich také vložit měděné trubky a ty zalít cínem nebo zinkem pro zajištění lepšího přenosu tepla. Kanály se kolem dutiny rozmisťují rovnoměrně, v případě místa ve kterém je potřeba odvést větší množství tepla, se kanál může umístit blíže.

Průměr temperačního kanálu můžeme určit z tabulek, nebo zvolit velikost podle sebe. Nikdy by však neměl být menší než 6 mm. U tak malého průměru by hrozilo rychlé ucpání kanálu vodním kamenem a jinými nečistotami. U malých průměrů je také vhodné použít upravenou vodu a před vstup do temperačního kanálu umístit filtr na nečistoty. V temperačním kanálu by se také neměly vyskytovat mrtvé kouty, ve kterých by se mohly usazovat nečistoty. Směr toku temperačního média by měl být od nejchladnějšího místa po místo nejteplejší v případě ohřevu formy, a naopak v případě že formu je potřeba chladit. Rez a jiné nečistoty zhoršují součinitel přestupu tepla. Je tedy vhodné, aby byly kanály čisté. Temperační kanály se navrhuje za využití zkušeností konstruktéra a simulačního softwaru. Ten dává možnost nahlédnout do tepelných dějů odehrávajících se ve formě, a na základě toho se určí optimální řešení.

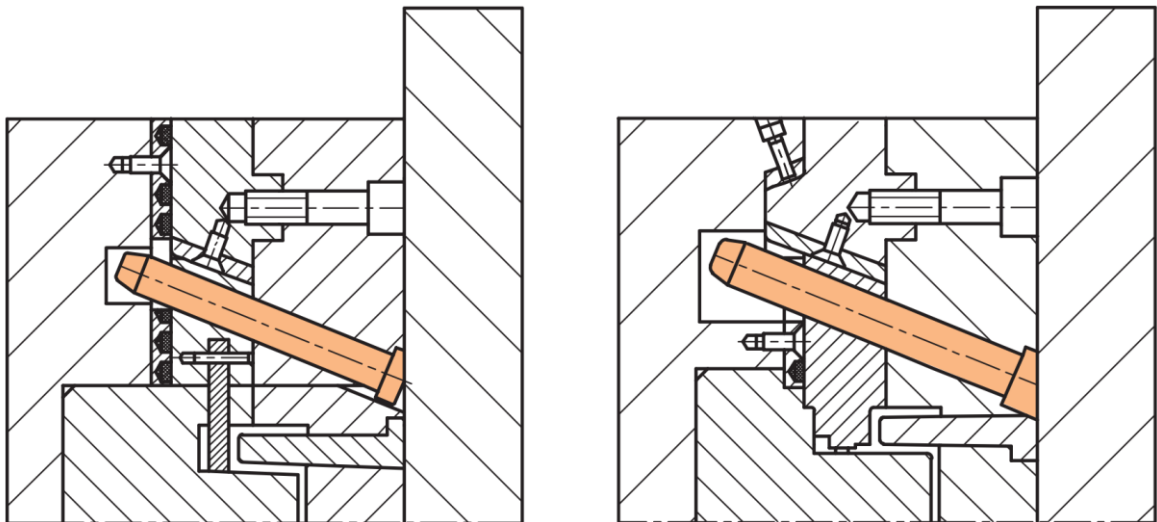
V poslední době, díky rozvoji aditivní výroby, je možnost využít také konformního chlazení. Pod tímto pojmem se rozumí chlazení, ve kterém je využito spirálovitých kanálů v jinak celistvé vložce. Konvenčními stroji by nebylo možné tyto vložky vyrobit. Mají výhodu v optimálnějším a přesnějším chlazení, což má za následek významné zkrácení vstřikovacího cyklu. Avšak jejich výroba je daleko dražší než výroba konvenčních chladičích kanálů. [12]

2.8 Boční posuvné čelisti

Výstřiky s bočními otvory nebo zahloubeními, které leží mimo hlavní dělicí rovinu se řeší s pomocí pohyblivých čelistí. Ty se ovládají pomocí mechanických, pneumatických nebo hydraulických prvků. Čelisti dělíme na vnitřní a vnější. Pohybují se nejčastěji kolmě, nebo pod různými úhly k ose formy. Čelisti jsou zpravidla ukotveny na pohyblivé části formy. Jejich pohyb je ovládán pomocí šikmých nebo lomených kolíků, nebo hydraulických či pneumatických tahačů. S počtem pohyblivých čelistí roste také počet dělicích rovin formy. Vzdělává tím složitost formy a tím i náklady na její výrobu. [12]

2.8.1 Šikmé kolíky

Současně s otevíráním formy vysouvají boční čelisti. Zpoždění je dané vůlí v otvoru pro šikmý kolík. Ta bývá běžně 0,2 mm. Sklon šikmého kolíku bývá nejčastěji 15° až 20°, můžeme se však setkat i s kolíky o sklonu 30°. Čelist je zajištěna v pracovní poloze opěrnou plochou, možné je však i zajištění pomocí zajišťovacích kolíků. V otevřené poloze je čelist zajištěna kuličkou nebo západkou. Šikmé kolíky jsou použity tam, kde není vyžadováno zpoždění otevření čelistí proti otevření dutiny formy. V případě že potřebujeme zajistit prodlevu, použijeme lomené kolíky. [12]



Obrázek 11 Umístění posuvných čelistí ve formě [21]

2.8.2 Pneumatické ovládání čelistí

Pro ovládání pohybu bočních čelistí lze také použít pneumatické tahače. Jejich výhodou je, že pohyb čelisti může nastat i v případě, že forma je stále uzavřená. Při jejich použití je

potřeba brát v úvahu stlačitelnost vzduchu. Ta může mít za následek nerovnoměrný nebo trhavý pohyb čelisti. [12]

2.8.3 Hydraulické ovládání čelistí

Hydraulické tahače používáme tam, kde nestačí síla tahačů pneumatických. Tedy u dlouhých nebo těžkých jader, případně můžeme použít jeden tahač pro vysunutí více jader najednou. Čelisti lze tímto způsobem, stejně jako u pneumatických tahačů, ovládat v jakékoliv pozici formy. Pohyb čelisti je rovnoměrný. Hydraulické tahače musí být napojeny na hydraulický systém stroje, nebo na samostatný hydraulický agregát. Poté musí být jejich ovládání seřízeno s cyklem vstřikovacího stroje. [12]

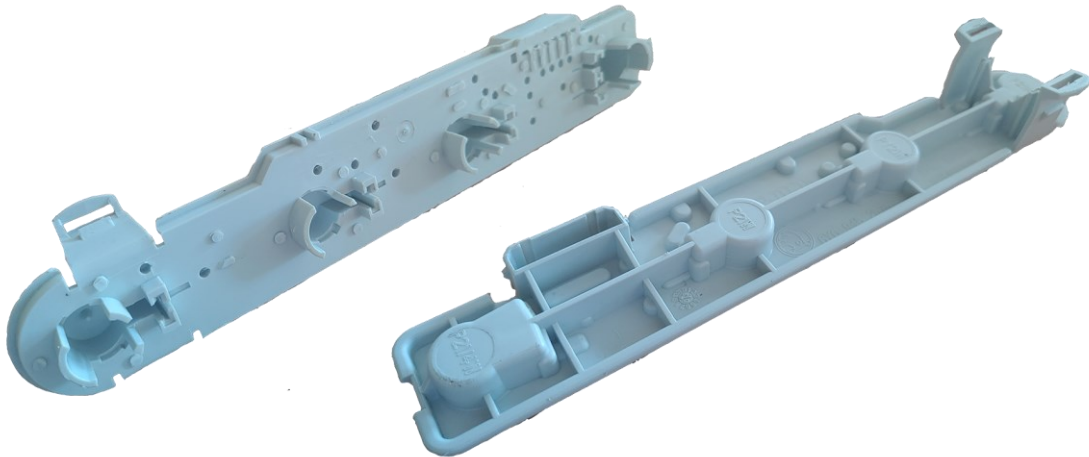
II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI

