

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství
Studijní zaměření: Diagnostika a servis silničních vozidel

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Technický návrh vstřikovacího nástroje pro pochromovaný plastový díl
a jeho uvedení do provozu

Autor: **Marek VELICH**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Josef FORMÁNEK, Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marek VELICH**

Osobní číslo: **S16B0200P**

Studijní program: **B2341 Strojírenství**

Studijní obor: **Diagnostika a servis silničních vozidel**

Název tématu: **Technický návrh kapacitního vstřikovacího nástroje pro pochromovaný plastový díl a jeho uvedení do provozu**

Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Cílem této práce je navrhnout základní technické řešení kapacitního vstřikovacího nástroje pro pochromovaný plastový díl využívaný v automotive průmyslu. Dále provést specifikaci požadavků s ohledem na správnou funkčnost a technickou jednoduchost. Výsledné řešení je v popisu a zhodnocení realizace nástroje včetně schvalovacích procesů a zkoušek při uvedení do provozu. U výsledného konceptu řešení provést možná doporučení a případné vylepšení pro budoucí návrh zařízení pro jiné plastové díly.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematického popisu funkce.
2. Vypracování koncepčního řešení vstřikovacího nástroje.
3. Vypracování postupu pro uvedení vstřikovacího nástroje do provozu (schvalovací procesy a zkoušky).
4. Zhodnocení realizace nástroje s uvedením do provozu.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

SHIGLLEY, J., E., MISCHKE, C., R., BUDYNAS, R., G. *Konstruování strojních součástí.* VUT v Brně, Brno, 2010

VLK, F. *Stavba motorových vozidel .* Brno: Vlk, 2005

ŘAŠA, J., ŠVERCL, J.: *Strojnické tabulky.* Scientia, Praha, 2004

HOSNEDL, S. A KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra.* Brno: Computer Press, 1999

Podkladový materiál, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**

Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Michal Bali**
WITTE Nejdek s.r.o.

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 16. října 2018

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Velich	Jméno Marek	
STUDIJNÍ OBOR	B2341 „Diagnostika a servis silničních vozidel“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Jméno Josef	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Technický návrh vstřikovacího nástroje pro pochromovaný plastový díl a jeho uvedení do provozu		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	42	TEXTOVÁ ČÁST	34	GRAFICKÁ ČÁST	1
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Cílem této práce je navrhnout základní technické řešení kapacitního vstřikovacího nástroje pro pochromovaný plastový díl využívaný v automobiliv průmyslu. Dále provést specifikaci požadavků s ohledem na správnou funkčnost a technickou jednoduchost. Výsledné řešení je v popisu a zhodnocení realizace nástroje včetně schvalovacích procesů a zkoušek při uvedení do provozu. U výsledného konceptu řešení provést možná doporučení a případné vylepšení pro budoucí návrh zařízení pro jiné plastové díly.</p>
<p>KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Vstřikovací, nástroj, forma, plast</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Velich	Name Marek	
FIELD OF STUDY	B2341 „Road Vehicles Diagnostics and Service“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Name Josef	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	The engineering design of a capacitive injection molding tool for a chromed plastic part and its commissioning		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	42	TEXT PART	34	GRAPHICAL PART	1
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----------

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The main goal of this thesis is to design basic technical solution of capacitive mold base for chrome plastic part used in automotive industry. Then perform requirement specification with respect to its correct functionality nad technical simplicity. The resulting solution will be in describing and evaluating the realisation of mold base and its commissioning with testing included. At resultant concept perform possible recommendation and improvements for future mold base design for plastic parts.
KEY WORDS	Injection, mold, tool, plastic

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat firmě WITTE, za umožnění napsání bakalářské práce pod jejich dohledem. Zvláště pak děkuji Ing. Michalovi Balimu, Ing. Janovi Formáčkovi a Tereze Holubové za jejich cenné rady a poznatky, které mi velice pomohli při psaní bakalářské práce. Dále děkuji mému vedoucímu Doc. Ing. Josefu Formánkovi Ph.D.

Přehled použitých zkratk a symbolů

Objem	V	[cm ³]
Hmotnost	m	[g]
Čas	t	[s]
Délka	l	[mm]
Tlak	p	[Pa]

PVC	Polyvinylchlorid
PET	Polyethylentereftalát
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
POM	Polyoxymetylén
PA	Polyamid
DIN	Deutsche Industrie-Norm
ČSN	Česká státní norma

Obsah

1. Úvod	10
2. Vstřikování.....	11
2.1. Výhody vstřikování	11
2.2. Nevýhody vstřikování	11
2.3. Druhy vstřikovacích strojů.....	11
2.3.1. Pístový vstřikovací stroj	11
2.3.2. Šnekový vstřikovací stroj	12
2.4. Vstřikovací jednotka	13
2.4.1. Části vstřikovací jednotky	14
2.5. Materiály pro vstřikování	17
2.5.1. Termoplasty.....	17
2.5.2. Reaktoplasty	17
2.5.3. Elastomery.....	17
3. Vstřikovací nástroj.....	18
3.1. Rozdělení vstřikovacích nástrojů.....	18
3.1.1. Podle násobnosti	18
3.1.2. Podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení formy	18
3.1.3. Podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy	18
3.2. Složení vstřikovacího nástroje	18
3.2.1. Vtokový systém	19
3.2.2. Temperační systém	20
3.2.3. Vyhazovací systém	21
4. Praktická část.....	22
4.1. Upřesnění zadání	22
4.2. Materiál výstřiku.....	23
4.2.1. Smrštění.....	23
5. Návrh parametrů formy	24
5.1. Navržení počtu kavit.....	24
5.2. Rozmístění kavit	24
5.3. Návrh dělicí roviny.....	25
5.4. Umístění vyhazovačů.....	25
5.5. Návrh vtoků	25
5.5.1. Umístění vtoků	26

5.6.	Návrh součástí horkých vtoků	28
6.	Návrh formy	29
6.1.	Návrh nepohyblivé části formy	29
6.1.1.	Izolační deska	29
6.1.2.	Upínací deska	29
6.1.3.	Mezilehlá deska	30
6.1.4.	Tvarová vložka	31
6.1.5.	Rám.....	31
6.2.	Návrh pohyblivé části formy.....	32
6.2.1.	Tvarová vložka a rám	32
6.2.2.	Vodicí lišty.....	33
6.2.3.	Vyhazovací set	34
6.2.4.	Upínací a izolační deska.....	34
6.3.	Materiál desek.....	35
7.	Uvedení do provozu	36
7.1.	Schvalovací proces ve WITTE.....	36
7.1.1.	Zkoušky na vystříknutých dílech.....	36
7.1.2.	Chromování dílu	37
7.1.3.	Zkoušky na pochromovaných dílech	37
7.2.	Schvalovací proces u zákazníka	37
8.	Zhodnocení.....	38
9.	Závěr	39
10.	Použitá literatura, zdroje	40
11.	Seznam obrázků a tabulek.....	41

1. Úvod

Automobilový průmysl ve světě se neustále rozrůstá. Jako jedním z hlavních požadavků na vlastnost automobilu je nízká produkce emisí a s tím i související nízká spotřeba paliva. Hlavně ve městech s velmi hustou dopravou je redukce vyprodukovaných emisí nezbytná. V současné době však neexistuje žádný alternativní zdroj pohonu, který by byl schopen zcela nahradit naftu či benzín, aniž by byl snížen komfort cestování a pořizovací cena nepřesahovala téměř dvojnásobně pořizovací cenu automobilů se spalovacími motory.

Dříve, než bude vynalezen alternativní pohon, který zcela nahradí naftu a benzín, lze spotřebu automobilů značně snížit jejich váhou. Pokud snížíme váhu automobilu, snížíme tak i spotřebu paliva. I to je jedním z hlavních důvodů, proč se v automobilovém průmyslu čím dál více používají plastové díly místo kovových. Zhruba před 30 lety byl plast v automobilech zastoupen v přibližně 6%, v současné době je to více než 15%. Porovnáme-li například plast s ocelí, zjistíme, že ocel je v některých případech až 6x těžší než plast. Nahrazením plastů lze tak jednoduše snížit váhu automobilu o desítky kilogramů, v případě rozměrnějších i o stovky kilogramů.

K výrobě menších plastových dílů většinou slouží vstřikovací stroj, který umožňuje velmi rychle, snadno a efektivně vyrobit téměř jakýkoliv typ dílu. Základem vstřikovacího procesu je nejen kvalitní stroj, ale především nástroj – tedy forma, ve které bude díl tvarován.

Tato bakalářská práce se bude zabývat vhodným technickým návrhem vstřikovacího nástroje pro pochromovaný plastový díl používaný v automotive průmyslu. Tím je plastová krytka na vnější kliku automobilu. Poté budou navrženy zkoušky na prvních vyrobených kusech před uvedením do sériové výroby. V závěru bude provedeno zhodnocení mé práce a návržení možných vylepšení či úprav.

2. Vstřikování

Vstřikování plastů je jedním z nejrozšířenějších způsobů výroby plastových dílů do požadovaného tvaru. Je to proces, na jehož konci vzniká výrobek, který může mít charakter konečného výrobku, polotovaru či dílu pro další zkompletování. Výrobky takto zhotovené mají velmi dobrou rozměrovou a tvarovou přesnost.

Vstřikování se skládá z několika po sobě jdoucích operací. Jejich doba je ovlivněna především typem materiálu, geometrií výstřiku, technologií, konstrukcí vstřikovacího nástroje a typem stroje.

2.1. Výhody vstřikování

Mezi nejvýznamnější výhody vstřikování plastů patří možnost velkosériové produkce, vysoká rozměrová i tvarová přesnost, možnost získat konečný díl, vysoká kvalita povrchu, krátké výrobní cykly a možnost výroby konstrukčně složitých dílů.

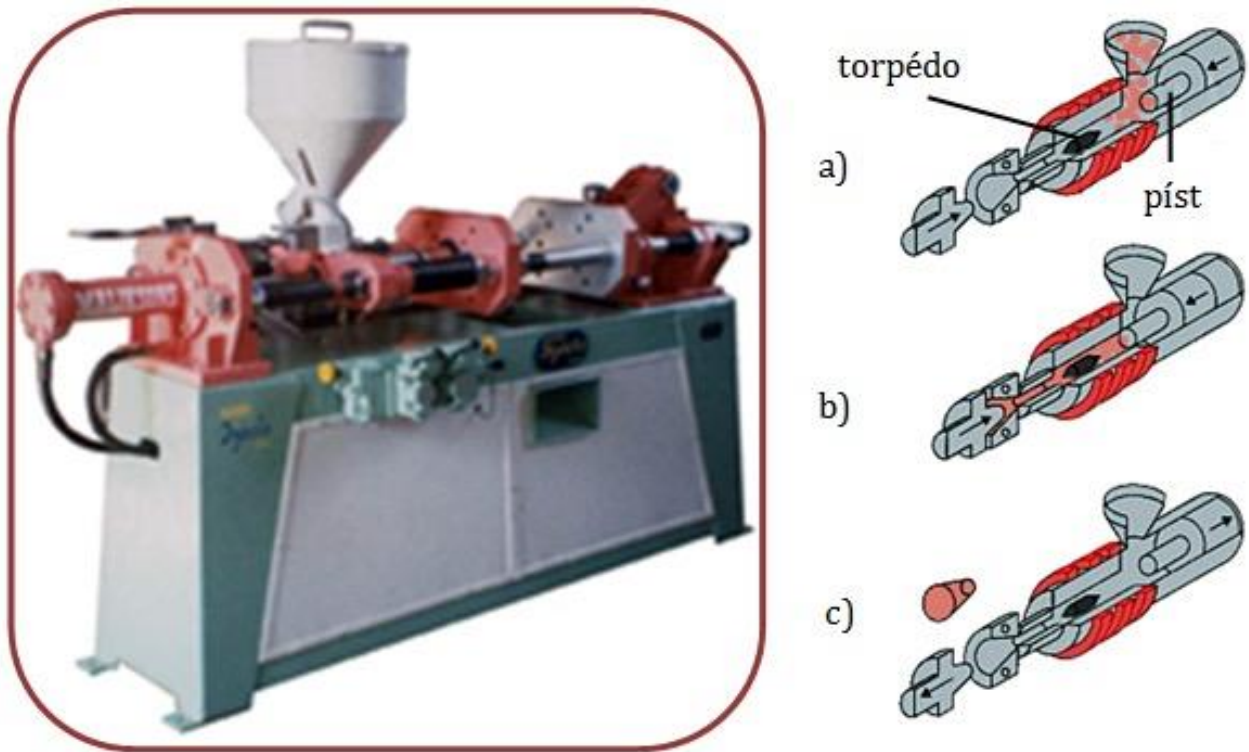
2.2. Nevýhody vstřikování

Nevýhodami technologie vstřikování je velmi vysoká pořizovací cena jak strojů, tak forem. Dále pak velikostní nepoměr mezi výrobním strojem a výrobkem, kdy větší vstřikovací stroje zabírají i desítky metrů čtverečních. Z těchto důvodů se vstřikování hodí především pro velkosériovou výrobu.

2.3. Druhy vstřikovacích strojů

2.3.1. Pístový vstřikovací stroj

Nejstarším typem vstřikovacích strojů jsou ty, kde pohyb materiálu zajišťuje píst. Ten vykonává pouze pohyb vpřed a vzad a to ve své ose. Je-li píst v zadní pozici, padá před něj z násypky materiál v podobě granulátu či prášku. Pohybem pístu vpřed se materiál dostává do vytápěné tavicí komory, kde se materiál vlivem tepla mění z pevného na kapalný. Tlakem pístu se tavenina posouvá až k trysce na konci komory a poté přímo do vstřikovací formy. Před tryskou je umístěno torpédo, které zajišťuje alespoň částečné promíchání a homogenizování teploty taveniny. V současné době jsou pístové vstřikovací stroje téměř zcela nahrazeny šnekovými, které kromě pohybu vzad a vpřed konají ještě rotační pohyb, díky kterému je tavenina mnohem lépe promíchána. Z tohoto důvodu bude tato publikace zaměřena především na popis a funkci šnekových vstřikovacích strojů.



