

Návrh konstrukce výrobku a nástroje pro jeho zpracování

Martin Kývala

Bakalářská práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Téma práce: **Návrh konstrukce výrobku a nástroje pro jeho zpracování**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracovat literární studii na dané téma
2. Provedte konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu
3. Navrhnete vstřikovací formu pro zadaný díl
4. Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Ovsík, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

2. ledna 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

19. května 2017

Ve Zlíně dne 31. ledna 2017

Příjmení a jméno: KYVALA MARTIN

Obor: TZ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/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.

Ve Zlíně 18. 5. 2017

.....


¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a konstrukcí vstřikovací formy pro daný plastový výrobek. V teoretické části bakalářské práce je popsána problematika výroby plastového dílu technologií vstřikování. Zahrnuje technologii vstřikování, zásady pro konstrukci vstřikovacích forem, vstřikovaných výrobků a volbu materiálu vyráběných dílů. Praktickou část bakalářské práce tvoří konstrukce 3D modelu vstřikované součásti v programu CATIA V5R19 a návržení sestavy vstřikovací formy pro daný výrobek s vypracovanou výkresovou dokumentací.

Klíčová slova: Vstřikovací forma, vstřikování, konstrukce,

ABSTRACT

This bachelor thesis is dealing with design and construction of injection mold for real polymer part. Theoretical part of thesis describes the manufacturing of polymer product using injection molding. Thesis includes description of injection molding technology, principles for construction of injection molds, injected parts and choice of material to produce polymer parts. Practical section of this thesis is created by construction of 3D model of injected part made in CATIA V5R19 software including an assembly of injection mold for produced part with drawing documentation.

Keywords: injection mold, injection molding, design

Tímto bych chtěl rád poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Ovsíkovi, Ph.D., za čas na kontrolu, připomínky a cenné rady, které mi věnoval při vypracování této práce.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY A JEJICH ZPRACOVÁNÍ.....	12
1.1 POLYMERY PRO VSTŘIKOVÁNÍ.....	12
1.1.1 Termoplasty	12
1.1.2 Reaktoplasty.....	13
1.1.3 Elastomery	14
1.2 CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU	14
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	15
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	15
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	16
2.2.1 Vstřikovací jednotka	17
2.2.2 Uzavírací jednotka	18
3 KONSTRUKCE PLASTOVÝCH VÝROBKŮ	19
3.1 DĚLÍCÍ ROVINA.....	19
3.2 TLOUŠŤKA STĚN.....	19
3.3 ZAOBLENÍ HRAN A ROHŮ	20
3.4 ÚKOSY A PODKOSY.....	20
3.5 ŽEBRA	20
3.6 SMRŠTĚNÍ.....	20
4 KONSTRUKCE FORMY	22
4.1 POSTUP PŘI KONSTRUKCI FORMY.....	22
4.2 NÁSOBNOST FOREM.....	23
4.3 VTOKOVÁ SOUSTAVA	23
4.3.1 Studený vtokový systém	23
4.3.2 Přidržovače vtoků	25
4.3.3 Typy vtokových ústí	26
4.3.4 Vyhřívaný vtokový systém	27
Vyhřívané trysky	28
4.4 VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	29
4.4.1 Vyhazovací síla.....	29
4.4.2 Mechanické vyhazovače	30
4.4.3 Pneumatické vyhazování	31
4.4.4 Hydraulické vyhazování	32
4.5 TEMPERACE FORMY	32
4.5.1 Temperační prostředky	32

4.6	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	33
4.7	MATERIÁLY FOREM.....	34
5	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	36
6	VYUŽITÝ SOFTWARE.....	37
6.1	CATIA V5R19	37
6.2	HASCO DAKO MODUL.....	37
7	SPECIFIKACE VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU	38
7.1	POPIS VÝROBKU	38
7.2	MATERIÁL VÝROBKU	39
8	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	40
9	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	41
9.1	HLAVNÍ ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY	42
9.2	NÁSOBNOST FORMY	44
9.3	DĚLÍCÍ ROVINY	44
9.4	TVAROVÉ SOUČÁSTI.....	45
9.5	BOČNÍ POSUVOVÉ ČELISTI	45
9.6	VTKOVÝ SYSTÉM	46
9.7	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	46
9.8	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	47
9.9	MANIPULAČNÍ ZAŘÍZENÍ A ZÁMEK FORMY	48
ZÁVĚR	49
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	50
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	51
SEZNAM OBRÁZKŮ	52
SEZNAM TABULEK.....	54
SEZNAM PŘÍLOH.....	55

ÚVOD

V současnosti dochází ke stále častějším nahrazování běžných materiálů, jako je dřevo, ocel nebo sklo, za pomoci polymerních materiálů a to ve všech průmyslových oblastech výroby. Jako hlavní důvod se uvádějí specifické vlastnosti polymeru, a to zejména chemická odolnost, dobré mechanické vlastnosti při nízké měrné hmotnosti a výrobu složitějších tvarů výrobku, nižší cena a možnost plné automatizace v sériové výrobě, která zapříčiní ušetření pracovní síly. Další výhodou je menší procento odpadu a možnost snazší recyklace odpadu nebo samotných výrobků z termoplastů.

Jeden z nejčastějších a nejrozšířenějších způsobů výroby plastů je technologie vstřikování. Podstata této technologie spočívá v tom, že vstříkneme roztavený polymerní materiál do tvarové dutiny formy, kde se po zatuhnutí vytvoří požadovaný tvar. Nejdůležitější část procesu vstřikování je plnění dutiny formy. Tam získáme konečné vlastnosti hotového výrobku. Vyhozením hotového výstřiku pomocí vyhazovacího systému formy se proces ukončí. Vstřikovací forma je složitější nástroj a jsou na něj kladeny velké požadavky. Projevuje se to zejména na finanční, ale i na časové náročnosti při výrobě formy. Proto se technologie vstřikování používá u velkosériové výroby.

Technologie vstřikování se používá v mnoha odvětvích průmyslu jako je leteckým a automobilový průmysl, také ve zdravotnictví, elektrotechnice, potravinářském průmyslu, sportovní a kuchyňské potřeby atd.

V současné době se při konstrukcích využívají softwary, které zrychlují a zkvalitňují konstrukce 3D modelů vstřikovacích forem. Díky tomu se lépe kontroluje funkce forem, což by se bez této možnosti dalo zkontrolovat pouze na již vyrobené formě.

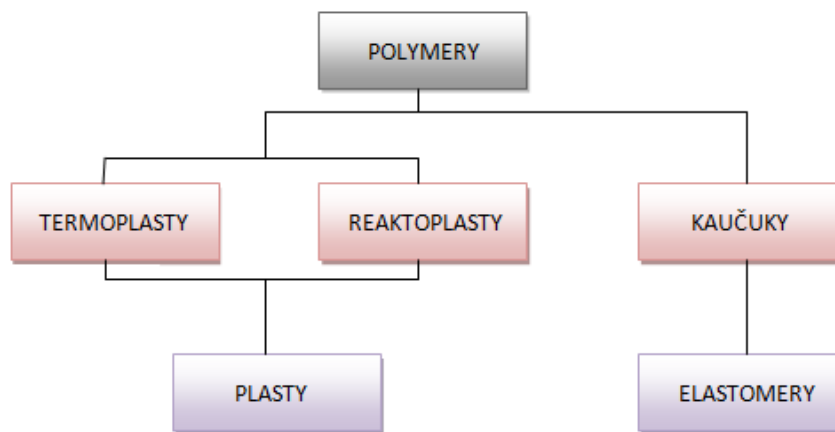
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

Polymerní materiál jsou chemické látky, tvořené makromolekulárními řetězci, které obsahují atomy uhlíku, kyslíku a vodíku, někdy pak dusíku, chloru a jiných prvků. V běžných podmínkách jsou výrobky z polymerů v tuhém stavu, ale při zpracování za zvýšených teplot a tlaků lze výrobek tvarovat, podle následné aplikace. [3]

1.1 Polymery pro vstřikování

Mezi polymery patří hlavně plasty a elastomery. Plasty lze dále rozdělit na termoplasty a reaktoplasty.

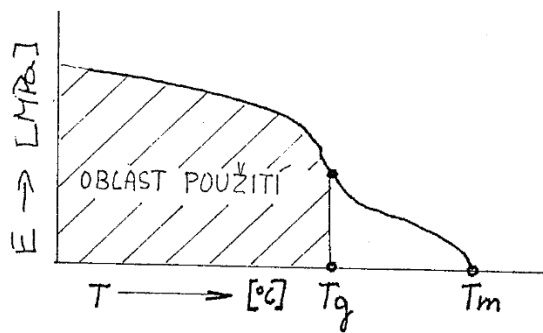


Obr. 1. základní rozdělení polymerů

1.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou ze všech polymerů nejrozšířenější. Jsou to materiály, které mají přímé řetězce (lineární polymery) nebo řetězce s bočními větvemi (rozvětvené polymery). Po ohřátí se hmota stává viskózní a můžeme ji tvářet. Po ochlazení se dostanou do pevného stavu. Termoplasty jsou znovu tavitelné. U vnitřní struktury se rozdělují termoplasty na amorfní a semikrystalické. [1,4]

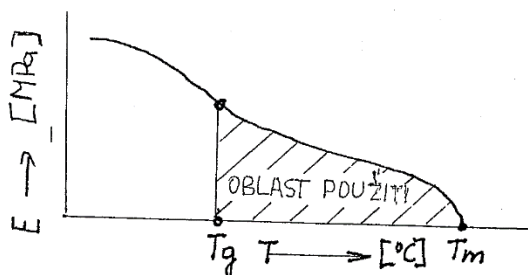
- **amorfní** - řetězce jsou nepravidelně zapleteny. Amorfní termoplasty se využívají hlavně v oblasti pod teplotou skelného přechodu (T_g), tam je polymer pevný. Ve skupině amorfních termoplastů jsou například polystyrén (PS), kopolymerstyrenakrylonitril (SAN), polykarbonát (PC), polyvinylchlorid (PVC) anebo polymethylmetakrylát (PMMA). [1]



Amorfní plasty	T _g [°C]
PS	90-100
hPS	90
ABS	105-115
SAN	115
tr. PVC	85
PMMA	100
mod. PPO	120-140
PC	144
PSU	187
PESU	225
mod. PC (APEC)	205
PI	300

Obr. 2. Oblast využití u amorfních plastů

- **semikrystalické** – části řetězců vytváří určitý stupeň uspořádanosti, zbývající řetězce mají amorfní strukturu. Vlastnosti semikrystalických termoplastů jsou závislé na podílu uspořádaných oblastí. To se označuje jako stupeň krystalinity. U těchto plastů dochází k většímu smrštění než u amorfních a jsou zpravidla neprůhledné. Používají se v oblasti nad teplotou skelného přechodu (T_g). Do skupiny semikrystalických termoplastů patří například polyethylen (PE), polypropylen (PP) nebo polyamid 6 (PA6). [1]



Semikrystalické plasty	T _g [°C]
PE	-80
PP	-20
hom. FE	-50
PT PE	-60
kopol. POM	-113
EVA	-80
PBT	+60
PA 6	+45

Obr. 3. Oblast využití u semikrystalických plastů

1.1.2 Reaktoplasty

Hlavní vlastností termoplastů je, že při zahřátí měknou a mohou se tvarovat. Doba tváření je však omezená, protože dojde k chemické reakci neboli vytvrzování tj. prostorové zesíťování struktury. Je to nevratný děj. Plasty už se po něm nedají roztavit ani rozpustit. U opětovného zahřátí dojde k degradaci materiálu. Nejčastější skupinou reaktoplastů jsou epoxidové pryskyřice, fenolformaldehydové hmoty, polyesterové hmoty, atd. [5]

1.1.3 Elastomery

Elastomery a jejich tvářecí doba je také omezena, stejně jako u reaktoplastů. Je to skupina vysoce elastických polymerů. Lze u nich vytvořit a to poměrně malou silou velké, převážně vratné deformace. Když se elastomer zahřeje, dojde k chemické reakci, která se nazývá vulkanizace, tj. prostorové zesíťování struktury. Elastomery se vyskytují i na bázi termoplastů, kde nedojde ke změně chemické struktury. Proces měknutí a tuhnutí je tedy možné opakovat prakticky bez omezení, protože tady probíhá pouze fyzikální děj. Nejpočetnějšími zástupci elastomerů jsou kaučuky. Vyrábí se z nich pryž. Kaučuky podle původu rozdělujeme na přírodní a syntetické. Přírodní kaučuk se vyrábí z kaučukového mléka (latexu), které se vyskytuje v mléčných buňkách některých tropických stromů. Podstatou je polyisoprene, doprovázený malým množstvím nekaučukovitých látek. Syntetické kaučuky se vyrábějí ve větším počtu druhů, z nichž každý vyniká specifickými vlastnostmi. Podobně jako přírodní kaučuk je možné syntetické kaučuky vulkanizovat. [3,5]

1.2 Charakteristické vlastnosti materiálu

Každé plasty mají své charakteristické vlastnosti, jak z hlediska zpracovatelského tak i funkčního. Tyto vlastnosti se dají částečně upravit pomocí přísad. Z hlediska funkčního se hodnotí tyto vlastnosti:

- mechanická pevnost u dlouhodobého nebo krátkodobého statického nebo dynamického zatížení
- chemická odolnost proti chemickým činidlům
- optické vlastnosti – jestli je plast průhledný a jakou má barvu či lesk
- elektrické vlastnosti jako například elektrická vodivost nebo dielektrická pevnost apod.