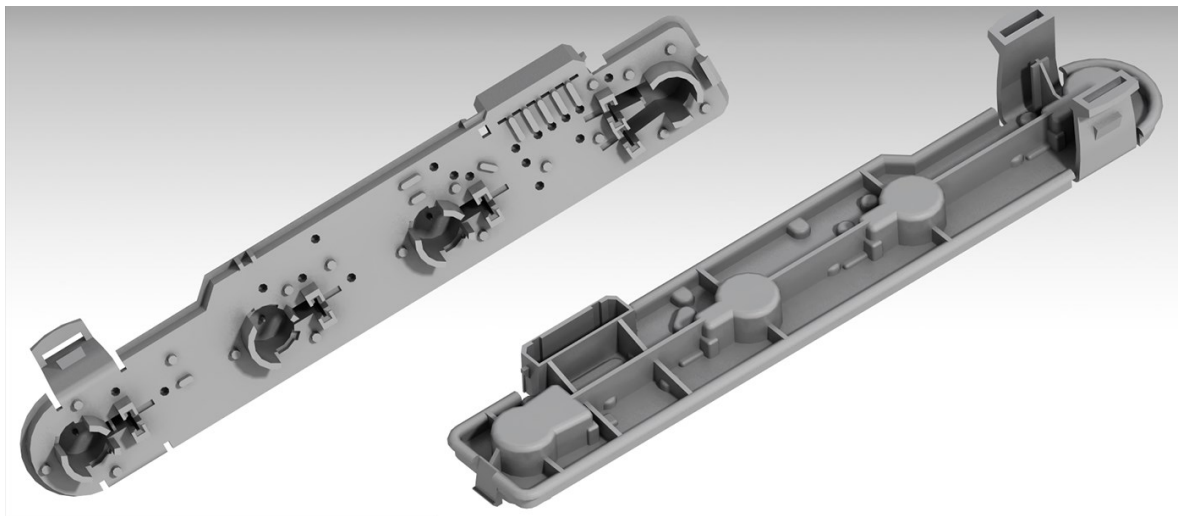
Vypracování bakalářské práce bylo rozděleno na dvě části, a to část teoretickou a praktickou. Teoretická část práce spočívala ve vypracování literární studie na zadané téma. Praktická část mé práce zahrnovala vytvoření 3D modelu zadaného dílu a poté konstrukci formy určené pro jeho výrobu. K vytvoření 3D modelu vstřikovací formy byl použit software CATIA V5 R19. Normalizované díly byly získány z katalogu firmy HASCO. Posledním krokem bylo vytvoření výkresové dokumentace nástroje.

4 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Zadaný výrobek pochází z odvětví automobilového průmyslu, ve kterém plasty nacházejí široké uplatnění. Konkrétně se tento díl nachází v zadním světlometu vozidla a slouží jako lišta ve které jsou upevněny žárovky. Díky této liště je výměna žárovek snazší a zvládne ji tak každý. Výrobek má rozměry 243 x 45 x 41 mm a váží 23 g.



Obrázek 12 Zadaný výrobek



Obrázek 13 Model zadaného výrobku

4.1 Materiál

Výrobek je zhotoven z materiálu PP-TD20. To je označení polypropylenu s 20 % přísadou v podobě mastku. Mastek je přidáván pro zvýšení modulu elasticity, tvarové stálosti a teplotní odolnosti. Tento materiál je velmi vhodný pro zpracování vstřikováním, zejména v oblasti automobilového průmyslu. Výrobky z polypropylenu doplněného mastkem se však

používají také v elektrotechnice a v domácnostech. Použitý materiál je od firmy RTP a je označován obchodním názvem jako RTP PP 20 TALC. [17]

Tabulka 1 Vlastnosti materiálu RTP PP 20 TALC [17]

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Fyzikální		
Hustota	1050	kg/m ³
Smrštění	1,3	%
Teplota tání	230	°C
Index toku taveniny	10	g/10 min
Mechanické vlastnosti		
Pevnost v tahu	33,1	MPa
Prodloužení v tahu	>10	%
Modul v tahu	3103	MPa
Pevnost v ohybu	52	MPa
Modul pružnosti v ohybu	2413	MPa
Podmínky při vstřikování		
Vstřikovací tlak	69 až 103	MPa
Teplota taveniny	191 až 232	°C
Teplota formy	32 až 66	°C
Sušení	79 °C po dobu 2 h	

5 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

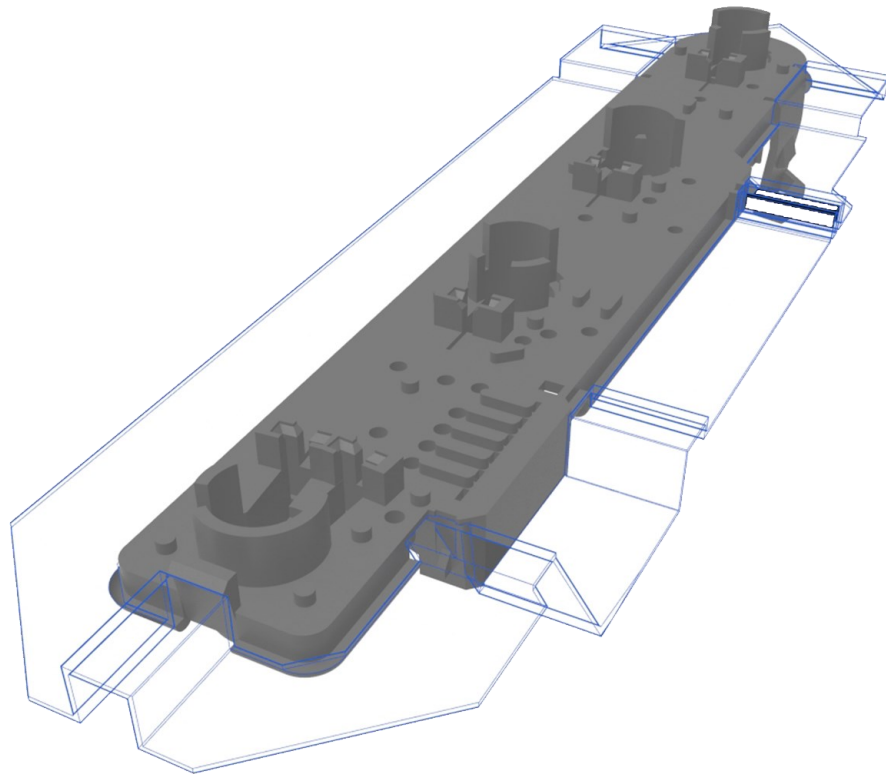
Konstrukce vstřikovací formy je dána výrobkem. Od něj se odvíjí její rozměry, složitost, přesnost a násobnost. Výsledná cena je také ovlivněna těmito parametry a pohybuje se v řádech vyšších statisíců až milionů korun za nástroj. Naším cílem je zkonstruovat formu s ohledem na tyto parametry hlavně kvůli výsledné ceně. Ta by měla být vždy co nejnižší při dosažení požadovaných vlastností. Cena je snižována využitím normalizovaných dílů. Ty vyrábí celá řada výrobců po celém světě. Pro konstrukci této formy byly využity normálie od německé společnosti HASCO. Díky využití normalizovaných dílů je také daleko snazší případná výměna poškozených dílů nástroje.