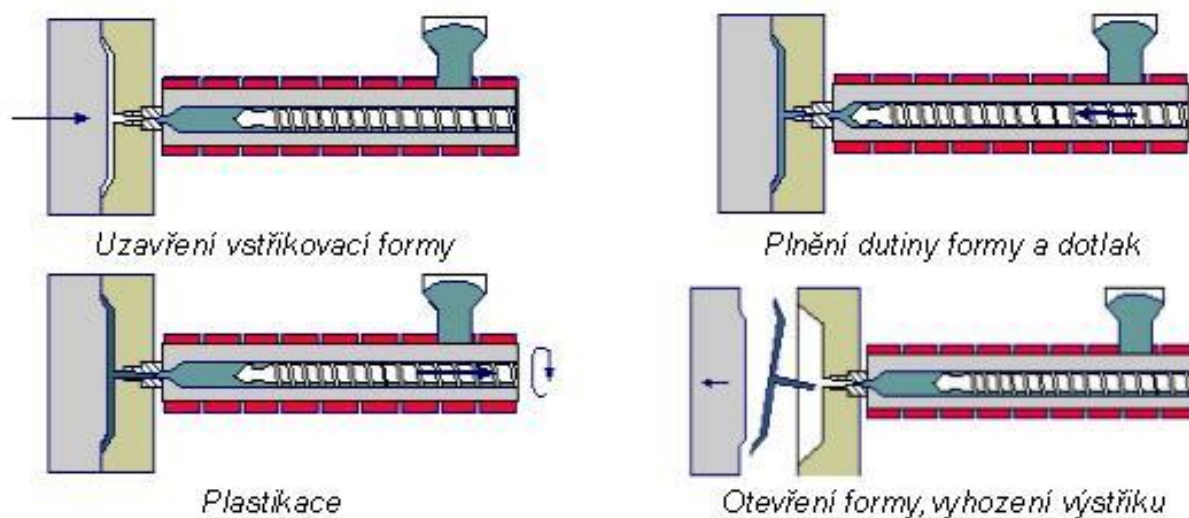
Obr. 1 - Pístový vstříkovací stroj (vlevo) a schéma průběhu vstříkovacího cyklu (vpravo), (a) dávkování granulátu, (b) plastikace dávky a vstříkávání taveniny, (c) odformování výrobku [5]

2.3.2. Šnekový vstříkovací stroj

U šnekového vstříkovacího stroje není dodávání materiálu zajištěno pístem, ale šnekem. Ten koná posuvný a rotační pohyb zároveň a je tak schopen dosáhnout mnohem lepšího promíchání materiálu než pístový vstříkovací stroj.

Proces vstříkování u šnekových vstříkovacích strojů

Celý proces vstříkování by se dal shrnout do 4 kroků. Tím prvním je uzavření vstříkovací formy, kdy se pohyblivá část formy přisune k pevné a uzamkne se. V této poloze zůstane forma až do konce celého procesu. V druhém kroku, kterým je plnění dutiny formy a dotlak, dochází pod tlakem k naplnění vstříkovací formy materiálem pomocí šneku, který již nekoná rotační pohyb ale pouze posuvný a vykonává tak funkci pístu. Jelikož se plast při chladnutí smršťuje, je nutno i po úplném naplnění formy vyvíjet tlak, který po případném smrštění doplní materiál do formy. Tento tlak se nazývá dotlak, a bývá stejný nebo menší než plnicí tlak. Třetí fází celého procesu je plastikace, při té je materiál chlazen chladícím obvodem formy, které předává teplo a tuhne. Čtvrtý krok nastává po ochlazení materiálu na teplotu tvarové stálosti, kdy je možno formu otevřít a výrobek vyhodit pomocí vyhazovačů.



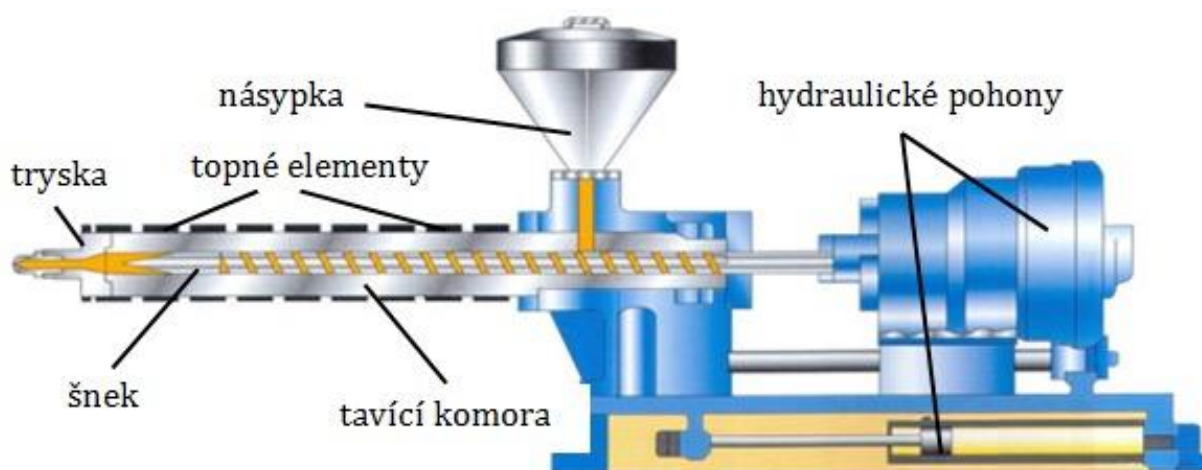
Obr. 2 - Vstřikovací cyklus [2]

2.4. Vstřikovací jednotka

Hlavním úkolem vstřikovací jednotky je dodání materiálu do formy. Celý proces začíná nasypáním materiálu v podobě granulátu či prášku do násypky, kam je dodáván ze zásobníku. Odsud materiál padá do tavicí komory se šnekem. Pomocí rotace šneku je materiál posouván směrem dopředu (k trysce) a zároveň je pomocí topných elementů zahříván na teplotu potřebnou k převedení z pevného skupenství do kapalného. Důsledkem toho je materiál postupně taven a zároveň promícháván, čímž na konci tavicí komory, tedy před ústím trysky, získáváme homogenní taveninu s téměř konstantní teplotou. Nutno ještě podotknout, že velkou část zahřívání materiálu zajišťuje tření granulátu se stěnou tavicí komory při rotačním pohybu.

Celá vstřikovací jednotka je většinou vybavena dvěma hydraulickými či elektrickými motory. Jeden zajišťuje pohyb šneku, tedy rotaci a posun v axiálním směru. Druhý motor posouvá vstřikovací jednotku vůči rámu stroje a zajišťuje tak přísun trysky k formě.

U vstřikovacích jednotek nás nejvíce zajímají dva parametry, a to vstřikovací kapacita a plastikační kapacita. Vstřikovací kapacita určuje velikost maximálního objemu, který může vstřikovací jednotka vstříknout do formy během jednoho pracovního zdvihu šneku. Nejčastěji se udává v cm^3 a představuje tedy maximální objem vylisku. Plastikační kapacita udává množství, které je daný stroj schopen převést do plastického stavu z taveniny, za jednotku času. Jedná se tedy o množství materiálu, které je pouze pomocí rotačního pohybu šneku vytlačeno před jeho čelo, udává se v kg/h .



Obr. 3 - Vstřikovací jednotka [8]

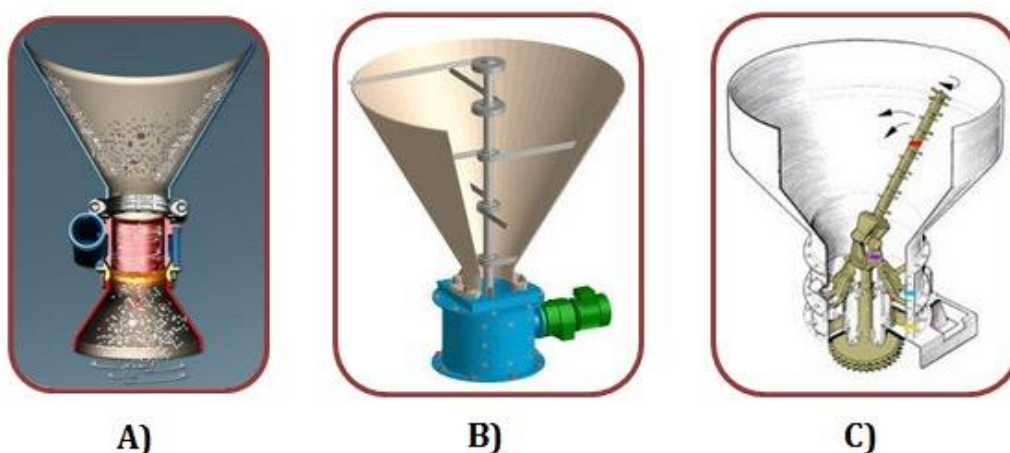
2.4.1. Části vstřikovací jednotky

Posuvné konzoly

Vstřikovací jednotka je většinou umístěna na pohyblivém nosiči, který je posouván po vodících tyčích, nebo kolejničích v případě rozměrnějších jednotek, jež jsou souběžné s osou šneku.

Násypka

Pomocí násypky je přiváděn materiál do tavící komory ze zásobníku. Násypka by měla být konstruována tak, aby se v ní materiál samovolně posouval do tavící komory za působení gravitace. Veliký důraz je kladen především na to, aby se násypka nenacházela příliš blízko zdroje tepla. Mohlo by tak totiž dojít k natavování granulátu, který by se začal lepit na stěny násypky a tím ji ucpávat. Násypka může také zastávat funkci směšovacího systému, vysoušecího systému či síta. V případě omezeně sypkých materiálů, jako jsou například přírodní vlákna nebo prášky, lze násypku vybavit rotačními nebo šnekovými konvojery nebo třásacími systémy.



Obr. 4 - Možné úpravy násypek, (a) třásací mechanismus, (b) a (c) rotační konvojery [8]

Tavící komora

Z násypky putuje materiál přímo do tavící komory. Ta má tvar dutého kovového válce, který je zakončený tryskou. Materiál přivedený do tavící komory je rotováním šneku pomalu posouván směrem od násypky k trysce. V průběhu pohybu směrem k trysce je materiál ohříván topnými pásy, které se nachází na vnější straně tavící komory. Ty jsou nejčastěji přítomny v podobě odporových topných elementů. Na vrstvě topných elementů se ještě nachází izolační vrstva, aby se zamezilo tepelným ztrátám. V případě zpracování silikonů, elastomerů nebo reaktoplastů je zahřívání odporovými topnými elementy nahrazeno kapalným teplonosným médiem, nejčastěji v podobě oleje či vody. Důvodem k tomuto opatření je snazší regulace teploty topného elementu, pro materiály, které je nutno zahřívát při nízkých teplotách a úzkých intervalech.

U tavících komor je při výrobě kladen důraz především na kvalitu obrobení vnitřní plochy. Mezi šnekem a vnitřní stěnou tavící komory bývá velmi malá mezera (0,1 až 0,2 mm) a v případě nedokonale obrobeného povrchu by mohlo dojít k vzájemnému tření, které je nežádoucí. Tomu zamezuje hlavně granulát, který v tomto případě plní funkci maziva. Z tohoto důvodu je nutné minimalizovat pohyb šneku bez přítomnosti taveného materiálu.

Tryska

Tryska je koncovou částí tavící komory a tvoří rozhraní mezi tavící jednotkou a vstřikovací formou. Její hlavní funkcí je dosednutí vstřikovací jednotky na vtokovou vložku vstřikovací formy a vzájemné vycentrování. Po připojení vstřikovací jednotky k formě je neustále vyvíjen tlak – přítlačná síla, která zamezuje vytékání taveniny do okolí. K usnadnění připojení slouží rádius, ten je zpravidla na špičce trysky menší než na dosedací ploše vtokové vložky. Nejčastěji používané rádiusy mají rozměr 10, 15, 20 nebo 35 mm. Ne vždy je však zaoblení přítomno, v případě vstřikování do dělicí roviny je dosedací plocha rovinná.

Vnitřek trysky je konstruován tak, aby průtok materiálu byl plynulý a bez větších tlakových ztrát. To zajišťuje kanál, který se směrem k ústí rozšiřuje. Uvnitř trysky se také může nacházet filtr, který zachytává případné nečistoty v tavenině a zabraňuje tak degradaci výrobku. Délka trysky je limitována tlakem, který musí vydržet, a to od taveniny a přítlačné síly. Uchycení k tavící komoře je prováděno buď vyrobením závitu přímo na tavící komoře a trysce, nebo pomocí šroubů.

Trysky lze rozdělit na dva základní druhy, otevřené a uzavíratelné. Otevřené trysky disponují podstatně jednodušší konstrukcí a většinou bývají kratší, je proto vhodné je použít pokud je to možné. Na druhou stranu u nich ale není možné dávkovat taveninu před čelo šneku dříve, než dosedne tryska na podložku. K tomu slouží uzavíratelná tryska, u které je možno ústí trysky uzavřít a hromadit tak materiál před čelem šneku. Tohoto efektu lze jednoduše docílit umístěním uzavíracího členu na pružině před čelo šneku, který bude držet ústí trysky uzavřené. Pokud tryska dojde až ke vstřikovací podložce formy, dojde vlivem dotyku ke stlačení pružiny a materiál začne vlivem tlaku od šneka vytékat. Jako další řešení lze použít uzavírací jehlu, která je poháněna mechanickým nebo hydraulickým mechanismem.