Z hlediska zpracovatelského, se hodnotí zejména tyto důležité vlastnosti:

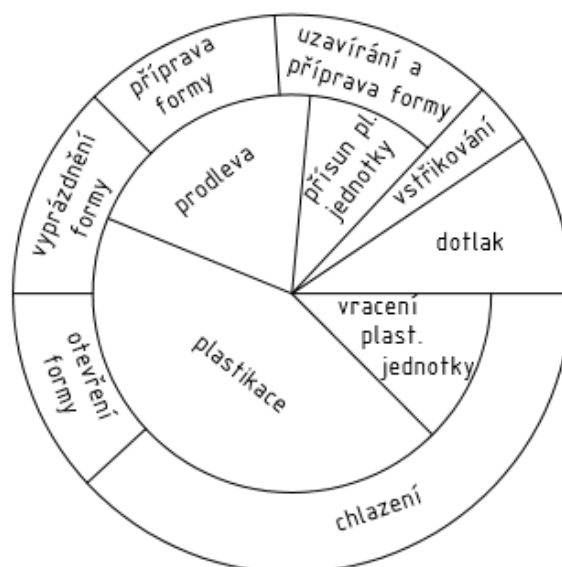
- tekutost – vlastnost, která ovlivňuje tloušťku stěny výrobku, způsob zaformování i rozměry vtokové soustavy.
- velikost smrštění – udává výrobní přesnost výrobku
- citlivost pro technologické parametry výrobního zařízení [1]

2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

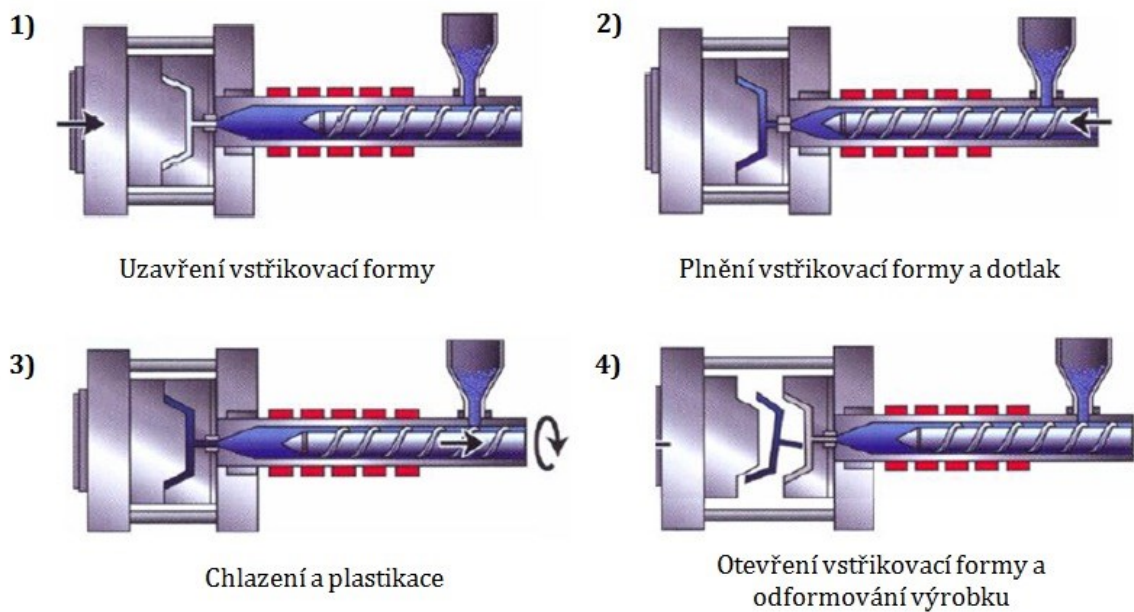
Je tou nejrozšířenější technologií pro výrobu požadovaných výrobků z plastů. Je to poměrně složitý fyzikální proces, který zahrnuje polymer, vstřikovací stroj a vstřikovací formu. Jedná se o cyklický proces, tzv. diskontinuální, u kterého lze zpracovávat naprostou většinu termoplastů. Vstřikování je způsob tváření, kde je roztavený plast ve vstřikovacím stroji dopravován velkou rychlostí do dutiny formy a tam ochlazen na tvar vyráběné součásti. Výhodou vstřikovacího cyklu je krátký čas. Z toho vyplývá vysoká produktivita, možnost výroby tvarově složitých výrobků při dostatečné toleranci rozměrů a kvalitní povrchová úprava. Mezi nevýhody se řadí především vysoké finanční náklady na zavedení výroby a dlouhá doba, která je nutná k výrobě formy. Proto se tato technologie i díky možnosti automatizace používá v hromadné výrobě. [5,6]

2.1 Vstřikovací cyklus

Granulát jako materiál je nasypán do násypky vstřikovacího stroje. Dále se nejčastěji dopravuje pomocí šneku do tavicí komory. Po roztavení granulátu, se díky tření a zvýšené teploty vytvoří tavenina, která je vstříknuta do dutiny formy, kterou zcela zaplní. Ihned po vstříknutí následuje dotlak (šnek se posouvá dopředu jako píst) pro snížení smrštění. Následuje proces chlazení. Tahle doba tvoří nejdelší část vstřikovacího cyklu. V průběhu chlazení začíná ve šneku plastikace další dávky materiálu. Po zatuhnutí, se otevře forma a dojde k vyhození výstřiku. Po určité prodlevě se forma opět uzavře a celý cyklus se opakuje. [5,6]



Obr. 4. Vstřikovací cyklus a časová vytíženost jednotlivých operací



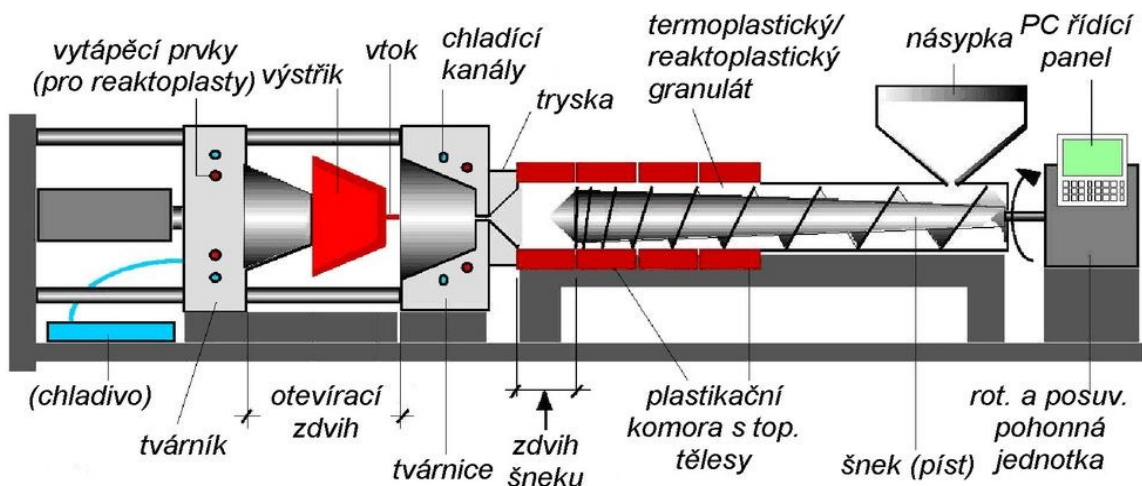
Obr. 5. Vstřikovací cyklus

2.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj patří mezi hlavní činitele výroby a vyžaduje se od něho, aby perfektním řízením byla zajištěna výroba kvalitních výrobků. Aktuálně existuje mnoho různých konstrukcí strojů, které se liší od sebe provedením, stupněm říditelnosti, stálostí a reprodukovatelnosti parametrů, cenou, rychlostí výroby a náročností obsluhy. Každý stroj má své základní části: [1]

- Vstřikovací jednotka
- Uzavírací jednotku
- Ovládací zařízení stroje

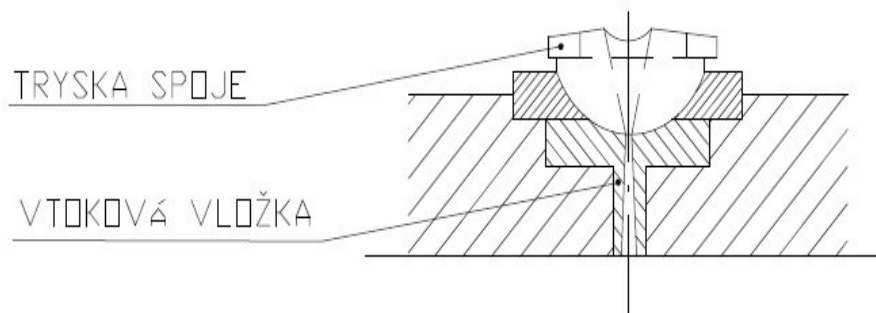
V současnosti se stroje vyrábějí hydraulické nebo hydraulicko-mechanické. Ovládací prvky jsou umístěny na samostatném panelu. Vstřikovací stroj pro přesné výstřiky musí mít dobrou tuhost a pevnost při výstřiku, konstantní tlak, teplotu, rychlost a přesnou reprodukovatelnost technologických parametrů. Při výběru stroje se také zaměřuje na uzavírací sílu a kapacitu plastikační jednotky.[1]



Obr. 6. Schéma vstřikovacího stroje

2.2.1 Vstřikovací jednotka

Slouží k dopravě předem určeného množství taveniny s předepsanými technologickými parametry do tvarové dutiny formy. Množství taveniny musí být vždy menší, než je kapacita vstřikovací jednotky na jednom zdvihu. Nesmí být však příliš malé množství. To naopak může způsobovat degradaci plastu, protože tavenina zůstane ve vstřikovací jednotce. Ideální množství taveniny se má pohybovat okolo 80% kapacity vstřikovací jednotky. Do tažného válce se dopravuje zpracovaný granulát, ze kterého se stane tavenina. Plast se posouvá šnekem přes vstupní, přechodové či výstupní pásmo vstřikovacího stroje. Tím dojde k postupné plastikaci a homogenizaci taveniny. Vyhřívaná tryska slouží k zakončení tavné komory, která zprostředkovává spojení se vstřikovací formou. Tato tryska má kulové zakončení. Tím je zajištěno přesné dosednutí do sedla vtokové složky. [1]

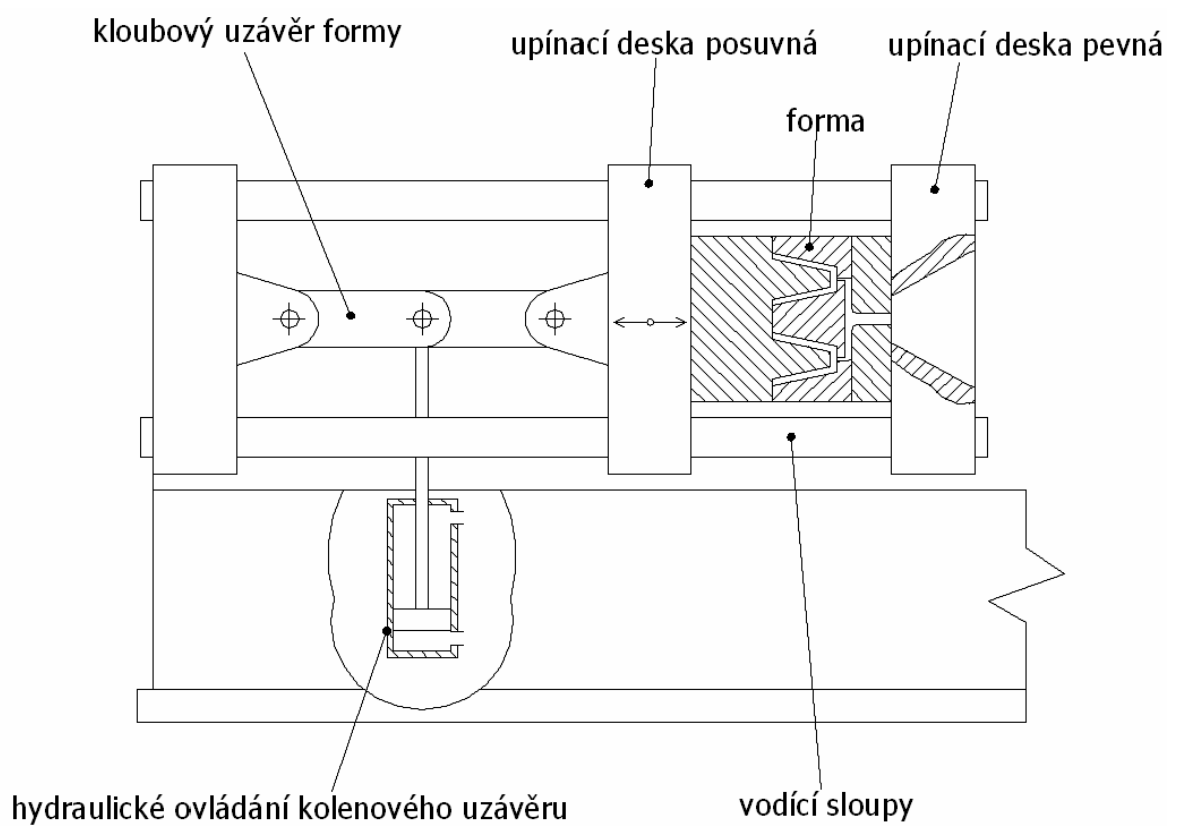


Obr. 7. Dosednutí trysky na vtokovou vložku

2.2.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka plní funkci pro ovládání formy a zajišťuje její dokonalé uzavření, otevření a vyhození výrobku z formy. Velikost uzavíracího tlaku závisí na velikosti tlaku vstřikovacího a ploše dutin vtoků v dělicích rovinách. Uzavírací jednotka má složení: [1]