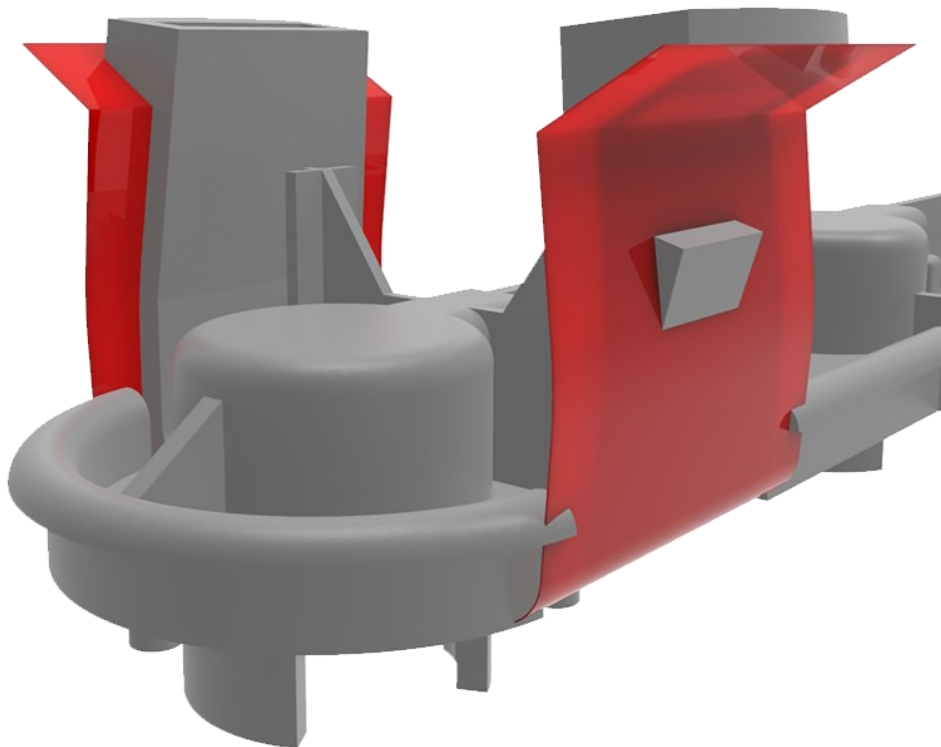
Obrázek 14 Kompletní vstřikovací forma

5.1 Dělicí roviny

Jako dělicí roviny jsou označovány roviny, ve kterých se setkává tvárník s tvárnicí, případně s čelistmi bočního odformování. Volba těchto rovin je důležitým prvním krokem při návrhu dutin tvárníku a tvárnice.



Obrázek 15 Znáznornění hlavní dělicí roviny



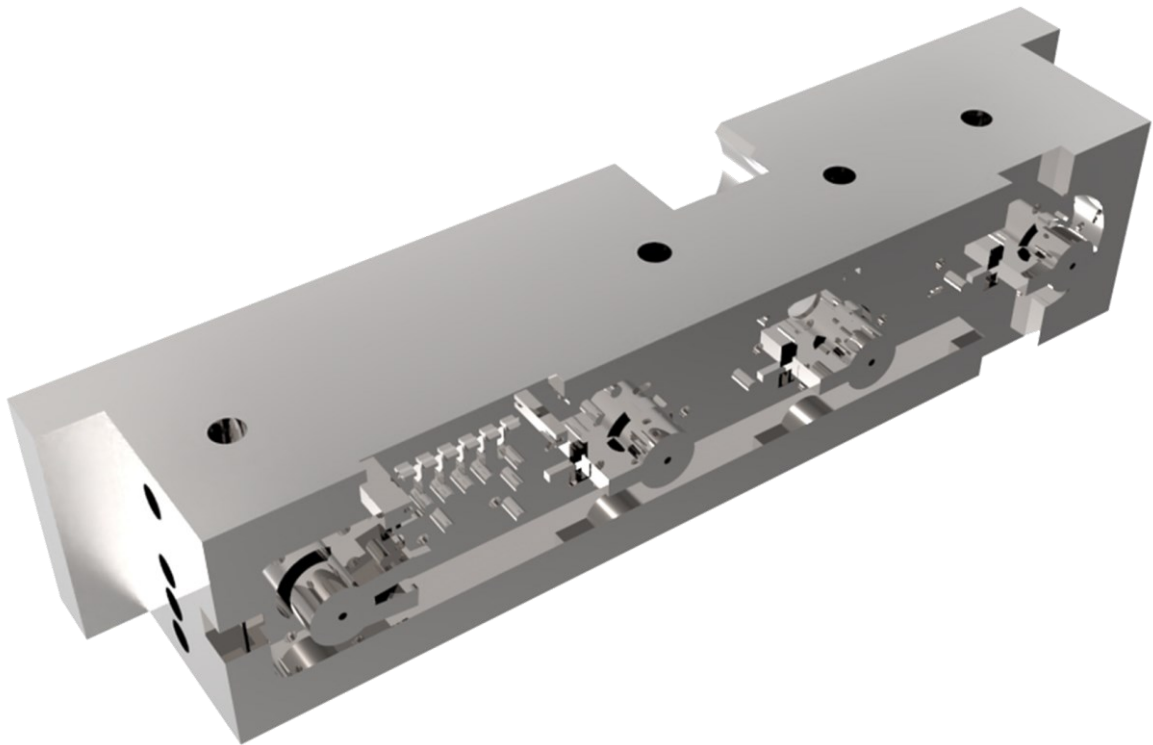
Obrázek 16 Znáznornění vedlejších dělicích rovin

5.2 Tvarové části formy

Tvar výrobku je vytvořen pomocí dutiny vzniklé mezi tvárnici a tvárníkem. V případě více dělicích rovin je také nutno použít tvarová jádra. Cílem je vytvořit negativ výrobku. Tyto součásti jsou vyrobeny z vysoce kvalitní nástrojové oceli. Dále jsou tepelně zpracovávány cementováním a kalením.

5.2.1 Tvárnice

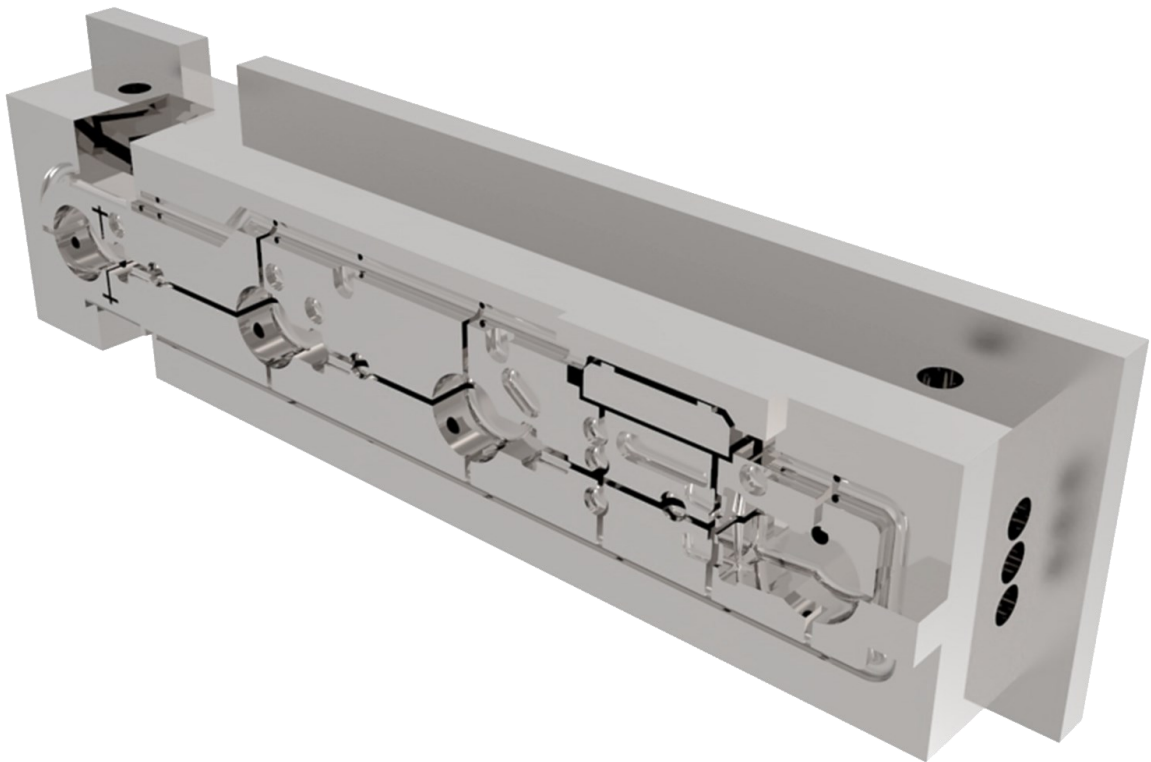
Tvárnici je nazývána tvarová část formy nacházející se v pevné části formy. Je přitlačena opěrnou deskou a na bocích má osazení pro snazší usazení.