Šnek

Jak již bylo dříve zmíněno, šnek v celém cyklu vstřikování zastupuje hned několik funkcí. Jeho činnost začíná pod násypkou, kde rotováním odebírá granulát z násypky. Tuto oblast šneku lze označit jako vstupní či dopravní. Odsud se materiál posouvá směrem k čelu šneku a je stlačován, tato část se označuje jako kompresní. V další, poslední, fázi je granulát vlivem stlačení třen o stěny válce a šneku a tím zahříván, současně do materiálu proniká teplo, které vyvíjí topné elementy umístěné na vnější straně tavicí komory a tím se granulát mění na taveninu. Tuto část lze označit jako homogenizační, neboť kromě převedení materiálu z jednoho skupenství do druhého, zde probíhá intenzivní promíchání a prohnětení taveniny plastu, za účelem rovnoměrného rozložení teploty v tavenině.

Z výše uvedených informací je zřejmé, že šnek nebude mít stejný profil po celém průřezu. Stejně tak bude odlišná i délka jednotlivých částí, která je závislá především na typu zvoleného materiálu.

Poměr L/D

Poměr L/D udává poměr mezi délkou šneku a průměrem šneku. Ten se liší v závislosti na připravovaném materiálu. Pro termoplasty je ideální poměr L/D mezi 19 – 22:1, ideálně 20:1. Pokud by byl šnek kratší, nemuselo by dojít k dostatečné homogenizaci taveniny a odvodu vzdušnosti, v případě příliš dlouhých šneků (více než 24:1) by mohlo dojít k degradaci materiálu vlivem příliš dlouhého působení tření. U reaktoplastů, silikonů či elastomerů se využívá poměru L/D přibližně 14:1. V případě většího poměru by mohlo dojít k zesílení materiálu a tím znemožnění jeho vstříknutí do formy.

Parametry závitů šneku

Jak již bylo řečeno, délka i velikost závitů je u každé části různá. Dopravní část je zabírá přibližně 60% délky šneku a její závit je nejvyšší, podle průměru šneku se výška závitů pohybuje mezi 4 a 14 mm. Druhá, kompresní, část šneku zabírá okolo 20% délky šneku a její závit je na rozdíl od dopravní a homogenizační části proměnný. V této zóně dochází k postupnému snížení výšky závitů a tedy ke kompresi materiálu. Velikost určuje kompresní poměr obou částí, většinou v rozmezí 2 až 3:1. Poslední část, která se nazývá homogenizační, zabírá rovněž 20% délky šneku a její výška závitů je rovna nejnižší výšce závitů kompresní části. Kompresní část tedy tvoří plynulý přechod mezi dopravní a homogenizační částí.

Design šneku

V závislosti na různých materiálech a aplikacích, existuje několik variant designů šneků. Ty se liší především v poměru L/D, kompresních poměrech mezi dopravní a kompresní částí, délkou jednotlivých částí apod.

Mezi nejpoužívanější patří šneky pro zpracování PVC, kde je poměr L/D menší, přibližně 18-20:1. Dále pak šneky s odplyňovací zónou, které mají za úkol odvést uvolněné plyny vzniklé tavením plastů. Kromě odplyňovacích ventilů jsou tyto šneky také výrazně kratší, jejich poměr L/D je přibližně 13 až 16:1.

Špička šneku

Špička je koncová část celého šneku a je vystavována největšímu tlaku v celé vstřikovací jednotce. Svoji konstrukcí musí zabránit zpětnému unikání taveniny do tavící komory. Ke šneku je připevněna pomocí závitu vytvořeného na špičce a šneku. Může být buď klasická nebo spirálová, např. pro zpracování PVC. Její úhel bývá 60° až 90°.

Zpětné uzávěry

Během fáze plnění a dotlaku je důležité udržet taveninu před čelem šneku. K tomu slouží zpětné uzávěry, které jsou v dnešní době již standardně používány.

2.5. Materiály pro vstřikování

Nejvhodnějším materiálem pro vstřikování je plast. Hlavním důvodem je jeho nízká teplota tání, dále pak velmi nízká hustota, schopnost tlumit rázy apod.

Plast je polymerní látka, což znamená, že se skládá z jednoho či více druhů atomů. Za běžných podmínek je to tvrdý materiál, po zahřátí se materiál stává plastickým a je možné ho tvarovat. Základní rozdělení plastů lze provést na termoplasty, reaktoplasty a elastomery.

2.5.1. Termoplasty

Termoplasty disponují schopností opakovaně přecházet z tuhého stavu do plastického, aniž by docházelo k degradaci materiálu. Díky tomu je lze snadno recyklovat. Mezi nejznámější termoplasty patří PET, PE nebo PP. V automobilovém průmyslu se pak nejvíce využívají k výrobě dílu POM nebo PA 6 / PA 66.

2.5.2. Reaktoplasty

Při současném působení chemické reakce a tepla dochází k vytvrzování neboli zesíťování molekul. Vytvrzený plast se stává tvrdým a tato podoba mu již zůstává. Na rozdíl od termoplastů ho tedy nelze opakovaně roztavit a znovu vytvrdit. Při výrazném ohřátí materiálu dochází k jeho degradaci.

2.5.3. Elastomery

Tento druh plastů disponuje především svou plasticitou. Lze ho tedy zatížit poměrně velkými silami, aniž by došlo k trvalé deformaci materiálu. Nejznámějším elastomerem je kaučuk, který se používá k výrobě pryže.

3. Vstřikovací nástroj

Vstřikovací nástroj, též označovaný jako vstřikovací forma, je komplexní systém, který musí být schopen plnit několik funkcí současně či v návaznosti na předchozí úkony. Hlavním úkolem je přivedení materiálu do dutiny formy a její naplněním. Dutina formy odpovídá tvaru vystříknutého dílu. Forma musí dále efektivně chladit, bezpečně vyjmout díl, odolávat vysokým tlakům a silám a především umožnit její cyklické fungování bez vnějšího zásahu.

3.1. Rozdělení vstřikovacích nástrojů

3.1.1. Podle násobnosti

Násobnost udává, kolik dílů bude vystříknuto během jednoho pracovního cyklu stroje.

- Jednonásobné
- Vícenásobné

3.1.2. Podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení formy

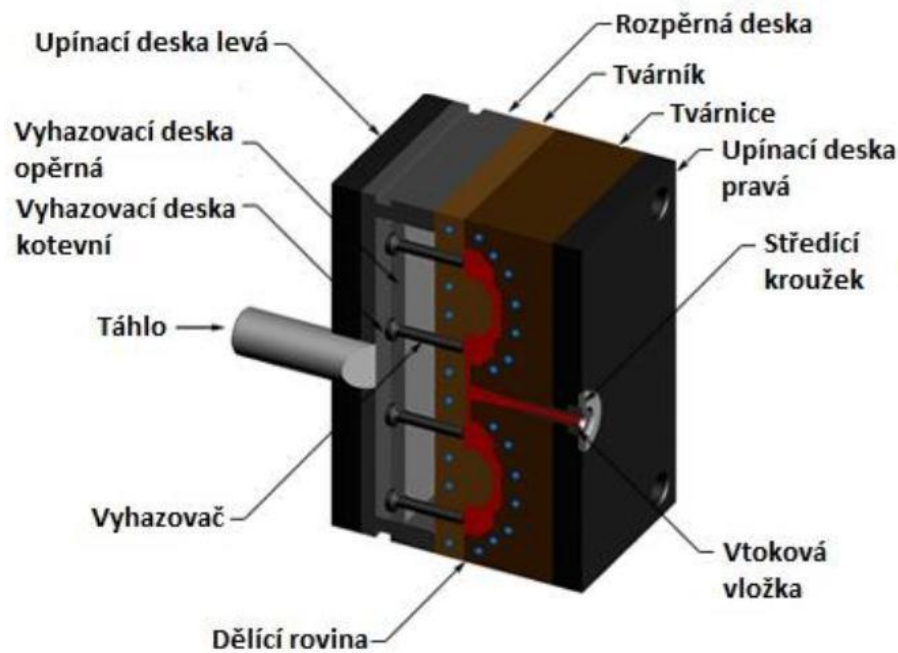
- Dvoudeskové
- Třideskové
- Etážové
- Čelist'ové
- Vytáček

3.1.3. Podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy

- Se vstřikem kolmo na dělicí rovinu
- Se vstřikem do dělicí roviny

3.2. Složení vstřikovacího nástroje

Počet součástí je u různých druhů vstřikovacích nástrojů odlišný. Všechny však musí pro správnou funkci obsahovat vtokový systém, temperační systém, vyhazovací systém, prvky pro vymezení tvaru výrobku, upínací a vodící elementy. Celý nástroj je rozdělen dělicí rovinou na pohyblivou a pevnou část.



Obr. 5 – Popis vstříkovací formy [13]

3.2.1. Vtokový systém

K zajištění správného dopravení taveniny do dutiny formy slouží vtokové systémy. Doprava taveniny by měla být co nejkratší, aby nedocházelo k příliš vysokým teplotním ztrátám, které by vedly k tuhnutí materiálu uvnitř vtokového systému. Skládá se z hlavního vtokového kanálu, rozváděcího kanálu a ústí vtoku.

Studená vtoková soustava

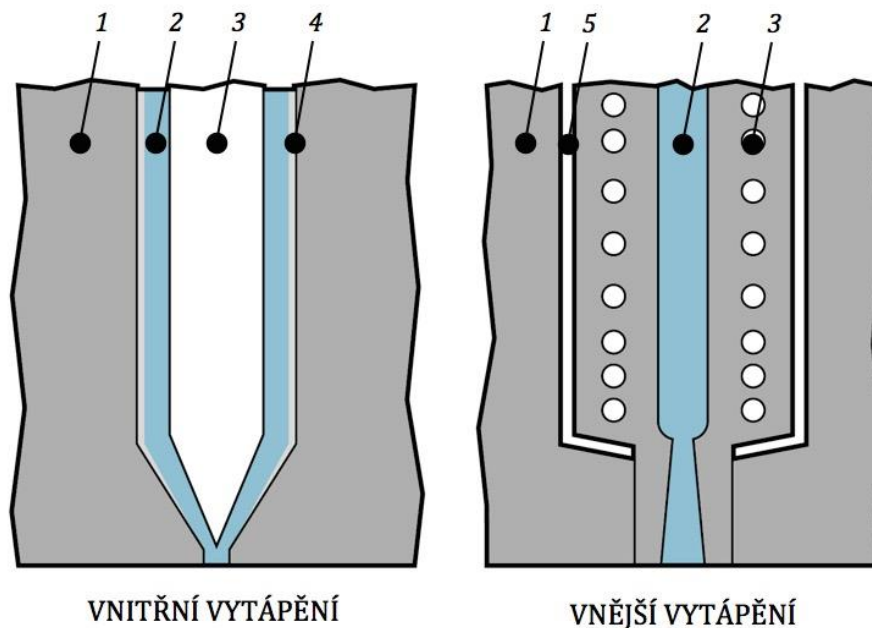
U tohoto typu vtokové soustavy tuhne materiál ve vtokové soustavě. To vede k tomu, že je při každém výrobním cyklu produkován vtokový zbytek – odpad. Ten je od výrobku oddělen během vyhazování dílu z formy nebo při konečných úpravách. Tento odpadní materiál je pak znovu možné zpracovat na granulát.

Horká vtoková soustava

U horké vtokové soustavy nevzniká žádný, nebo téměř žádný vtokový zbytek. Materiál je ve vtokové soustavě v roztaveném stavu po celou dobu pracovního cyklu. Toho je docíleno pomocí topných elementů uvnitř soustavy. Hlavní výhodou tohoto systému je tedy nižší spotřeba materiálu a tím i vyšší produktivita procesu vstříkování. Naopak nevýhodou je výrazně vyšší pořizovací cena nebo delší doba potřebná na změnu materiálu.

Pro zachování materiálu v kapalném stavu existují 2 způsoby vytápění, vnitřní a vnější. U vnějšího způsobu vytápění je udržována nastavená teplota pomocí topných těles umístěných vně kanálu určeného pro proudění taveniny plastu. V případě vnitřního vytápění je využito tzv. torpédové topné těleso, které je umístěno uvnitř kanálu určeného pro proudění taveniny.

Jeho nevýhodou je vznik zamrzlé (ztuhlé) vrstvy materiálu v místech kontaktu se studenou stěnou formy. Tyto ztuhlé vrstvy se pak mohou časem uvolnit, dostat se do dutiny formy a degradovat tak mechanicky či vzhledově vyráběný díl.



Obr. 6 - Základní provedení vyhřívání horkého rozvodu, 1 – studený materiál formy, 2 – kanál pro proudění taveniny, 3 – topné těleso, 4 – zamrzlá vrstva plastu, 5 – izolační vzduchová mezera [9]

3.2.2. Temperační systém

Klíčovým faktorem ovlivňující proces vstřikování plastů je teplota formy. Teplota má zásadní vliv na kvalitu vyráběných dílů, náklady vstřikovaného dílu, smrštění dílu a také na požadovanou kvalitu povrchu dílu. Vhodnou volbou temperačního systému lze tedy dosáhnout požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností, rozměrové přesnosti, kvalitního povrchu a především zkrácení vstřikovacího procesu.

Hlavním úkolem temperačního systému je stanovit požadovanou teplotu dutiny formy v co nejkratším časovém intervalu. Ta se liší od druhu zvoleného materiálu, viz obrázek 7. Dobu chlazení lze empiricky určit ze znalosti tloušťky nejtlustší stěny ochlazovaného materiálu, kdy 0,1 mm odpovídá přibližně 1 sekundě chlazení. Chladicím médiem bývá nejčastěji olej či voda.