- Opěrné pevné desky
- Upínací desky
- Vodící sloupky
- Uzavírací mechanismus formy



Obr. 8. Uzavírací jednotka

3 KONSTRUKCE PLASTOVÝCH VÝROBKŮ

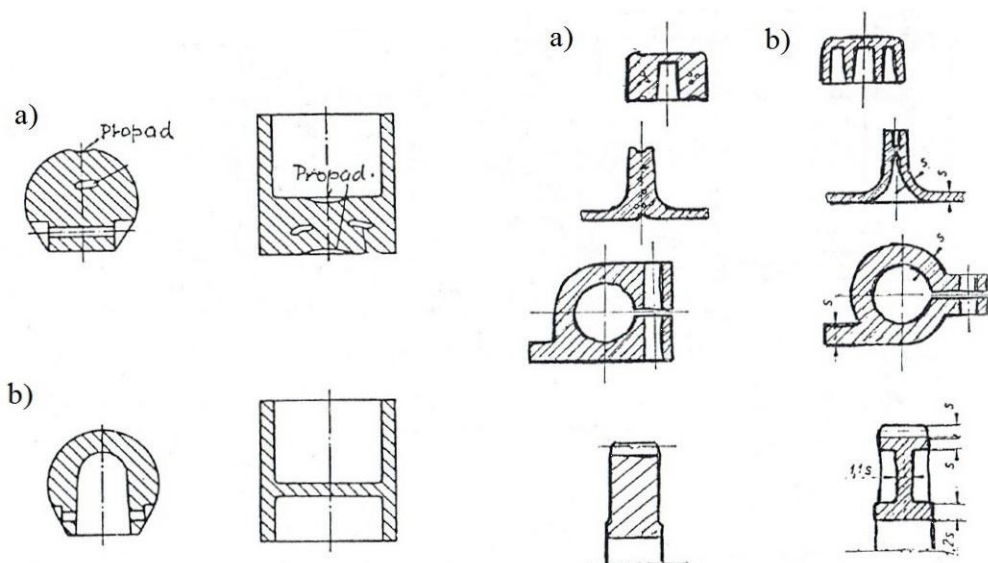
Hlavním podkladem při konstrukci výrobku je tvorba 2D výkresu, popř. 3D modelu vyráběné součásti. Čím jednodušší součást, tím se snadněji splní pevnostní podmínky, dodržení daných rozměrů, levná výroba formy a celkově jednodušší výroba na výstřik. V praxi nikdy nelze počítat s výrobou pouze jednoduchých výstřiků. Na to je potřeba najít určitý kompromis mezi kladenými požadavky. Pro návrh konstrukce výstřiku musí mít pracující dostatečné znalosti a zkušenosti v oboru. Je nezbytné uvažovat s vyšším smrštěním oproti kovům, dodatečným smrštěním a mnohem větší teplotní roztažností. [1]

3.1 Dělicí rovina

Dělicí rovina je plocha, kterou tvoří tvárnice a tvárník, které na sebe dosedají při zavření formy. Umisťuje se tak, aby byla vzhledem k výrobku při odformování výrobku vyjmuta co nejjednodušším způsobem. Poté aby stopa po dělicí rovině nezpůsobila vzhledové nebo funkční vady. [1]

3.2 Tloušťka stěn

Pro správnou konstrukci tloušťky stěn se vyžaduje a je zásadní mít jednotnou tloušťku, náhlé přechody nejlépe bez ostrých hran. Pokud se nemůžeme vyhnout tlustým stěnám, provedeme potřebné odlehčení. Tloušťka bočních stěn a žeber se zaoblenou přechodovou hranou by neměla přesáhnout 0,8 tloušťky hlavní stěny.[1]



Obr. 9. a) - Špatná konstrukce, b) – správná konstrukce

3.3 Zaoblení hran a rohů

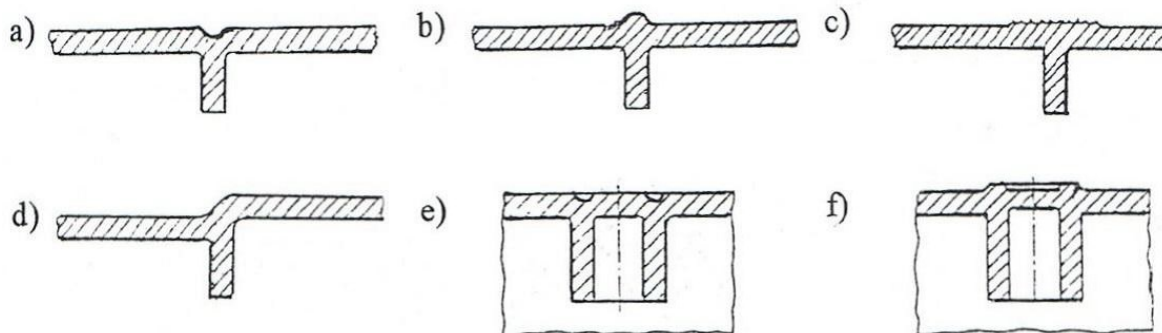
Tečení taveniny usnadňuje zaoblení hran, koutů, rohů a zabraňuje koncentraci napětí v těchto místech. Opatření formy je tím pádem menší, jelikož na přechody u ostrých hran je potřeba vyšší vstřikovací tlaky. Rázová houževnatost výrobku se pak zvýší až o 50%. [1]

3.4 Úkosy a podkosy

Úkosy i podkosy jsou sklony stěn výrobku, které jsou kolmo k dělicí rovině. Tím se umožní, popř. zabraní vyjímání výrobku z dutiny formy. Vyskytuje jak vnitřní úkos, kde se volí větší úhel sklonu, tak vnější úkos, kde se volí menší úhel sklonu. Volbu velikosti sklonu ovlivňuje hlavně smrštění, povrch stěn formy, elasticita plastu či automatizace výroby. Podkosy sťažují konstrukci i funkci formy a proto se jim snažíme vyhnout. [1]

3.5 Žebra

Žebra se dělí podle účinku na technologická či technická. Technická zabezpečují tuhost a pevnost výrobku. Technologická zase umožňují optimální plnění dutiny formy, zabraňují zborcení stěn a mohou odstranit potencionální vznik povrchových vad. V některých případech se mohou volit žebra i z důvodů zlepšení vzhledu výrobku. [1]



Obr. 10. Způsoby odstranění závad na výstřiku

a, f – závady, b, c, d, e – konstrukční úpravy na odstranění závad

3.6 Smrštění

Smrštění se vyskytuje u všech výrobků z plastů. Je potřebné s ním uvažovat při konstrukci výrobku. Je to objemová změna při tuhnutí plastů, kde hlavní příčina je stlačitelnost, tepelná rozpínavost a kontrakce plastů. U semikrystalických polymerů se také projevují změny krystalizační. Pro dodržení rozměrů a tolerancí se zajišťuje, aby tvarová dutina byla

zvětšena právě o hodnotu smrštění. V pracovních podmínkách je tento požadavek velmi náročné dodržet, protože na celkové smrštění má vliv mnoho dalších parametrů. Jedná se o procesní parametry (čas, teplota, tlak), typ vstříkovaného polymeru (krystalický, amorfní, obsah plniv, atd.) a konstrukce výrobku (složitost výrobku, tloušťka stěn a jejich rozměr apod.). [4]

Výrobní smrštění – je to rozdíl mezi rozměrem tvarové dutiny formy a odpovídajícím rozměrem výrobku, vyjádřený v procentech z celkového rozměru formy (90%). [4]

Dodatečné smrštění - je změna rozměru tvářeného výrobku z plastu po jeho vystavení zvýšené teplotě (10%). V některých případech se pod tímto pojmem rozumí také rozměrová změna, která ve výrobku proběhla za normální teploty, ale až po delší časové doby od jeho vyrobení. [4]

4 KONSTRUKCE FORMY

Vstřikovací forma má funkci udělit vstříknuté tavenině konečný tvar. Následuje chlazení, při kterém tavenina zatuhne a dále vyjmutí výstřiku z formy. Vstřikovací forma je složitější nástroj, který odolává vysokým tlakům, musí umožnit tvorbu rozměrově přesných výstřiků, ale také jejich vyjmutí a pracovat automaticky. Důležité je kromě správné funkce, také zaměření na ekonomiku výroby. Ideální volba je zakoupení formy za nízkou cenu, která zajistí vysokou produkci práce, ale zároveň snadnou a rychlou výrobu. Dalším důležitým ukazatelem kvality forem je dodržování bezpečnostních pravidel při výrobě i provozu formy. [1,7]

4.1 Postup při konstrukci formy

Výrobní výkres součásti a konstrukční návrh s dalšími doplňujícími údaji, jsou hlavním podkladem pro konstruktéra forem. Samotná konstrukce má pak následující postup [1]:

- posuzování výkresu součásti z hlediska, rozměrů, tvaru a tvářecích podmínek. Je třeba přezkontrolovat rozměry, tolerance, rozdíly v tloušťce stěn s ohledem na propadliny. Nesmí se zanedbat ani úprava ostrých hran a rohů, které mohou vyvolat velké pnutí a obtížné plnění tvarové dutiny formy.
- určení dělicí roviny součásti a způsob jeho zaformování s ohledem na funkci a vzhled. Je třeba taktéž respektovat velikost a směr úkosů. Zaformování by mělo odpovídat vhodnému umístění ústí vtoků a vyhazování z tvarových dutiny forem.
- dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání uvnitř formy. Zvolit vhodný typ vtokového systému, velikost průřezů, tvaru a délky hlavního a rozváděcího kanálu i ústí vtoku.
- stanovení koncepce temperančního a vyhazovacího systému i odvodušnění dutin formy.
- návržení vhodného rámu pro formu s ohledem na danou typizaci, rozmístění a počet dutin, temperance formy i způsob vyhazování.
- vhodné uspořádání a upínání formy na daný stroj s využitím dostupných prostředků. To všechno s ohledem bezpečnost práce.
- kontrola funkčních parametrů formy, hmotnost hotového výrobku, jeho průměrnou plochu, vstřikovací či uzavírací tlak a další faktory s ohledem na daný vstřikovací stroj.

4.2 Násobnost forem

Optimální násobnost vstřikovacích forem je jednou z nejvíce diskutovaných otázek se stále se zvyšující výrobou výstřiků, protože souvisí s ekonomikou výroby. Dodnes neexistuje absolutně přesná a jednoduchá metoda ke stanovení správné násobnosti. Nejlepší je volit násobnost, podle správného vyhodnocení jednotlivých parametrů, kteří ji ovlivňují. Násobnost se posuzuje se z hlediska [1]:

- charakteru a přesnosti výstřiku
- požadovaného množství výrobků
- kapacitě či velikosti vstřikovacího stroje
- požadovaného termínu dodávek
- ekonomiky výroby

Pro kvalitu a přesnost výstřiků je žádoucí, aby násobnost vstřikovací formy byla co nejmenší, protože se tím zjednoduší celá konstrukce formy, sníží se rozdíly v rozměrech jednotlivých tvarových dutin a vyloučí se rozdíly v teplotě a tlaku mezi jednotlivými dutinami formy. Za další se lépe vystředí tvárník a tvárnice a slíční jednotlivé pohyblivé části formy. Pokud je forma vícenásobná, zvolí se násobnost tak, aby ve vtokové soustavě a dutinách formy byla dráha toku taveniny do všech výstřiků stejně dlouhá. [2], [4]

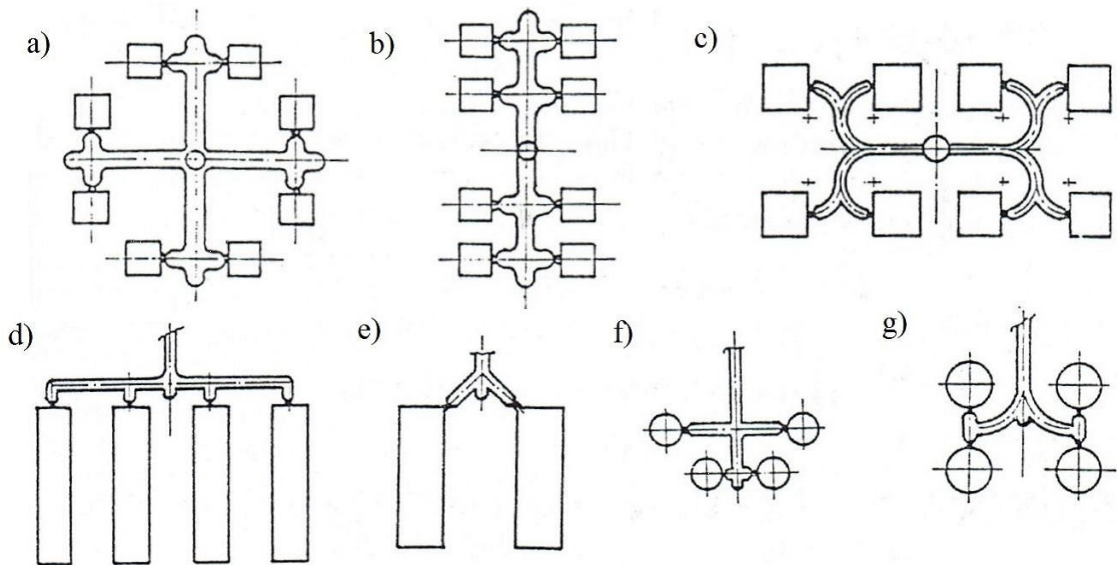
4.3 Vtoková soustava

Roztavený plast v plastikační jednotce proudí tryskou přímo do vtokové soustavy vstřikovací formy, kterou tvoří systém vtokových kanálků různého typu. Tyto kanálky vedoucí k jedné nebo více tvarovým dutinám formy, se naplní taveninou. Uspořádání vtokové soustavy je rozdílné a je to dáno v konstrukci formy (její násobností). [4]

4.3.1 Studený vtokový systém

Při volbě vtokového systému se vychází z toho, že se v tavící komoře ohřeje termoplast na poměrně vysokou teplotu a vstříkne se velkou rychlostí do formy s nižší teplotou. To zapříčiní zvýšení viskozity na vnějším povrchu proudu taveniny. Nejmenší viskozita se nachází uprostřed (v jádru) průřezu tokových cest. Z toho plyne řada požadavků důležitých pro všechny typy vtokových systémů. Požadavky to jsou zejména tyto [4]:

- dráha toku od vstřikovací trysky k tvarovým dutinám vstřikovací formy by měla být co nejkratší, aby se mohla tavenina vstříknout s co největší rychlostí
- dráha toku ke všem tvarovým dutinám vstřikovací formy by měla být stejně dlouhá. U některých případech je nutná korekce vtokových ústí
- ústí vtoku se má umístit tak, aby tavenina vtékala do nejtlustšího průřezu výstřiku a tekla dále směrem k nejtenčímu místu. Výjimkou bývá vstřikování plastů s nadouvadly, kde se volí postup opačný.