Obrázek 17 Tvárnice

5.2.2 Tvárník

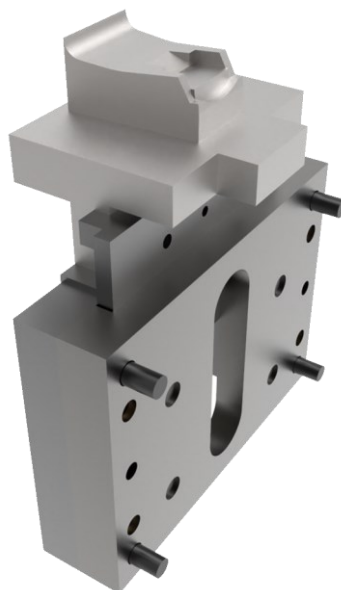
Tvárník se nazývá tvarová část formy nacházející se v pohyblivé části formy. Stejně jako tvárnice je přitlačen opěrnou deskou a má osazení pro snadné zasazení do formy. Musí v něm být díry pro vyhazovače.



Obrázek 18 Tvárník

5.2.3 Tvarová jádra

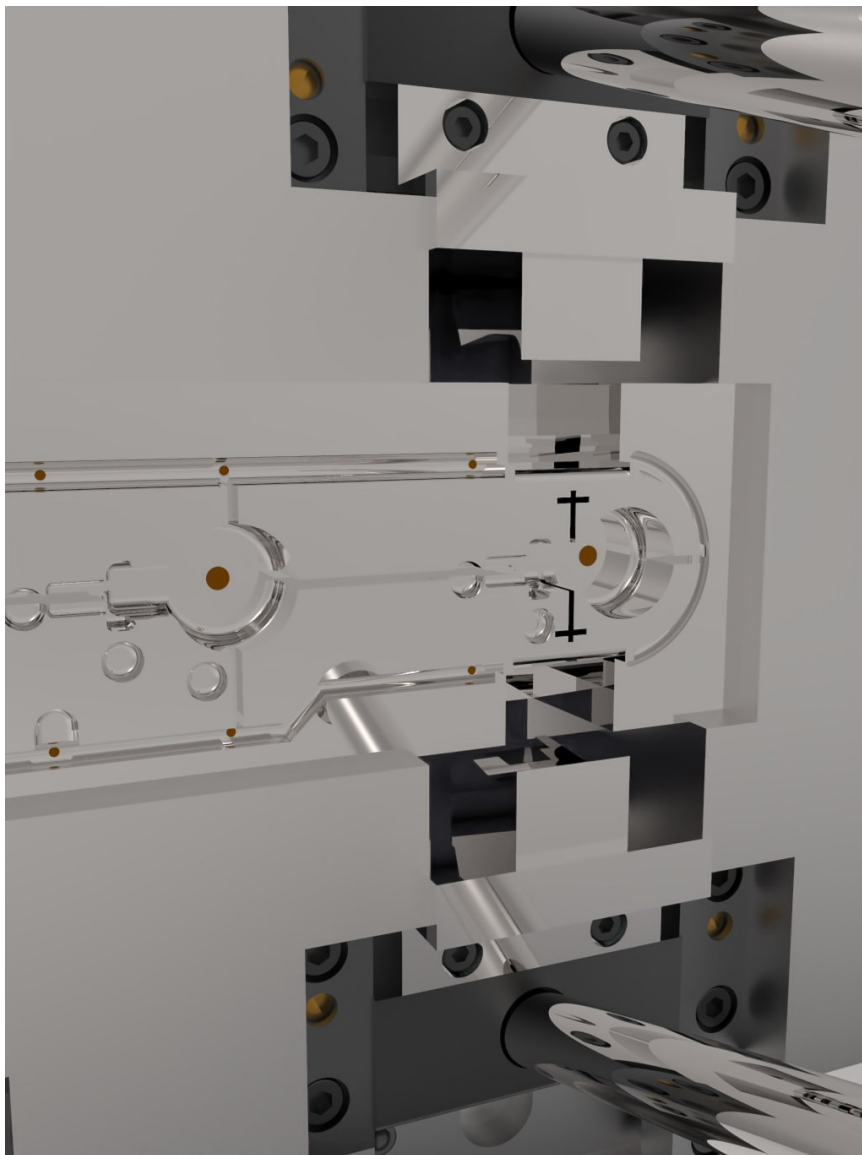
Tvarová jádra slouží k odformování výrobku ve vedlejších dělicích rovinách. Bývají ukotvena v pohyblivé části formy. Jejich pohyb může být ovládán pomocí hydraulických či pneumatických tahačů, ale i pomocí šikmých čepů. To je konstrukčně nejjednodušší řešení a bylo použito pro tuto formu.



Obrázek 19 Tvarové jádro s posuvným modulárním systémem HASCO

5.3 Odformování

Odformováním je myšleno odsunutí tvarových částí z dělicích rovin po ztuhnutí výrobku. Pevná část formy je statická, pohyblivá část odjíždí dozadu a zároveň se posouvají tvarová jádra. Pohyb pohyblivé části je generován vstřikovacím strojem. Tvarová jádra jsou posouvána šikmými čepy. Jakmile je výrobek odformován, dá se do pohybu vyhazovací paket a vyhodí výrobek z dutiny formy. Je tedy důležité, aby byl výrobek správně odformován a nedržel se na žádné tvarové části.