TYP MATERIÁLU	DOPORUČENÁ TEPLOTA FORMY [°C]	TEPLOTA TAVENINY [°C]	DOPORUČENÁ TEPLOTA DÍLU PŘI ODFORMOVÁNÍ [°C]
PA	80 - 120	260 - 300	110 - 130
PC	80 - 100	280 - 320	140
PC + SKLENĚNÁ VLÁKNA	80 - 130	310 - 330	150
ABS	60 - 80	220 - 260	80 - 100
SAN	50 - 80	230 - 260	80 - 95
PBT	80 - 100	250 - 270	140
PBT + SKLENĚNÁ VLÁKNA	80 - 100	250 - 270	150
PP	30 - 60	200 - 250	70 - 90
PE	30 - 60	180 - 230	60 - 90

Obr. 7 - Příklad doporučených teplot v rámci procesu vstřikování vybraných typů plastů [10]

3.2.3. Vyhazovací systém

Jakmile je dokončena temperace formy a díl má v tomto procesu svoji finální podobu, přichází na řadu jeho vyjmutí ze vstřikovacího stroje. Vstřikované díly zůstávají vlivem smrštění přilepeny na dutinu tvarové části formy. K jejich vyjmutí slouží vyhazovací systémy. Vstřikovací stroj vysune svůj vyhazovací mechanismus do požadované polohy a tlakem na výrobek v předem určených místech vysune výrobek z formy. Ten vlivem gravitace padá pod vstřikovací formu, odkud je odebírán. Následuje zasunutí vyhazovacího systému zpět a cyklus se opakuje. Vysunutí a zasunutí může být prováděno pomocí mechanismu vstřikovacího stroje. Lze ale použít i variantu, kdy vstřikovací stroj vyhazovací systém pouze vysouvá a následné zasunutí proběhne uzavřením formy při novém cyklu. V případě, že kvůli zvolené technologii dochází ke tvorbě vtokového zbytku, je nezbytné, aby byl vyhazovací mechanismus schopen vyhodit i tento přebytečný materiál.

Nejčastějším typem vyhazovacích systémů je systém mechanický. Zde dochází k vyhození dílu z formy pomocí vyhazovacích kolíků, stíracích desek, stíracích kroužků apod. V některých případech však mechanický způsob nejde použít. Tato situace nastává hlavně tehdy, pokud by vlivem mechanické energie předané do výrobku mohlo dojít k jeho poškození. Jedná se především o tenkostěnné nádoby apod. V tomto případě jsou mechanické vyhazovače nahrazeny pneumatickými. Ty mají za úkol vytvořit mezi formou a vyrobeným dílem vzduchovou kapsu. Díl poté, stejně jako v případě mechanických vyhazovačů, padá dolů pod vstřikovací formu.

V případě, že se používají mechanické vyhazovače, je nutné určit jejich polohu a místo působení, protože po vyhození zůstávají na výstřiku stopy. Proto se ve většině případů volí nepohledové plochy.

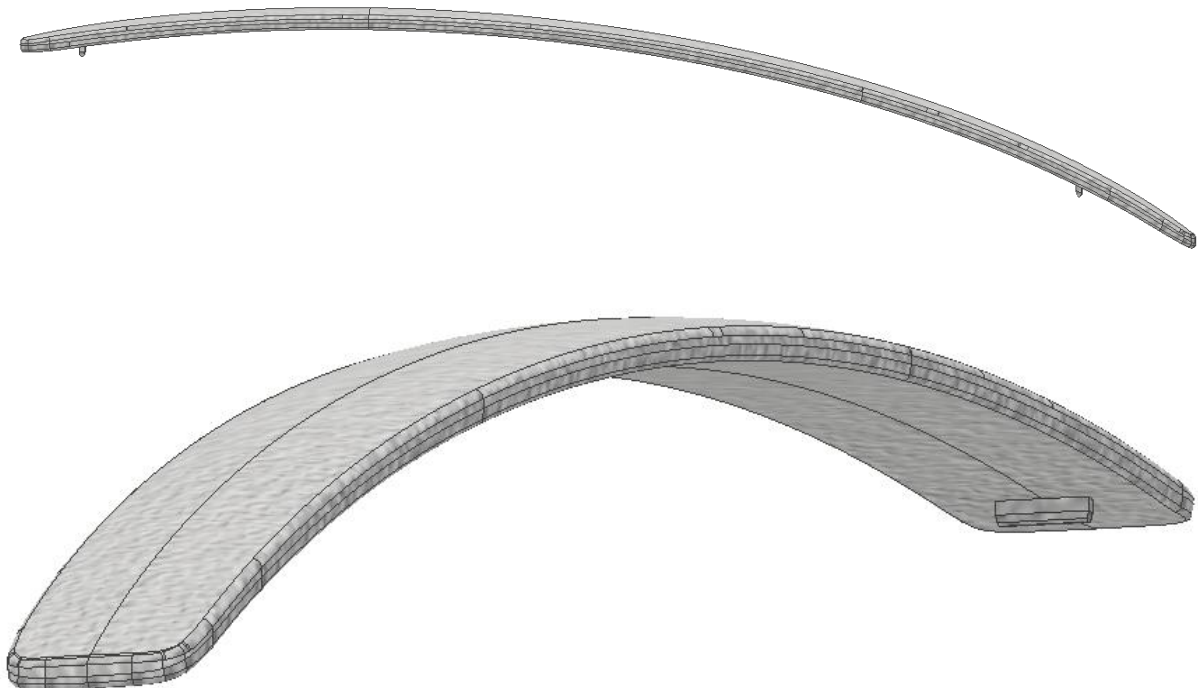
4. Praktická část

4.1. Upřesnění zadání

Cílem této práce bude navrzení vhodného řešení vstřikovacího nástroje pro požadovaný plastový díl. Po zpracování bude navržen postup uvedení daného nástroje do provozu a úkony s tím spojené. V závěru práce bude provedeno zhodnocení návrhu a provedení možných doporučení pro budoucí návrh vstřikovacího nástroje pro podobné plastové díly.

Tato práce vznikala ve firmě WITTE Nejdek spol. s r.o., jenž je jedním z největších světových dodavatelů dílů ve světě automobilů. Jejich specializace je především na vnitřní i vnější kliky, kapotové, zadní či sedačkové zámky, lišty apod.

V následujících kapitolách bude navržena forma pro plastový díl s konečnou úpravou chromování. Očekávané odběry jsou odhadovány na 90 000 ks měsíčně a výroba potrvá 7 let. Po uplynutí 7 let sériové výroby bude pak firma WITTE muset dodávat náhradní díly po dobu 15 let, jejich množství však bude několikanásobně menší než při sériové výrobě.



Obr. 8 - Zadaný díl

4.2. Materiál výstřiku

Díly budou vyráběny z Polyamidu PA6. Polyamid má výborné mechanické vlastnosti, je vysoce odolný vůči otěru, opotřebení a stárnutí.

4.2.1. Smrštění

Každý plastový díl se po plastikaci smrští. U některých je tato hodnota smrštění vysoká a to až v řádu několika procent, u jiných naopak nízká v řádech setin až desetin procenta. Z tohoto důvodu je tvarovou dutinu formy nutno konstruovat větší. V případě Polyamidu 6 se tato hodnota pohybuje od 0,5 do 1,5 %. Velikost výsledné dutiny navrhuji pouze o 0,5% větší s tím, že pokud by výsledné rozměry dílu neodpovídaly požadavkům, tvarová dutina by se dodatečnými úpravami mohla ještě zvětšit.

Polyamid 6				
Hustota[g/cm]	Modul pružnosti [MPa]		Teplota tání [°C]	Navlhavost [%]
	Suchý stav	Mokrý stav		
1,10-1,14	1100-3500	1000-2500	215-225	2,5-3,0

Tabulka 1 - Základní fyzikální a mechanické vlastnosti Polyamidu 6 (vybrané vlastnosti z materiálového listu)

5. Návrh parametrů formy

Při návrhu formy je důležité znát co nejvíce informací nejen o výrobku, ale i o celém projektu, ke kterému výrobek náleží. Jelikož možností, jak formu navrhnout, je nespočet a všechna má svoje pro a proti, je nutno určit si kritéria, která budou pro návrh rozhodující. Tím může být například kvalita, která bude vysoká na úkor enormní ceny. Proto je vhodné zvážit všechny varianty. Asi nejdůležitější vlastností, kterou je nutno znát, je rozsáhlost celého projektu. Pokud je forma vyráběna pro malovýrobu, bude diametrálně odlišná od té, která by byla vyráběna pro masovou výrobu několika set tisíc kusů ročně.

5.1. Navržení počtu kavit

Ze zadání je známo, že je potřeba zákazníkovi dodat 90 000 ks měsíčně. Nyní je potřeba znát celkový čas jednoho cyklu, ten odhaduji na 20s. Z toho plyne, že proběhnou 3 cykly za 1 minutu, respektive 180 cyklů za hodinu. Počet hodin, kdy bude stroj v provozu, odhaduji na přibližně 7 hodin denně. To je 1260 cyklů za den. Dny, kdy bude stroj v provozu, odhaduji na průměrně 20 dní za měsíc. Měsíční počet cyklů je tedy přibližně 25 200. Celkový počet kavit získám po vydělení počtu kusů za měsíc počtem cyklů za měsíc.

$$90\,000 / 25\,200 = 3,571$$

Počet kavit musí být celé číslo, proto volím počet kavit roven 4. Do návrhu počtu kavit je nutno uvažovat zmetkovitost neboli nepovedené kusy. Ta mi byla odborníky z WITTE Automotive určena přibližně na 3% u vystříknutých dílů před chromováním a 5% u dílů po chromování. Nyní je potřeba ověřit, zda počet kavit = 4 bude dostačující i při této zmetkovitosti.

$$90\,000 + (90\,000 * 0,03) + (90\,000 * 0,05) = 97\,200 \text{ [ks/měs.]}$$

$$97\,200 / 25\,200 = 3,857$$

$$3,857 < 4$$

Z výpočtu je vidět, že i při vyrobení více než 7 000 nepovedených kusů měsíčně je kapacita dostačující.

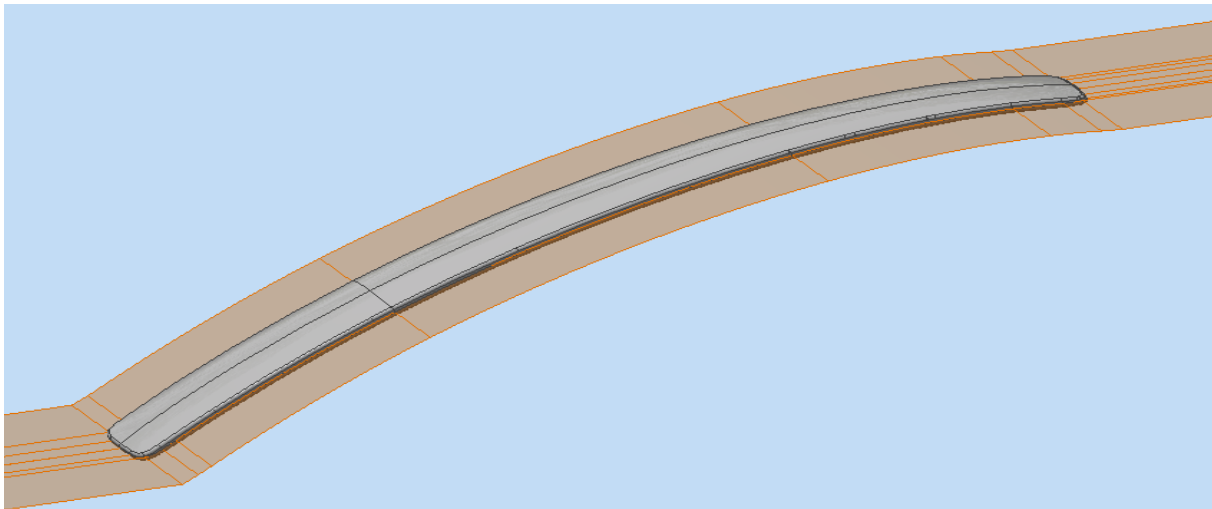
5.2. Rozmístění kavit

Pokud je znám počet kavit ve formě, lze určit jejich rozmístění. Ty by mely být pokud možno co nejbližší u sebe, je však nutno dbát na to, aby se do mezer mezi jednotlivými kavitami vešly temperační kanálky. Zároveň je vhodné, aby tavenina ke každé z dutin urazila stejnou cestu za stejný čas. Zamezí se tak nerovnoměrnému rozložení taveniny v dutinách a tím i nestabilitě procesu. Pro toto řešení se nejvíce hodí rozmístění 2:2, kdy forma bude nejsnáze dosahovat normalizovaných rozměrů. Nebude totiž ani příliš dlouhá, ani příliš široká.

5.3. Návrh dělicí roviny

Jelikož se jedná o díl s pohledovou plochou, je nutné vhodně zvolit dělicí rovinu formy. To je především z toho důvodu, že dělicí rovina zanechává na vystříknutém díle stopu – zástřík. Ten by pak byl vidět na výsledném díle a bylo by nutné povrch zbrousit, což je u velkosériové výroby nevhodné.

V tomto případě je tedy pouze jediná možná dělicí rovina, kdy zástřík nebude vznikat na pohledové ploše.



Obr. 9 - Dělicí rovina

5.4. Umístění vyhazovačů

Ke správnému určení umístění vyhazovačů je důležité znát stranu, kterou zůstane díl vlivem smrštění „sevřen“ ve formě. Při pohledu na díl lze určit pouze jediné místo, kde k takovému jevu dochází. Je to oblast mezi dvěma pacičkami, díky kterým bude díl do finálního výrobku zapadat. Dalším aspektem při rozhodování o umístění vyhazovačů je přítomnost pohledové plochy. Na té nesmí být v žádném případě vidět stopy po vyhazovačích. Z těchto důvodů budou vyhazovače umístěny na straně s pacičkami, na které dochází ke smrštění a není pohledová.