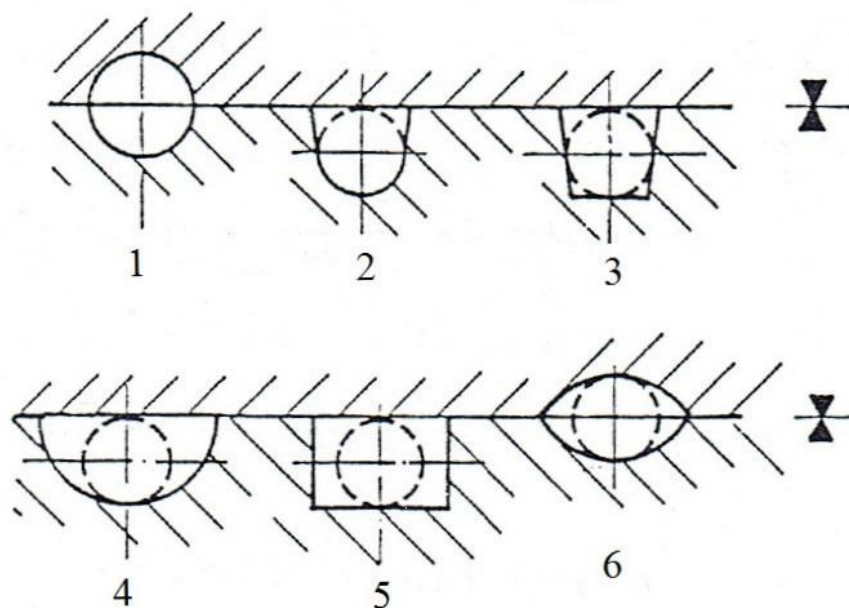


Obr. 11. Volba délky vtokového systému

a, c, e, f, g – správné řešení

b, d – špatné řešení, nutná korekce ústí

Nutné je také správné zvolení průřezu vtokových kanálků. Pokud je vtokový kanálek dostatečně velký, ve tvarové dutině bude potom jádro taveniny i nadále ve stavu plastickém a může se aplikovat dotlak. Větší průřez má bohužel za následek zvýšení nákladů a vyšší spotřebu polymeru, protože studený vtokový systém tvoří po vyhození z formy odpad. Ke snížení ochlazování je vhodné mít vtokového kanálky s co nejmenším povrchem. Nejlépe splňuje podmínky kruhový průřez, avšak výrobní důvody vyžadují lichoběžníkový tvar. U více než jednonásobných forem je vhodné odstupňování průřezů kanálků pro zachování konstantní rychlosti taveniny. [1]



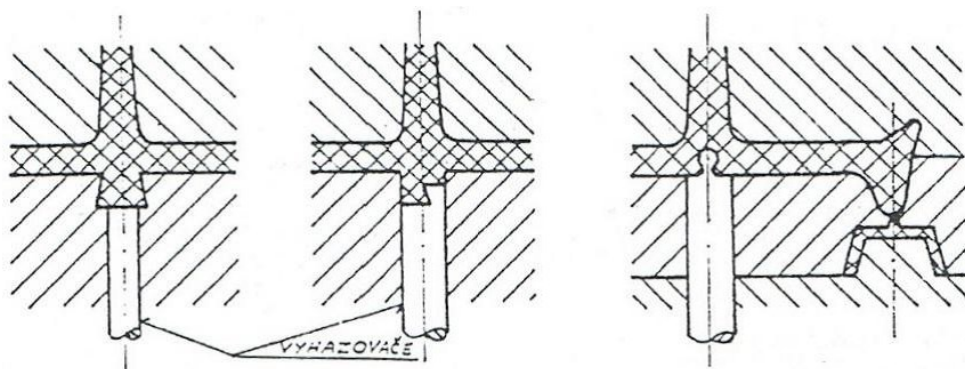
Obr. 12. Průřez vtokových kanálků

1,6 – výrobně nevýhodné, 2,3,4,5 – výrobně výhodné

Pro správnou účinnost u vtokových kanálků je nutné, aby všechny ostré hrany kanálků byly zaobleny min. $R = 1$ mm. Pro snadné odformování výstřiku je důležité stanovit úkosovitost všech vtoků, minimálně $1,5^\circ$.

4.3.2 Přidržovače vtoků

Po otevření formy může být problém s vyjmutím vtokové soustavy z vtokové vložky. K odstranění těchto problémů se používají přidržovače vtoků. Přidržovače mají za úkol, zanechat vtok na levé straně formy po jejím otevření. U více deskových forem je možné zajistit oddělení vtokového systému od výstřiků již při otevření formy. [6]



Obr. 13. Způsoby přidržení vtokového systému

4.3.3 Typy vtokových ústí

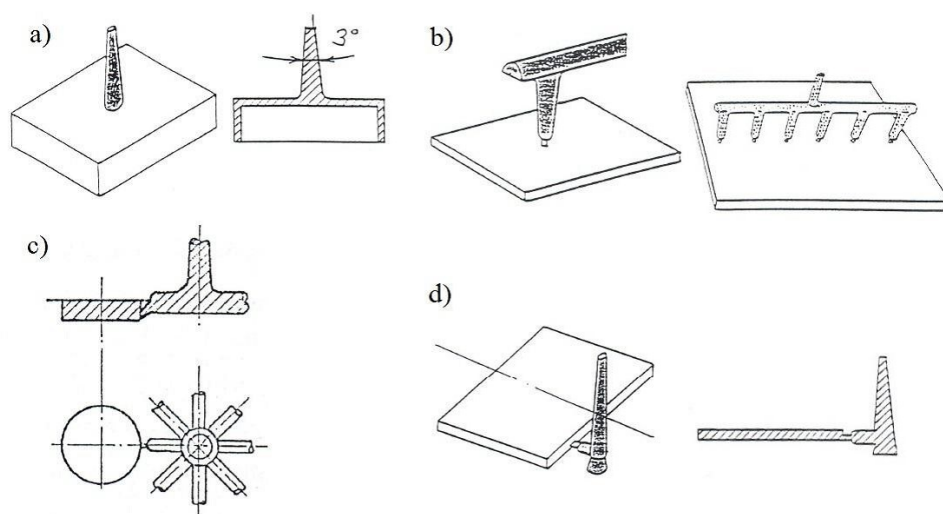
U většiny případů bývá vtokové ústí tvořeno zúžením rozváděcího kanálu. Díky zúžení se klesající teplota taveniny zvýší před vstupem do tvarové dutiny formy a dojde k omezení strhávání chladných vrstev a zamezí tvorbu povrchových vad. V praxi existují různé typy vtoků[1]:

- plný kuželový vtok - do tvarové dutiny formy je tavenina přivedena bez zúžení vtokového ústí. Nejčastější využití je u jednonásobných forem se symetricky uloženou dutinou. Nejlépe se hodí pro tlustostěnné výstřiky a za působení dotlaku je velmi účinný. Hlavní nevýhodou je náročné odstranění ztuhlého vtoků z formy a zanechání stop na výstřiku.

- bodový vtok - je nejznámějším typem zúženého vtokového ústí. Je nutné mít třideskový systém forem. Zajistí se tím odtrhnutí vtokové ústí v jedné dělicí rovině a následné otevření druhé dělicí roviny s tvarovou dutinou.

- tunelový vtok – je to speciální případ bodového vtoků. Hlavní výhodou je, že se může umístit ve stejné rovině jako tvarová dutina. Tím se umožní jednodušší konstrukce formy. Pro optimální funkci je nutné mít ostrou hranu, která oddělí vtokový zbytek od výstřiku po otevření formy.

- boční vtok – typ se zúženým vtokovým ústím a zároveň tím nejrozšířenějším. Nejčastěji obdélníkového průřezu. Vtokový zbytek zůstává spolu s výstřikem, při automatizované výrobě je aplikováno se speciálním odřezávacím zařízením.



Obr. 14. Základní typy vtokových ústí

a - plný kuželový vtok; b - bodový vtok, c - tunelový vtok, d - boční vtok

4.3.4 Vyhříváný vtokový systém

Vyhříváné vtokové soustavy (VVS) se začaly využívat z ekonomického i technologického hlediska. Současné VVS jsou velmi složitou kapitolou při konstrukčním řešení vstřikovacích forem. Zabývají se tím jen specializovaní výrobci. Současným VVS předcházely řady jednodušších systémů. Nejdříve zesílené vtoky, izolované vtokové soustavy apod. [5], [6]

Technologie vstřikování vyhříváné vtokové soustavy spočívají v tom, že tavenina po naplnění formy se udržuje v celé oblasti vtoku až do ústí formy v tavenině. Díky tomu se umožňuje použít pouze bodové vyústění malého průřezu, které se hodí pro širokou škálu vyráběných výstřiků. Součástí systému je regulace teploty formy i VVS. Celá soustava umožňuje poměrně snadné vyčištění, montáž i demontáž a nasazení zpět do provozu. Soustava však vyžaduje o dost dražší a složitější formy, technologa, konstruktéra, a také strojní zařízení musí být na odpovídající technické úrovni. Z hlediska ekonomiky u forem a bezodpadového vstřikování u VVS je k zapotřebí posuzování v rámci celého výrobního procesu. [1], [8]

Výhody VVS:

- umožňuje se automatizaci výroby
- zkracuje se výrobní cyklus
- snižuje se spotřeba materiálu (bez vtokových zbytků)
- snižují se náklady na dokončovací operace např. odstranění vtokových zbytků
- odpadá regenerace a manipulace vtokových zbytků a problémy při jejich zpracování

Nevýhody VSS:

- náročnější konstrukční řešení vstřikovacích forem
- nákladnější na energii než studený vtokový systém

Izolované vtokové soustavy

Jsou ze všech nejjednodušší a v současné době již málo používané. Tyto soustavy mají svou vlastní termoplastickou izolaci v okrajových vrstvách vtokových kanálků či předkomůrky. Vtoková vložka s rozváděcími kanály má průřez takový, aby v celém systému nedošlo v průběhu zpracovatelského cyklu k úplnému zatuhnutí taveniny. [1], [6]

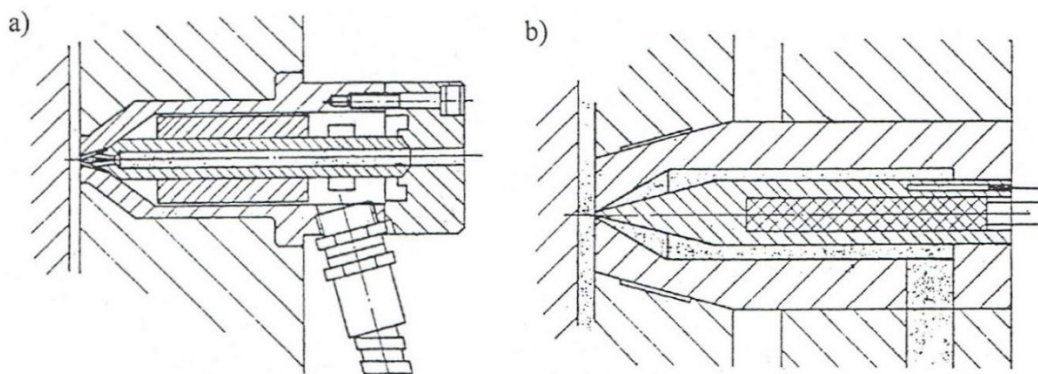
Vyhřívání trysky

Konstrukce umožňuje spojení vstřikovacího stroje s dutinou formy spolu s dokonalou tepelnou stabilizací. Tryska má vlastní topný člunek s jeho regulací, nebo se dá ohřívat jinými zdroji vtokové soustavy. To výrazně zlepšuje technologické podmínky vstřikování. Nepřímo ohřívání trysky, které mají jednodušší provedení, se obvykle vyskytují ve dvou provedeních [1], [9]:

- dotápěné vyústění izolovaného rozvodu vtoku. Vyznačuje se velmi malým topným tělesem, které je v ocelovém pouzdře, kde jeho špička zasahuje do vyústění vtoku.
- přenos tepla z vyhřívajícího rozvodu vtoků na tryčku, které se používá u vícenásobných forem. Je to dokonalejší způsob oproti jiným dříve popisovaným systémům.