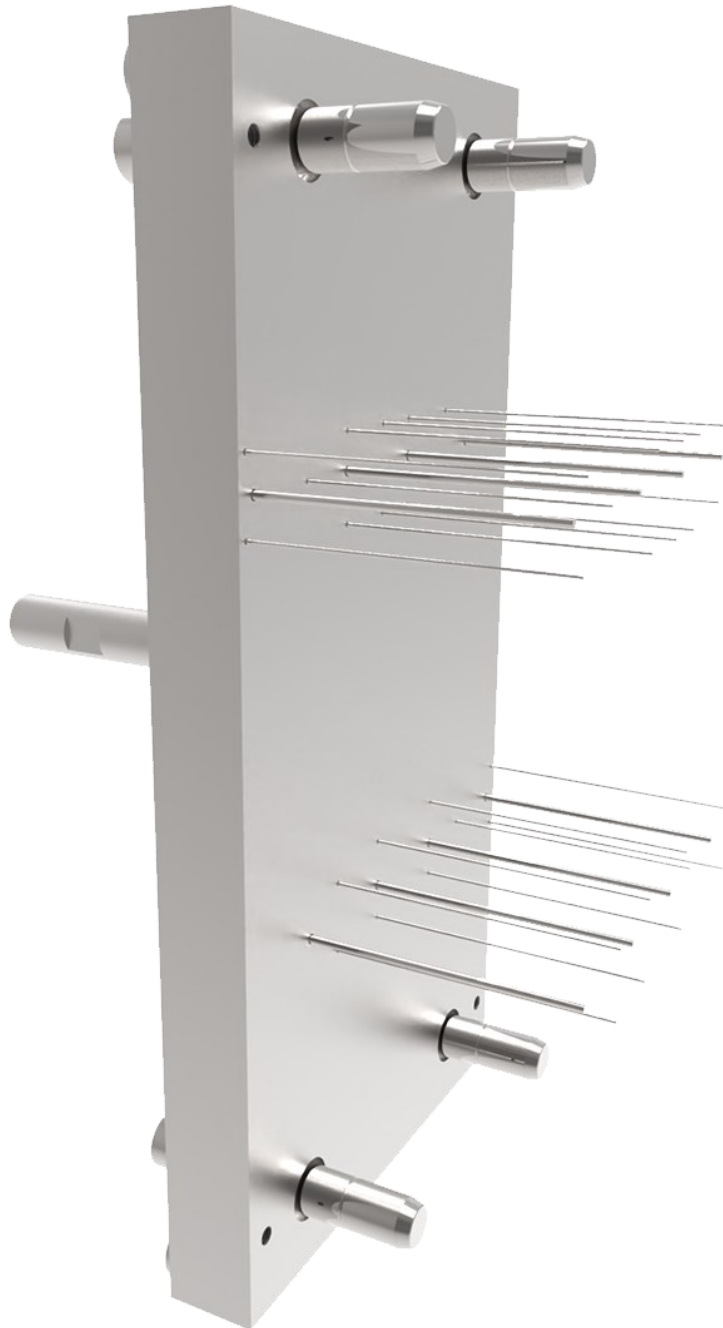


Obrázek 20 Pohled na tvarová jádra při odformování

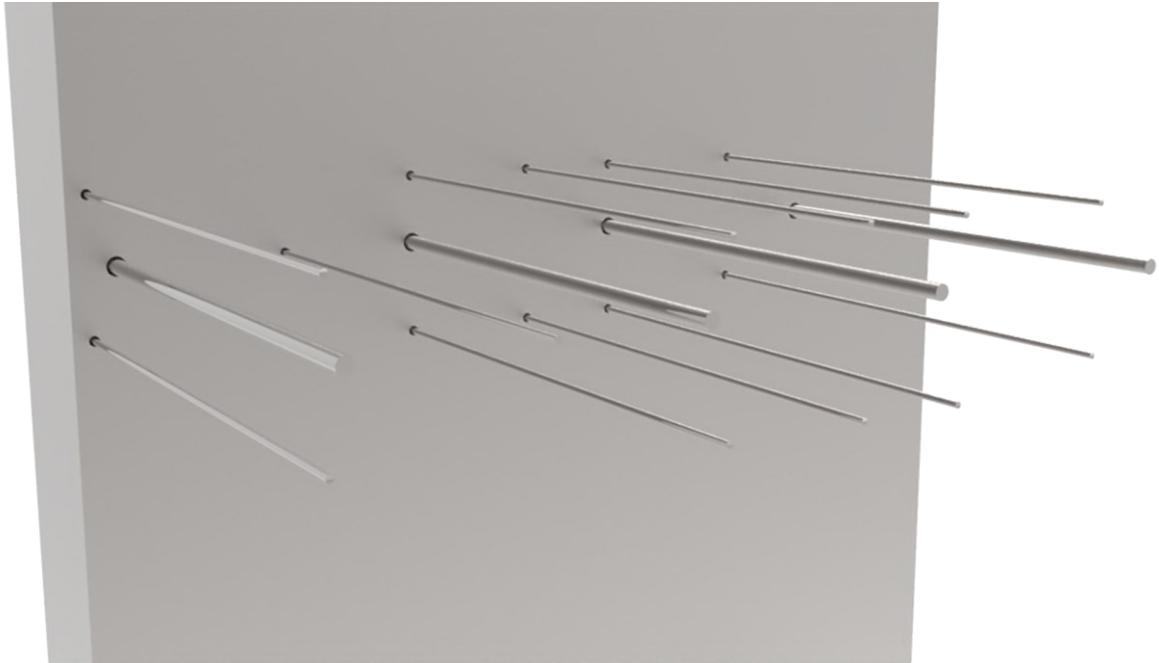
5.4 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém zajišťuje správné vyhození výrobku z dutiny formy. Pohyb vyhazovacího paketu je zajištěn hydraulickým systémem vstřikovacího stroje přes ovládací

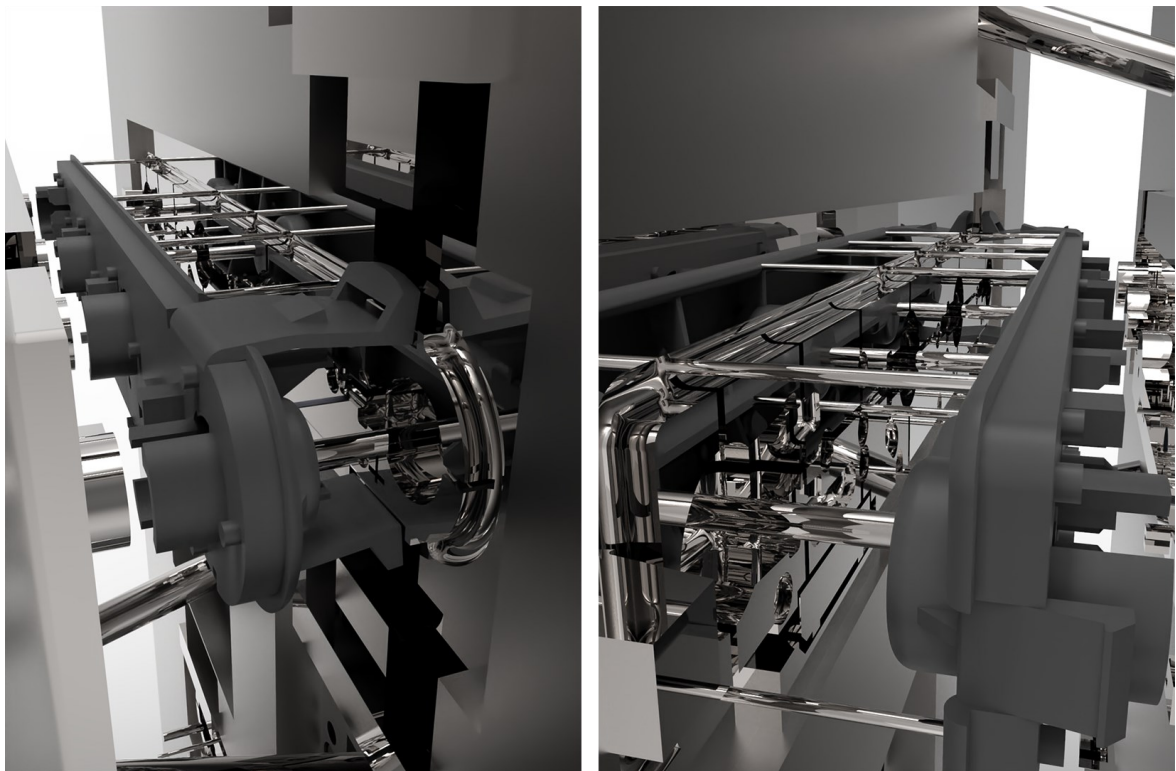
trn vyhazovacího systému. Samotné vyhození je zprostředkováno válcovými vyhazovači. Ty mají průměr 1,5 mm a 3,7 mm. Vyhazovače musí mít dostatečný zdvih, aby byl výrobek správně vyhozen z dutiny. V tomto případě je zdvih vyhazovacího paketu 48mm.