5.5. Návrh vtoků

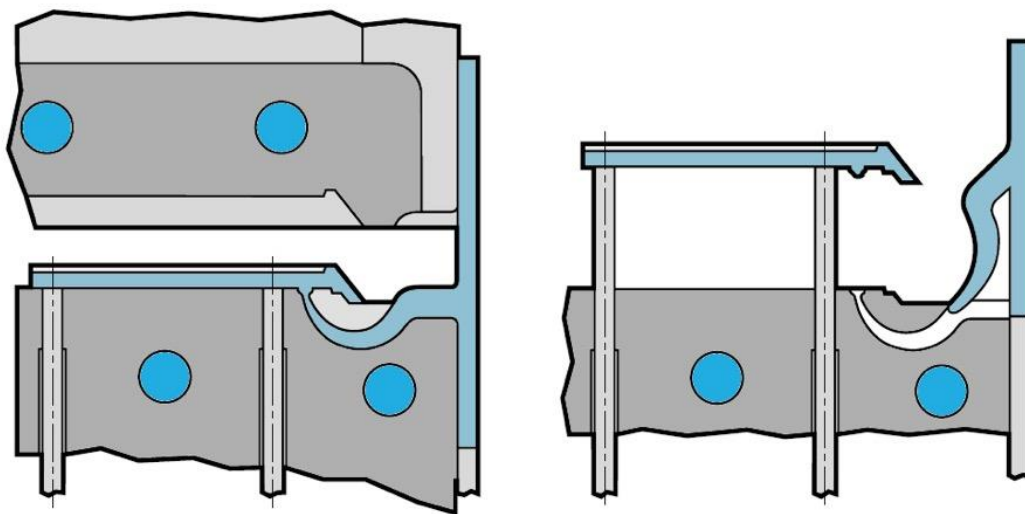
Jak již bylo zmíněno, lze mít buď vtoky studené, horké nebo kombinované. Studené vtoky se využívají především pro malovýrobu, a to zejména proto, že produkují poměrně velké množství vtokového zbytku, tedy odpadu, který je sice možno dále roztavit a použít, není to však kvůli dalším finančním výdajům vhodné. Horké vtoky mají někdy i několikanásobně

vyšší pořizovací cenu. Vezmu-li však v potaz to, že doba trvání projektu je 7 let a vyrobí se při něm přibližně 7 500 000 kusů, jsou dle mého horké vtoky jasnou volbou.

V tomto případě však není možné jednoznačné použití horkých vtoků bez vtokových kanálků. Díl, pro který je forma navrhována, má jednu stranu pohledovou. To znamená, že na této straně nesmí být vidět žádné stopy po vyhazovačích, vtocích či po dělicí rovině. Podmínku vyhazovačů jejich umístění splňuje, jelikož jsou umístěny na nepohledové straně, podmínku splňuje i dělicí rovina. Problém nastává při návrhu vtoků, kdy materiál přitéká přímo do pohledové části dílu. Pokud by byl zvolen vtok rovnou do dílu, zůstávaly by na něm stopy po vstřikování. Jedinou možností je tedy zvolení kombinovaného vtokového systému, tedy systému, kde bude využit jak horký vtokový systém, tak studený.

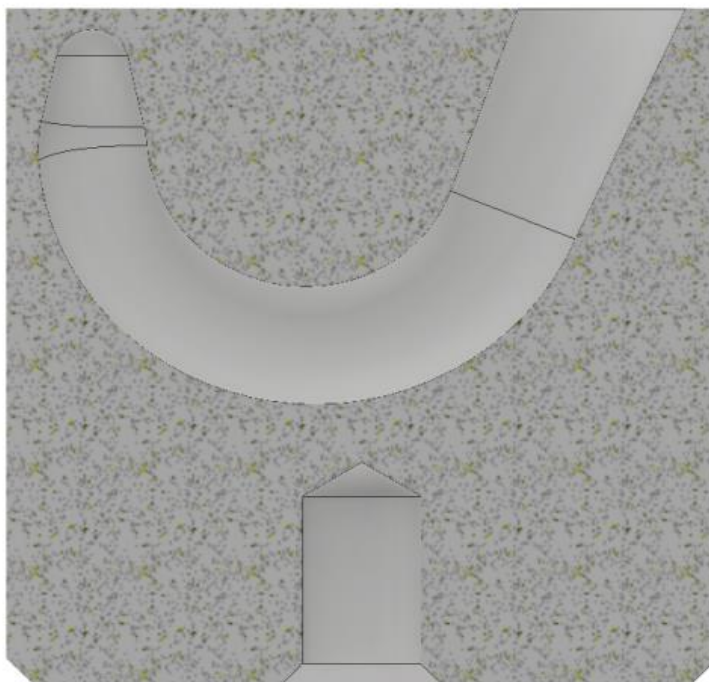
5.5.1. Umístění vtoků

Ideálním řešením pro tuto formu je banánový vtok. Banánový vtok umožňuje díky svému tvaru přívod materiálu z jedné strany a dopravení ze strany druhé. V tomto případě tedy umožňuje přívod do nepohledové strany. V celém banánovém vtoku a v kanálku, kterým do něj materiál teče, pak zůstává vtokový zbytek. Ten je z formy odstraněn pomocí vyhazovačů.



Obr. 10 - Banánové ústí vtoku [9]

Banánový vtok je kvůli své složité výrobě elektroerozivním obráběním nejčastěji dodáván ve formě polotovaru (vločky) od specializovaných výrobců. Ti vyrábí banánové vtokové vločky v mnoho různých variantách v závislosti na typu materiálu a na hmotnosti výstřiku. Tato vločka bude nakoupena od firmy Exaflow o rozměrech 25x10x25 z martenzitické korozivzdorné oceli DIN 1.4028. Na stránkách výrobce je tabulka hodnot, které o průměrech kanálků uvnitř vločky rozhodují. V případě tohoto plastového dílu, jehož hmotnost je 22 g a bude vyráběn z materiálu Polyamid 6, který má oproti jiným plastovým materiálům poměrně nízkou viskozitu, je nejvhodnější normalizovaný průměr 1,2 mm. Vtokovou vločku je pak nutno obrobit tak, aby kopírovala tvar vyráběného dílu.



Obr. 11 - Vložka banánového vtoku v řezu

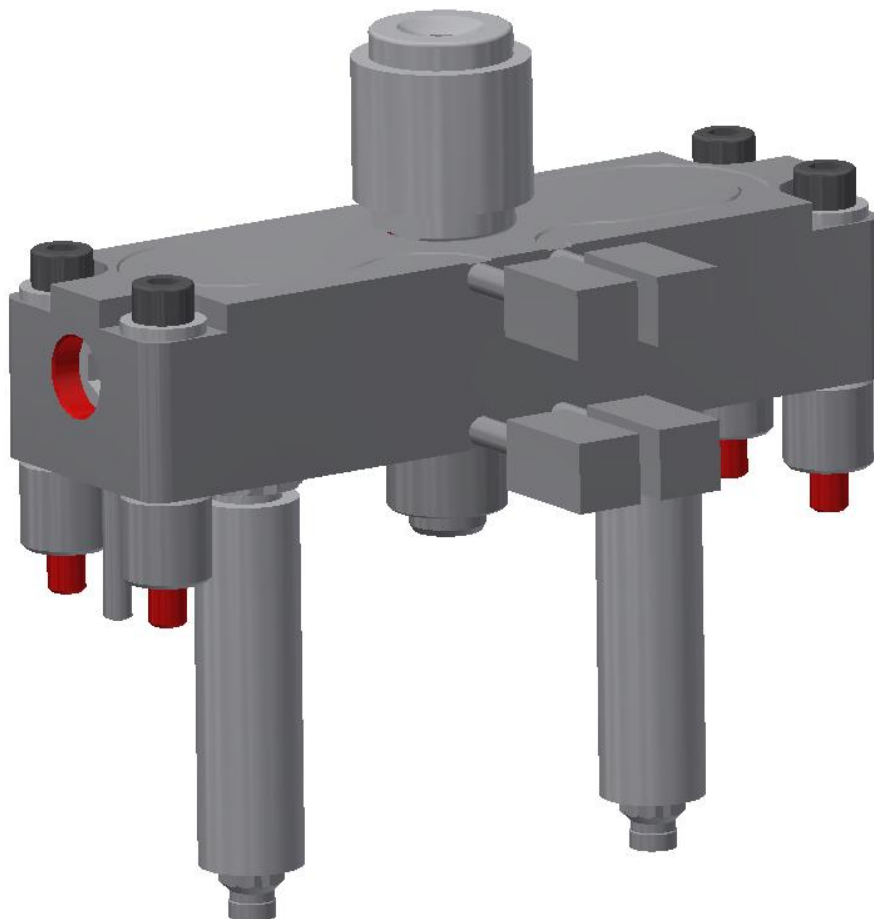


Obr. 12 - Vložka banánového vtoku obrobená do tvaru dílu

K této vložce povede z horké trysky kanálek, kterým bude přitékat materiál. Jeho vlastnosti se odvíjí od faktu, zda z trysky bude materiál dávkován do jednoho nebo dvou kanálků. V případě, že bude dávkován do dvou, je nutno vytvořit kousek od ústí trysky 2 špalky, do jejichž středů bude umístěn vyhazovač. Při vyhazování pak dojde k odstranění „banánového“ zbytku, který z vložky vlivem tlaku vyhazovače odpruží. Délka kanálku, délka špalku a průměr špalku je určen z tabulek výrobce, kde se rozměr určuje v závislosti na viskozitě vstříkovaného materiálu.

5.6. Návrh součástí horkých vtoků

Horký vtokový systém, včetně všech komponent, bude nakoupen od firmy Meusburger. Ten se skládá z rozvodového bloku, topení rozvodového bloku, trysek, ústí trysek, hlavního vtokového kanálu s tepelnou bandáží a středícího kroužku. K systému by mohla být ještě dokoupena zažehlovací jehla, ta je však vzhledem k faktu, že tavenina z jehly poteče do rozvodového kanálku, nikoliv přímo do dílu, zbytečná.



Obr. 13 - Sestava horkých vtoků [1]

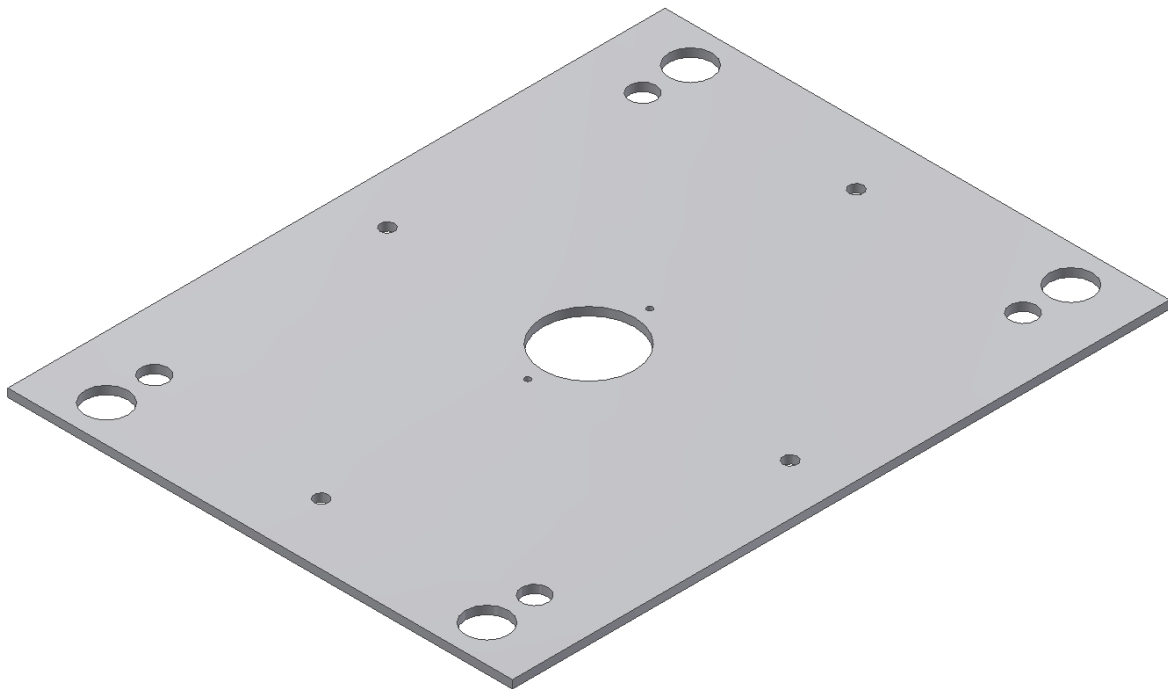
6. Návrh formy

6.1. Návrh nepohyblivé části formy

Nepohyblivá část formy se bude skládat z 5 desek - vložka, rám, mezilehlá deska, upínací deska, izolační deska a v celém vstřikovacím stroji je umístěna pevně na straně, odkud přitéká materiál.

