

Návrh vstřikovacího nástroje pro výrobu zadního panelu 3D skeneru

Jiří Svoboda

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Jiří Svoboda
Osobní číslo:	T22060
Studijní program:	B0788A270001 Procesní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh vstřikovacího nástroje pro výrobu zadního panelu 3D skeneru

Zásady pro vypracování

- Provést literární rešerši zaměřenou na danou problematiku.
- Vytvořit trojrozměrný model zadaného vstřikovaného dílu.
- Vypracovat návrh konstrukčního řešení vstřikovací formy pro daný díl.
- Nakreslit sestavu formy s kusovníkem a patřičnými pohledy.

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

Seznam doporučené literatury:

ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
CATOEN, Bruce a REES Herbert. *Injection Mold Design Handbook*. Hanser Publishers, 2021. ISBN 978-1-56990-815-0.
JAROSCHEK, Ch. *Design of Injection Molded Plastic Parts*. Munich: Hanser Publishers, 2022. ISBN 978-1-56990-893-8.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 10. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- 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 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, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a konstrukcí dvojnásobné vstřikovací formy pro výrobu zadního krytu ručního 3D skeneru. Teoretická část práce se zabývá rozdělením a popisem polymerů, konstrukcí vstřikovací formy a vstřikovaného výrobku.

Cílem praktické části je návrh 3D modelu vstřikovací formy se všemi náležitostmi. Výstupem této práce jsou 3D data a výkresy sestavy vstřikovací formy a výrobku. Pro vypracování praktické části byla použita CATIA V5.

Klíčová slova: vstřikovací formy, vstřikování plastů, polymery, CATIA V5 (software), 3D modelování

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design and construction of a double injection mold for the production of the back cover of a handheld 3D scanner. The theoretical part of the thesis deals with the classification and description of polymers, the design of the injection mold and the injection molded product.

The aim of the practical part is the design of the 3D model of the injection mold with all the details. The output of this work is 3D data and drawings of the injection mold and product assembly. CATIA V5 was used for the development of the practical part.

Keywords: injection moulds, injection moulding, polymers, plastics, CATIA V5 (software), three-dimensional modelling

Přednostně bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce panu Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D za jeho výpomoc při vypracovávání této bakalářské práce. Chtěl bych poděkovat svým spolužákům za spolupráci a kolegiálnímu. Dále bych rád poděkoval svým rodičům za vytrvalou podporu během mého studia.

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 POLYMERY	13
1.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ.....	13
1.1.1 Termoplasty.....	13
1.1.2 Reaktoplasty	13
1.1.3 Termoplastické elastomery	14
1.2 POLYMERY VHODNÉ PRO ZADANÝ VÝROBEK	14
1.2.1 ABS (Akrylonitril-butadien-styren)	14
1.2.2 Polykarbonát (PC)	15
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	16
2.1 VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	16
2.1.1 Vstřikovací jednotka.....	17
2.1.2 Uzavírací jednotka.....	18
2.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	18
2.3 PŘÍPRAVA MATERIÁLU KE VSTŘIKOVÁNÍ	19
3 VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	20
3.1 NÁLEŽITOSTI.....	20
3.2 DRUHY FOREM	20
3.3 ČÁSTI FOREM	20
3.3.1 Pravá strana	21
3.3.2 Levá strana	21
3.4 VTOKOVÝ SYSTÉM	21
3.4.1 Dvou deskový vtokový systém	22
3.4.2 Tří deskový vtokový systém	22
3.4.3 Horký vtokový systém.....	23
3.5 VYHAZOvacÍ SYSTÉM	24
3.5.1 Vyhazovače	24
3.5.2 Prizmatické vyhazovače.....	24
3.5.3 Trubkové vyhazovače.....	25
3.5.4 Stírací desky	25
3.6 TEMPERACE	26
3.6.1 Temperační kanály	26
3.6.2 Tepelné vložky	26
3.6.3 Komformní temperační kanály.....	29
3.7 ODVZDUŠNĚNÍ	30
4 KONSTRUKCE VÝROBKU.....	31

4.1	NÁLEŽITOSTI	31
4.1.1	Zabolení a zkosení.....	31
4.1.2	Smrštění výrobku	32
4.2	VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	33
4.2.1	Nedotok	33
4.2.2	Přetok.....	34
4.2.3	Delaminace	35
4.2.4	Studené spoje	36
II	PRAKTICKÁ ČÁST	37
5	KONSTRUKCE VÝROBKU	38
5.1	VÝBĚR MATERIÁLU A ROZDÍLY MEZI NAVRHOVANÝMI MATERIÁLY.....	38
6	KONSTRUKCE FORMY	39
6.1	TVAROVÉ VLOŽKY – TVÁRNÍK A TVÁRNICE	40
6.2	POSUVNÉ JEDNOTKY	40
6.3	PRAVÁ STRANA.....	41
6.4	LEVÁ STRANA.....	42
6.5	TEMPERACE	43
6.6	ODVZDUŠNĚNÍ	44
6.7	V TOKOVÝ SYSTÉM	44
6.8	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	45
7	SOFTWARE POUŽITÝ PRO MODELOVÁNÍ	47
	ZÁVĚR.....	49
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	54
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	55
	SEZNAM PŘÍLOH.....	56

ÚVOD

Polymerní materiály jsou v současnosti nepostradatelnou součástí průmyslu i běžného života, a to díky své nízké hmotnosti, rozmanitým vlastnostem, příznivé ceně a širokému spektru využití. Najdeme je nejen v každodenních předmětech, ale také v automobilovém, strojírenském, elektrotechnickém průmyslu nebo v optice. Neustálý vývoj nových plastů zároveň klade vyšší nároky na způsoby jejich zpracování, mezi které patří i technologie vstřikování.

Vstřikování plastů je dnes nejrozšířenější metodou pro sériovou výrobu přesných a tvarově složitých dílů. Proces probíhá ve vstřikovacím stroji, kde se plastová tavenina pod tlakem dostává do formy, jejíž dutina určuje výsledný tvar výrobku. Klíčovým prvkem celého procesu je správně navržená vstřikovací forma – složitý nástroj složený z mnoha částí, jehož konstrukce vyžaduje znalosti z materiálového inženýrství, mechaniky, reologie i termodynamiky.

Pro urychlení návrhu a zvýšení přesnosti forem se v praxi hojně využívají normalizované díly od firem jako HASCO nebo MEUSBURGER. Tyto standardizované komponenty umožňují efektivní sestavení forem a zkracují čas potřebný pro jejich konstrukci.

Navrhování forem dnes není jen technickou záležitostí, ale také otázkou odpovědnosti vůči životnímu prostředí. Kromě optimalizace výroby je proto vhodné zohlednit i možnosti recyklace a konečné likvidace výrobku, aby se minimalizoval dopad na životní prostředí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Polymery jsou organické látky přírodního či syntetického původu. Polymery jsou tvořené z makromolekul, které jsou ve formě řetězce složené z několika jiných i stejných merů. Mery jsou základní stavební jednotkou polymerů. [1]

1.1 Rozdělení polymerů

Polymery se dělí na 2 hlavní skupiny. Plastické polymery neboli plasty a elastomery. Plasty se dělí na termoplasty a reaktoplasty, podle toho, jestli při zahřívání probíhá chemická reakce nebo jen fyzikální. Plasty za běžných podmínek jsou tvrdé, netvárné, kvůli těmto vlastnostem jsou při větším namáhání nevratně deformovány. Elastomery na rozdíl od plastů snadno odolávají větším namáháním. Dělí se na kaučuky a termoplastické elastomery. [1]

1.1.1 Termoplasty

Na rozdíl od reaktoplastů a elastomerů jsou termoplasty materiálem, který jako jediný ze tří základních skupin polymerů mohou volně přecházet z pevné fáze do kapalně fáze při dostatečném zahřátí opakovaně. Při chlazení opět mohou přejít z kapalně do pevně fáze. Při jejich ohřívání dochází k fyzikální změně molekulárních vazeb. [2]

Termoplasty v tuhé fázi nabývají jedné ze dvou molekulárních struktur. A to buď amorfni, nebo semikrystalickou strukturu. Ochlazování semikrystalických termoplastů vytváří vysoce uspořádanou strukturu, díky které vznikají krystaly. Krystalické oblasti v termoplastech jsou převážně ovlivněny strukturou samotných řetězců polymeru a rychlosti ochlazování. [2]

Semikrystalické termoplasty se na rozdíl od amorfni termoplastů vykazují ostrými přechody mezi jednotlivými oblastmi tání. V důsledku jejich molekulárního uspořádání mají větší tendenci se smršťovat, to až o 20 %. [2]

1.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty se vyznačují vlastností nevratné přeměny materiálu. Reaktoplasty mají omezené časové období po zahřátí pro jejich tavení a tvarovatelnost. Při dalším zahřívání dochází k chemické změně molekulárních vazeb, které se hustě zasítují. Tento proces chemické změny vazeb u reaktoplastů se nazývá vytvrzování. [2]

Kvůli již zmíněné změně chemických vazeb v polymeru jsou tyto změny nevratné, tudíž není možné s již vytvrzenými reaktoplasty nadále pracovat. Vytvrzené výrobky jsou tuhé a tvrdé s vysokou chemickou a tepelnou odolností. [1]

1.1.3 Termoplastické elastomery

Materiál, který je tvořen jak pružnými segmenty elastomerů, tak tvrdými segmenty termoplastů. Díky částečně tvořených z termoplastů je možné tento materiál zpracovávat podobně jako samotné termoplasty, což znamená opakovatelné tavení a tuhnutí. Díky částečně tvořených z elastomerů si zachovávají pružnost a ztrácí křehkost spojenou s plasty. [3]

1.2 Polymery vhodné pro zadaný výrobek

Termoplasty jsou vhodnými polymeru pro výrobu zadaného výrobku z 3 hlavních důvodů. Prvním je snadná recyklovatelnost a možnost opakovaného roztavení a tvarování finální podoby materiálu bez výrazných ztrát mechanických vlastností. [4]

Termoplasty se oproti reaktoplastům a elastomerům snadněji zpracovávají, mají nižší náklady pro vstřikovací stroje a nástroje. A posledním důvodem je cenová náročnost výroby, přestože, se reaktoplasty vyznačují lepšími mechanickými vlastnostmi než termoplasty, tak se nejedná o výrobek, který by tento cenový rozdíl ospravedlnil. [4]

1.2.1 ABS (Akrylonitril-butadien-styren)

ABS spadá do kategorie amorfních termoplastů, získává se polymerizační emulzí monomerů akrylonitrilů tvořící 15–35 % objemu kopolymeru, butadienu s 5–30 % a styrenu, který zabírá největší poměr objemu s 40–60 %. Různý poměr jednotlivých monomerů může výrazně ovlivnit vlastnosti materiálu [5]. Díky akrylonitrilu nabývá ABS tepelné a chemické odolnosti, butadien zajišťuje houževnatost materiálu a jeho vysokou odolnost proti nárazu a snadná zpracovatelnost a tuhost je připisována styrenu. [6]

Vysoká rázová pevnost a tvrdost dělají z ABS vhodný materiálem pro výrobu různých krytů a pouzder, u kterých se očekává odolnost vůči mechanickému poškození. Další předností ABS jsou jeho izolační vlastnosti a nízká tendence absorbovat okolní vlhkost, které z ABS dělají ideální materiál pro výrobu součástí elektrických a elektronických zařízení jako je v případě výroby ručně drženého 3D skeneru. [5]

ABS je dělen do dvou hlavních skupin, ABS pro vstřikování a ABS pro vytlačování. Hlavním rozdílem mezi těmito dvěma skupinami je viskozita taveniny materiálu při výrobě,

pro výrobu vstřikováním je zmiňovaná viskozita výrazně menší. ABS lze rozlišovat i podle jeho rázové pevnosti do tříd střední, vysoké a velmi vysoké rázové pevnosti. Dále je možné jej rozdělit dle lesku povrchu a do speciálních tříd, například nehořlavé, strukturální pěny, odolné vůči vysokým teplotám, nebo speciálně připravený pro pokovování. [6]

1.2.2 Polykarbonát (PC)

Polykarbonát se řadí mezi amorfnní termoplasty, vyznačuje se mimořádně vysokou pevností v rázu, průhledností a odolností proti vysokým teplotám. Také je polykarbonát ceněn za jeho rozměrovou stabilitu, která je vyšší než u běžných polymerů. Vyrábí se reakcí Bisfenolu A s karbonylchloridem v mezifázovém procesu za přítomnosti vodné a organické fáze. [6]

PC má nízké i předvídatelné smršťování ve dutině vstřikovací formy. Podobně jako u ABS polykarbonát má malou absorpci okolní vlhkosti. Výrobky z PC mají při vyjmutí z formy lesklou povrchovou úpravu. PC má vyšší požadavky pro výrobní parametry, jako je vysoký vstřikovací tlak, malá rychlost tečení taveniny a delší vytvrzování ve formě. PC se běžně vyskytuje v podobě průhledných světlometů u automobilů, různých nádob, a i ve formě jezdeckých helem. [6]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