Obrázek 21 Kompletní vyhazovací paket



Obrázek 22 Rozmístění vyhazovačů



Obrázek 23 Ukázka vyhození dílu z dutiny formy

5.5 Pevná část formy

Pevná část formy je někdy označována také jako pravá část formy. Skládá se v tomto případě ze čtyř desek – upínací desky, izolační desky, opěrné desky a z desky ve které jsou ukotveny tvárnice. Desky jsou navzájem vystředěny pomocí vodících prvků. Mezi ty patří vodící čepy a středící trubky. Středící trubky slouží k vycentrování desek pravé strany mezi sebou.

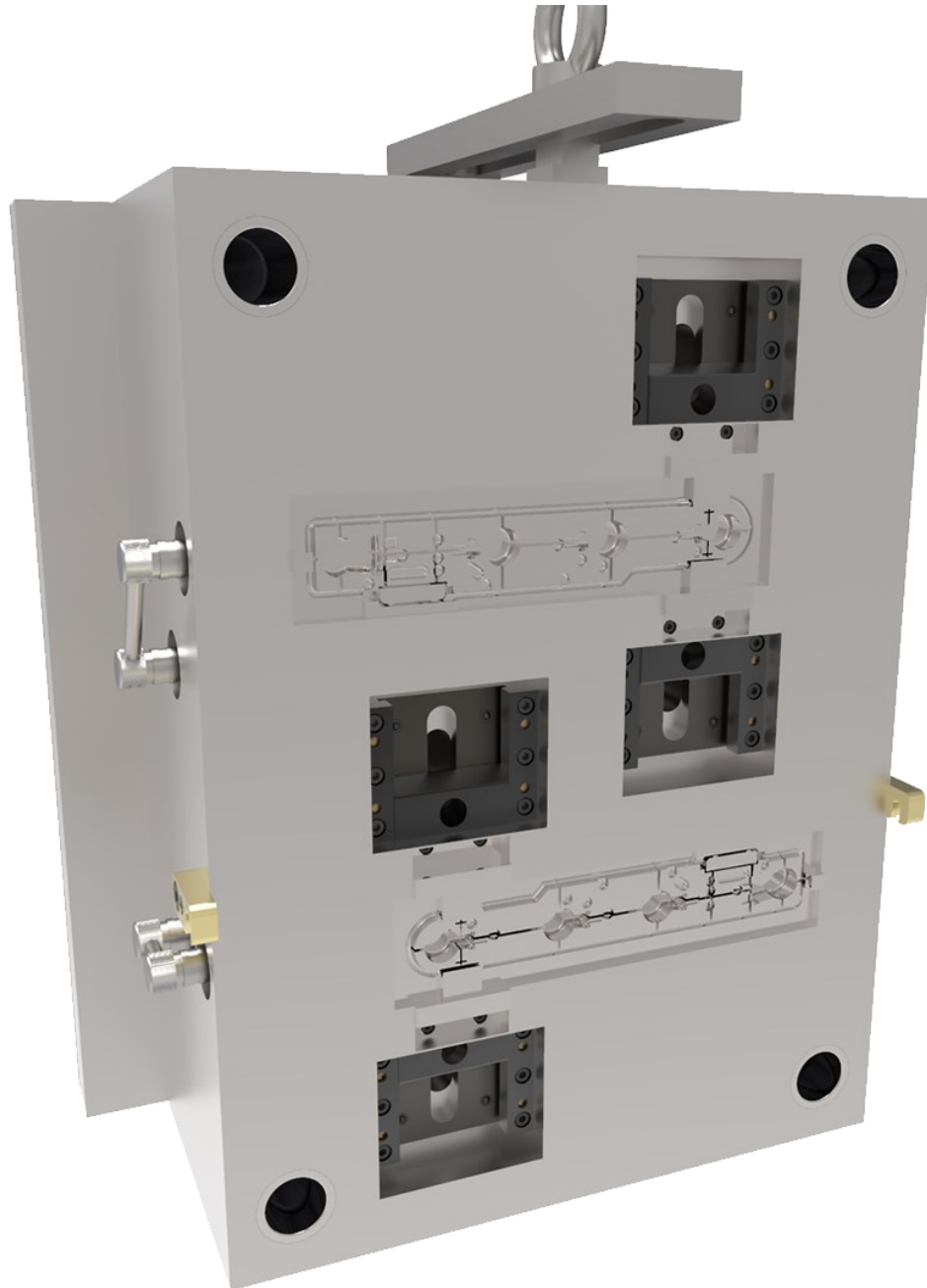
Vodící čepy zajišťují přesné vedení mezi pravou a levou částí formy. Tyto desky jsou spojeny pomocí šroubů. V pravé části formy se také nachází horký vtokový systém a středící kroužek který zajišťuje vystředění formy vůči vstřikovacím stroji. Jsou zde umístěny i šikmé čepy jež zajišťují posuv tvarových jader pro boční odformování.



Obrázek 24 Pohled do pravé části formy

5.6 Pohyblivá část formy

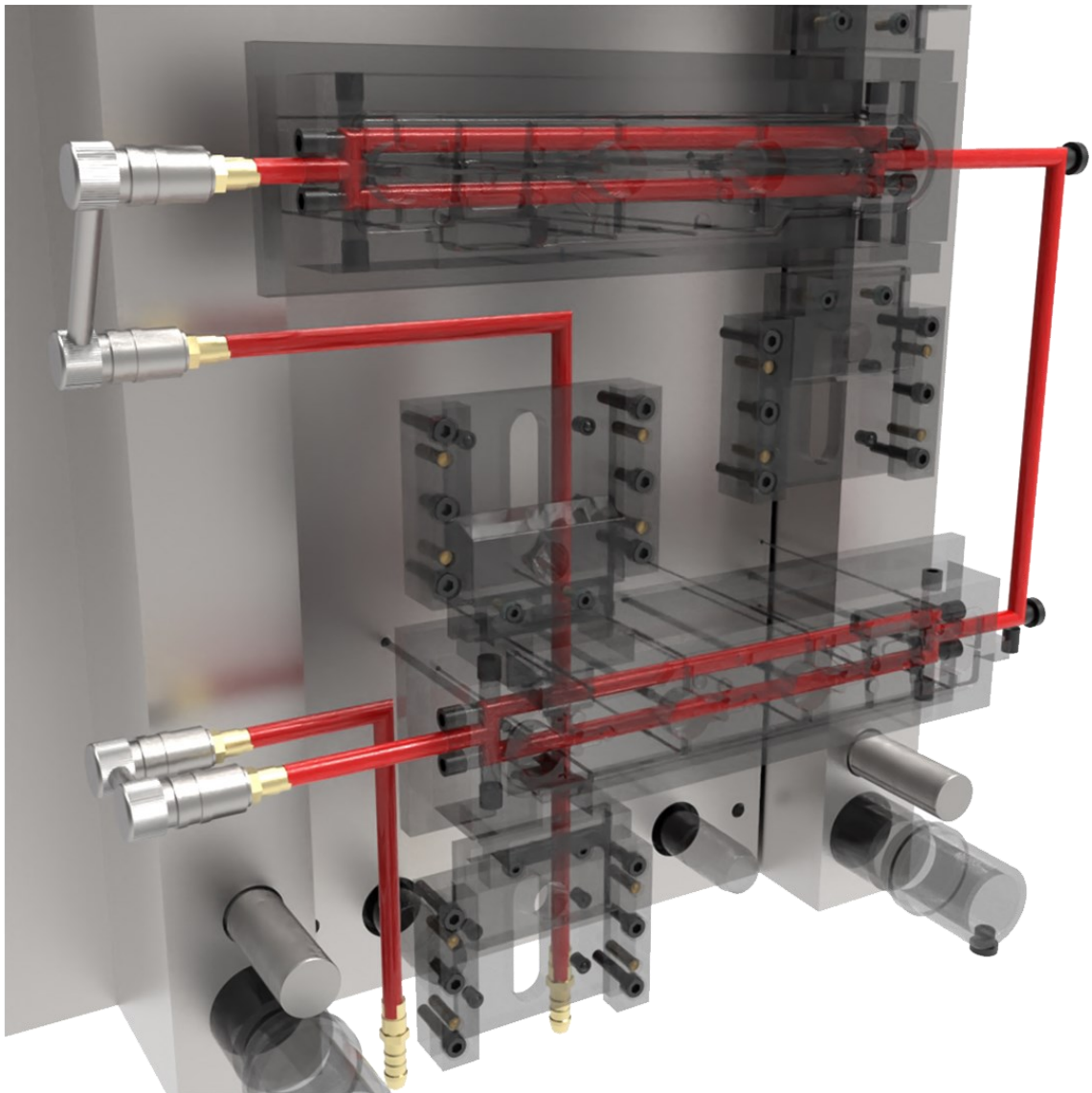
Tato strana se někdy označuje i jako levá část formy. Pohyblivá část formy se skládá ze šesti desek – izolační desky, upínací desky, dvou desek rozpěrných, desky opěrné a desky ve které jsou ukotveny tvárníky a pohyblivé části bočního odformování. Deska je stejně jako pravá část formy vystředěna pomocí středících trubek. Jsou zde umístěna vodící pouzdra do nichž zapadají vodící čepy z pravé části formy.