6.1.1. Izolační deska

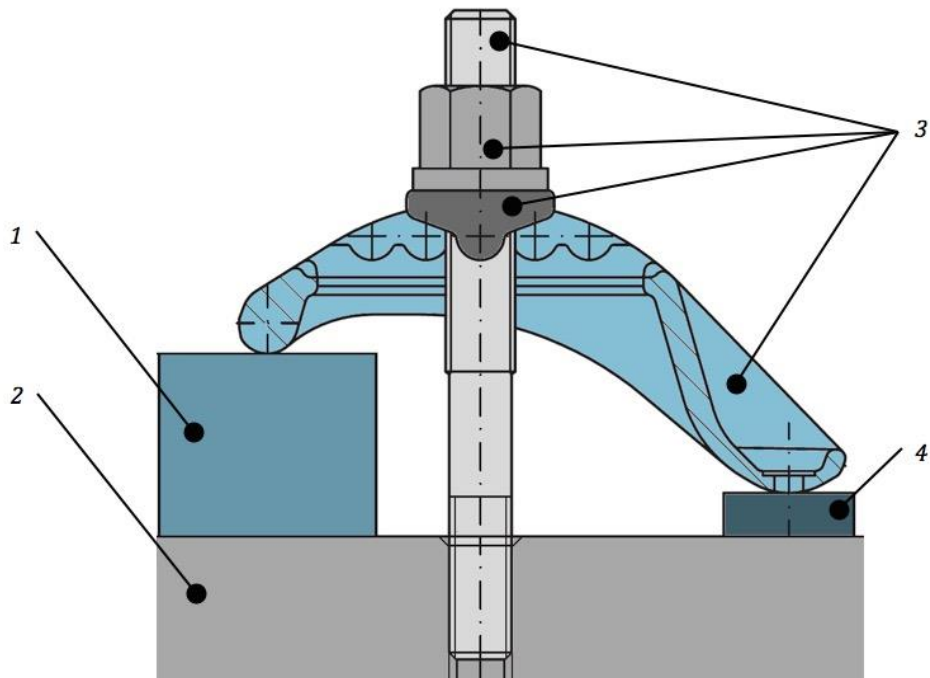
Jelikož ve formě s horkými vtoky dochází k vytápění horkého vtokového systému, je vhodné ji od chladnějšího okolí izolovat. K tomu byla použita izolační deska o rozměrech 446x646x8. Kromě děr pro šrouby spojující desku a pro vodící válce byly do desky vyvrtány díry pro připevnění k upínací desce. Dále otvor pro vtokovou vložku a díry pro její upevnění.



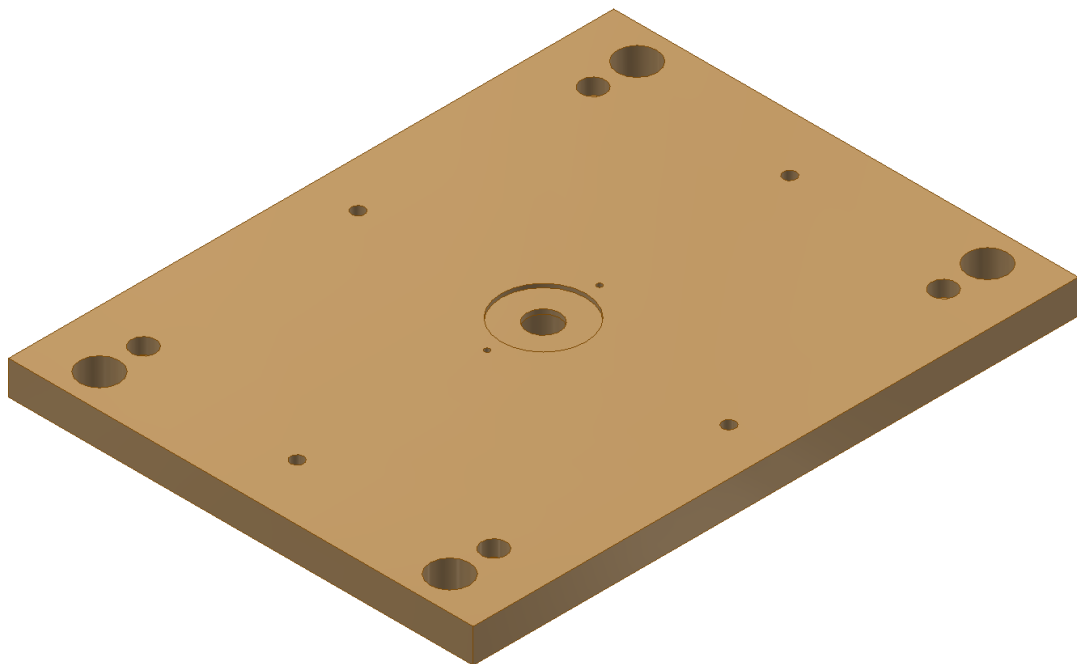
Obr. 14 - Izolační deska nepohyblivé části formy

6.1.2. Upínací deska

Upínací deska umožňuje upnutí formy ke stroji. To se dá provést buď mechanicky, hydraulicky nebo magneticky. Pro tento případ byl zvolen mechanický způsob. Ten je realizován pomocí upínací desky formy, upínací desky stroje, upínky a podpěry. Do desky o rozměrech 496x646x36 byly vyvrtány otvory pro připojení izolační desky a středícího kroužku a díra pro horký vtokový systém.



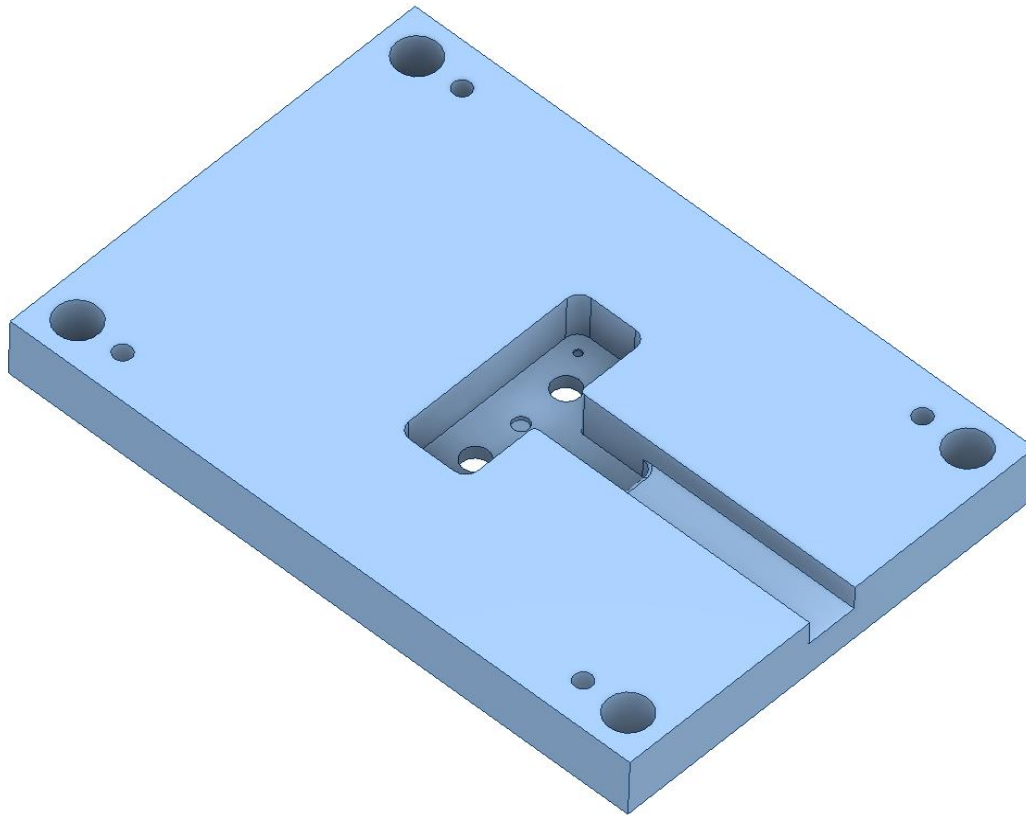
Obr. 15 - Schéma upnutí pomocí upínky, 1 – upínací deska vstříkovací formy, 2 – upínací deska vstříkovacího stroje, 3 – upínka, 4 – podpěra [11]



Obr. 16 - Upínací deska nepohyblivé části formy

6.1.3. Mezilehlá deska

V mezilehlé desce o rozměrech 446x646x86 je umístěn největší podíl komponent horkého vtokového systému. Deska je obrobena do požadovaného tvaru dle typu a velikosti vtokových komponent, zároveň jsou vyhloubeny vývody pro kabeláž. Mimo to jsou zde, jako u upínací desky, otvory pro vodící válce a díry pro šrouby.



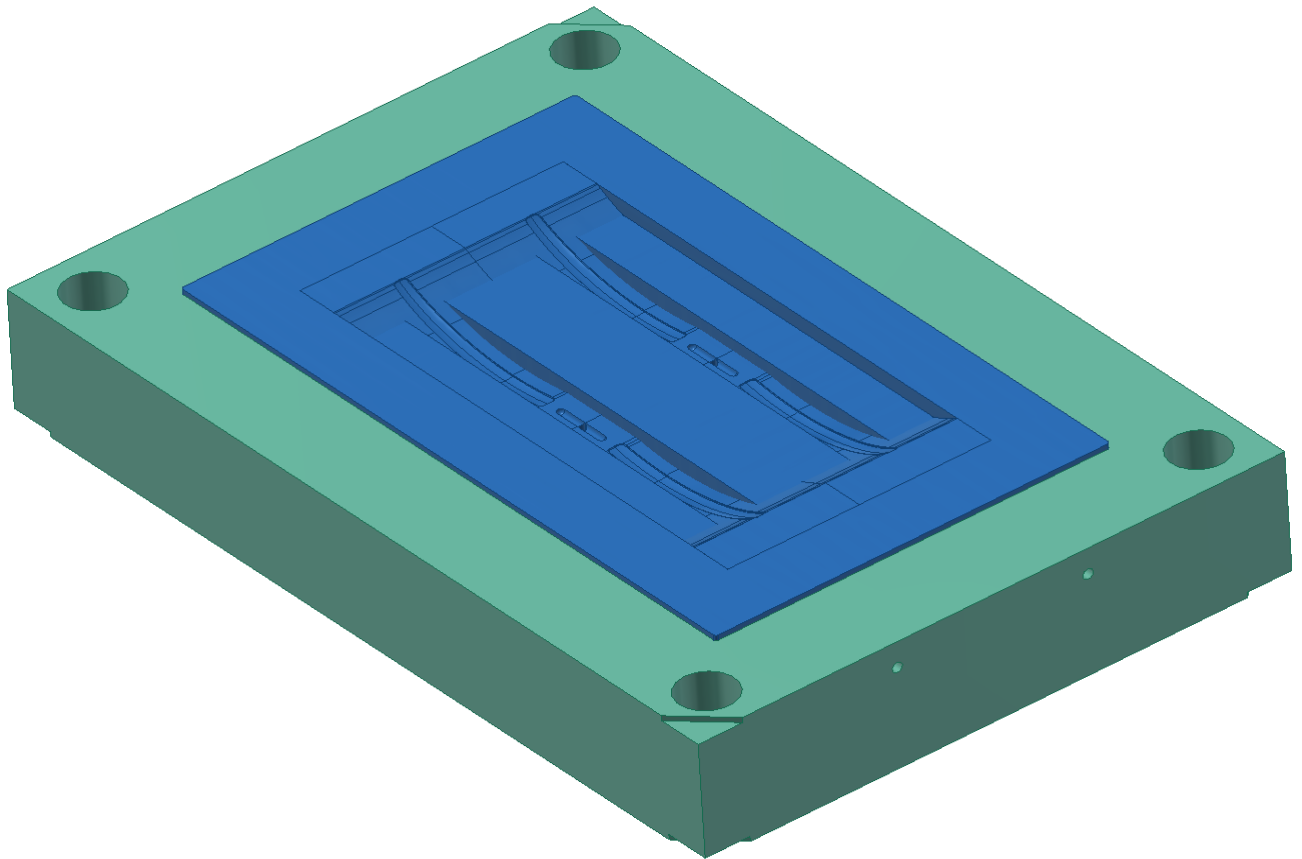
Obr. 17 - Mezilehlá deska

6.1.4. Tvarová vložka

Aby bylo možné s tvarovou částí snadno manipulovat a v případě znovu výroby byla cena nižší, bývá realizována v podobě vložek. Vložka je část vstřikovací formy, která určuje tvar daného výstřiku a je umístěna v rámu. Při pracovním cyklu na sebe dosedají plochy vložek (nikoliv rámu), proto je nutné zajistit dostatečnou stykovou plochu. Vložka horní části byla vyrobena z polotovaru o rozměrech 346x546x56, jejíž plocha byla obrobena do tvaru výstřiku. Do vložky se následně vyvrtaly temperační kanálky, které jsou umístěny podélně s výstřikem, a jejich cesta je vedena pomocí záslepek. Vtokové kanálky jsou umístěny tak, aby vedly do vložky umístěné v pohyblivé části formy.

6.1.5. Rám

Do rámu se ukládá vložka a spojení je provedeno pomocí šroubů. Je nutné, aby byla deska dostatečně mohutná a zvládala odolávat vysokým přítláčným silám stroje, aniž by se prohýbala. To by mohlo mít za následek netěsnost vložek a tím i vadný výstřik. Pro tuto formu byla zvolena deska o rozměrech 446x646x86.