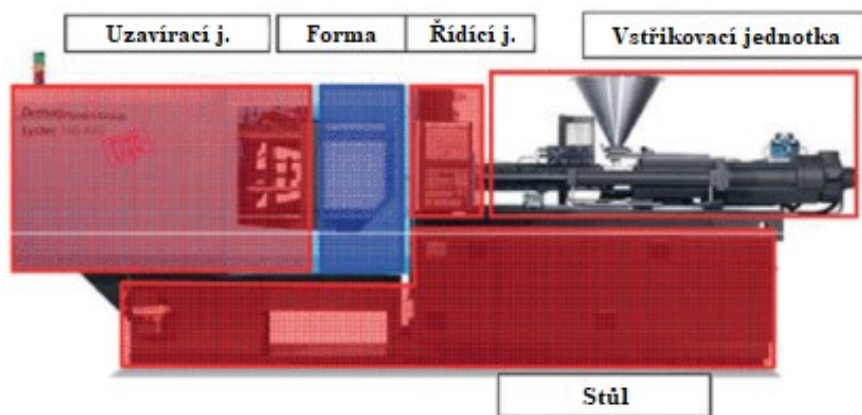
Technologie vstřikování je jednou z technologií pro zpracování polymerních materiálů. Jedná se o nejrozšířenější technologii, která v dnešní době má největší podíl na celkovém zpracování polymerů. Funguje na principu vstřikování roztaveného materiálu do uzavřené dutiny nástroje, který se nazývá forma, a po dostatečném ochlazení a ustálení tvarových rozměrů je výrobek z formy vyhozen. [7]

Ochlazování výrobku není vždy za potřeby, jelikož při využití reaktoplastů nebo elastomerů je nutné mít formu dostatečně vyhřátou na určitou teplotu, která je závislá na konkrétním použitém materiálu, aby došlo k chemické reakci a materiál se takzvaně vytvrdil. [8]

Celý proces vstřikování začíná výběrem vhodného materiálu pro vyráběný výrobek. Vybraný materiál se, obvykle v podobě granulí, vsype do násypky vstřikovacího stroje. Materiál je násypkou dopraven do pracovního válce vstřikovacího stroje, kde je pomocí šneku a topných tělísek převeden do taveniny. Jakmile je stroj i nástroj připraven, jsou přivedeny k sobě, roztavený materiál je vstříknut do dutiny formy. Celý vstřikovací cyklus má několik podstatných částí, které ovlivňují koncové vlastnosti výrobku. [9]

2.1 Vstřikovací stroje

Vstřikovací stroj se skládá ze dvou hlavní částí, ze vstřikovací jednotky a uzavírací jednotky. Vstřikovací jednotka se stará o přípravu a dopravu materiálu do formy a v uzavírací jednotce je uložena forma, která je otevírána a uzavírána uzavírací jednotkou. [10]

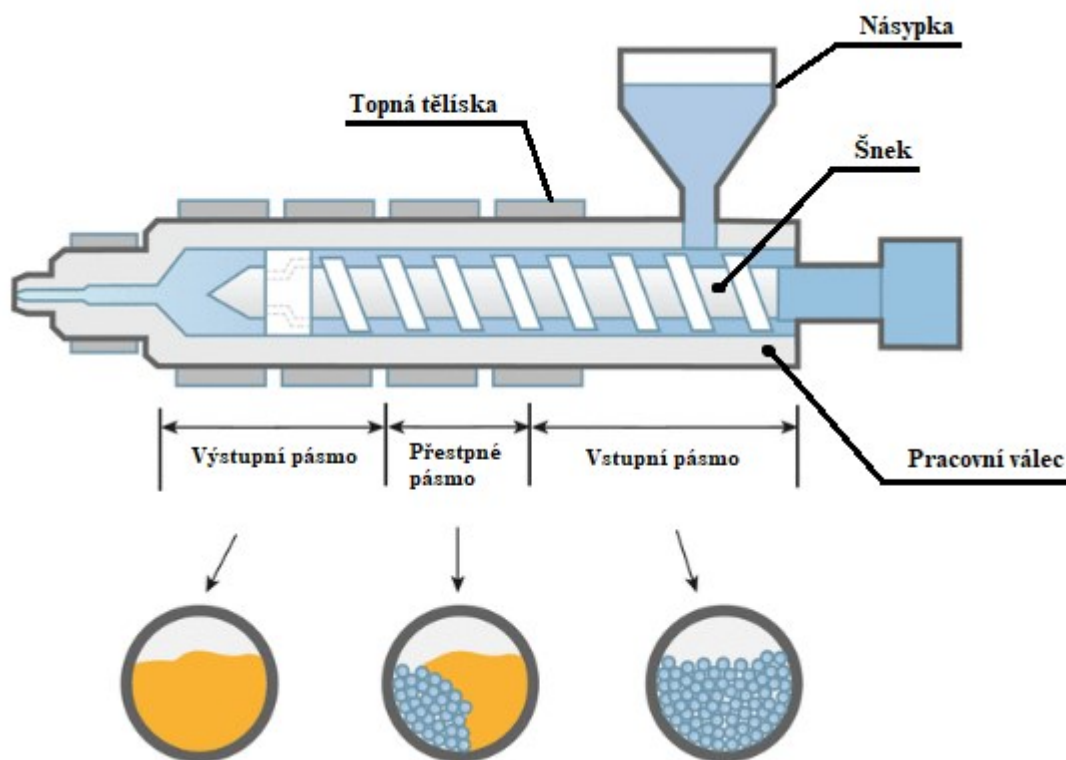


Obrázek 1 Označené části vstřikovacího stroje: uzavírací jednotka, forma, řídicí jednotka, vstřikovací jednotka, stůl

(zdroj: [10])

2.1.1 Vstřikovací jednotka

Mezi hlavní části vstřikovací jednotky se řadí násypka, pracovní válec, pracovní šnek, topná tělíska a motor. Úkolem vstřikovací jednotky je příprava materiálu pro vstříknutí do dutiny formy, to je dosaženo zahřátím vsypaného polymeru v podobě granulí nad teplotu skelného přechodu. [11]



Obrázek 2 Jednotlivá pásma šneku a podoba materiálu v nich

(zdroj: [12])

Šnek má dva základní účely, dopravuje díky otáčivému pohybu materiál ze vstupního pásma k výstupnímu a také dopravuje roztavený materiál do dutiny formy, to je dosaženo pomocí pohybu celého šneku dopředu a dozadu, který je poháněn pístem z motoru. [11]

Dostatečného tepla pro převedení materiálu do taveniny je převážně dosaženo vznikem tepla třením granulí proti sobě, proti pracovnímu válci a stěnám šneku, který toto tření vyvolává otáčivým pohyb kolem své osy. [11]

2.1.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka zajišťuje správné usazení vstřikovací formy a její pracovní pohyb, kterým se vstřikovací forma otevírá a uzavírá. Je rozdělena na hybnou a nehybnou část, na kterých jsou připevněny jednotlivé poloviny vstřikovací formy. [3]

Při uzavření vstřikovací formy uzavírací jednotka dotlačuje jednotlivé poloviny k sobě takzvanou uzavírací silou. Uzavírací síla má za účel nedovolit vstřikovací formě se pootevřít během vstřikování taveniny do její dutiny a tím zabránit úniku taveniny a znehodnocení výrobku. [10]

2.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikování polymerů je přerušovaný výrobní proces, to znamená že při provedení jednoho vstřikovacího cyklu bude vyrobena jen jedna várka výrobku. Velikost várky závisí na mnohonásobnosti formy, může vypadnout jeden i více kusů ze vstřikovací formy. Na obrázku je znázorněn obecný průběh vstřikovacího cyklu. [13]



Obrázek 3 Průběh vstřikovacího cyklu

(zdroj: [13])

Celý vstřikovací cyklus začíná uzavřením vstřikovací formy v uzavírací jednotce, forma je prázdná a připravena na další vstřikování. Zároveň se k nehybné straně formy přisouvá vstřikovací jednotka, následuje samotné vstříknutí roztaveného materiálu do dutiny vstřikovací formy. Vstřikování je natolik dlouhé, aby se vyplnila celá dutina vstřikovací formy. Po dokončení vstřikování probíhá dotlak, hlavním účelem dotlaku je snížení rozměrových deformací výrobku a správného zatečení taveniny v dutině formy. Jakmile dotlak přestane působit, rozdělí se vstřikovací proces na dva odlišné okruhy, prvním je pohyb vstřikovací jednotky a druhým je pohyb vstřikovací formy. [7]

Vnější okruh popisuje jednotlivé děje výrobku, po vstříknutí a dotlačení se roztavený materiál ve formě začne ochlazovat a tuhnout do finální podoby, jakmile je výrobek dostatečně ochlazen, může se forma otevřít, po otevření formy se ztuhlý výrobek pomocí vyhazovacího systému vyhodí z formy, následně je forma, pokud je tomu zapotřebí, připraví na další vstřikování a forma se může začít opět zavírat. [7]

Vnitřní okruh popisuje, co se děje se vstřikovací jednotkou. Po dotlaku se vstřikovací jednotka vzdálí od formy, následně se šnek vrátí do zpětné pozice ve válci a začíná proces plastikace od znova. Jakmile je forma uzavřena a připravena ke vstřikování, může vstřikovací jednotka přijet k formě a cyklus se znova opakuje. Při navrhování vstřikovací formy se dbá velkého důrazu na dobu chlazení, jelikož ta je dle grafu největší časovou ztrátou při výrobě. Pro maximalizaci výroby a snížení nákladů, je v největším zájmu konstruktéra tuto dobu co nejefektivněji zkrátit s ohledem na vlastnosti materiálu a samotného výrobku. [7]

2.3 Příprava materiálu ke vstřikování

Před tím, než materiál může být dopraven do vstřikovacího stroje a roztaven, je nutná řádná příprava materiálu, aby se zabránilo nežádoucím efektům na výrobku. Za nejdůležitější krok by se dalo považovat dostatečné usušení materiálu před použitím, jelikož příliš velký obsah vody v materiálu negativně ovlivní jak materiál ve vstřikovacím stroji, tak i finální podobu výrobků. [10]

Nedostatečně vysušený materiál může během výroby způsobovat změnu viskozity taveniny, větší množství vlhkosti může způsobovat i vznik plynových bublin v toku taveniny. Také může způsobovat degradaci mechanických vlastností polymerů, na základě ztráty molekulární váhy polymeru. Tato změna probíhá, když polymer je zahříván na vyšší teploty za přítomnosti vlhkosti. [14]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací formy se dají považovat za velmi komplexní systém součástí určených k formování taveniny polymeru do tvaru výrobku. Vstřikovací forma toho dosáhne převážně třemi kroky, naplněním dutiny formy taveninou polymeru, odvodem tepla z taveniny a tím správné doformování vstřikovaného dílu. [15]

Vstřikovací formy jsou většinou tvořeny dvěma polovinami, pravou a levou stranou formy. Levá strana je pohyblivá, to znamená že při otevření formy odjíždí od pravé, která zůstává pevně na stejné pozici po celou dobu vstřikovacího cyklu. [16]

3.1 Náležitosti

Vstřikovací forma je složitý systém, který musí současně splňovat mnoho požadavků. Primární funkcí formy je zadržet polymerní taveninu v dutině formy tak, aby dutina formy mohla být zcela zaplněna a vytvořit plastový výrobek, jehož tvar kopíruje tvar dutiny formy. Druhou primární funkcí formy je účinný přenos tepla. Z horké polymerní taveniny do chladicí kapaliny protékající formou tak, aby bylo zajištěno to, že vstřikovaný výrobek byl vyroben co nej přesněji a nejrychleji. Třetí a poslední primární funkcí formy je konzistentní a co nejefektivnější vyhození výrobku z dutiny bez porušení vyhazovaného výrobku. [17]

3.2 Druhy forem

Jednotlivé druhy forem se odvíjejí od použité technologie vstřikování, nároků a požadavků dané technologie. Záleží, zdali je použit jeden materiál, nebo více. Jaký materiál, pokud je použit termoplast, tak je nutné jiné konstrukce než pro reaktoplasty a kaučuky. Pokud se jedná o vstřikování za pomoci plynu nebo vody, tak konstrukce formy musí reflektovat nároky na dopravu hnací látky do dutiny formy. [17]

3.3 Části forem

Vstřikovací forma se obecně skládá ze vstřikovacích vložek, popřípadě i formovacích jader, rozvodného systému taveniny, vyhazovacího systému, chladicího systému uloženého v jednotlivých polovinách vstřikovací formy. [16]

3.3.1 Pravá strana

Na pravé straně vstřikovací formy, která je nepohyblivá a může se nazývat i vstřikovací strana, se většinou nachází toková vložka zvaná „tvárnice“. Tvárnice má za úkol tvořit dutiny vstřikovací formy, kam se vstřikuje tavenina, tvoří vnější povrch výrobku. [16]

Pokud se jedná o formu, která pracuje se studeným vtokovým systémem, je nutné zařadit do pravé strany i vtokovou vložku, ta má za úkol rozvod taveniny do vtokových kanálů, nebo přímo do dutiny vstřikovací formy, záleží, jestli se jedná o mnohonásobnou nebo jednotnou formu. O vstřikovací vložku se také opírá vstřikovací tryska během procesu vstřikování taveniny do dutiny formy. Vstřikovací vložka není nutná, pokud se jedná o formu pracující s horkým vtokovým systémem. [16]