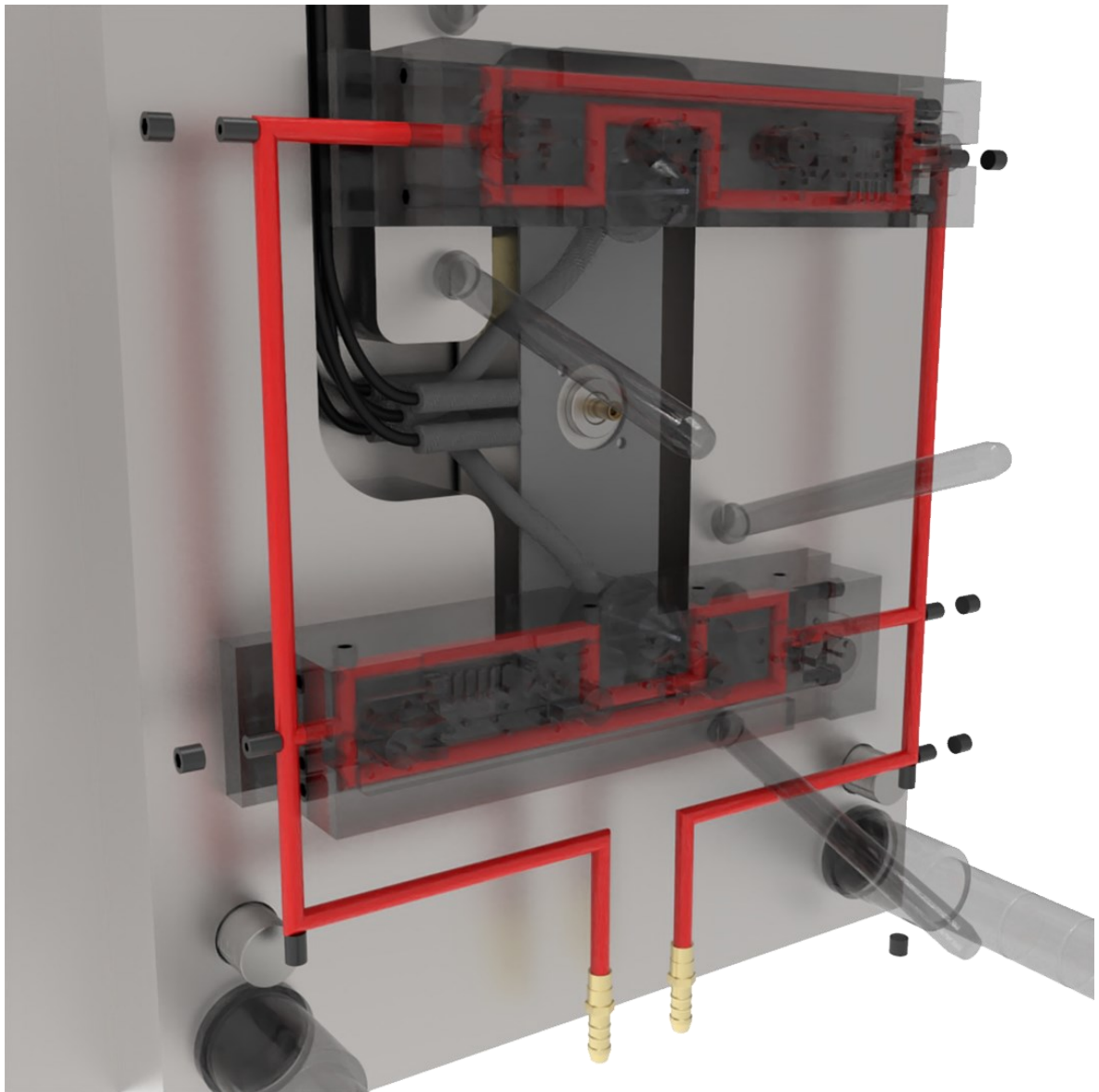
Obrázek 25 Pohled do levé části formy

5.7 Temperace

Teplota formy není během vstřikování stálá. Ovlivňuje ji také teplota okolí. Jelikož je však požadováno aby všechny výrobky byly naprosto stejné, je nutné teplotu formy stabilizovat na požadovanou teplotu. Toho lze dosáhnout zavedením temperace formy. Ta je zajištěna pomocí soustavy vyvrtaných kanálů do desek, kterými poté proudí temperační médium. Temperačním médiem bývá nejčastěji voda nebo olej. Je nutné zvolit ideální umístění a průměr temperačních kanálů. Pro tuto formu byl zvolen průměr temperačních kanálů 8 mm. Požadovaný tvar temperačního okruhu je zajištěn umístěním ucpávek a zátek. Ve formě se nacházejí dva temperační okruhy. Jeden pro pohyblivou část formy a druhý pro pevnou část formy.



Obrázek 26 Ukázka temperačního okruhu levé části formy



Obrázek 27 Ukázka temperačního okruhu pravé části formy

6 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Základními parametry pro volbu vstřikovacího stroje jsou rozměry formy a objem taveniny jímž potřebujeme dutinu formy zaplnit. Podle nich byl tedy zvolen stroj ALLROUNDER 520 H od firmy ARBURG. Ten je jedním z předních výrobců vstřikovacích strojů.



Obrázek 28 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 520 H [18]

Tabulka 2 Vlastnosti stroje ARBURG ALLROUNDER 520 H [18]

	Hodnota	Jednotka
Výška formy	250 až 550	mm
Vzdálenost mezi sloupy	520	mm
Uzavírací síla	1 500	kN
Otevírací zdvih	400	mm
Vyhazovací síla	40	kN
Vyhazovací zdvih	175	mm
Rozměr vstřikovací formy	496 x 546 x 396	mm

ZÁVĚR

Bakalářská práce se odvíjela podle požadavků oficiálního zadání. Cílem bylo vytvořit konstrukční návrh vstřikovací formy pro díl světlometu automobilu, včetně výkresové dokumentace. 3D model formy a samotného výrobku byl vytvořen v programu CATIA V5 R19.