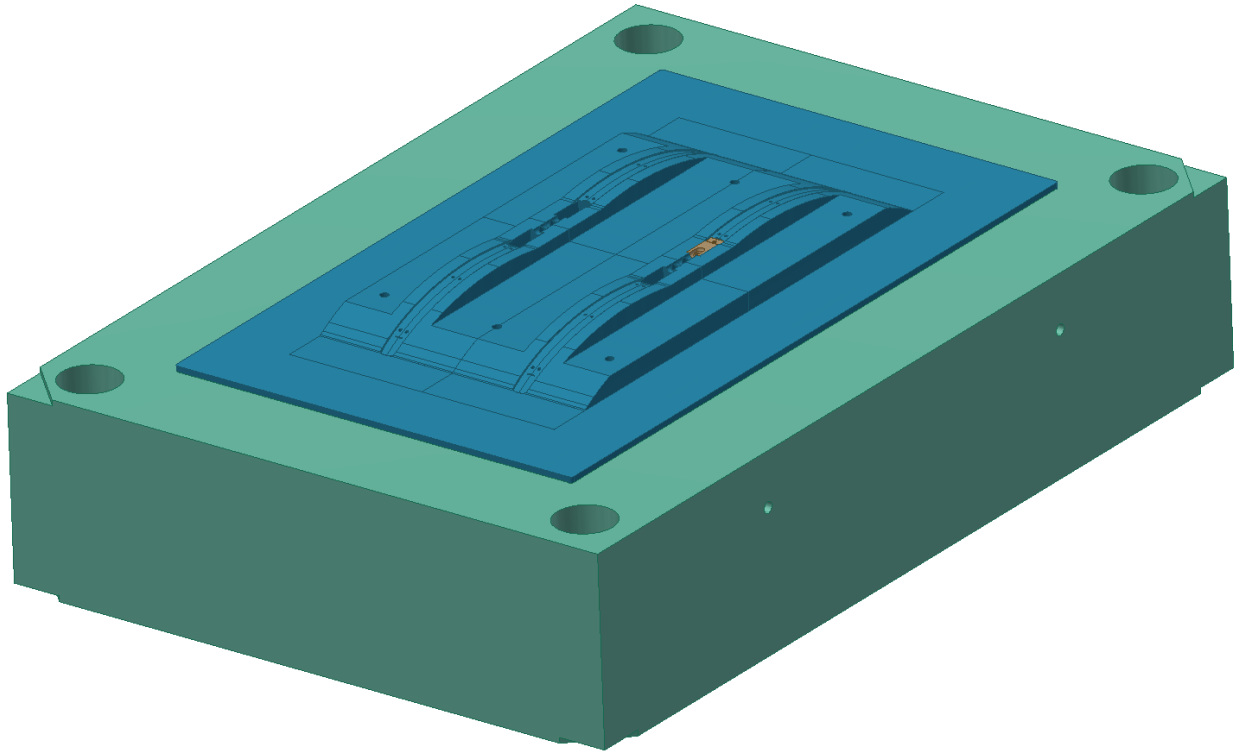
Obr. 18 - Rám a tvarová vložka nepohyblivé části formy

6.2. Návrh pohyblivé části formy

Pohyblivá část formy se skládá z 6 částí - tvarová vložka, rám, vodící lišty, vyhazovací set, upínací deska, izolační deska.

6.2.1. Tvarová vložka a rám

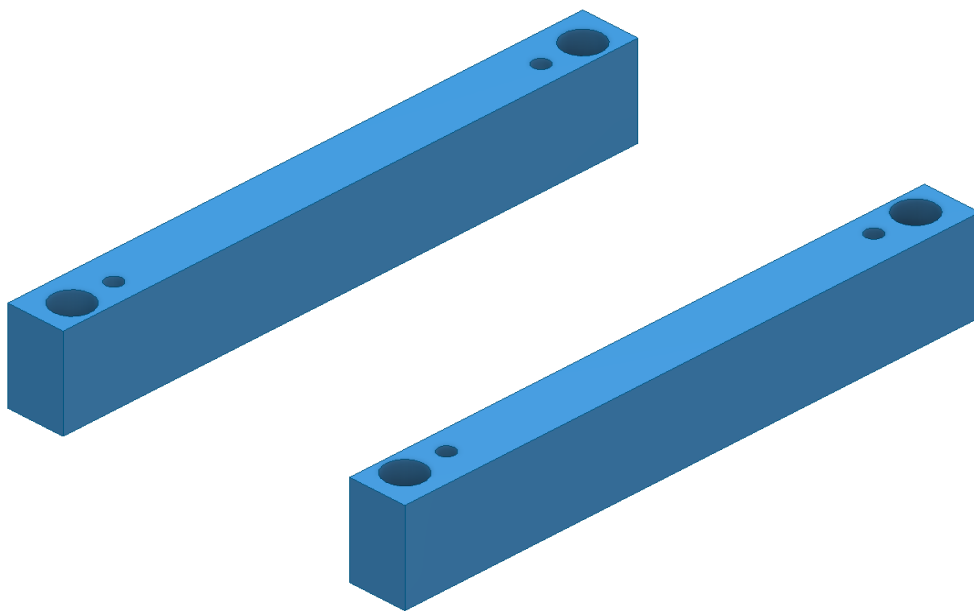
Tvarová vložka pohyblivé části je v tomto případě složitější než tvarová vložka části nepohyblivé. Jsou zde totiž umístěny obrobené vtokové vložky banánového vtoku. Z toho důvodu je nutno pro ně vyhloubit otvor, do kterého zapadnou. Dále je nutno vyvrtat otvory, pomocí kterých budou k tvarové vložce připojeny. V tomto případě má vložka a rám rozměry 346x546x76 a 446x646x116.



Obr. 19 - Rám a tvarová vložka pohyblivé části formy

6.2.2. Vodicí lišty

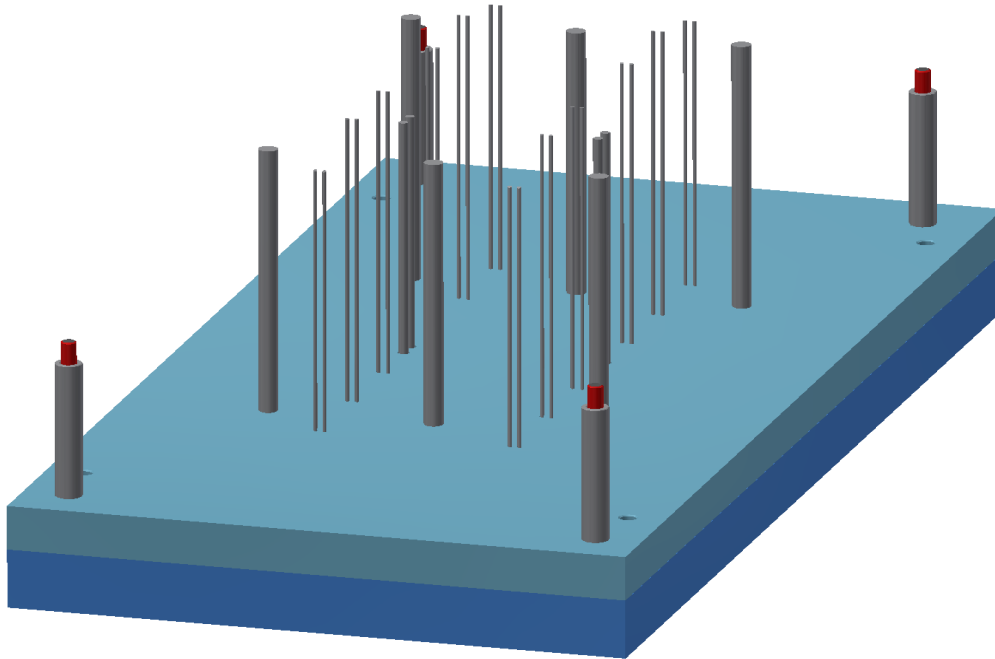
Vodicí lišty jsou umístěny mezi rámem tvarové vložky a upínací deskou. Jejich úkolem je vymežit prostor mezi těmito dvěma deskami pro uložení vyhazovacího setu. Obě lišty mají rozměr 60x646x96.



Obr. 20 - Vodicí lišty

6.2.3. Vyhazovací set

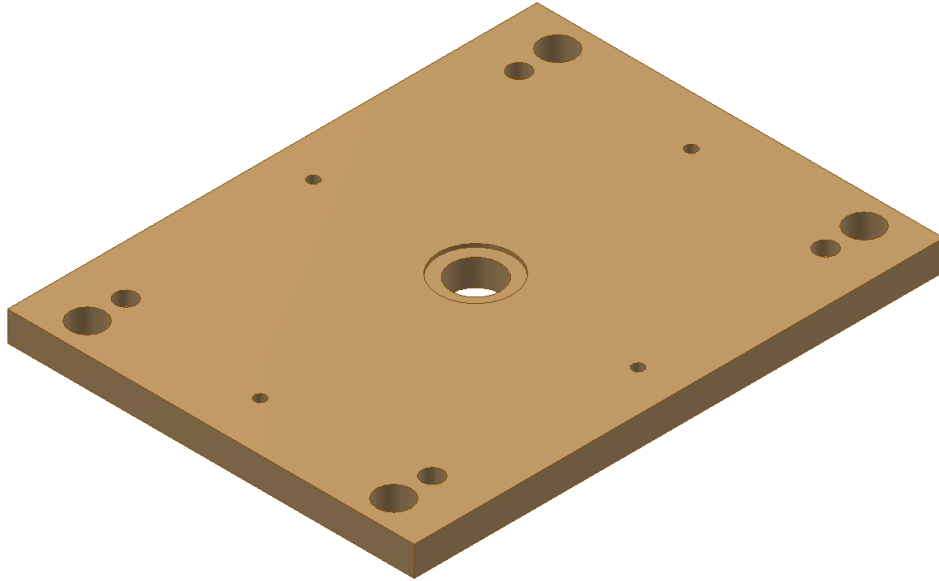
Vyhazovací set, který je umístěný mezi rámem tvarové vložky a upínací deskou, má za úkol odformování výstřiku a vtokových zbytků z formy. Skládá se z 24 vyhazovacích dílů E 1711 Ø2 mm se zajištěním proti pootočení, 4 vyhazovačů vtokového zbytku E 1700 Ø5 mm, vymešovacích tyčí Ø10 mm a vodících sloupků E 1064. Zespoda jsou umístěny tzv. dorazy, které tlumí nárazy vyhazovacího setu o upínací desku při zpětném pohybu. Desky mají rozměry 322x646x17 – vrchní deska a 322x646x22 – spodní deska. Všechny použité díly jsou od firmy Meusburger.



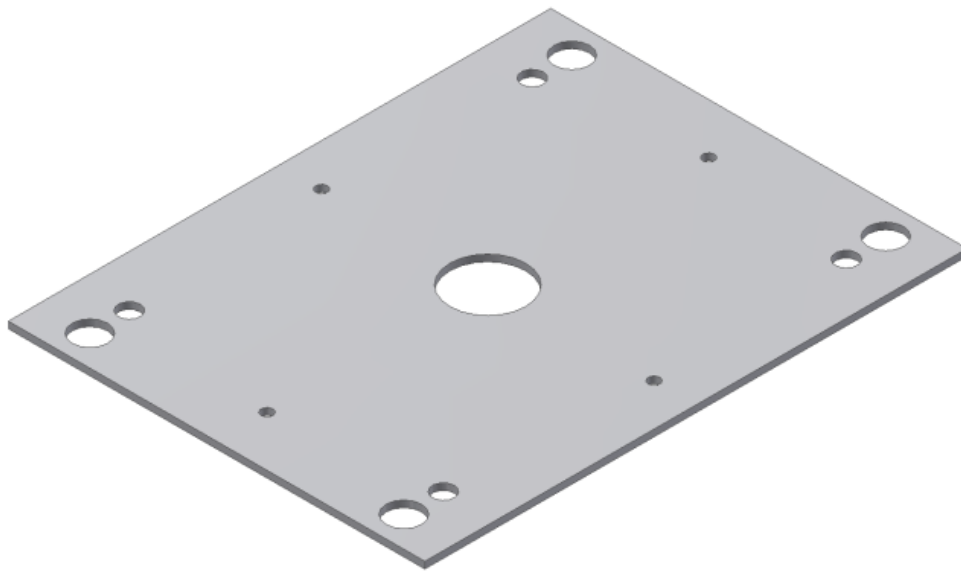
Obr. 21 - Vyhazovací set

6.2.4. Upínací a izolační deska

Podobně řešeny jako u nepohyblivé části formy, pouze s rozdílným průměrem otvoru uprostřed. V tomto případě totiž neslouží jako otvor pro ústí horkého vtoku a vtokové vložky ale pro vyhazovací trn.