Práva strana vstřikovací formy také musí být vybavena středícím kroužkem, který má za úkol vypomáhat středit formu při montování do uzavírací jednotky vstřikovacího stroje. Většinou se také formy vybavují izolačními deskami, aby se zabránilo přestupu tepla z formy na samotný vstřikovací stroj. [16]

3.3.2 Levá strana

V levé straně vstřikovací formy se nachází vtoková vložka zvaná „tvárník“. Tvárník má za úkol odformovat vnitřní povrch a tvarové výstupky výrobku. Při uzavření vstřikovací formy se tvárník vsouvá do tvárnice a společně tvoří dutinu vstřikovací formy. Na levé straně se také nachází středící kroužek, je podobný ale ne úplně stejný jako středící kroužek na pravé straně, plní ale stejný účel. [16]

Dominantní složkou levé strany formy je také vyhazovací systém. Účelem vyhazovacího systému je správné odstranění hotového výrobku z tvárníku a vyklizení formy, tím se forma připraví na další cyklus vstřikování. Vyhazovací systém se pohybuje zároveň s levou stranou vstřikovací formy, ale také musí vykonávat pohyby navíc, pro vyhození vstřikovaného výrobku. To je většinou dosaženo motorem na levé straně uzavírací jednotky [16]

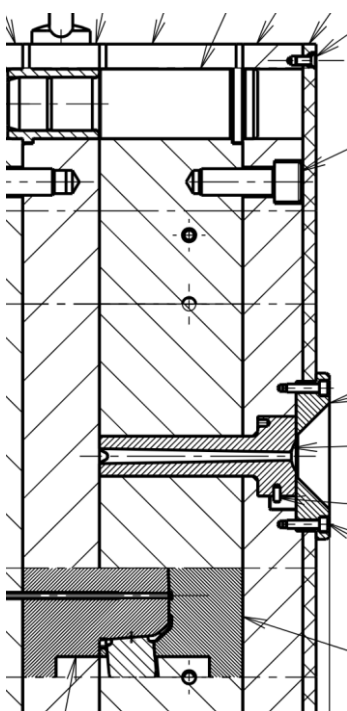
3.4 Vtokový systém

Vtokový systém má za účel dopravit polymerní taveninu ze vstřikovací jednotky vstřikovacího stroje do dutiny formy. Komplexita vtokového systému se může lišit dle výrobku a výrobních parametrů vstřikovacího stroje. Vhodně zvolený vtokový systém může zkrátit dobu vstřikovacího cyklu a také může snížit odpadní materiál. Mezi základní vtokové

systémy se řadí studený vtokový systém ve dvou deskové, tří deskové vstřikovací formě a horký vtokový systém. [17]

3.4.1 Dvou deskový vtokový systém

Název se odvíjí od faktu, že vtokový systém je uložen ve dvou deskách pravé strany vstřikovací formy. Polymerní tavenina nejprve stéká po stěnách vtokového pouzdra, poté materiál proudí přes dělicí rovinu skrz vtokové kanály a vtoky do dutin formy. Při vyhození z formy je s výrobkem vyhozen i zatuhlý vtokový systém a je nutno jej následně odstranit. [17]



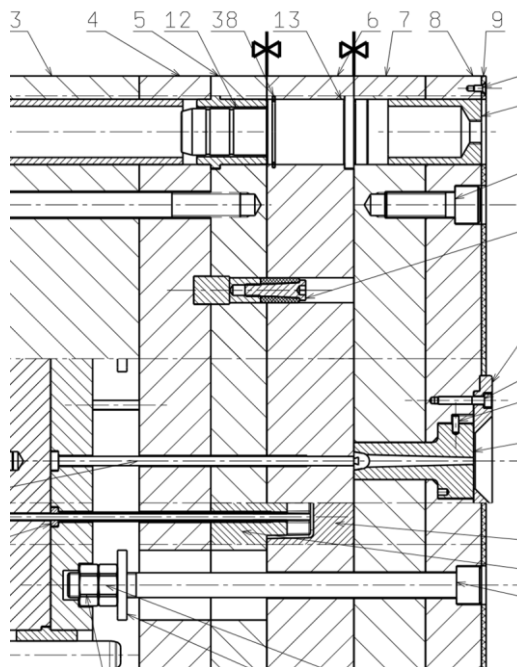
Obrázek 4 Ukázka dvou deskového vtokového systému

(zdroj: vlastní)

3.4.2 Tří deskový vtokový systém

Třideskové formy se skládají ze tří sekcí formy, které se vůči sobě pohybují, přičemž každá sekce se skládá z jedné nebo více desek. Přidání druhé dělicí roviny umožňuje, aby se vtokové ústrojí nacházelo nad dutinami formy a procházelo přes šířku a délku dělicí roviny, aniž by zasahovalo do dutin formy. Z tohoto důvodu poskytuje třidesková forma větší volnost než dvou desková, s ohledem na umístění vtoků a uspořádání vtokového systému. Další výhodou je, že třideskové formy často umožňují automatické oddělování zatuhlého

vtokového systému od výrobku. Tedy není nutno dalších následujících operací na výrobku, výroba je jednodušší a méně nákladná na provoz. [17]



Obrázek 5 Ukázka tří deskového vtokového systému

(zdroj: vlastní)

3.4.3 Horký vtokový systém

Formy s horkými vtoky by měly být zvažovány vždy, když je důležitá upravitelnost a dostupnost vtoků do dutiny, efektivita vstřikovacího cyklu a spotřeba materiálu. Materiál je v horkém vtokovém systému uzavřen ve vyhřívaných jednotkách, takže materiál zůstává během procesu vstřikování roztavený a netuhne. Protože materiál v systému s horkými vtoky nezatuhne, není potřeba: [17]

Opětovného tavení dalšího materiálu pro zaplnění vtokových kanálů, jako u předchozích návrhů. Čekat na ztuhnutí vtokového systému. Řešit odstranění a recyklaci ztuhlých vtoků, které jsou spojeny s vyhozením výrobků. [17]

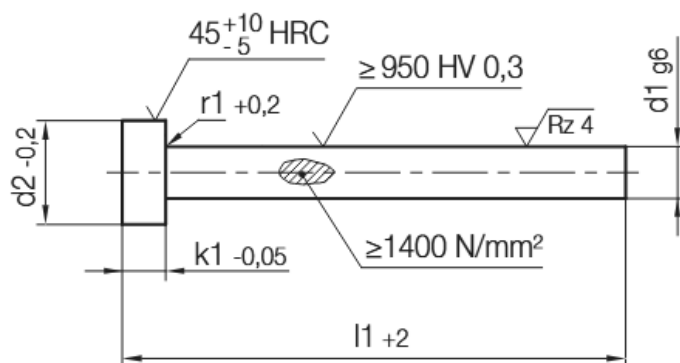
Kvůli odstranění těchto nedostatků studených vtokových systémů je možné zkrátit vstřikovací cyklus u forem s horkými vtoky až o 30 % a také o 30 % méně odpadového materiálu. Nevýhodou tohoto systému je však vysoká počáteční investice oproti studeným vtokům. Jsou také energeticky náročnější na provoz, ale díky zkrácení vstřikovacího cyklu se tato cenová náročnost v realitě sníží, jelikož je výroba efektivnější. [17]

3.5 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém je samostatná sestava, většinou umístěna v levé části vstřikovací formy. Má za účel vyhození výrobku ze vstřikovací formy po jejím otevření. Složitost vyhazovacího systému se může drasticky lišit v jednotlivých vstřikovacích formách v závislosti na výrobních požadavcích. Je třeba dbát ohledu na rozložení vyhazovacích sil na samotném výrobku, aby nedošlo k jeho nežádoucímu poškození, velikosti vyhazovací síly a pohybu samotných vyhazovacích prvků. [17]

3.5.1 Vyhazovače

Nejjednodušším druhem vyhazovačů je válcový vyhazovač s konstantním průměrem. Velikosti vyhazovačů jsou standartně v rozmezí 0,5 mm až 25 mm, je možné ale na zakázku vyrobit menší i větší. Problémem menších vyhazovačů může být jejich prohýbání. Vyhazovače mohou být i povrchově upraveny, například nitridováním nebo leštěním. Většinou se vyhazovače kupují v předem daných délkách a jsou pak dle potřeb seříznuty, aby nezasahovaly do dutiny vstřikovací formy. [17]



Obrázek 6 Ukázka vyhazovače, nitridovaného, od firmy Hasco

(zdroj: [18])

3.5.2 Prizmatické vyhazovače

Prizmatické vyhazovače jsou speciálním případem vyhazovačů. Hlavním rozdílem je změna profilu po délce těla vyhazovače. Nejčastějším tvarem nového profilu bývá obdélník, který lze umístit na stěny výrobků a působit na stěny a žebra. Výhodou je, že působí na žebra, která většinou nejsou na pohledové straně a jsou dostatečně pevná, aby se nezbortila. Prizmatickým vyhazovačem se rozumí i válcový vyhazovač, který má širší průměr a na konci užší. Povrchové a délkové úpravy jsou stejné jako u válcových vyhazovačů. [17]

popojede dostatečnou vzdálenost, tak se stírací deska zachytí a strhne vstřikovaný výrobek z tvárníku. Nejčastěji se používá pro tenkostěnné výrobky, jako jsou víčka od PET lahví, kde by hrozilo promáčknutí stěny klasickým vyhazovačem. Také se používají u výrobků, které mají velkou kontaktní rovinu s formou. [17]

3.6 Temperace

Temperace vstřikovací formy je jednou z nejdůležitějších částí formy z ekonomického i výrobního hlediska. Nedostatečně promyšlená konstrukce temperačního systému vstřikovací formy může vést k několika nežádoucím efektům jak na samotnou formu, tak i na vstřikovaný výrobek. Špatná konstrukce prodlužuje výrobní cyklus tím, že prodlouží dobu na chlazení taveniny a velké rozdíly teplot v samotné formě vedou k rozpínání jednotlivých součástí formy i samotného výrobku. [17]

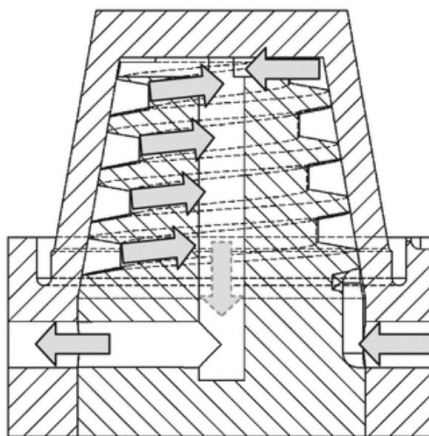
3.6.1 Temperační kanály

Temperační kanály jsou jedním z nejběžnějších druhů temperace. Jednoduchý chladicí okruh se skládá z několika provrtaných kanálů, s průměrem obvykle 8mm až 16 mm. Temperační kanály se několikrát kříží, vytvářejí obvod se vstupy a výstupy. Chladicí okruh by měl být jednosměrný pro efektivitu průtoku chladicího média a minimalizaci mrtvých míst. Pro vytvoření trasy pro chladicí médium a zabránění úniku mimo formu se pro blokaci kanálů používají normalizované záslepky. [17] [19]

3.6.2 Tepelné vložky

Tepelné vložky se používají v místech formy, kdy standartní temperační kanály nevyhovují požadavkům konstruktéra. Používají se většinou při dutých výrobcích, které mají velkou délku oproti svému průměru. [17]

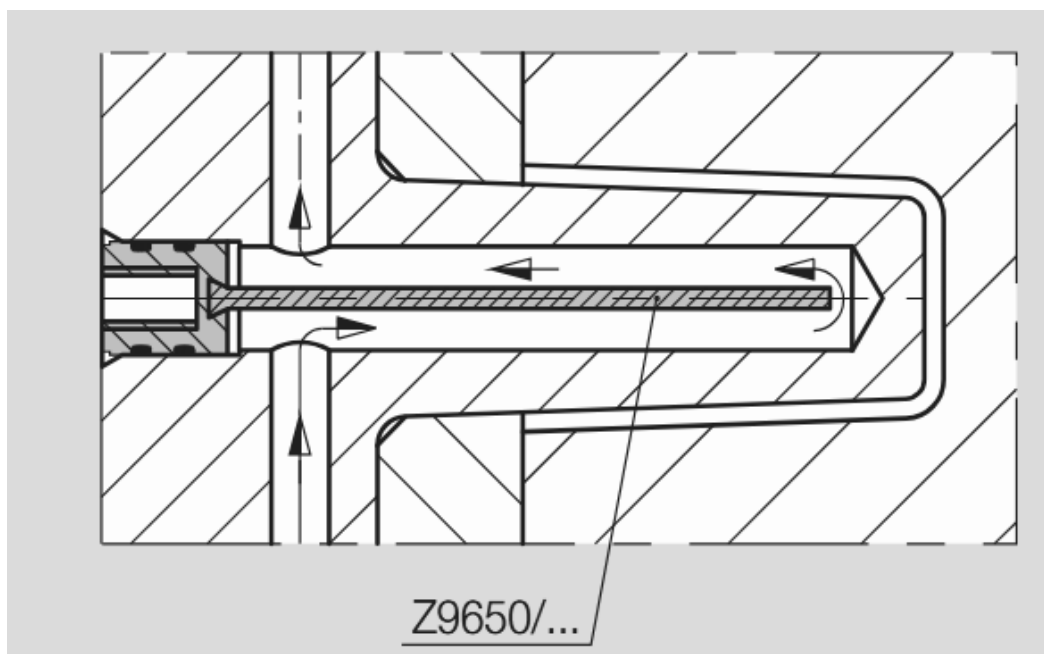
Speciální chladicí vložky se používají pro chlazení dutin větších rozměrů, 50mm a více. Tyto vložky vyžadují odstranění většiny materiálu tvarové vložky a navržení vložky s chladicími kanály po jejím obvodu, snadno vyrobitelné na víceosém soustruhu. [17]