Přímo ohřívání trysky mají dva základní typy konstrukčního provedení:

- s vnějším topením, kde tavenina teče vnitřním otvorem tělesa trysky, která je z tepelně vodivého materiálu.
- s vnitřním topením, kde tavenina obtéká vnitřní vyhřívající vložku



Obr. 15. Vyhřívání trysky

a-tryska s vnějším vytápěním, b – tryska s vnitřním vytápěním

Vyhřívání rozvodné bloky

Vstřikovací formy s rozvodnými bloky se používají spolu s vyhříváními tryčkami. Slouží k rozvedení roztaveného plastu do tvarových dutin u vícenásobných forem. Rozvodné bloky jsou vyráběny z oceli, uloženy mezi tvarovou upínací deskou v pevné části formy. Vyrábějí se ve tvarech I, H, X, Y atd. Musí být tepelně zaizolované od dalších částí formy. Většinou je to zajištěno vzduchovou mezerou. [1]



Obr. 16. Příklady rozvodných bloků

4.4 Vyhazovací systém

Vyhazování dílu z formy je proces, při kterém se z tvarové dutiny vysune nebo vytlačí hotový výrobek. K vyhazování se používají různé vyhazovací zařízení. Mohou fungovat automaticky nebo poloautomaticky. Při vyhazování se docílí k odstranění výrobku včetně vtokového zbytku. Vyhazovací cyklus má dvě fáze [1]:

- dopředný pohyb (samotné vyhazování)
- zpětný pohyb (návrat vyhazovacího systému do původní polohy)

Základní podmínky pro dobré vyhození výrobku je hladký povrch a úkosovitost stěn ve směru vyhazování. Úkosy by neměly být menší jak $0,5^\circ$. Výstřik se musí ve vyhazovacím systému vysouvat rovnoměrně, aby nedocházelo k jeho přičení a následnému vzniku trvalých deformací nebo jinému poškození. [1], [9]

4.4.1 Vyhazovací síla

Vhodný vyhazovací systém, který je třeba použít, musí mít potřebnou vyhazovací sílu pro samotné vyhození výstřiku z formy. Výstřik po otevření formy zůstává vlivem smrštění většinou na tvárníku. V některých případech může výstřik zůstat i ve tvárnici. Proto je snaha, aby zůstal výstřik v té části formy, kde se nachází vyhazovače. Velikost vyhazovací síly závisí na [1]:

- Velikosti smrštění výstřiku ve vstřikovací formě
- Jakosti povrchu funkčních ploch tvárníku a členitosti výstřiku
- Technologických podmínkách vstřikování (teplotě plastu a formy, tlaku, době chlazení výstřiku)

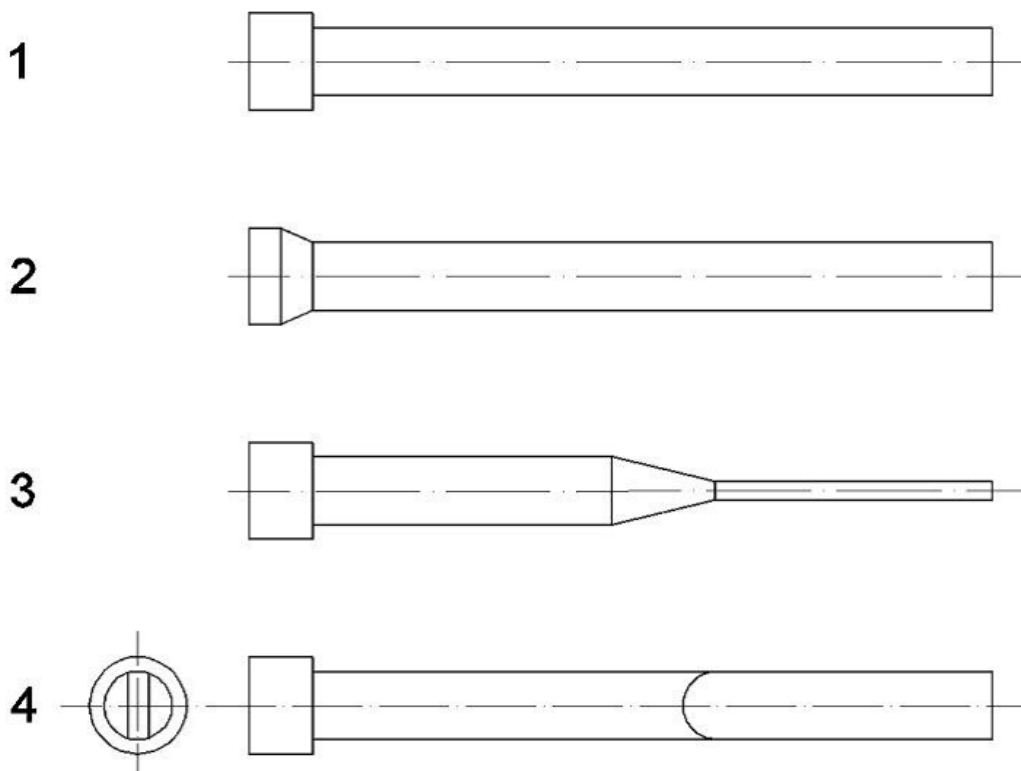
4.4.2 Mechanické vyhazovače

Je to nejvíce používaný vyhazovací systém. Pro konstrukce mechanických vyhazovacích systémů se používá několik provedení, přičemž každé se hodí pro jiný druh výstřiku. [2]

- Vyhození vyhazovacími kolíky
- Vyhození trubkovými vyhazovači nebo stírací desky
- Šikmé vyhození
- Postupné vyhození

Vyhazovací kolíky

Nejekonomičtější a nejčastější způsob vyhazování. Vyhazovací kolík se opírá o stěnu, popř. žebro výrobku. Po plochách v místě dotyku po vyhození zůstávají stopy. Tím pádem se nejčastěji vkládají tam, kde není potřeba dobrý vzhled plochy. Při malém počtu vyhazovacích kolíků může docházet k deformaci výstřiku při vyhození, zase naopak při velkém počtu nastane větší komplikace s tvorbou temperačních kanálků. Vůle v uložení slouží zároveň jako odvzdušnění. [2], [8]



Obr. 17. Typy vyhazovacích kolíků

1 - s válcovou hlavou, 2 - kruhový děrovač, 3 - prizmatický vyhazovač, 4 - plochý vyhazovač

Trubkový vyhazovač a stírací deska

U trubkových vyhazovačů se používá speciální případ stírání tlakem. Vyhazovač s otvorem plní funkci vyhazovací desky a pracuje na stejném principu jako vyhazovací kolík. Tento vyhazovací kolík je umístěn v pevné desce formy a plní funkci jádra. Stírací deska působí na výrobek po celém jeho obvodu a díky tomu se nevytvoří žádné stopy na výstřiku. Používá se převážně u tenkostěnných výrobků, u kterých mohou lehce vznikat deformace nebo u výrobků velkých rozměrů. [2]

Šikmé vyhazování

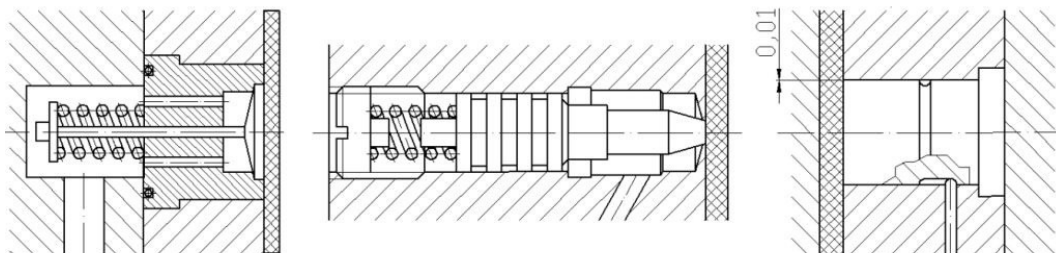
Jeden ze speciálních typů mechanického vyhazování. Vyhazovací kolíky jsou ve formě pod různými úhly a nejsou kolmé k dělicí rovině. Využívají se při vyhazování malých nebo středních výrobků s vnějším a vnitřním zápichem. Díky tomu není potřeba žádných složitých posuvných bočních čelistí. Tento typ vyhazování existuje v několika variantách i s možností jejich kombinací s přímým vyhazovacím systémem. [2]

Postupné vyhazování

Postupné vyhazování musí mít dva systémy, které jsou navzájem ovlivněny. Proto je možné vyhazovat výrobky s rozdílným časovým rozpětím vyhazovacího zdvihu i velikosti. Využití tohoto systému se objevuje např. při oddělování vtokového zbytku od výstřiku nebo k vyhození tenkostěnných výrobků. [2]

4.4.3 Pneumatické vyhazování

Tento typ vyhazování se používá především pro vyhazování slabostěnných výrobků větších rozměrů, jako jsou např. výrobek tvaru nádoby, který je potřeba při vyhazování zavzdušnit, aby nenastaly deformace. Při vyhazování se přivádí stlačený vzduch mezi výstřik a líc formy. Tím se získá rovnoměrné oddělení výstřiku od dutiny formy a také na něm neznikají žádné stopy po vyhazování. [2]



Obr. 18. Pneumatické ventily – talířový, jehlový, odvzdušňovací kolík

4.4.4 Hydraulické vyhazování

Ve vstřikovacím stroji jako součást, která se používá hlavně k ovládní mechanických vyhazovačů nebo bočních posuvných čelistí. Setkat se také můžeme se zabudovanými hydraulickými jednotkami přímo ve formě, které pracují na stejném principu jako vyhazovací systém. [2]

4.5 Temperace formy

Temperační systém formy pomáhá k udržení konstantního teplotního pole formy. Cílem je získat ideální pracovního cyklus vstřikování při zachování všech technologických požadavků. Děje se tak pomocí ochlazování, případně ohřevu celé formy či dalších částí. Temperace tedy ovlivňuje plnění dutiny formy a zajišťuje optimální chlazení a tuhnutí výstřiku. Během vstřikování je tavenina přiváděna do tvarové dutiny formy, kde se později chladí na vyhazovací teplotu, tj. teplota, při které nedochází k deformaci výrobku při vyhazování. Při každém vstřiknutí polymeru se forma ohřívá. Tohle přebytečné teplo je potřeba během pracovního cyklu odvést pomocí temperačního systému, kvůli zajištění stejných podmínek pro další výstřiky. [5]

Temperace formy má okamžitý vliv na smrštění a tvarové změny, mechanické vlastnosti výrobku a jakost povrchu, stejně také na zaplnění dutiny formy a teda i na délku vstřikovacího cyklu. Hlavním účelem je rovnoměrné rozdělení teploty po líci dutiny formy. Vhodné je použití většího počtu malých kanálků s malými roztečemi, než opačně. [5]

4.5.1 Temperační prostředky

Jsou to média, díky svému působení umožňují pracovat v optimálních tepelných podmínkách. Rozdělují se na:

- aktivní – probíhá přímo na formě. Odvádí z formy teplo nebo naopak přivádí. Řadí se tam, vzduch, kapaliny a topné elektrické články.
- pasivní - probíhá tepelný režim formy prostřednictvím svých fyzikálních vlastností. Řadí se tam zejména tepelně vodivé materiály nebo tepelně izolační materiály, které svým využitím zabrání přestupu tepla. Potom jsou to tepelně vodivé materiály, které se používají k přívodu a odvodu tepla do těžce temperovatelných částí. [5]

Typ	Výhody	Nevýhody	Poznámka
Voda	Vysoký přestup tepla Nízká cena Nízká viskozita Ekologická nezávadnost	Použití do 90°C Vznik koroze Usazování kamene	V tlakovém okruhu lze použít vodu i při vyšších teplotách, lze potlačit upravením vody
Oleje	Možnost temperace i nad 100°C	Zhoršený přestup tepla	
glykoly	Omezení koroze a ucpávání systému	Stárnutí, znečištění prostředí	

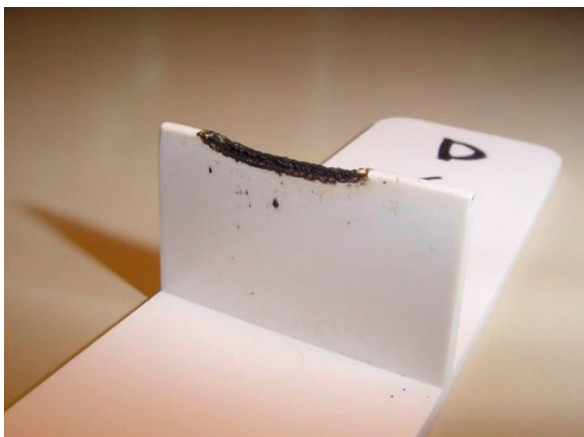
Tab. 1. Aktivní temperační prostředky

4.6 Odvzdušnění formy

Tvarová dutina formy je před vstřikovacím cyklem naplněna vzduchem. Při plnění taveninou je nezbytné zajistit únik vzduchu a zplodin. Je dané, že čím je rychlost plnění taveninou větší, tím lepší zajištění odvzdušnění dutiny musí být. Nejčastější překážkou, která se při odvzdušnění vyskytuje, je špatné nebo nedostatečné odvzdušnění tj. Dieselův efekt. Jedná se o vznícení nahromaděného stlačeného vzduchu v tvarové dutině formy. [10]