Teoretická část práce se zabývá teoretickými poznatky ohledně konstrukce vstřikovací formy, materiálů vhodných ke zpracování vstřikováním, a také popisuje samotný průběh procesu vstřikování.

Praktická část práce se zabývá návrhem vstřikovací formy pro zadaný výrobek. Ten je součástí světlometu osobního automobilu a je vyroben z materiálu PP s 20% obsahem mastku. Konstrukce nástroje se odvíjela od rozměrů a tvarové složitosti výrobku. Podle těchto kritérií byla zvolena násobnost formy, dělicí roviny a také rozměry formy. Vtokový systém byl zvolen vyhřívaný pro jeho výhodu v absenci nutnosti vyhození vtokového systému. Odformování vedlejších dělicích rovin bylo zajištěno tvarovými jádry jež jsou ovládány šikmými čepy. Bylo také nutné zajistit temperaci formy. Ta byla realizována pomocí soustavy vrtaných kanálů, kterými proudí temperační médium. Odvzdušnění formy se předpokládá přes vůli v uložení vyhazovačů a v dělicí rovině. Pro zajištění snadné manipulace byl nástroj doplněn o transportní můstek a zámky hlavní dělicí roviny. Jako vhodný stroj byl zvolen ARBURG ALLROUNDER 470 H, a to na základě vhodných rozměrů pro upnutí nástroje.

Poslední částí byla tvorba výkresové dokumentace. Byly vytvořeny výkresy pro pohled do pravé strany formy, pohled do levé strany formy, a také řezy vedené skrz formu. Tato dokumentace byla doplněna o kusovník.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] WEISS, Viktorie a Elena STŘIHAVKOVÁ. *Polymery*. Vyd. 1. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta výrobních technologií a managementu, 2014. ISBN isbn978-80-7414-738-8.
- [2] CRAWFORD, R.J. *Plastics engineering*. 1. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999. ISBN 978-0-7506-3764-0.
- [3] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. *Publi.cz* [online]. [cit. 2020-12-21]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- [4] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011. ISBN ISBN978-80-7080-788-0.
- [5] SEKHAR BAG, Dibyenndu. *Principles of polymers : an advanced book* [online]. 1. New York: Nova Publishers, 2013 [cit. 2021-02-03]. ISBN 9781620814147. Dostupné z: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=0&sid=589ecfa2-ffde-499e-93aa-017f7644ecd6%40sdc-v-sessmgr02&bdata=JkF1dGhUeXBIPWlwLHN0aWImbGFuZz1jcyZzaXRIPWVob3N0LWxpdmU%3d#AN=607795&db=nlebk>
- [6] CAMPO, E. Alfredo. *Selection of polymeric materials: how to select design properties from different standards*. Norwich: William Andrew, 2008. ISBN 978-0-8155-1551-7.
- [7] ZASPALOVÁ, Jana. *Polymery kolem nás: vzdělávací modul chemie : výukový a metodický text : Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi - projekt OPPA*. Praha: P3K, 2012. ISBN ISBN978-80-87186-76-3.
- [8] TYLKOWSKI, Bartosz, Karolina WIESZCZYCKA a Renata JASTRZAB. *Polymer Engineering*. 1. Berlin: De Gruyter, 2017. ISBN 9783110469752.
- [9] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 80-730-0026-1.
- [10] LENFELD, Petr. *Technologie II*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN ISBN978-80-7372-467-2.
- [11] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování*. *Technologie vstřikování* [online]. [cit. 2020-12-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- [12] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů*. II. díl, Vstřikování termoplastů. 1. vydání. Brno: Uniplast Brno, 1999, , 214 stran.
- [13] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Impresum.html>
- [14] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů*. I. díl, Vstřikování termoplastů. 2. vydání. Brno: Uniplast Brno, 1999, , 133 stran.
- [15] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Impresum.html>
- [16] HYNEK, Martin. *Rámy vstřikovacích forem* [online]. [cit. 2021-01-10]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Ramy_vstrikovacich_forem.pdf
- [17] *RTP Company* [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://www.rtpcompany.com>
- [18] *ARBURG* [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/en/>

- [19] *LEGO* [online]. [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://www.lego.com/>
- [20] *KASO Plastics* [online]. [cit. 2021-01-04]. Dostupné z: <https://www.kaso.com>
- [21] *Hasco* [online]. [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://www.hasco.com>
- [22] *ENGEL* [online]. [cit. 2021-01-10]. Dostupné z: <https://www.engelglobal.com/>
- [23] *DME* [online]. [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://www.dme.net/>
- [24] *Hot-tech's Hot-runner Technologies* [online]. [cit. 2021-01-10].
Dostupné z: <http://www.hottechshotrunner.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PE	Polyethylen
PE-LD	Nízko-hustotní polyethylen
PE-HD	Vysoko-hustotní polyethylen
PE-LLD	Lineární nízko-hustotní polyethylen
PE-UHMW	Polyethylen s ultra vysokou molekulární hmotností
PP	Polypropylen
PA	Polyamid
PS	Polystyren
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PVC	Polyvynilchlorid
UV	Ultrafialové záření
3D	Označení trojrozměrného prostoru
2D	Označení dvourozměrného prostoru
g	Gram
mm	Milimetr
PP-TD20	Polypropylen s 20% přísadou mastku
kN	Kilonewton
%	Procento
°C	Stupeň Celsia

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Typický výrobek z polymeru ABS [19].....	13
Obrázek 3 Vstřikovací stroj [22]	17
Obrázek 4 Hydraulicko-mechanický systém otevírání formy [13]	19
Obrázek 5 Dutina vstřikovací formy s násobností 4 [20]	21
Obrázek 6 Uložení středících prvků uvnitř formy	23
Obrázek 7 Středící kroužek [HASCO] [21].....	23
Obrázek 8 Válcový vyhazovač se zajištěním proti rotaci [23]	25
Obrázek 9 Jednoduchý vyhazovací paket	26
Obrázek 10 Studený vtokový systém.....	27
Obrázek 12 Vyhřívaný vtokový systém [24].....	29
Obrázek 13 Umístění posuvných čelistí ve formě [21]	32
Obrázek 14 Zadaný výrobek.....	36
Obrázek 15 Model zadaného výrobku	36
Obrázek 16 Kompletní vstřikovací forma	38
Obrázek 17 Znázornění hlavní dělicí roviny	39
Obrázek 18 Znázornění vedlejších dělicích rovin	39
Obrázek 19 Tvárnice.....	40
Obrázek 20 Tvárník	41
Obrázek 21 Tvarové jádro s posuvným modulárním systémem HASCO	41
Obrázek 22 Pohled na tvarová jádra při odformování	42
Obrázek 23 Kompletní vyhazovací paket	43
Obrázek 24 Rozmístění vyhazovačů.....	44
Obrázek 25 Ukázka vyhození dílu z dutiny formy	44
Obrázek 26 Pohled do pravé části formy	45
Obrázek 27 Pohled do levé části formy	46
Obrázek 28 Ukázka temperačního okruhu levé části formy	47
Obrázek 29 Ukázka temperačního okruhu pravé části formy.....	48
Obrázek 30 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 520 H [18].....	49

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vlastnosti materiálu RTP PP 20 TALC [17]	37
Tabulka 2 Vlastnosti stroje ARBURG ALLROUNDER 520 H [18].....	49

SEZNAM PŘÍLOH

P I: CD-ROM obsahující textový soubor s bakalářskou prací a výkresovou dokumentací

P II: Výkresová dokumentace