Obrázek 9 Ukázka speciální chladicí vložky

(zdroj: [17])

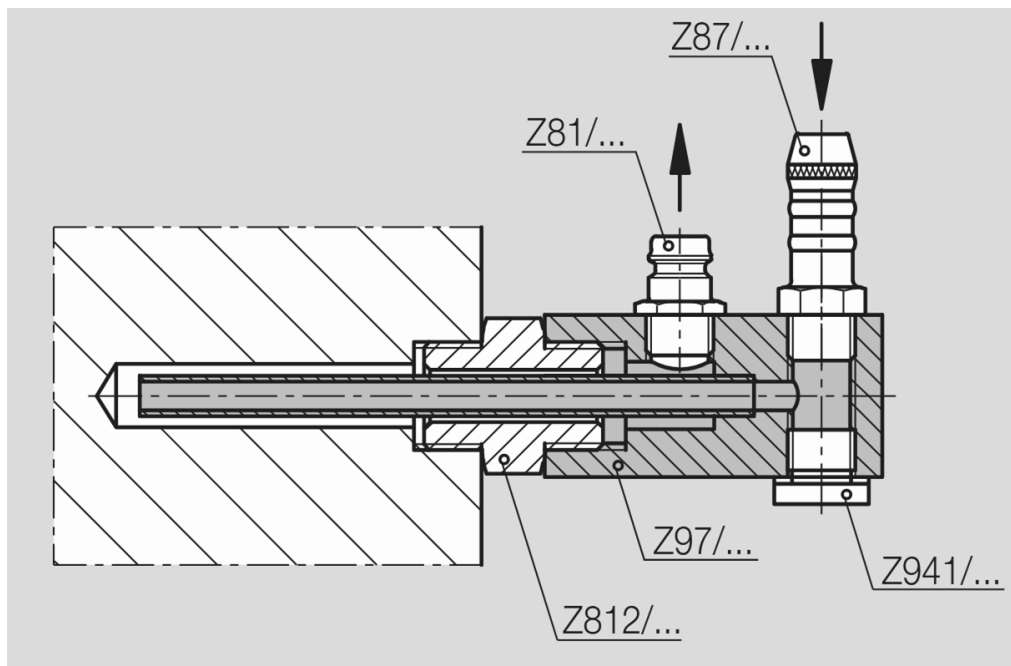
Přepážky slouží podobně jako předchozí druh vložek k chlazení hlubokých jader. Zajišťují cirkulaci chladicí kapaliny podél osy jádra. Přepážky se obvykle vkládají do vyvrtaného otvoru. Protože tato zařízení musí chladicí kapalinu dopravovat nahoru a dolů po délce jádra, mají přepážky minimální velikost, obvykle se jedná o otvory s průměrem větším než 6,35 mm. [17] [19]



Obrázek 10 Ukázka uložení přepážky od firmy Hasco

(zdroj: [18])

Chladicí rozvaděč je další z tepelných vložek, více náročná na výrobu než předchozí. V porovnání s přepážkou se chladicí rozvaděč nedotýká stěn formy, takže není nijak zatěžován silami působící na formu. Funguje na principu toku chladicího média kolem jeho obvodu a skrz dutinu rozvaděče. [17]



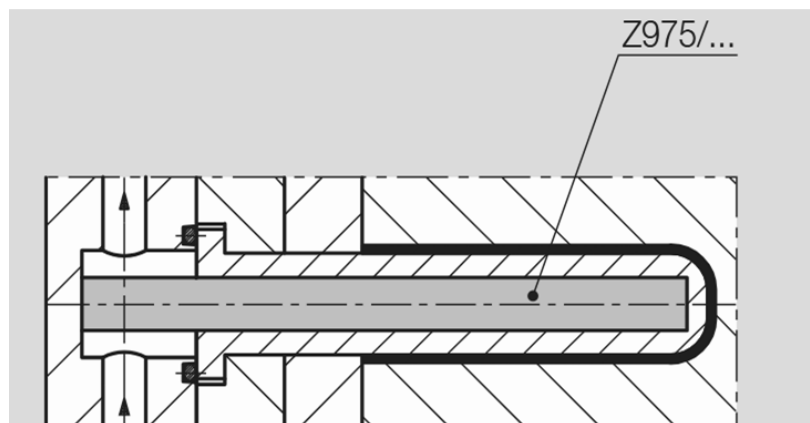
Obrázek 11 Ukázka uložení chladicího rozvaděče od firmy Hasco

(zdroj: [18])

Tepelně vodivá patrona je poslední z relativně častých provedení tepelných vložek. Existují 2 druhy patron, sice fungují na stejném principu výměny tepla skrze nějaký materiál, ale liší se právě v daném materiálu. [17]

Jeden druh je plněn kapalinou, která má bod varu mezi bodem varu chladicí kapaliny a taveniny. Kapilární jev způsobuje, že chladnější kapalina stoupá po stěnách trubice. Kvůli neustálému varu a následné kondenzace plynu v této trubici je dosaženo poměrně vysokého poměru chlazení, bez nutnosti proudění okolní chladicí kapaliny. [17]

Druhým druhem je patrona plněná kovem bez kapaliny, jedná se o jednodušší provedení, o to je efektivita chlazení výrazně menší. Výhodou je možnost použití těchto patron i v úzkých prostorech, kde by ostatní tepelné vložky selhaly. Odvod tepla je zajištěn proudící chladicí kapalinou kolem spodku patrony. [17]

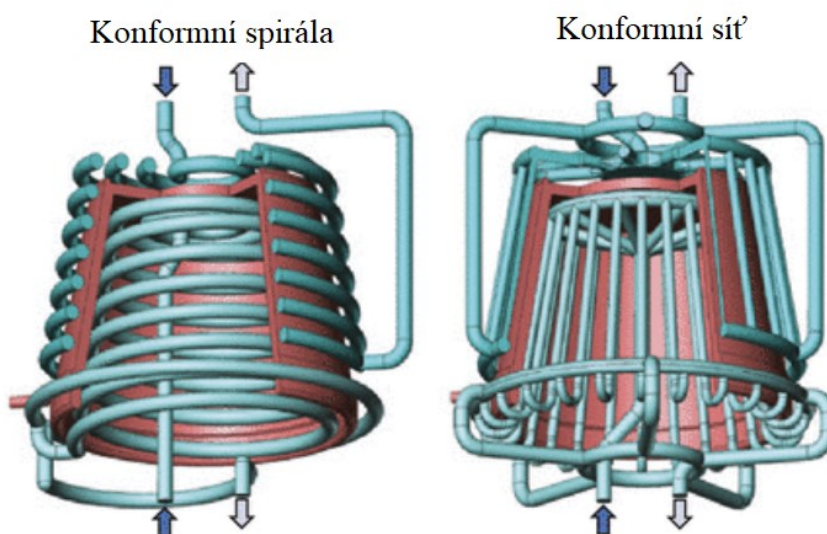


Obrázek 12 Ukázka uložení tepelně vodivé patrony od firmy Hasco

(zdroj: [18])

3.6.3 Komformní temperační kanály

Rozvoj odvětví kovového 3D tisku a aditivních technologií dovoluje navrhování, a hlavně výrobu efektivnějších temperačních kanálů, než je možné dosáhnout konvenční výrobou. Hlavní nevýhoda klasické temperace je nedokonalost odvodu tepla, tudíž že určité části vstřikovaného výrobku jsou ochlazovány účinněji než ostatní. Tomuto problému se dá právě zabránit využitím komformních temperačních kanálů, což jsou kanály, které úzce kopírují tvar dutiny ve vstřikovací formě. Podoba komformních kanálů se odvíjí od konstruktéra a výrobku, ale obecně nabývají tvaru buď spirály, které se točí okolo výrobku kolem dokola. Nebo komplikovanější sítě propojených kanálů, které pokrývají povrch výrobku. [17]



Obrázek 13 Ukázka podoby komformních temperačních kanálů

(zdroj: [17])

3.7 Odvzdušnění

Odvzdušnění vstřikovací formy je v určitých případech zanedbatelnou součástí sestavy formy. Samotné odvzdušnění, jak už název napovídá, má za úkol odvod přebytečných plynů z dutiny vstřikovací formy, které jsou chyceny a stlačovány taveninou dopravovanou do dutiny formy. Nedostatečné odvzdušnění vstřikovací formy může vést k defektům při výrobě. Hlavním problémem vznikajícím, pokud by byl vzduch, který byl v dutině přítomen před vstřikováním, zachycen, je neúplné zatečení materiálu do dutiny formy. Vzniká tedy nedotek a ze vstřikovací formy vychází neúplný výrobek. [17]

Zachycený vzduch může také vést k efektu zvaném „Dieslův efekt“, při tomto efektu vzniká vada spálených míst na povrchu výrobku. To vede k znehodnocení celého výrobku. Nedostatečné odvzdušnění může způsobovat komplikace, kdy se dvě čela taveniny spojují v dutině vstřikovací formy. Zachycený vzduch nedovoluje dokonalé spojení taveniny a vznikají vady na povrchu, ve kterých se soustředí napětí výrobku. [17]

4 KONSTRUKCE VÝROBKU

Přístupů, jakými konstruktér může přistupovat k problematice navrhování plastových výrobků je mnoho. Tyto způsoby se dají obecně rozdělit na 3 přístupy. [20]

Vycházení z předešlých zkušeností konstruktéra, odhadováním nebo řízení se nepsanými pravidly. [20]

Experimentální přístup, kdy se k finální podobě výrobků propracuje konstruktér skrze několik prototypů a jejich analýz. [20]

A nakonec analytický přístup, kdy konstruktér bere ohled na vztahy mezi napětími a deformacemi a dalších závislostí, spojené s mechanikou. [20]

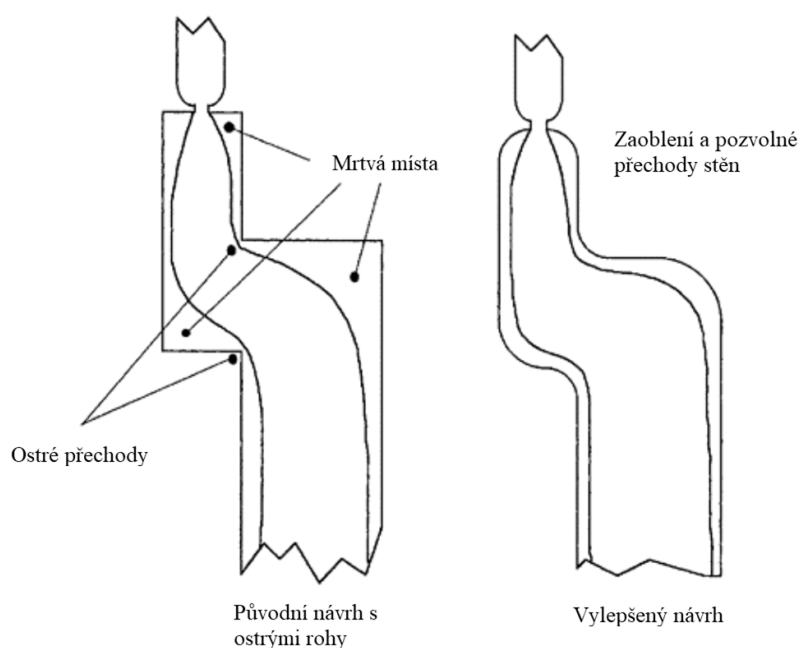
Každý z těchto přístupů má svoje svoje výhody a nevýhody, většinou konstruktér kombinuje a spojuje tyto přístupy, aby vyrovnal nedostatky jednotlivých přístupů. [20]

4.1 Náležitosti

Při konstrukci plastového výrobku je klíčové dodržet několik zásad, které ovlivňují funkčnost, vzhled, kvalitu a ekonomickou náročnost výroby. Zásadní je volba a udržení rovnoměrné tloušťky stěn, protože nerovnoměrnosti mohou vést k vnitřnímu pnutí, propadům, deformacím a problémům při plnění formy. Pokud je změna tloušťky nezbytná, měla by být plynulá. Důležité je také správné navrhování žeber, úchyťů a zaoblení rohů. Žebra zvyšují tuhost, ale musí být tenčí než hlavní stěny, zaoblení rohů snižuje vnitřní napětí a zlepšuje tečení materiálu. Konstrukce musí dále zohlednit technologii výroby vstřikováním, což zahrnuje úkosity pro snadné vyjímání z formy a vhodné rozložení chladicích kanálů. [20] [6]