Odvzdušnění této dutiny tak nepatří mezi hlavní věci při navrhování formy. Problémy s odvzdušněním formy mohou nastat až při zkoušení nové formy, kde chybné řešení odvzdušňovacího systému může být hlavní příčinou nekvalitního vzhledu a také negativní ovlivnění mechanických vlastností. Odvzdušnění lze někdy lehce vyřešit, jindy je problém složitější. [10]

Vzduch z dutiny formy v některých případech stačí ujít dělicí rovinou, vůlí mezi pohyblivými částmi (vyhazovači). V průběhu použití ve výrobě však vlivem opotřebení vzniknou větší vůle, které vzduchu udělují dostatečné množství úniku. V ostatních případech je nezbytné formu vybavit odvzdušňovacím systémem prostřednictvím odvzdušňovacích kanálů. Jejich velikost závisí především na viskozitě polymeru a volí se podle tabulek. Odvzdušňovací kanály volíme nejčastěji naproti vtokovému ústí. [2], [10]



Obr. 19. Dieselův efekt

4.7 Materiály forem

Vstřikovací forma je velmi nákladný nástroj, který je sestaven z funkčních a pomocných částí a musí splňovat vysoké nároky na kvalitu, životnost a výrobní náklady. Nejdůležitější věcí pro splnění těchto podmínek je materiál, ze kterého se forma vyrábí. Je to ovlivněno jednotlivými podmínkami výroby, a to druhem plastu, požadavků na přesnost a jakost výroby, podmínkami při vstřikování (teplota, tlak) či samotným vstřikovacím strojem. Pro výrobu forem se tedy používají materiály, které zaručují kvalitní a ekonomicky ziskovou výrobu. Mezi ně patří zejména oceli vhodných vlastností, neželezné slitiny kovů (Cu, Al, ...) a jiné materiály (izolační). Nejpoužívanějším materiálem při výrobě forem je tedy ocel. Jsou téměř nepostradatelné díky svým mechanickým vlastnostem. [2]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Hlavní cíle v bakalářské práci byly stanoveny takto:

- vypracovat literární studii pro dané téma,
- provést 3D konstrukci modelu vstříkované součásti,
- navrhnout 3D konstrukci vstříkovací formy pro zadaný díl,
- nakreslit 2D řez vstříkovací formou spolu s výkresy a kusovníkem,

Teoretická část bakalářské práce měla za cíl přiblížit problematiku konstrukce vstříkovacích forem včetně technologie vstříkování a základních požadavků na zpracované polymerní materiály.

Praktická část pak měla obsahovat 3D model vstříkovaného dílu. Tento model má představovat reálný výrobek a jedná se o kryt vakuové jednotky v automobilech Mercedes Benz. Jako další cíl bylo zhotovit 3D sestava vstříkovací formy pro daný díl spolu s výkresovou dokumentací a kusovníkem.

Pro celkovou 3D konstrukci vstříkovací formy a modelu byl použit software CATIA V5R19, s využitím modulu od společnosti HASCO pro vložení normálií.

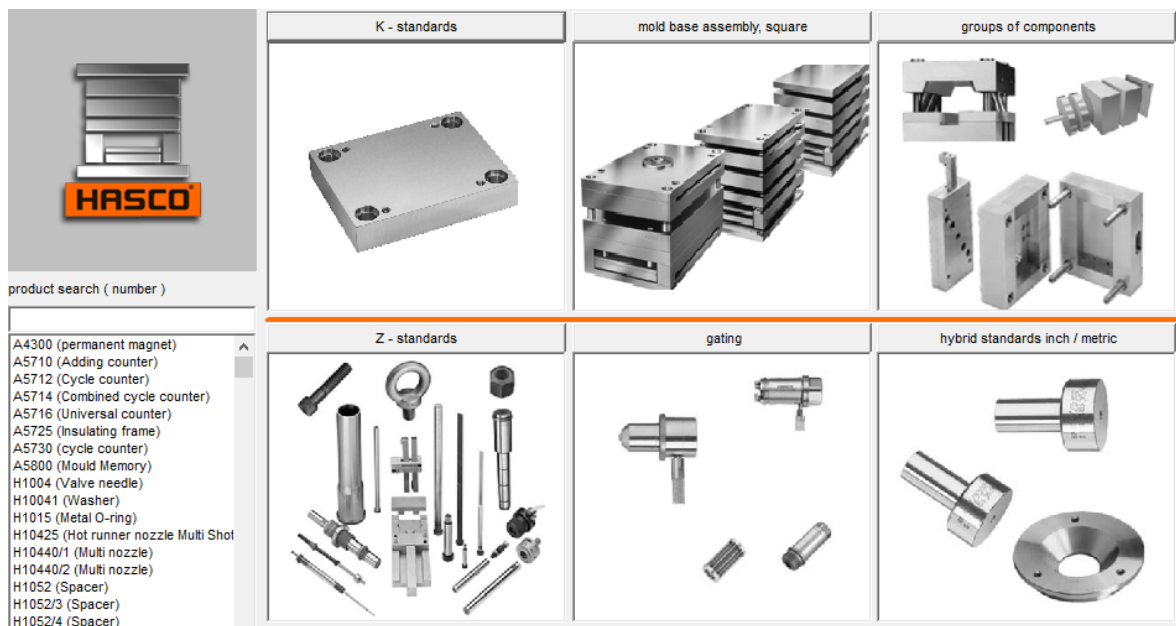
6 VYUŽITÝ SOFTWARE

6.1 Catia V5R19

Pro konstrukci vstřikovaného dílu a vstřikovací formy spolu s výkresovou dokumentací byl použit program CATIA V5R19. Jedná se o produkt francouzské firmy Dassault Systèmes, který je jeden z nejvyužívanějších programů jak pro automobilový či letecký průmysl, tak i pro strojírenský průmysl. Catii se dá využít pro širokou škálu oblastí výroby od tvorby samotných dílů přes celkovou konstrukci. Dále se dá použít pro simulace, analýzy, vytváření 2D výkresových dokumentací nebo NC programů v oblasti obrábění.

6.2 HASCO DAKO modul

Poskytuje přehledný digitální katalog normalizovaných součástí od společnosti HASCO, které se využívají při konstrukci vstřikovacích forem a umožňuje snadný výběr součástí a její následné vložení do konstrukčního prostředí. [11]



Obr. 20. katalog Hasco dako modulu normalizovaných součástí

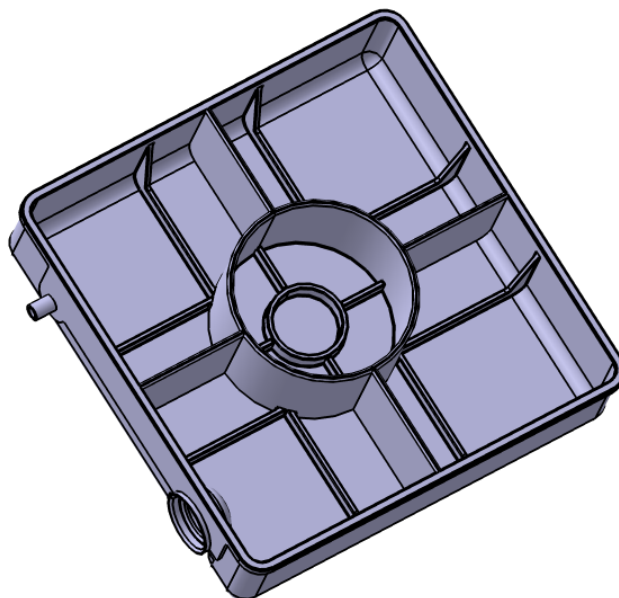
7 SPECIFIKACE VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU

7.1 Popis výrobku

Vstřikovaný plastový díl představuje součást vakuové jednotky v automobilu Mercedes Benz. Výrobek je vytvořen z tenkostěnného profilu s otvory a žebrováním na jeho vnitřní straně. Geometrie výrobku je taková, že při zaformování bude potřeba dvou dělících rovin.



Obr. 21. Fotografie výrobku



Obr. 22. 3D model výrobku

7.2 Materiál výrobku

Na výrobek byl použit Polypropylen s přísadou 20% Talku (minerální plnivo na bázi křemičitanu). Tento materiál se značí jako PP-T20. Jeho výhodou je dobrá tuhost, tvrdost, rozměrová stabilita a snížení tečení v porovnání s nemodifikovaným Polypropylenem. Dále je odolný vůči opotřebení a vyšší teplotě. Jeho nevýhodou je, že modifikace způsobuje také křehkost a horší vzhled než s nemodifikovaným PP.

Název materiálu	Polypropylen
Plnivo	Talek
Hustota	1,04 g/cm ³
Pevnost v tahu	32 MPa
Modul pružnosti v tahu	2300 MPa
Max. trvalá provozní teplota	100 °C
Teplota tání	240 – 290 °C
Teplota formy	30-50 °C

Tab. 2. Vybrané vlastnosti PP-T20

8 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Kvůli technickým parametrům a rozměrům vstřikovací formy byl zvolen vstřikovací stroj ALLROUNDER 570 C od německé společnosti ARBURG. [12]

Parametr	Hodnota
Maximální uzavírací síla	2000 kN
Maximální délka otevření	650 mm
Maximální světlost mezi upínací deskou	950 mm
Minimální výška formy	300 mm
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	570 x 570 mm
Velikost Upínací desky	795 x 795 mm
Maximální vyhazovací síla	66 kN
Celkový výkon stroje	45 kW
Průměr šneku	50 mm
Maximální objem vstřikované dávky	474 cm ³
Maximální vstřikovací tlak	180 MPa
Maximální kroutící moment	880 N.m

Tab. 3. Vybrané parametry vstřikovacího stroje ALLROUNDER 570 C

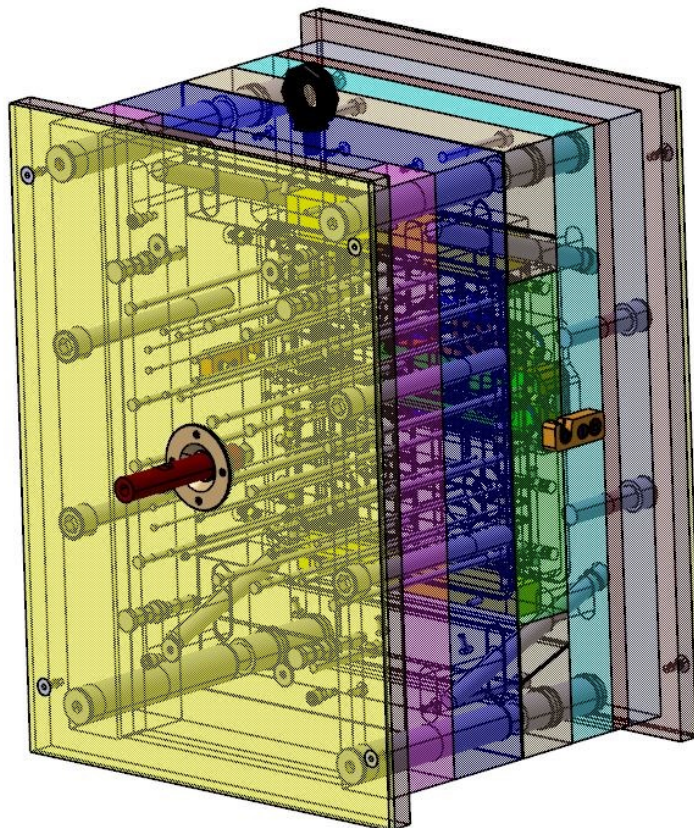


Obr. 23. Vstřikovací stroj ALBURG ALLROUNDER 570 C

9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Pro vstřikovaný výrobek s danými rozměry a geometrií byla navržena forma, která je čtyřnásobná. To se dá vysvětlit tak, že v průběhu jednoho pracovního cyklu dojde k vstříknutí taveniny do čtyř tvarových dutin formy najednou. Z ekonomického hlediska je nejlepší mít násobnost co největší. Pro urychlení a ideální konstrukci bylo použito co největší počet normalizovaných součástí od společnosti HASCO. Prostřednictvím programu Catia V5R20 v prostředích Generative Sheep Design a Part Design byly zhotoveny veškeré nenormalizované části formy. Všechny díly byly sestaveny v prostředí Mold Tooling Design a Assembly Design.