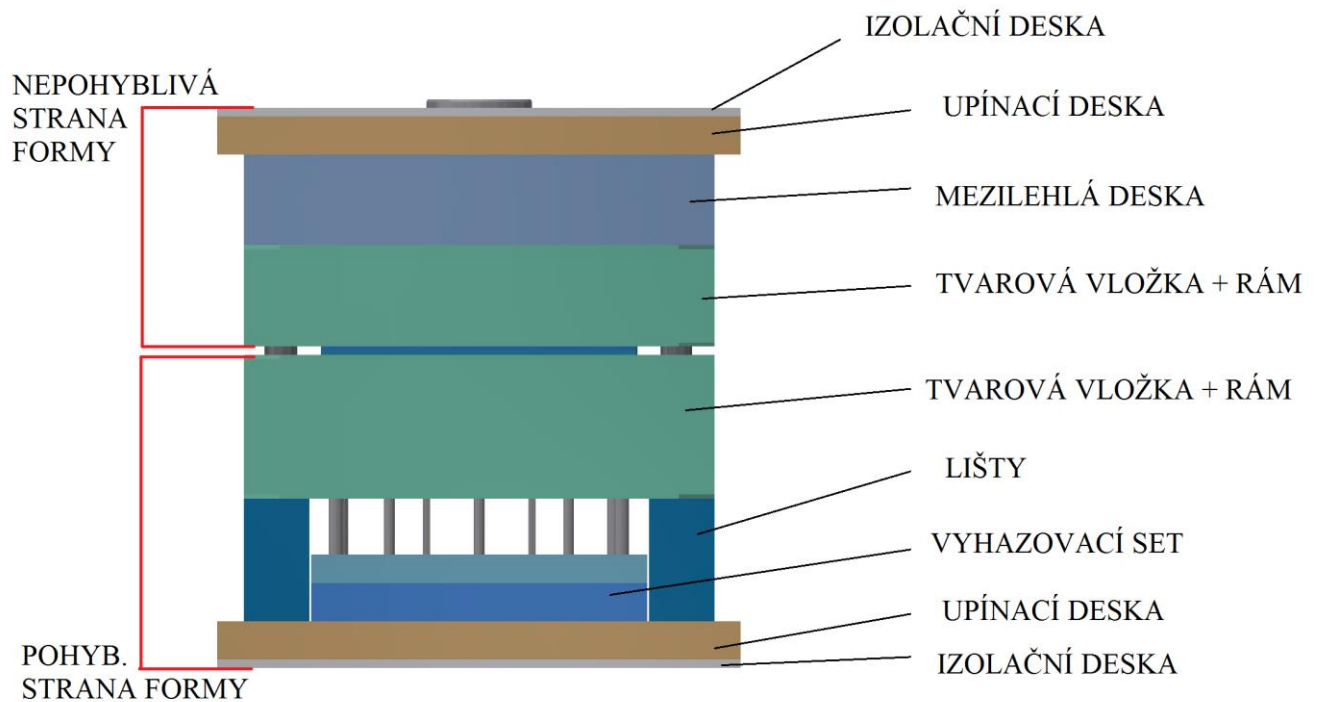
Obr. 22 - Upínací deska pohyblivé části formy



Obr. 23 - Izolační deska pohyblivé části formy

6.3. Materiál desek

Materiál všech desek jsem dle katalogu výrobce, kterým je Meusburger, zvolil nástrojovou ocel DIN 1.1730 (ČSN 19 083). Ocel 19 083 je uhlíková ocel s dobrou obrobiteľnosťou a houževnatostí, vhodná ke kalení.



Obr. 24 - Výsledná podoba vstříkovací formy

7. Uvedení do provozu

Při uvedení do provozu je nutno před spuštěním sériové výroby ověřit, že jsou výrobky zhotoveny v požadované kvalitě. Jelikož se jedná o pochromovaný díl, je nutno zkoušky provádět především po pochromování. V případě, že zkoušky nebudou úspěšné, je nutné provést nápravná opatření na formě či na procesu vstříkování. Pakliže budou díly v pořádku, je nutno odeslat několik vzorků i zákazníkovi, který provede své vlastní zkoušky na dílech.

7.1. Schvalovací proces ve WITTE

7.1.1. Zkoušky na vystříknutých dílech

Na vystříknutých dílech je nutné provést přímé vizuální zkoušení. Při něm se bude pozorovat kvalita vystříknutého dílu. Hlavním zájmem pozorování bude zjištění, zdali se na vystříknutém dílu nacházejí nějaké povrchové vady. Ty mohou být například v podobě příliš velké stopy po dělicí rovině, otřepů apod. Zkoušení bude provedeno pod umělým světlem o vysoké intenzitě. Pakliže je vzhled dílů vyhovující, je nutné provést přeměření jejich rozměrů a určit, zda jsou díly v toleranci. Jediné mechanické testy na vystříknutém dílu před chromováním bude ověření jeho schopnosti nasazení a setrvání v sestavě celé kliky.

7.1.2. Chromování dílu

Chromování bude provedeno pomocí metody pokovování u externí firmy Sigmaplast a.s., se kterou společnost WITTE již dlouhodobě spolupracuje, a která se na tuto činnost specializuje. Pochromování bude provedeno pomocí nanesení vrstvy mědi a niklu, na kterou bude následně nanesen chrom.

7.1.3. Zkoušky na pochromovaných dílech

Na pochromovaných dílech budou provedeny klimatické a mechanické testy, které jsou většinou definovány zákazníkem. Jejich úkolem je zjištění, zdali je pochromovaný díl schopen odolávat těžkým teplotním a vlhkostním podmínkám a namáhání. Průběh zkoušek bude spočívat v cyklickém zvyšování a snižování teploty okolí a zvyšování a snižování vlhkosti okolí. Pozorovat se bude především kvalita chromované vrstvy, zda nedochází k jeho loupání apod. Mechanické namáhání v tomto případě pravděpodobně nebude žádné, potažmo bude takové, jaké určí zákazník.



Obr. 25 - Ukázka klimatické komory [12]

Pokud veškeré zkoušky budou vyhovovat, bude možné prohlásit schvalovací proces za úspěšný a uvolnit díly ke zkouškám zákazníkovi.

7.2. Schvalovací proces u zákazníka

Zákazník bude jako první zkoumat vzhled pochromovaného dílu, především jeho barvu a odstín. Pokud dojde ke schválení vzhledu, budou díly namontovány na automobil, pro který jsou určeny. Zde bude ověřena především jejich funkčnost.

8. Zhodnocení

Mnou navržená forma je 4 kavitová a po vydělení počtu očekávaných dílů s počtem kavit se počet cyklů na pokrytí celého projektu odhaduje na 1 875 000 cyklů. Ve firmě WITTE je dle zkušeností životnost formy přibližně 1 milion cyklů. Z hlediska životnosti by se mohla forma zdát jako nevyhovující, ale byla navržena hlavně pro potřeby firmy WITTE a ta disponuje především menšími vstřikovacími stroji, které mají menší uzavírací sílu. Kdyby se počet kavit zvýšil na 8, tak by vyhovovala z hlediska životnosti, ale byla by příliš velká a to není v tomto případě žádoucí. Po 4 milionech vystříknutých dílů bude nutné provést generální prohlídku nástroje. Poté se zhodnotí, zda je výhodnější provést údržbu stávajícího nástroje nebo zakoupit nový.

Jelikož se jedná o pohledový díl, mohl by se navrhnout jiný způsob odformování vystříknutých dílů z formy. V tomto případě je to pomocí vyhazovačů, hrozí zde ale riziko, že se u dílů po vyhození poškodí pohledová strana. Tomuto jevu by se dalo zabránit pomocí robota, který by díly z formy odebíral. Je to ovšem mnohem finančně nákladnější varianta než v případě vyhazovačů.

Pro zvolení varianty horkých vtoků jsem se při návrhu rozhodl především kvůli velkému množství vyrobených dílů a tím i finančním úsporám. U dílů, které by např. neměly pohledovou stranu, a materiál by mohl být vstřikován odkudkoliv, by však volba horkých vtoků nemusela být až tak jednoznačná i při tak velkém počtu vyrobených kusů. V tomto případě by bylo nutné spočítat množství vtokového zbytku, který vznikne při vstřikování a spočítat, zda se koupě horkých systémů vyplatí.

Tyto poznatky by se daly využít při návrhu dalších forem pro plastové díly, nejsou však univerzální. Vždy záleží na specifických parametrech každého projektu a na vlastnostech dílu. V tomto případě jsem navíc zjistil, že i když se v tomto případě jedná o konstrukčně poměrně jednoduchý díl, kvůli pohledové straně jsem musel zvolit značně složitější řešení.

9. Závěr

V první části bakalářské práce jsem obecně popsal vstřikovací stroje, které se nejčastěji používají. Poté jsem popsal funkci vstřikovací jednotky a jednotlivé fáze vstřikování. Dále jsem definoval, pro které materiály je vstřikování nejvhodnější. V poslední fázi teoretické části jsem popsal vstřikovací nástroj a systémy, které obsahuje.

V druhé části jsem se zabýval samotným návrhem vstřikovacího nástroje. Zde byl nejprve navržen počet kavit formy vzhledem k zadání. Dále bylo provedeno umístění dělicí roviny v závislosti na charakteristice vstřikovaného dílu. Při návrhu vstřikovacích kanálků jsem se potýkal s problémem, kdy materiál přitékal do pohledové plochy dílu. Tento problém byl následně vyřešen pomocí banánového vtoku, který díky svému tvaru umožňuje přívod materiálu z druhé strany dílu. Poté byly navrženy veškeré desky, které jsou k sestavení formy potřeba. V závěru práce jsem nastínil, jak by se v případě daného dílu mohlo postupovat při jeho schvalování. Mimo to jsem určil prvky nástroje, kde je možný prostor pro jeho zlepšení.

K návrhu formy bylo využito normálií od společnosti Meusburger. Zde jsem z jejich katalogů, který jako jeden z mála obsahoval veškeré rozměry nabízených komponent i s cenami, vybral desky, které byly následně opracovány do požadovaného tvaru v programu Autodesk Inventor Professional 2019. Ten mi umožnil nejen snadný návrh dělicí roviny, ale i konstrukci tvarových vložek. K simulaci umístění vtoků a rychlosti plnění byl využit program Autodesk Moldflow Adwiser 2016. Jeho analýzy mi ukázaly, že nejvhodnějším místem pro plnění je od středu dílu. Po konzultaci s odborníky z firmy WITTE mi však bylo na základě jejich zkušeností doporučeno umístit vtok, vzhledem k využití banánového vtoku, od kraje dílu. Plnění tak sice bude trvat déle, ale zamezí se nežádoucímu pnutí v materiálu.

Na závěr mé práce bych rád zmínil, jak je praxe v oboru strojírenství důležitá. Při navrhování vstřikovacího nástroje jsem vycházel z mých znalostí a informací získaných z uvedených zdrojů, často jsem ale po konzultaci s odborníky z firmy WITTE zjistil, že řešení je někdy mnohem složitější, nebo naopak jednodušší. Z mého pohledu práci hodnotím jako přínosnou. Mimo jiné jsem se naučil, jak vzniká nová vstřikovací forma, jaké informace jsou při jejím návrhu klíčové a hlavně to, že díky zkušenostem lze ušetřit velké množství finančních prostředků a času.

10. Použitá literatura, zdroje

- [1] Meusburger katalog. *MEUSBURGER* [online]. [cit. 2019-04-25].
Dostupné z: https://ecom.meusburger.com/fh_menu/index.asp?rnd=
- [2] Vstřikování plastů. *Katedra strojírenské technologie* [online]. [cit. 2019-03-17].
Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [3] Plasty v automobilovém průmyslu. *MM spektrum* [online]. [cit. 2019-05-12].
Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/plasty-v-automobilovem-prumyslu.html>
- [4] Vyhazovací sestava a vyhazovače. *Katedra konstruování strojů* [online].
[cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publicace/KA05_Vyhazovaci_sestava_a_vyhazovace.pdf
- [5] Základní dělení a funkce vstřikovacích nástrojů. *www.publi.cz* [online]. [cit. 2019-04-26].
Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/01.html>
- [6] 5 podstatných věcí, které byste měli vědět o vstřikovacích formách na plasty. *Factory Automation* [online]. [cit. 2019-01-18]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/5-podstatnych-veci-ktere-byste-meli-vedet-o-vstrikovacich-formach-na-plasty/>
- [7] Midiflow - GMK. *Exaflow* [online]. [cit. 2019-01-17].
Dostupné z: <http://exaflow.de/en/produkte-2/tunnel-gate-inserts/midiflow-gmk/>
- [8] Vstřikovací jednotka. *www.publi.cz* [online]. [cit. 2019-05-26].
Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/03.html>
- [9] Vstřikovací forma a její funkce. *www.publi.cz* [online]. [cit. 2019-05-26].
Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/02.html>
- [10] Temperace vstřikovacích forem. *www.publi.cz* [online]. [cit. 2019-05-26].
Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/08.html>
- [11] Upínání vstřikovacích forem. *www.publi.cz* [online]. [cit. 2019-05-26].
Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/12.html>
- [12] Klimatické stresové komory. *Specion* [online]. [cit. 2019-05-26].
Dostupné z: <http://www.specion.biz/pristroje/?filtr=1&vyrobce=&oblast=23>
- [13] Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu poklice automobilu. Bc. David Svozil. *www.docplayer.cz* [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/78651008-Konstrukce-vstrikovaci-formy-pro-vyrobu-poklice-automobilu-bc-david-svozil.html>
- [14] HOSNEDL, S A KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra. Brno: Computer Press, 1999, ISBN 8072262025
- [15] Vlastnosti polyamidu PA 6. *Polyplasty* [online]. [cit. 2019-03-28].
Dostupné z: <https://www.polyplasty.cz/material-polyamid.html>

11. Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1 - Pístový vstříkovací stroj a schéma průběhu vstříkovacího cyklu	12
Obr. 2 - Vstříkovací cyklus	13
Obr. 3 - Vstříkovací jednotka	14
Obr. 4 - Možné úpravy násypek	14
Obr. 5 – Popis vstříkovací formy	19
Obr. 6 - Základní provedení vyhřívání horkého rozvodu	20
Obr. 7 - Příklad doporučených teplot v rámci procesu vstříkování vybraných typů plastů	21
Obr. 8 - Zadaný díl	22
Obr. 9 - Dělicí rovina	25
Obr. 10 - Banánové ústí vtoku	26
Obr. 11 - Vložka banánového vtoku v řezu	27
Obr. 12 - Vložka banánového vtoku obrobená do tvaru dílu	27
Obr. 13 - Sestava horkých vtoků	28
Obr. 14 - Izolační deska nepohyblivé části formy	29
Obr. 15 - Schéma upnutí pomocí upínky	30
Obr. 16 - Upínací deska nepohyblivé části formy	30
Obr. 17 - Mezilehlá deska	31
Obr. 18 - Rám a tvarová vložka nepohyblivé části formy	32
Obr. 19 - Rám a tvarová vložka pohyblivé části formy	33
Obr. 20 - Vodicí lišty	33
Obr. 21 - Vyhazovací set	34
Obr. 22 - Upínací deska pohyblivé části formy	35
Obr. 23 - Izolační deska pohyblivé části formy	35
Obr. 24 - Výsledná podoba vstříkovací formy	36
Obr. 25 - Ukázka klimatické komory	37
Tabulka 1 - Základní fyzikální a mechanické vlastnosti Polyamidu 6	23