4.1.1 Zabolení a zkosení

Ostré rohy jsou jedním z kritických míst selhání vstřikovaného výrobku, kde se soustředí napětí kvůli nevhodné geometrii. Nevhodně navržený roh vede k překročení dovoleného napětí a tím k prasklinám ve výrobku. Tomuto problému je snadné předejít vytvořením dostatečně velkého zaoblení na výrobku, a tudíž v dutině formy, toto zaoblení napomáhá snadnějšímu plnění dutiny formy a toku taveniny. Doporučené zaoblení rohů se odvíjí na tloušťce stěny, kde by hodnota měla být mezi 25% až 60% tloušťky stěny. Však minimální obecně doporučená hodnota je zhruba 0,5 mm. [6] [20]



Obrázek 14 Ukázka plnění dutiny s vhodně a nevhodně navrženou geometrií

(zdroj: [20])

Úkosity zajišťují snadné vyjmutí výrobku z dutiny formy. Vlivem ochlazování výrobku v dutině formy dochází ke smrštění a následném přilnutí výrobku ke stěnám formy. Zkosení je navrhováno takovým způsobem, aby po smrštění, když se forma začne otvírat byl výrobek přilnut k tvárníku v levé, pohyblivé, části formy. Tím je zajištěno, aby výrobek nezůstal v pravé části formy, odkud by nebyl automaticky vyhozen vyhazovacím systémem formy. Velikost tohoto zkosení se liší a odvíjí se většinou od zkušenosti konstruktéra a vnitřních předpisů dané firmy. Minimální velikost zkosení se pohybuje mezi $0,5^\circ$ až 3° . [20]

4.1.2 Smrštění výrobku

Smrštění výrobku označuje rozdíl rozměrů na výrobku vůči odpovídajícím rozměrům v dutině vstřikovací formy. Smrštění se dělí do dvou druhů, výrobní a dodatečné. Výrobní smrštění probíhá během fáze chladnutí materiálu v dutině formy během vstřikovacího cyklu. Dodatečné smrštění probíhá během skladování a jiných operací, které následují po výrobním procesu. [21]

Smrštění závisí na mnoho faktorech, které se týkají vstřikovacího stroje, nástroje či okolí. Ale největší vliv na smrštění se dá přiřadit k výběru samotného materiálu, jestli se jedná o materiál amorfni nebo semikrystalický, pokud je v materiálu výplň v podobě vláken nebo jiný druh. [22]

Jedním ze způsobů, jak kompenzovat smrštění je navržení dutiny formy se zvětšeným objemem o předem stanovené smrštění a vhodnou konstrukcí vtokových kanálů pro zajištění dostatečného tlaku během fáze dotlaku. [21]

4.2 Vady vstřikovaných výrobků

Při samotném vstřikovacím procesu, kde je roztavený materiál dopraven do dutiny formy a následně materiál ztuhne do finální podoby, mohou vznikat vady kvůli nevhodné rovnováze tří základních faktorů ovlivňující výrobu, tlak, teplota a čas. Změnou jedné veličiny měníme ostatní, například změna teploty taveniny ovlivní potřebný tlak pro vyplnění dutiny vstřikovací formy. Mezi běžné defekty vyskytující se na výrobcích lze zařadit. [23]

4.2.1 Nedotok

Nedotok je jednou z jednodušších vad při vstřikovacím procesu. Jedná se o chybějící materiál na finálním výrobku, tedy že výrobek není kompletní. Nedotok je způsoben nedostatečným množstvím materiálu v dutině formy. Příčiny se mohou u každého případu lišit a nemusí být na první pohled ihned jasné. Příčiny se liší buď na problémy se samotnou formou, nebo nedostatky na vstřikovacím stroji. Jednou z příčin může být již zmíněný nedostatek materiálu v dávce dopravované do dutiny, další může být nedostatek tlaku při vstřikování, kterým není všechna tavenina dopravena na své místo v dutině formy. Jednou z nejčastějších příčin ze strany vstřikovací formy je zachycený plyn v dutině, který brání, aby tavenina zatekla do všech částí formy. [24]



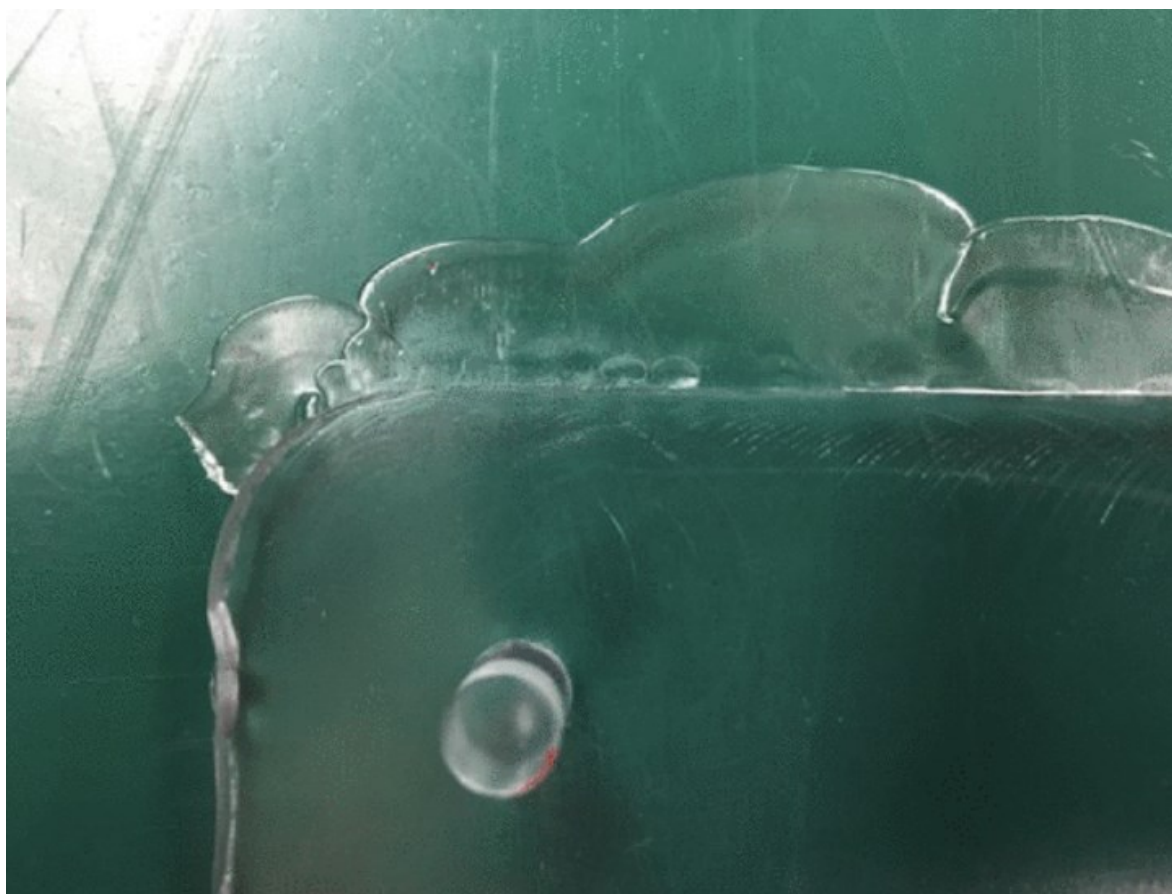
Obrázek 15 Příklad typického nedotoku

(zdroj: [24])

4.2.2 Přetok

Přetok je vada, kdy nadbytečný materiál vytekl mimo dutinu vstřikovací formy. Nejčastějším místem, kde se přetok vyskytuje je hlavní dělicí rovina, když se forma nedostatečně uzavře a vzniká volný prostor, kam materiál může volně zatéct. Dalším místem mohou být pohyblivé části formy, které se mohou poddat vyššímu tlaku taveniny a materiál přeteče do nově vzniklých prostor. [23]

Přetok může vznikat i nedostatečně viskózním materiálem, který by normálně do prostor formy nezatekl. Zvýšení viskozity může být způsobeno nedokonalým vysušením materiálu a tím přidáním vlhkosti do taveniny. Přítomnost vody u hydrokopických materiálů způsobuje snížení viskozity. Dalším důvod může být příliš vysoká teplota formy. [23]



Obrázek 16 Příklad přetoku, kdy materiál přesáhl dané rozměry výrobku

(zdroj: [24])

4.2.3 Delaminace

Delaminace je vada, při které se jednotlivé vrstvy materiálu od sebe odlepují po jednotlivých vrstvách. Delaminace se nejčastěji stává u výrobků z materiálů smíchaných, kde jednotlivé složky materiálu nebyli dostatečně promíchaný a vytvořily vrstvy, které k sobě nepřilehají. [24]

Příklad nekompatibility nebo kontaminace vstřikovaného materiálu je nylon smíchaný s polyetylen. Další příčinou může být rozdílná teplota taveniny, kdy teplejší část teče rychleji přes studenější, tím se vytvoří nedokonalé spojení mezi dvěma částmi taveniny. [23]



Obrázek 17 Příklad delaminace nekompatibilních materiálů

(zdroj: [24])

4.2.4 Studené spoje

Studené spoje jsou vada vznikající vždy, když se jednotný tok taveniny rozdělí na více, kvůli překážce v dutině, a po návratu dostatečně zchladnul, aby se tavenina nehomogenně promíchala zpět. Studené spoje jsou nejlépe pozorovatelné na lesklých a netexturovaných součástkách. Studené spoje tvoří kritické místo mechanické slabosti v součásti, jelikož se materiál nedokonale spojil. Se studenými spoji se počítá již při návrhu formy a musí se plnění dutiny formy navrhovat takovým způsobem, aby spoje byli v přípustných místech součásti. [24][23]

Zvýšení teploty taveniny je jeden ze způsobů, jak zmírnit dopady studených spojů tím, že se materiál lépe spojí v místě, kde se studená čela taveniny setkávají. Zvýšením vstřikovacího tlaku lze také dosáhnout vyšších rychlostí toku taveniny a tím zmírnit, nebo i téměř eliminovat vznik studených čel a tím pádem tvoření studených spojů. Silnějšího spoje lze dosáhnout i zajištěním následného tečení taveniny po spojení rozdělených toků. [24] [23]



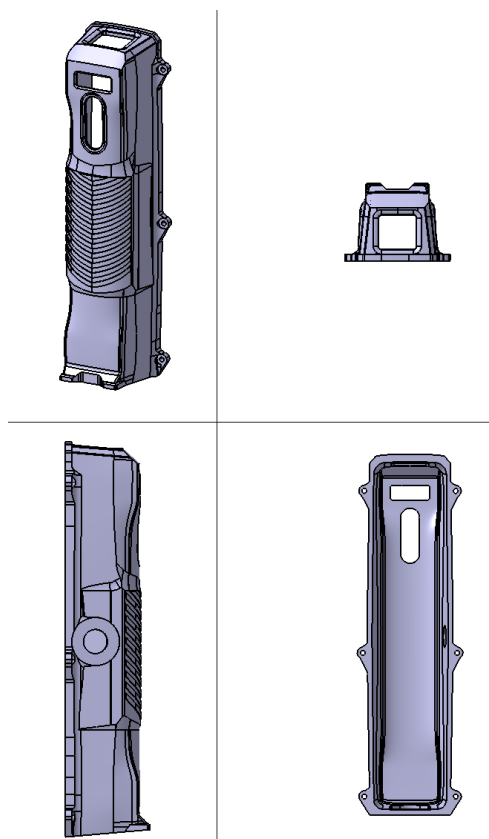
Obrázek 18 Příklad studeného spoje

(zdroj: [24])

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 KONSTRUKCE VÝROBKU

Návrh vstřikovaného výrobku je prvním krokem pro vytvoření vstřikovací formy, jelikož se všechny náležitosti formy odvíjí od konstrukce výrobku. 3D model byl vyráběn na základě měření reálného vyrobeného výrobku. Největšími rozměry výrobku je 230 mm délka, 67 mm jeho šířka a jeho výška 49.4 mm. Tyto rozměry výrobku udávají minimální rozměry, které musí tvarové vložky pojmout v jejich návrhu.