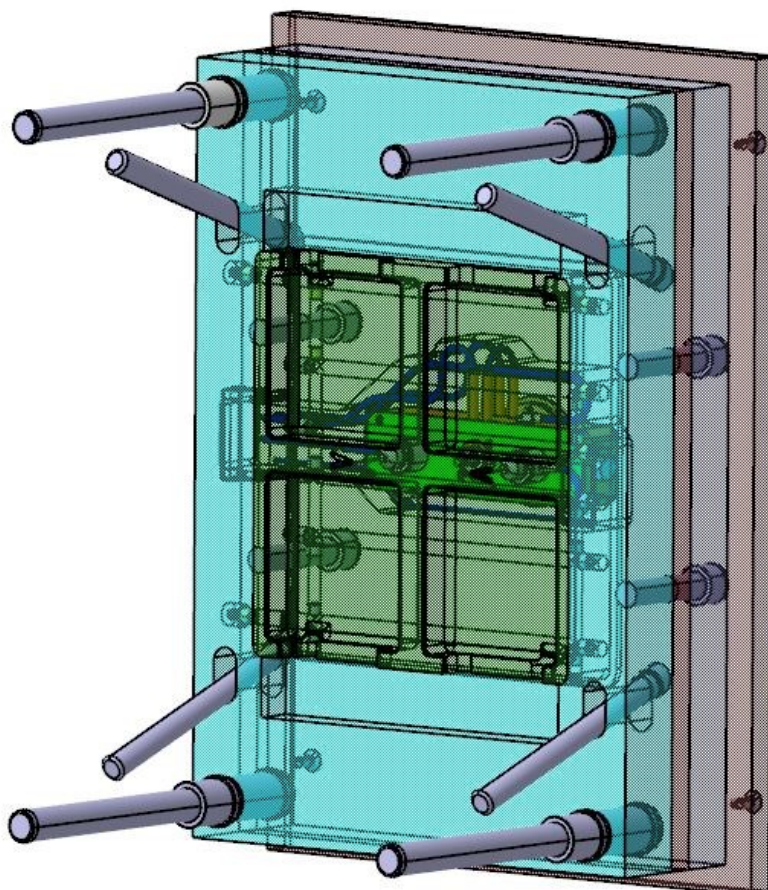
Jednotlivé desky formy a jejich rozměry byly navrženy na základě rozměrů vstřikovaného výrobku, aby byla dosažena dostatečná tuhost celé formy. Tyto desky jsou dále vystředěny vodícími čepky a spojeny do celku za pomoci šroubů.



Obr. 24. Vstřikovací forma

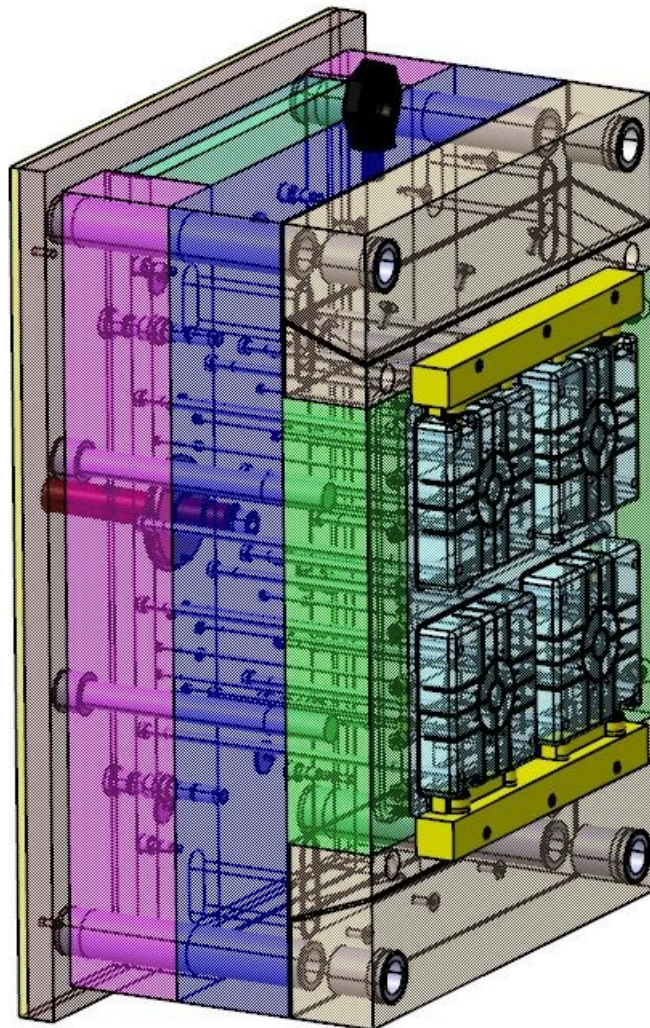
9.1 Hlavní části vstřikovací formy

Vstřikovací forma je složena ze tří hlavních částí a to z pravé strany, levé strany a vyhazovacího systému. V pravé tedy vstřikovací části je pět navzájem propojených desek. Izolační deska slouží k oddělení formy od vstřikovací jednotky a má nízkou tepelnou vodivost. Deska upínací se používá pro upnutí formy k pevné části vstřikovacího stroje a je v ní uložena také vtoková vložka se středícím kroužkem. Deska pro kabely a vyhřívaný systém slouží k uložení horkého rozvodného systému včetně zásuvky a kabelů. V pravé tvarové desce s tvárnici se vytvořily čtyři tvarové dutiny s vtokovými kanálky, které slouží k dopravě taveniny do dutiny. Temperaci formy tvoří systém vrтанých kanálků, které se nachází taktéž ve tvárnici. Šikmé a vodící čepy jsou umístěny také v pravé tvarové, které umožňují boční odformování.



Obr. 25. Pravá strana vstřikovací formy

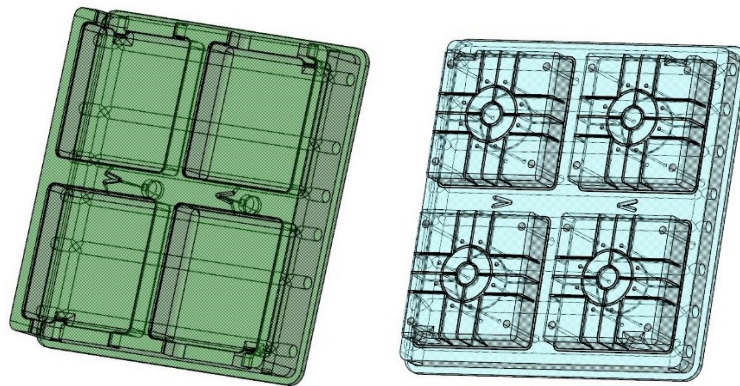
Levá neboli vyhazovací část formy, představuje sestavu propojených desek. V levé tvarové desce s tvárníkem se objevují tvarové dutiny, které jsou propojeny v pravé tvarové desce. Mezi těmito dvěma deskami se nachází hlavní dělicí rovina. V obou těchto deskách, kde jsou uloženy tvárník a tvárnice se vyskytuje systém vrtaných kanálků pro temperaci formy. Mezi opěrnou deskou a tvárníkem je vložena soustava posuvových čelistí, které zabezpečují boční odformování výrobku ve vedlejší dělicí rovině formy. Vyhazovací desky jsou vedeny po čtyřech vodících čepech vygenerované z normálií od firmy HASCO, které jsou zakotveny v levé upínací desce. Pro posuv vyhazovacích desek slouží rozpěrné desky, které jim vytvářejí prostor. V této desce je umístěno táhlo vyhazovačů spolu se středícím kroužkem. Vzájemné vystředění levé strany formy a jednotlivých částí zabezpečují středící trubky.



Obr. 26. Levá strana vstřikovací formy

9.2 Násobnost formy

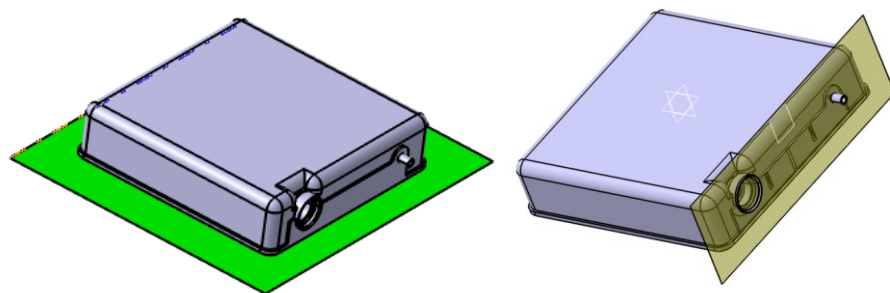
Násobnost formy je počet kusů, který lze vyrobit za jeden vstřikovací cyklus. Odvíjí se od kapacity vstřikovacího stroje, nároků na přesnost, velikosti a geometrii tvarové dutiny formy, ekonomiku výroby a dalších faktorů. Pro tento případ tedy kryt vakuové jednotky, byla s ohledem na velikost, tvar výrobku a polohy posuvových čelistí zvolena forma čtyřnásobná.



Obr. 27. Tvárnice a tvárník

9.3 Dělicí roviny

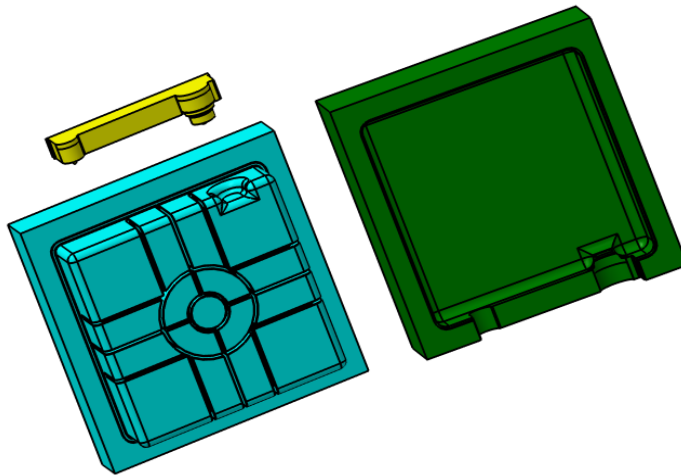
Vzhledem ke geometrii zadaného dílu bylo nutné při konstrukci formy vytvořit dvě dělicí roviny. V nich se bude forma dávat otevřít a také bude umožněno samotné odformování a následné vyhození vstřikované součásti. Hlavní dělicí rovina vede souběžně s upínací deskou formy. Vedlejší rovina vede kolmo k upínací desce. Tento systém umožňuje odformování tvarové dutiny na horní straně výstřiku.



Obr. 28. Hlavní a vedlejší dělicí rovina

9.4 Tvarové součásti

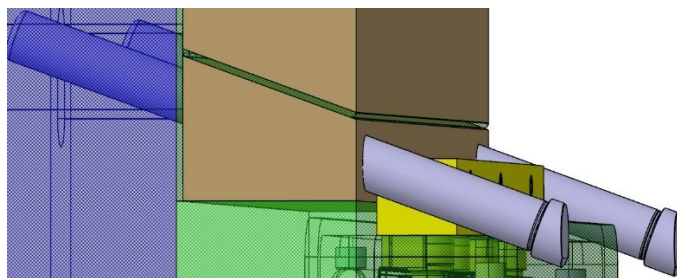
Tvarovou dutinu formy pro zadaný výrobek vytváří dohromady tři části, tvárnice, tvárník a boční posuvná čelist. Tyto části jsou negativním tvarem výstřiku zvětšené o hodnotu smrštění vstřikovaného plastu. Tvárník je umístěn v levé pohyblivé části stejně jako boční čelisti, které se v průběhu otevírání dělicí roviny začnou prostřednictvím šikmých čepů posouvat. Tvárnice je v pevné pravé části formy.



Obr. 29. Schéma tvárníku a tvárnice s boční tvarovou částí

9.5 Boční posuvové čelisti

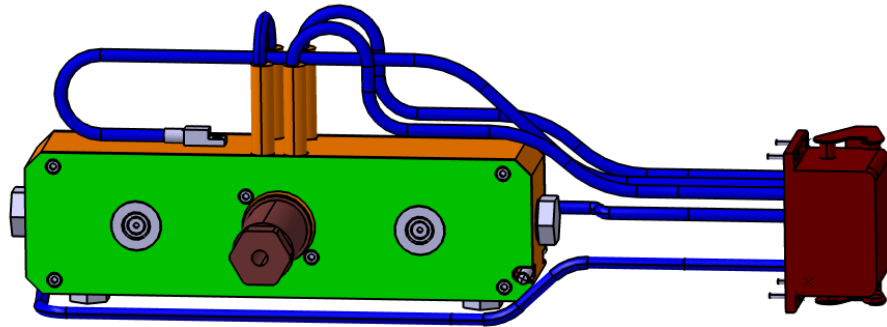
U případů, kde by nebyla šance odformovat výrobek běžným způsobem, je zapotřebí odformovat prostřednictvím bočních posuvných čelistí. Tyto čelisti jsou sjednoceny s tvarovou částí, otevírány společně s dělicí rovinou a tím dojde k odformování dané části výstřiku. Čelisti jsou navedeny po čepch, které jsou vloženy pod úhlem 20° na pravé straně formy. Mezi tvarové části, jsou vloženy kluzné desky, které se dají po opotřebení vyměnit. Zmenší se tím opotřebení tvarových částí, které se navzájem po sobě posouvají.



Obr. 30. Šikmé čepy s boční čelistí

9.6 Vtokový systém

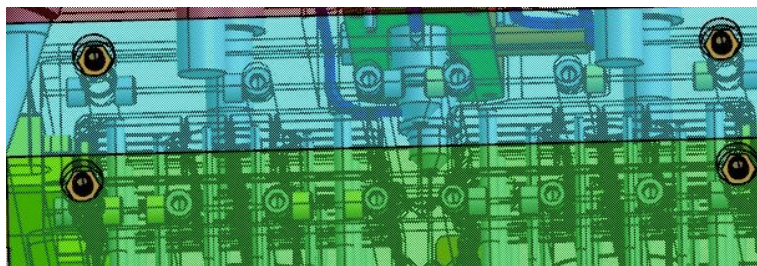
Vtoková soustava slouží k přepravě taveniny polymeru vstříkací tryskou do tvarové dutiny formy. Hlavní věcí, jak zajistit, aby tavenina byla vstříknuta do všech tvarových dutinek formy současně, je správné navržení vtokové soustavy. U této formy byla zvolena kombinace horkého rozvodného bloku spolu se studenou vtokovou soustavou. Horký rozvodný blok je tvořen dvěma tryskami, které se spojují se studenými vtokovými kanálky. Tím se roztavený polymer rozvede do všech čtyř tvarových dutin formy. Využitím horkého rozvodného bloku se získá konstantní udržení požadované teploty taveniny, až po samotné dopravení do dutiny formy. Ušetří se tím velké množství materiálu, ale pořizovací či provozní náklady tím naopak vzrostou.