Obrázek 19 3D model výrobku v programu CATIA V5

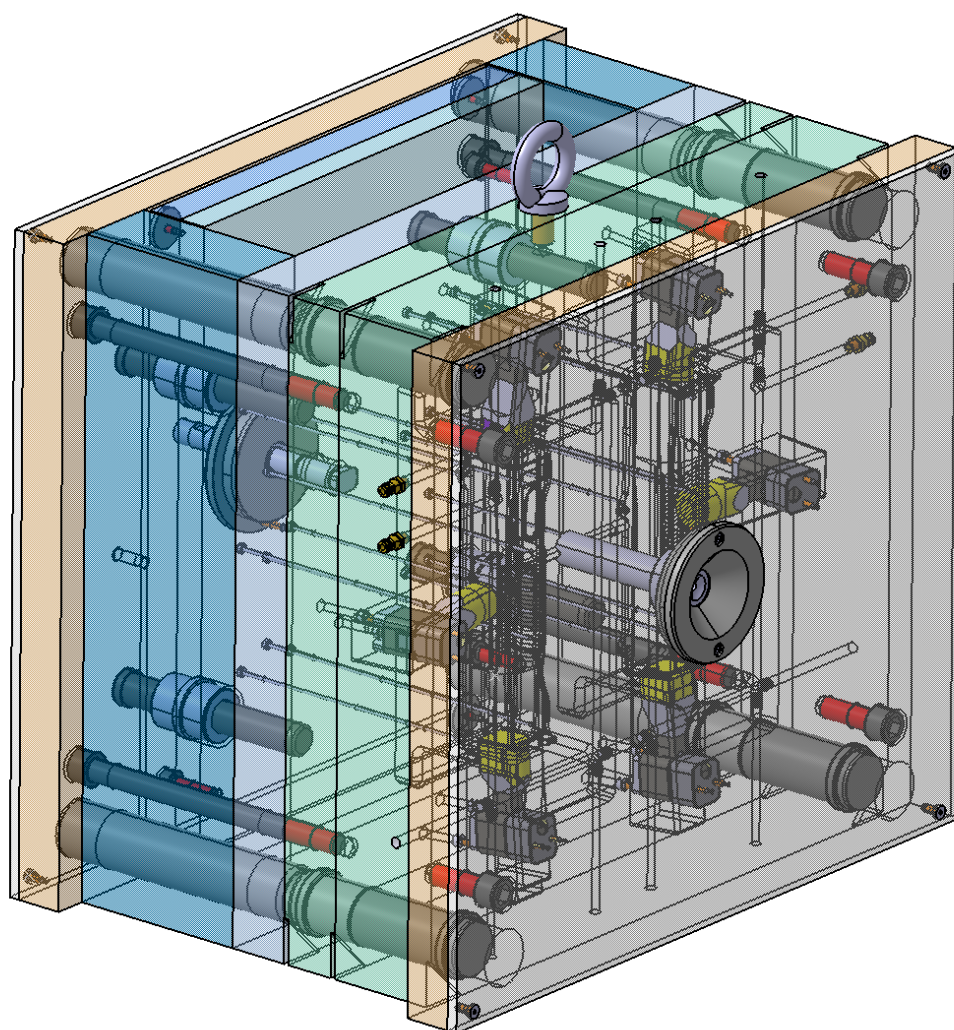
(zdroj: vlastní)

5.1 Výběr materiálu a rozdíly mezi navrhovanými materiály

Materiál, který byl zvolen pro vstřikování zadaného výrobku, je ABS. Oproti PC se ABS zpracovává při nižších teplotách, což znamená že práce s ABS je méně energeticky náročná. PC je více viskózní oproti ABS, to znamená, že ABS vyžaduje méně práce pro zatečení a vyplnění dutiny formy. ABS je levnější než PC, to znamená že výrobek je méně finálně náročný na výrobu. Oproti ABS má PC lepší mechanické vlastnosti a méně se smršťuje. Přes tyto výhody byl zvolen ABS kvůli snadnosti zpracovatelnosti a cenové dostupnosti. [6]

6 KONSTRUKCE FORMY

Návrh celkové sestavy vstřikovací formy začal u 3D modelu výrobku. Za pomoci katalogů normalizovaných součástí, které jsou k dispozici v programu CATIA V5, online průvodců od firem Meusburger a Hasco byla navržena vstřikovací forma se všemi náležitostmi pro její funkčnost. Všechny desky a většina spojovacích a středících součástí byla vygenerována průvodcem od formy Meusburger, zbylé součásti byly převzaty od firmy Hasco, to buď stažením z jejich webu nebo z integrovaného katalogu v CATIA V5.



Obrázek 20 Sestava navržené formy

(zdroj: vlastní)

6.1 Tvarové vložky – tvárník a tvárnice

Tvarové vložky byly vytvořeny pomocí geometrie výrobku. Tvarové vložky byly navrženy z důvodu snazší opravy vstřikovací formy. Při každém cyklu je dutina formy namáhána a časem opotřebována vstřikovaným polymer. Tvarové vložky jsou koncipovány jako výměnný díl desek, aby se nemusela obrábět celá deska znovu, ve které jsou i temperační kanály a další funkční otvory, které by jen prodražily výrobu a údržbu formy. Tvarové vložky jsou vytvořeny z vyšší třídy oceli, konkrétně 1.2343 a kaleny na 55 HRC, aby lépe odolávaly opotřebování polymerem.

Tvárnice tvoří pohledovou, vrchní, stranu výrobku. Její rozměry jsou větší, než je výrobek, aby bylo možné vytvořit okolní stěny, o které se tavenina opře a pojme námi požadovaný tvar výrobku. Tvárnice má šířku 80 mm, výšku 86 mm – výška je odvíjena od tloušťek kotevních desek od firmy Meusburger, je potřeba, aby tvárnice i tvárník byli stejně vysoké jako jsou jejich kotevní desky tlusté, její délka činí 300 mm.

Rozměry tvárníku zrcadlí rozměry tvárnice, aby bylo snazší je vůči sobě uložit. Tvárník má vystouplou část, která se vsune do dutiny tvárnice a vytvoří vnitřní stranu výrobku, tedy vytvoří dutiny a tím určí tloušťku stěny výrobku. S ohledem na výrobu tvarových vložek je tvárník relativně jednoduchého tvaru, to kvůli vyrobiteľnosti a usnadnění odformování vyhazovači.

6.2 Posuvné jednotky

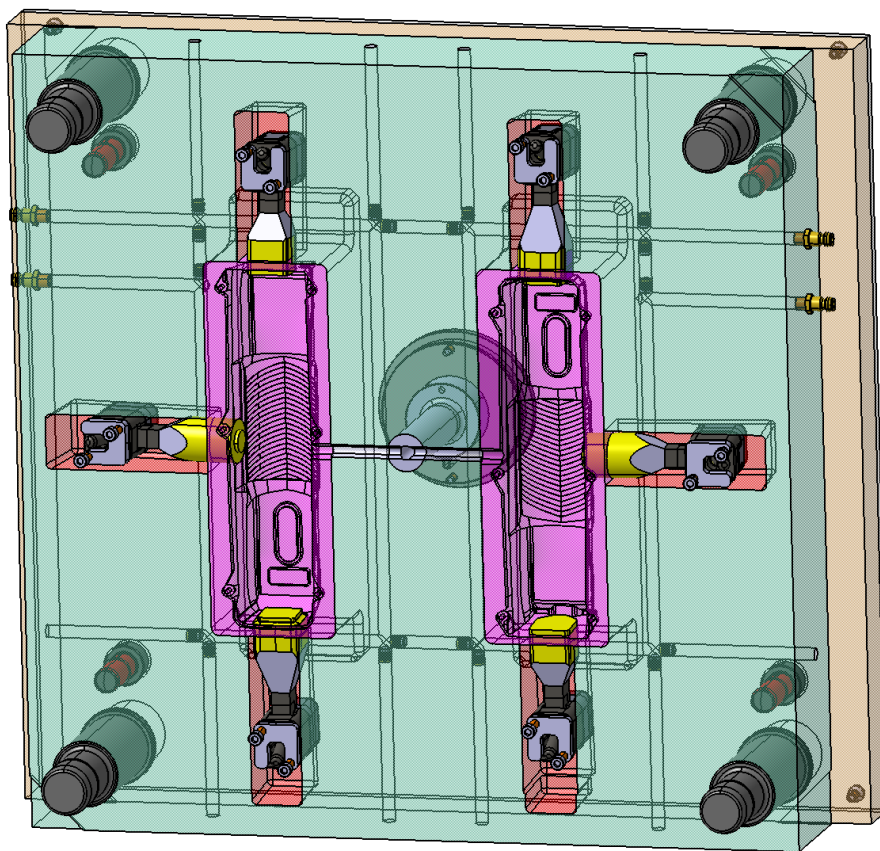
Slouží k odformování profilů, které nelze vytvořit tvárnicí a tvárníkem, jelikož by bylo výrobek nemožné vyhodit z formy. Proto je nutné použití bočních posuvných jednotek, které odformují otvory a při otevření formy odjedou od tvárníku a tím dovolí vyhození výrobku od tvárníku. Jejich pohyb je zajištěn posuvnou jednotkou, která je přišroubována k levé straně formy. Pohyb nahoru a dolů od tvarových vložek je zaručen mechanicky, pomocí šikmého kolíku. Jakmile se forma začne otevírat, pohybuje se společně s levou stranou i posuvná jednotka a díky kolíku je posuvná tvarová vložka vysouvána z dutiny mimo tvarové vložky.

Jejich umístění bylo komplikované, jelikož se obecně doporučuje umístění posuvných jednotek do dělicí roviny formy, v tomto případě to nebylo možné, jelikož se návrh odvíjí od reálného dílu, který sloužil jako předloha. Další problém byl úhel děr a otvorů ve výrobku, který způsobil vyosení posuvných jednotek od dělicí roviny. Takže jednotky nejsou kolmo

k deskám a tvarovým vložkám. Kvůli tomuto vyosení by nebylo možné přišroubování posuvné jednotky k levé straně formy, proto byla vytvořena jednoduchá destička s otvory pro šrouby a šikmý kolík, která zajišťuje těsný kontakt mezi levou opěrnou deskou a posuvnou jednotkou. Jelikož každý otvor ve výrobku je pod jiným úhlem, byla potřeba vytvořit 3 tyto dosedové destičky, každá pro jednu posuvnou jednotku. Dohromady tedy 6, jelikož je forma dvounásobná.

6.3 Pravá strana

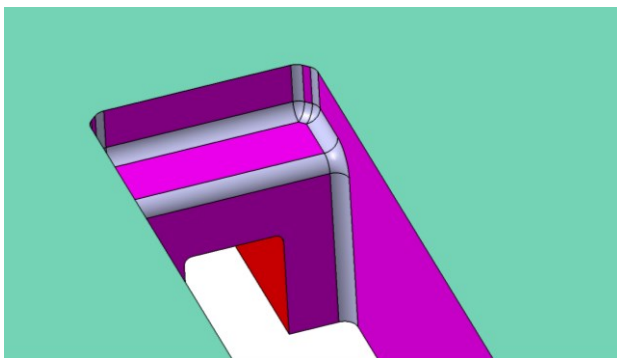
Na pravé straně formy se nachází obě tvárnice, které formují vzhledovou stranu výrobku. Tloušťka desek se odvíjí od výšky tvárnice. Kotevní deska, ve které je tvárnice uložena musí mít stejnou výšku jako samotná tvárnice, aby mohla být tvárnice přitisknuta a zafixována proti pohybu upínací deskou. Na pravé straně formy je upevněná i část posuvných jednotek. Specificky uzavírací klín se šikmou plochou, která zajišťuje doražení posuvné vložky a prevenci pootevření při vstřikování taveniny do dutiny.



Obrázek 21 Pohled do pravé strany vstřikovací formy

(zdroj: vlastní)

Na výběr, který je vyroben v kotevní desce pro uložení tvárnic musel být brán zřetel. Jelikož vznikly ostré rohy, které jsou běžně dostupnými metodami obrábění nevyrobitelné. Proto museli být všechny vnitřní rohy zaobleny, aby byli vyrobitelné běžným frézováním. Pokud by ale bylo naléháno, že ostré rohy jsou nutností, musela by být použita technologie jiskření. Jiskření oproti frézování je mnohonásobně dražší a složitější na provedení. Důvody pro použití jiskření nejsou dostatečné, aby omluvila tyto nevýhody.

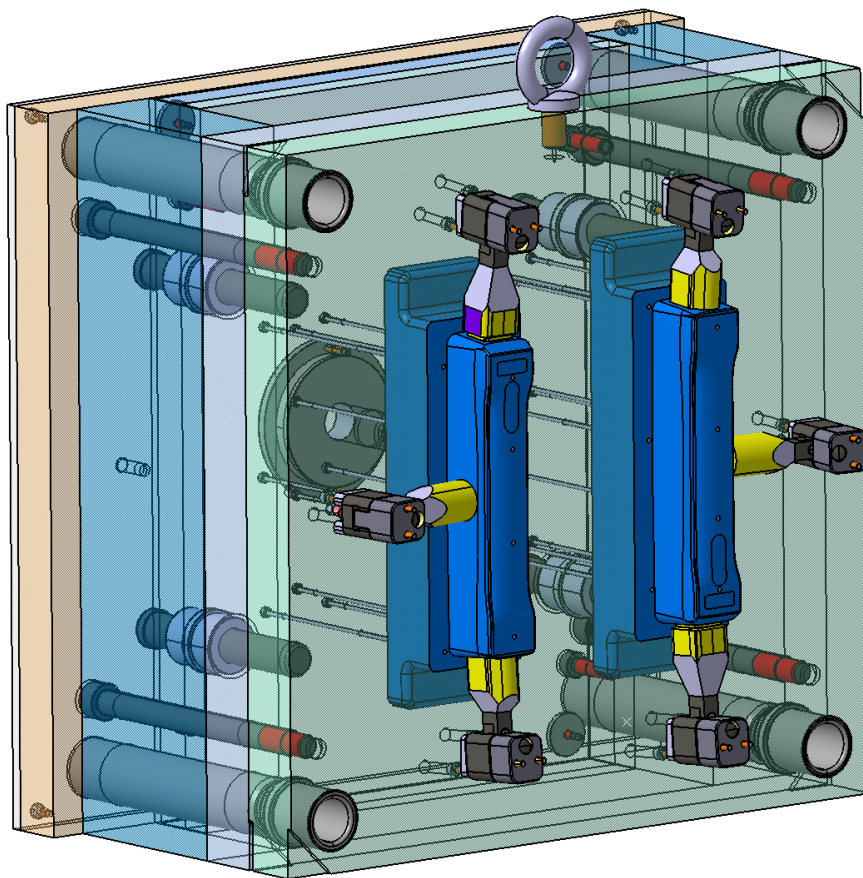


Obrázek 22 Výběr v pravé kotevní desce, šedou barvou znázorněné zaoblení ostrých hran

(zdroj: vlastní)

6.4 Levá strana

Na levé straně se nachází desky pro zajištění tvárníku. Rozdílem je, že jsou tady i rozpěrné desky, které mají za úkol vytvořit dostatečný prostor, aby se vyhazovací systém mohl pohybovat potřebnou vzdálenost. Tato vzdálenost je odvozena od výšky výrobku, o kterou je nutno zvednout nad tvárník, aby mohl samovolně vypadnout ven z formy. Rozpěrné desky umožňují až 80 mm pohybu vyhazovací soustavy, což je více než dostačující, jelikož výrobek má výšku zhruba 50 mm a vyhazovače musí odcestovat jen výšku výrobku.



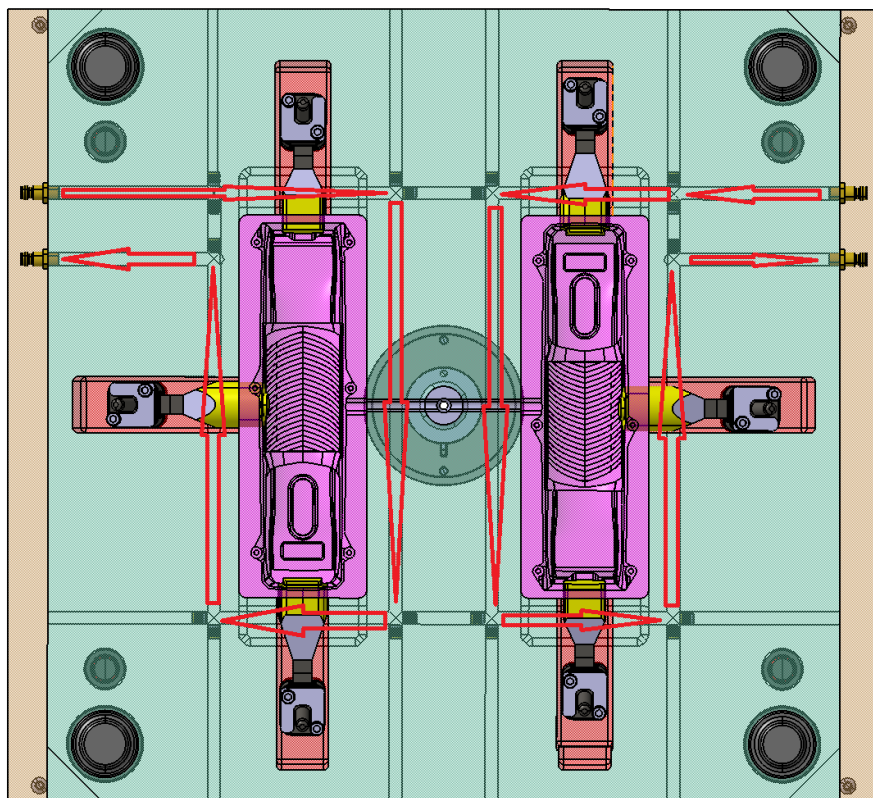
Obrázek 23 Pohled do levé strany vstřikovací formy

(zdroj: vlastní)

6.5 Temperace

Temperace byla navrhnutá na základě předchozích zkušeností konstruktéra. Na obrázku je znázorněn tok chladicí kapaliny. Kanály byly vyvrtány skrze kotevní desku a zároveň se vyhnuli tvárnicím. Důvodem byly obavy z úniku chladicí kapaliny mezi deskou a tvárnici, kdyby temperační kanály vedly skrze tvárnice. Ideální konfigurace kanálů by zasahovala i do tvárnic, aby docházelo k lepší výměně tepla.

Tento návrh by měl mít dostatečné kapacity na odvod tepla z dutiny formy. Vyhnutí se tvárnicím bylo také z důvodu nedostatku místa, kvůli posuvným jednotkám a vložkám, které zajišťují odformování bočních děr ve výrobku.



Obrázek 24 Znáznornění toku chladicí kapaliny skrz temperační kanály

(zdroj: vlastní)

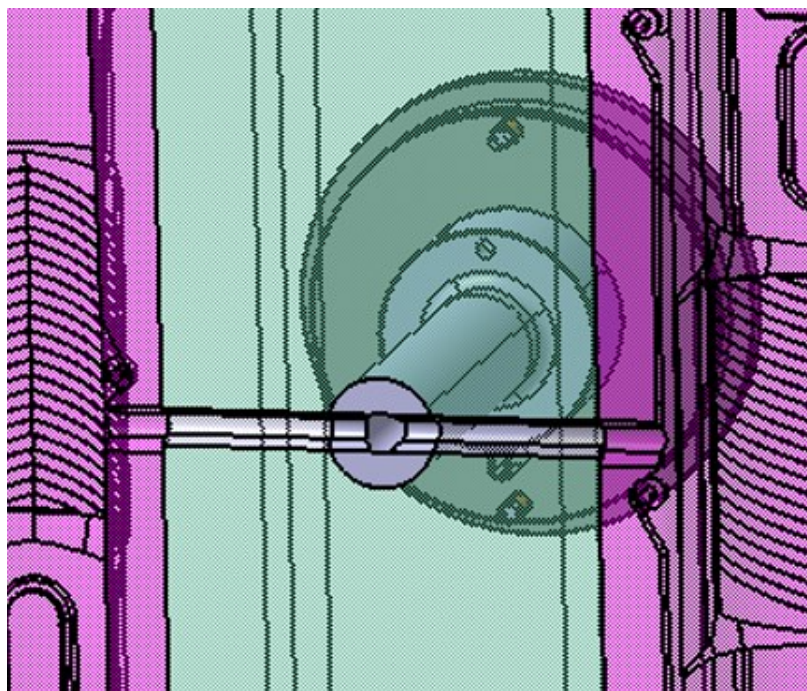
6.6 Odvzdušnění

Odvzdušnění nebylo výhradně řešeno v konstrukci formy, jelikož se předpokládá únik vzduchu, který je v dutině formy uzavřen během přípravy ke vstřikování. Tento vzduch může unikat skrze vůli mezi deskami v dělicí rovině, ale také vůlemi mezi vyhazovači a tvarovými vložkami, kolem posuvných jednotek a dalších netěsností ve formě. Také byl zvolen materiál výrobku, ze kterého nevzniká podstatné množství plynů během vstřikování. Případné problémy by se řešily až podle reálného chování formy během zkoušek vstřikování.

6.7 Vtokový systém

Vtokový systém byl navržen co nejjednodušeji, aby konstrukce formy nebyla příliš složitá. Spočívá z vtokové vložky, která má za úkol dopravit taveniny ze vstřikovacího stroje až do dělicí roviny, kde se rozdělí na dva proudy a zatéká rovnou do dutin formy.

Jedná se o studený dvou deskový vtokový systém, to znamená, že je nutno dalších operací pro úpravu výrobků po vyhození z formy. Nutno je odstranit zatuhlý rozvodný systém a upravit povrch. Odpadní materiál v podobě zatuhlého toku může být recyklován a využit při dalším vstřikování ve snaze o úsporu materiálu.

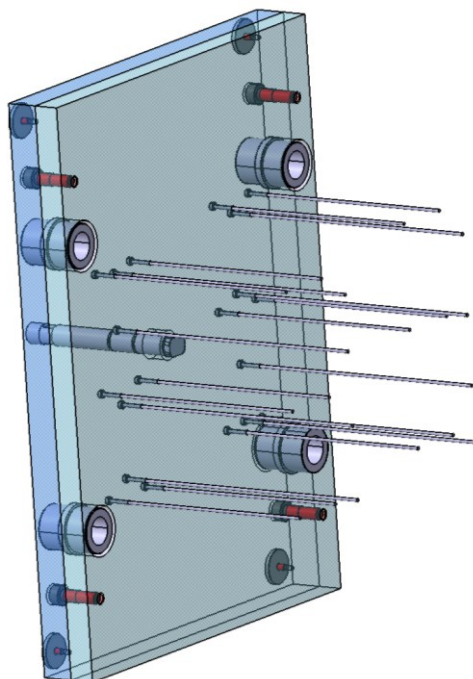


Obrázek 25 Vtokový systém formy

(zdroj: vlastní)

6.8 Vyhazovací systém

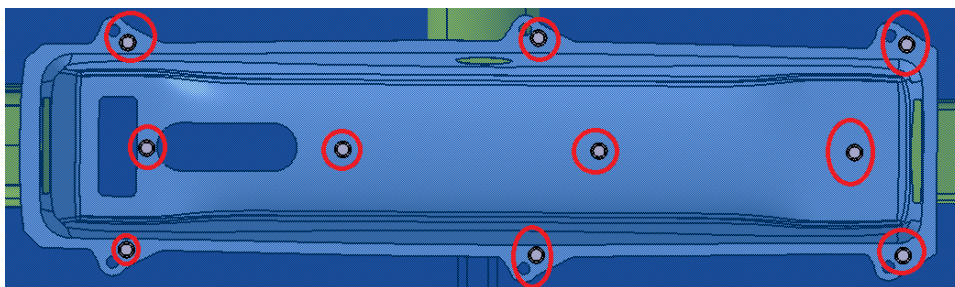
Pro vyhození výrobku byly zvoleny válcové vyhazovače od firmy Hasco ve dvou délkách dle potřeby a umístěny na výrobku pro efektivní vyhození. Vyhazovací sestava je poháněna táhlem, které zajišťuje pohyb desek, ve kterých jsou vyhazovače ukotveny. V momentě, kdy je forma plně otevřená a zastavená. V deskách jsou středící prvky, které zajišťují, aby vyhazovací desky nevysely svojí váhou jen na táhle a vyhazovačích, kde by hrozila jejich deformace.



Obrázek 26 Vyhazovací desky s vyhazovači

(zdroj: vlastní)

Bylo uvažováno s objednávkou 20 vyhazovačů od firmy Hasco normy Z40 o průměru 3 mm. Z těchto 20 vyhazovačů se udělají 2 délkové skupiny, jedna skupina vyhazovačů o 8 kusech bude zkrácena na 238 mm (pozice 24 ve výkrese sestavy formy) a jsou umístěny s pravidelnými rozestupy po vrchní straně výrobku, jejich účel je posunutí výrobku mimo tvárník. Druhou skupinu tvoří 12 vyhazovačů zkrácených na délku 197 mm (pozice 32 ve výkrese sestavy formy) rozmístěných po obvodu výrobku. Jsou umístěny pod bočními výstupky výrobku a působí přímo do stěny, takže by ke zborcení stěn nemělo dojít. Účelem těchto vyhazovačů je separace výrobku od tvárníku, jelikož výrobek bude po zchladnutí přilnutý na tvárník. Fungují jako jistota, aby 4 vyhazovače uprostřed výrobku nepromáčkly stěny.



Obrázek 27 Rozložení vyhazovačů na výrobku

(zdroj: vlastní)

7 SOFTWARE POUŽITÝ PRO MODELOVÁNÍ

CATIA „Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application“ je CAx softwarová řada produktů francouzské společnosti Dassault Systemes, která zahrnuje oblasti:

- CAD – Computer-Aided Design
- CAE – Computer-Aided Engineering
- CAM – Computer-Aided Manufacture

Celý systém CATIA V5 spočívá na třech různých platformách: P1, P2 a P3. Tyto platformy se úzce zaměřují na specifické úrovni potřeb konstruktéra.

Platforma P1 – se zabývá základním modelováním pro malé a středně velké firmy. Jedná se o řešení respektující moderní postupy v návrhu výrobku, s respektem na celkovou cenu systému.