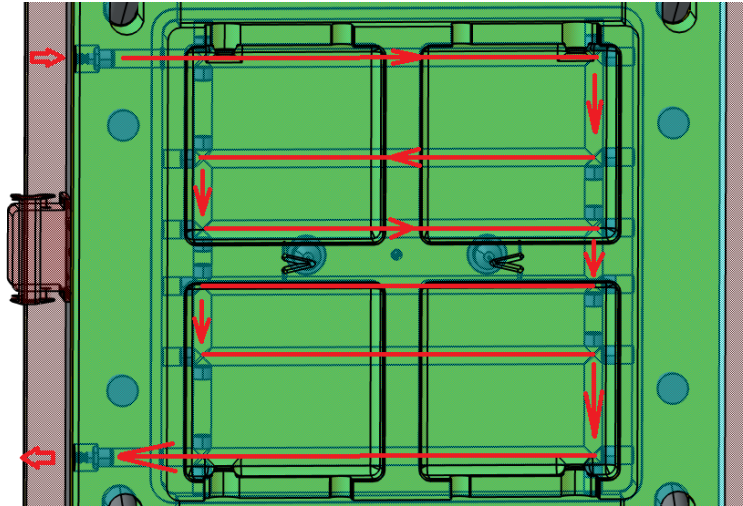
Obr. 31. Horký rozvodný blok se zásuvkou a kabeláží

9.7 Temperační systém

Temperaturaci celé formy tvoří systém vrtaných kanálků, ucpávek či trnů. Ty umožní velké odvádění tepla, které bylo odevzdáno taveninou polymeru deskám formy. Vyvrtané kanálky jsou ve tvárníku i tvárnici a mají průměr 14 mm.



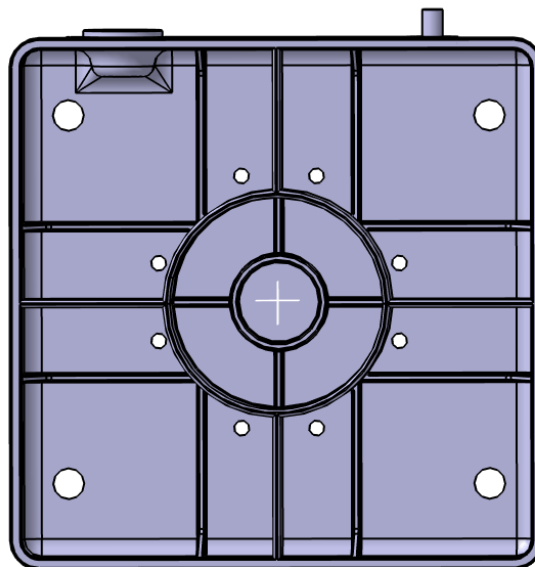
Obr. 32. Temperace s ucpávkami



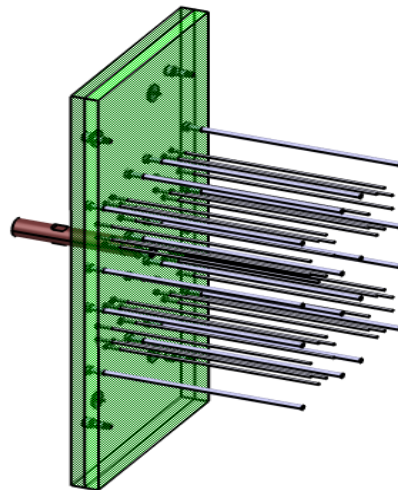
Obr. 33. Temperační systém a směr tečení

9.8 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém po odformování hlavní a vedlejší roviny slouží k vyhození výrobku. K tomuto účelu se používají válcové vyhazovací kolíky, které jsou umístěny tak, aby docházelo k stejnému rozložení vyhazovací síly. Vyhazovací systém je složen z vyhazovací desky kotevní a opěrné, dále táhla vyhazovačů, dosedacích částí a ze samotných vyhazovačů, které jsou vedeny po čtyřech vodících čepech. Na jeden výrobek připadá dvanáct válcových vyhazovačů.



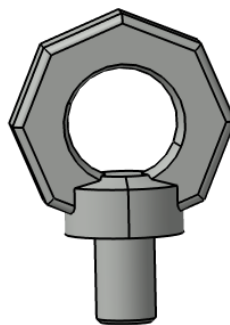
Obr. 34. Umístění vyhazovacích kolíků na výrobku



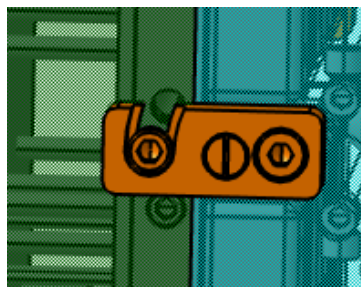
Obr. 35. Vyhazovací systém formy

9.9 Manipulační zařízení a zámek formy

Kvůli celkovým rozměrům a hmotnosti formy, je na horní straně formy upevněna nosná součást, který je dodán z normálií Hasco. Při manipulaci s formou se na ní musí upevnit také zámek, aby nedošlo k posunutí v dělicích rovinách. Jsou dodány z normálií Hasco a umístěny na obou bocích formy.



Obr. 36. Nosná součást



Obr. 37. Zámek formy

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vytvoření návrhu a konstrukce vstříkovací formy pro zadaný výrobek z polymeru. Vstříkovaným výrobkem byl ochranný kryt vakuové jednotky u automobilu Mercedes Benz. Vyrobena byla z Polypropylenu plněného z 20% Talkem.

Teoretická část této práce se zaměřuje na rozdělení polymerů, konstruování vstříkovací forem s popisem jednotlivých částí a polymerních součástí, technologii vstříkování a jejímu využití.

Praktická část bakalářské práce zahrnuje konstrukci 3D modelu vstříkovaného výrobku. K tomuto dílu byla pro výrobu navržena 3D sestava vstříkovací formy společně s výkresovou dokumentací a kusovníkem. Všechny části byly vymodelovány a sestaveny v softwaru Catia V5R19, podle které byla vytvořena také celá výkresová dokumentace. Vstříkovací forma byla složena z mnoha normalizovaných dílů digitálního katalogu od firmy HASCO. Tímto došlo k velkému usnadnění práce s návrhem.

Vytvořená forma je čtyřnásobná. To znamená vyhození čtyř výrobků za jeden vstříkovací cyklus. Vstříkovací forma, je složena ze tří hlavních částí, pravá strana, levá strana a vyhazovací systém. Vtokový systém představuje kombinaci vyhřívaného rozvodného bloku se studenou vtokovou soustavou. Vtokové kanálky společně s vtokovými ústími byly situovány tak, aby byla tavenina polymeru přepravena do všech čtyř tvarových dutinek ve stejný čas. K zaformování vstříkovaného výrobku se použila sestava bočních posuvných čelistí, které jsou řízeny mechanicky prostřednictvím šikmých čepů. Vyhazovací systém je vytvořen z válcových vyhazovacích kolíků, které jsou vloženy mezi dvěma deskami. Temperační soustavu tvoří vyvrtané kanálky, které jsou ve tvárníku i tvárnici a mají za účel proudit chladicí médium. Manipulace vstříkovací formy se dá realizovat pomocí šroubu s okem. Oko se nachází v horní části formy.

Kvůli celkovým rozměrům vstříkovací formy a jiným procesním parametrům byl zvolen vstříkovací stroj typu ALLROUNDER 570C, vyrobený od firmy ARBURG.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů. Díl 1.* 2.upr.vyd. – Brno: Uniplast, 1999, 134 s.
- [6] BOBČÍK, Ladislav. A kol. *Formy pro zpracování plastů: II. Díl – Vstřikování termoplastů.* 1. vydání – Brno: Uniplast, 1999, 214 s.
- [2] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: Díl II. – Vstřikování termo-plastů.* 1. vydání – Brno: Uniplast, 1999, 214 s.
- [3] DUCHÁČEK, V. *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití,* 2. vyd. Praha: VŠCHT, 2006. 280 s. ISBN 80-7080-617-6
- [4] BRUMMEL, M. a kol. *Rozměrově přesné výrobky z plastů.* 1. vyd. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1977, 278 s.
- [5] LENFELD, P. *Technologie II. Vstřikování plastů,* Technická univerzita Liberec, Katedra strojírenské technologie. Dostupná z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [6] STANĚK, M. *Konstrukce forem (přednášky)* UTB Zlín, 2017
- [7] ŠTĚPEK, J., ZELINGER J. a KUTA A. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů.* 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989, 637 s.
- [8] TOMIS, F., HELŠTÝN, J., KAŇOVSKÝ, J. *Formy a přípravky* 2. upr. vyd. Praha: SNTL, 1985, 273 s.
- [9] KUBÍČEK, D., *Bakalářská práce: Konstrukce formy pro vstřikování plastového dílu.* 1. vyd., Zlín: 2005, 56 s.
- [10] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení, Stroje Gumárenské a plastikařské II.* Brno: VUT, 1990. 199 s.
- [11] HASCO [online]. [cit. 2017-20-04]. Dostupný z WWW: <http://hasco.com>
- [12] ARBURG [online]. [cit. 2017-10-05]. Dostupný z WWW: <http://www.arburg.com>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

T _m	Teplota tání
T _g	Teplota skelného přechodu
Catia	Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application
NC	Numerical control
3D	Trojrozměrný prostor
PA	Polyamid
PC	Polykarbonát
SAN	Styren-akrylonitril
PS	Polystyren
PP – T20	Polypropylen z 20% plněný talkem
2D	Dvojrozměrný prostor
PE	Polyetylen
PP	Polypropylen

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. základní rozdělení polymerů</i>	12
<i>Obr. 2. Oblast využití u amorfních plastů.....</i>	13
<i>Obr. 3. Oblast využití u semikrystalických plastů.....</i>	13
<i>Obr. 4. Vstřikovací cyklus a časová vytiženost jednotlivých operací</i>	15
<i>Obr. 5. Vstřikovací cyklus.....</i>	16
<i>Obr. 6. Schéma vstřikovacího stroje</i>	17
<i>Obr. 7. Dosednutí trysky na vtokovou vložku</i>	17
<i>Obr. 8. Uzavírací jednotka</i>	18
<i>Obr. 9. a) - Špatná konstrukce, b) – správná konstrukce</i>	19
<i>Obr. 10. Způsoby odstranění závad na výstřiku</i>	20
<i>Obr. 11. Volba délky vtokového systému</i>	24
<i>Obr. 12. Průřez vtokových kanálků</i>	25
<i>Obr. 13. Způsoby přidržení vtokového systému</i>	25
<i>Obr. 14. Základní typy vtokových ústí</i>	26
<i>Obr. 15. Vyhřívání trysky</i>	28
<i>Obr. 16. Příklady rozvodných bloků.....</i>	29
<i>Obr. 17. Typy vyhazovacích kolíků</i>	30
<i>Obr. 18. Pneumatické ventily – talířový, jehlový, odvzdušňovací kolík</i>	31
<i>Obr. 19. Dieselův efekt</i>	34
<i>Obr. 20. katalog Hasco dako modulu normalizovaných součástí</i>	37
<i>Obr. 21. Fotografie výrobku</i>	38
<i>Obr. 22. 3D model výrobku</i>	38
<i>Obr. 23. Vstřikovací stroj ALBURG ALLROUNDER 570 C.....</i>	40
<i>Obr. 24. Vstřikovací forma</i>	41
<i>Obr. 25. Pravá strana vstřikovací formy</i>	42
<i>Obr. 26. Levá strana vstřikovací formy</i>	43
<i>Obr. 27. Tvárnice a tvárník</i>	44
<i>Obr. 28. Hlavní a vedlejší dělicí rovina.....</i>	44
<i>Obr. 29. Schéma tvárníku a tvárnice s boční tvarovou částí</i>	45
<i>Obr. 30. Šikmé čepy s boční čelistí</i>	45
<i>Obr. 31. Horký rozvodný blok se zásuvkou a kabeláží</i>	46
<i>Obr. 32. Temperace s ucpávkami</i>	46

<i>Obr. 33. Temperační systém a směr tečení</i>	47
<i>Obr. 34. Umístění vyhazovacích kolíků na výrobku</i>	47
<i>Obr. 35. Vyhazovací systém formy</i>	48
<i>Obr. 36. Nosná součást</i>	48
<i>Obr. 37. Zámek formy</i>	48

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Aktivní temperační prostředky.....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 2. Vybrané vlastnosti PP-T20.....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 3. Vybrané parametry vstřikovacího stroje ALLROUNDER 470 H.....</i>	<i>40</i>

SEZNAM PŘÍLOH

P1 – Výkresová dokumentace

- Výrobní výkres součásti,
- 2D řezy sestavou vstřikovací formy,
- Kusovník,

P2 – Disk CD

- Bakalářská práce ve formátu PDF,
- 3D sestava vstřikovací formy v softwaru Catia V5R19,
- Výkresová dokumentace