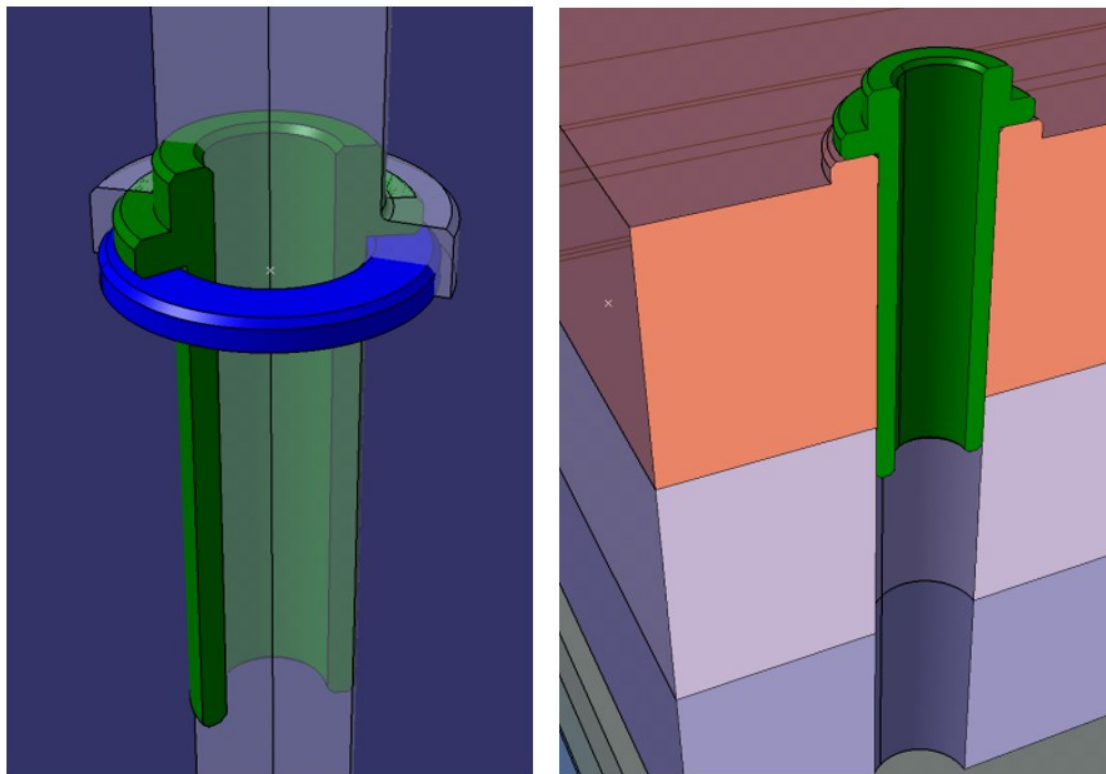
Platforma P2 – přináší standardní 3D modelářské prostředí pro modelování součástí, sestav, generování výkresů a také převodníky STEP/ IGES pro komunikaci s ostatními CAD systémy. Mimoto ale nabízí unikátní nástroje a definici prostředí pro vytvoření digitálního podniku prostřednictvím modelování výrobků, procesů a zdrojů daného podniku. Počínaje návrhem, prvotní koncepcí až po definici vlastní výrobku. Je tak podporován celý životní cyklus výrobku v rámci jednoho softwaru.

Platforma P3 – poskytuje nejvyšší úroveň programu. Jeho unikátní prostředí, pro chod je nutný speciální objektový manažer COM 3, je určen pro největší firmy z automobilního a leteckého průmyslu.

Nabídka modulů je v tomto CAx systému neustále rozšiřována novými nástroji pro podporu různých oblastí průmyslu. Jedním z nich je i modul Tooling Design, produkt pro urychlení vývoje formovacích nástrojů, jako jsou vstřikovací formy, nástroje pro lisování plechů, ohýbání plechů, stříhání, kovací zápustky apod.

Hlavním přínosem modulu Tooling Design jsou speciální algoritmy, které zaručují provázanost všech komponentů a jejich topologických operací v nástroji. Díl komponentu obsahuje objemy s danými názvy, polaritou a kódy pro správnou integraci komponentu do nástroje. Jednoduchý příklad je znázorněn na obrázku, kde zeleně je zvýrazněn samotný komponent, vrtání pro něj sedě a modře objem, který bude přidán k desce nástroje. Po umístění komponentu do nástroje dojde k odečtení záporných a přičtení kladných objemů

v topologii nástroje. Jsou automaticky vytvořeny kontextové vazby, které zaručují adaptabilitnost sestavy.



Obrázek 28 Příklad objemů komponentů

(zdroj: vlastní)

ZÁVĚR

Vstupní informace jako požadavek na násobnost, geometrii výrobku a požadavky vedly k návržení sestavy vstřikovací formy za pomoci CATIA V5.

Již zmíněná složitá geometrie výrobku několika násobně zkomplikovala podobu vstřikovací formy. Kvůli bočním otvorům bylo zvoleno odformování pomocí posuvných jednotek, které jsou mechanicky vytahovány otevřením formy. Vyhození výrobků je realizováno válcovými vyhazovači, jelikož je předpoklad, že stěny výrobku jsou dostatečně pevné, aby se nezbortily. Temperace byla navržena jednoduchými kanály v kotevní desce, které vytvářejí 2 nezávislé chladicí okruhy. Každý okolo jedné součásti.

Výstupem této práce jsou 3D data sestavy vstřikovací formy a samotný výrobek s vypracovanými výkresy vstřikovací formy a výrobku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. přeprac. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2006. ISBN 80-7080-617-6. Dostupné také z: <https://kramerus.techlib.cz/kramerus-web-client/uuid/uuid:35816d67-d780-48df-a523-4865ef0849b1>.
- [2] GOODSHIP, Vanessa (ed.). *Injection Moulding: A Practical Guide*. Online. 3rd edition. Berlin, Boston: De Gruyter, 2020. ISBN 9783110654813. Dostupné z: <https://doi.org/10.1515/9783110654813>. [cit. 2024-12-28].
- [3] BRUDER, Ulf. *User's guide to plastic*. 2nd edition. Munich: Hanser Publisher, [2019]. ISBN 978-1-56990-734-4.
- [4] *Thermoset vs. Thermoplastics*. Online. Modor Plastics. 2017. Dostupné z: <https://www.modorplastics.com/plastics-learning-center/thermoset-vs-thermoplastics/>. [cit. 2025-05-07].
- [5] CZEPIEL, Mateusz; BAŃKOSZ, Magdalena a SOBCZAK-KUPIEC, Agnieszka. Advanced Injection Molding Methods: Review. Online. *Materials*. 2023, roč. 16, č. 17. ISSN 1996-1944. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ma16175802>. [cit. 2024-12-10].
- [6] CAMPO, E. Alfredo. *Complete Part Design Handbook - For Injection Molding of Thermoplastics*. Online. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co., 2006. ISBN 978-3-446-40309-3. Dostupné z: <https://doi.org/10.3139/9783446412927>. [cit. 2024-12-09].
- [7] STROKES, Vijay Kumar. *Introduction to Plastics Engineering (2020 Edition)*. Online. John Wiley, 2020. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpIPE0003L/toc>. [cit. 2024-12-29].
- [8] MENNIG, Günter a STOECKHERT, Klaus (ed.). *Mold-making handbook*. Online. 3rd edition. Hanser Publishers, 2013. ISBN 978-1-68015-483-2. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpMMHE001C/toc>. [cit. 2024-12-29].

- [9] SHRIVASTAVA, Anshuman. *Introduction to Plastics Engineering*. Online. Elsevier, 2018. ISBN 9780323395007. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/C2014-0-03688-X>. [cit. 2024-12-09].
- [10] LERMA VALERO, José R. *Plastics Injection Molding - Scientific Molding, Recommendations, and Best Practices*. Online. Munich: Hanser publications, [2020]. ISBN 978-1-56990-689-7. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpPIMSMRB7/toc>. [cit. 2025-05-14].
- [11] CHEN, Shia-Chung a TURNG, Lih-Sheng (ed.). *Advanced injection molding technologies*. Online. Hanser Publishers, 2019. ISBN 978-1-5231-2479-4. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpAIMT0003/toc>. [cit. 2024-12-29].
- [12] WANG, Maw-Ling; CHANG, Rong-Yeu a HSU, Chia-Hsiang (David). *Molding Simulation: Theory and Practice*. Online. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co., 2018. ISBN 978-1-56990-619-4. Dostupné z: <https://doi.org/10.3139/9781569906200>. [cit. 2024-12-09].
- [13] DVOŘÁK, Zdeněk a JAVOŘÍK, Jakub. *Konstrukce výrobků, konstrukční materiály elastomerní a formy pro jejich výrobu*. Zlín: UTB ve Zlíně, 2013.
- [14] CALHOUN, Allison a GOLMANAVICH, Jerry. *Plastics Technician's Toolbox, Volumes 1-6*. Online. Society of Plastics Engineers (SPE), 2002. ISBN 978-1-59124-995-5. Dostupné z: https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpPTTV0006/toc?b-q=polymer%20drying&cid=kpPTTV0006&include_synonyms=no. [cit. 2025-05-07].
- [15] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*. Online. Verze knihy: 12. [Online]: [Code Creator], 2015. ISBN 978-80-88058-63-2. Dostupné z: <https://etul.publi.cz/book/179-vstrikovaci-formy-pro-zpracovani-termoplastu>. [cit. 2025-05-14].
- [16] PRUNER, Harry a NESCH, Wolfgang. *Understanding injection molds*. 2. vydání. Munich: Hanser, c2013. ISBN 978-1-56990-527-2.
- [17] KAZMER, David. *Injection Mold Design Engineering (3rd Edition)*. Online. 3rd edition. Munich: Hanser publishers, [2022]. ISBN 978-1-56990-892-1. Dostupné z:

- <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpIMDE0011/toc?cid=kpIMDE0011>. [cit. 2025-05-14].
- [18] *Hasco*. Online. 2014. Dostupné z: <https://www.hasco.com>. [cit. 2025-05-11].
- [19] DANGEL, Rainer. *Injection molds for beginners*. 2nd Edition. Munich: Hanser, 2020. ISBN 978-1-56990-911-9.
- [20] MALLOY, Robert A. *Plastic part design for injection molding: an introduction*. Online. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2011. ISBN 978-1-56990-436-7. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz/kn/resources/kpPPDIMAI2/toc>. [cit. 2025-05-14].
- [21] MENGES, Georg; MICHAELI, Walter a MOHREN, Paul. *How to make injection molds*. 3rd ed. Munich: Hanser, c2001. ISBN 3-446-21256-6. Dostupné také z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHMIME006/how-make-injection-molds>.
- [22] FISCHER, Jerry M. *Handbook of molded part shrinkage and warpage*. Second edition. Plastics design library. Amsterdam: Elsevier/William Andrew, 2013. ISBN 978-1-4557-2597-7.
- [23] HARPER, Charles A. (ed.). *Handbook of Plastic Processes*. Online. Wiley, 2006. ISBN 9780471662556. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/0471786586>. [cit. 2024-12-09].
- [24] KERKSTRA, Randy a BRAMMER, Steve. *Injection molding advanced troubleshooting guide*. 2nd edition. Munich: Hanser publishers, [2021]. ISBN 978-1-56990-834-1.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Označené části vstřikovacího stroje: uzavírací jednotka, forma, řídicí jednotka, vstřikovací jednotka, stůl.....	16
Obrázek 2 Jednotlivá pásma šneku a podoba materiálu v nich	17
Obrázek 3 Průběh vstřikovacího cyklu	18
Obrázek 4 Ukázka dvou deskového vtokového systému	22
Obrázek 5 Ukázka tří deskového vtokového systému	23
Obrázek 6 Ukázka vyhazovače, nitridovaného, od firmy Hasco.....	24
Obrázek 7 Ukázka prizmatického obdélníkového vyhazovače od firmy Hasco	25
Obrázek 8 Ukázka samostatného trubkové vyhazovače od firmy Hasco	25
Obrázek 9 Ukázka speciální chladicí vložky.....	27
Obrázek 10 Ukázka uložení přepážky od firmy Hasco.....	27
Obrázek 11 Ukázka uložení chladicího rozvaděče od firmy Hasco	28
Obrázek 12 Ukázka uložení tepelně vodivé patrony od firmy Hasco.....	29
Obrázek 13 Ukázka podoby konformních temperačních kanálů.....	29
Obrázek 14 Ukázka plnění dutiny s vhodně a nevhodně navrženou geometrií	32
Obrázek 15 Příklad typického nedotoku	33
Obrázek 16 Příklad přetoku, kdy materiál přesáhl dané rozměry výrobku.....	34
Obrázek 17 Příklad delaminace nekompatibilních materiálů.....	35
Obrázek 18 Příklad studeného spoje	36
Obrázek 19 3D model výrobku v programu CATIA V5	38
Obrázek 20 Sestava navržené formy.....	39
Obrázek 21 Pohled do pravé strany vstřikovací formy	41
Obrázek 22 Výběr v pravé kotevní desce, šedou barvou znázorněné zaoblení ostrých hran	42
Obrázek 23 Pohled do levé strany vstřikovací formy	43
Obrázek 24 Znázornění toku chladicí kapaliny skrz temperační kanály	44
Obrázek 25 Vtokový systém formy	45
Obrázek 26 Vyhazovací desky s vyhazovači	46
Obrázek 27 Rozložení vyhazovačů na výrobku	46
Obrázek 28 Příklad objemů komponentů.....	48

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PC	Polykarbonát
ABS	Akrilonytril-butadien-styren
3D	trojrozměrný
CATIA	Computer-Aided-Three-Dimensional-Interactive-Application
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer-Aided Engineering
CAM	Computer-Aided Manufacture
Apod.	A podobně

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výkres sestavy formy

Příloha P II: Výkres vstřikovaného výrobku

Příloha P III: 3D data sestavy a výrobku ve formátu STEP na fyzickém disku

