

Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu kol skateboardu

Vojtěch Fuksa

Bakalářská práce
2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Vojtěch Fuksa
Osobní číslo:	T20244
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Konstrukce vstřikovací formy pro výrobu kol skateboardu

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši zabývající se danou problematikou
2. Vytvořte 3D model vstřikované součásti
3. Proveďte 3D konstrukční návrh vstřikovací formy pro daný díl
4. Vyhotovte výkres sestavy vstřikovací formy včetně kusovníku a patřičných pohledů

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

Seznam doporučené literatury:

ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 9788027106141.

ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 9788072048335.

OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. *Injection molding handbook*. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 9781569904206.

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

Datum zadání bakalářské práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 22. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na návrh vstřikovací formy pro skateboardové kolo. Je rozdělena na dvě hlavní části, přičemž první teoretická část se zabývá problematikou vstřikování polymerních materiálů, použitím a volbou vhodného materiálu pro daný výrobek a konstrukcí forem. V druhé praktické části práce řeší 3D návrh dané součásti, návrh vstřikovací formy s výkresovou dokumentací a volbu vhodného vstřikovacího stroje.

Klíčová slova: vstřikovací forma, skateboardové kolo, termoplastický polyuretan, CimatronE 11

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on designing an injection mold for skateboard wheel. It is divided into two main parts, when the first theoretical part deals with injecting polymer materials, the use and choice of suitable material for this particular project and general information about injection mold design. The second practical part focuses on the 3D design of the product, the design of the injection mold, with drawn documentation and choosing a suitable injection-molding machine.

Keywords: injection mold, skateboard wheel, polyuretan, CimatronE 11

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu práce panu Ing. Jiřímu Vaňkovi za ochotné vedení, rady a věnovaný čas. Dále chci poděkovat rodině a kamarádům za jejich podporu. V neposlední řadě děkuji Ladislavu Haikerovi, Filipovi Jurkovi, Adamu Chrásteckému a Štěpánu Kašíkovi za jejich inspirativní přístup a podporu jak ve studiu tak i životě.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 SKATEBOARDING	11
1.1 SKATEBOARDOVÁ KOLA	11
1.1.1 Velikost kol	11
1.1.2 Tvrdost kol	13
1.1.3 Shark wheel	14
2 POLYMERNÍ MATERIÁLY	17
2.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	18
2.1.1 Termoplasty	18
2.1.2 Reaktoplasty	20
2.1.3 Termoplastické Elastomery (TPE)	20
2.2 VLASTNOSTI POLYMERŮ	21
2.3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VÝBĚR DANÉHO MATERIÁLU	21
2.3.1 Polyuretan	23
3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	24
3.1 PRINCIP VSTŘIKOVÁNÍ	24
3.2 FÁZE VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	25
3.3 VSTŘIKOVACÍ STROJE	26
3.4 SMRŠTĚNÍ A DEFORMACE PLASTŮ	28
3.5 VADY VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	29
4 VSTŘIKOVACÍ FORMY	32
4.1 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM	33
4.2 ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY	33
4.3 ZAFORMOVÁNÍ A DĚLÍCÍ ROVINA	34
4.4 VTOKOVÉ SYSTÉMY	35
4.4.1 Studené vtokové systémy	35
4.4.2 Horké vtokové systémy	36
4.5 TEMPERAČNÍ SYSTÉMY	38
4.6 VYHAZOVACÍ SYSTÉMY	39
4.7 ODVZDUŠŇOVACÍ SYSTÉMY	41
4.8 MATERIÁLY FOREM	42
II PRAKTICKÁ ČÁST	44
5 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	45
6 POUŽITÝ SOFTWARE	46

6.1	CIMATRONÉ 11	46
6.2	MEUSBURGER NORMÁLIE	47
7	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE.....	48
8	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK	49
9	MATERIÁL VÝROBKU.....	50
10	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	51
10.1	PRAVÁ STRANA FORMY	52
10.2	LEVÁ STRANA FORMY.....	53
10.3	NÁSOBNOST FORMY	54
10.4	DĚLÍCÍ ROVINY.....	54
10.5	TVAROVÉ DUTINY	55
10.6	VTKOVÁ SOUSTAVA	56
10.7	TEMPERAČNÍ SYSTÉM	57
10.8	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	58
10.9	MANIPULACE S FORMOU.....	59
	ZÁVĚR.....	60
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	64
	SEZNAM TABULEK	66
	SEZNAM PŘÍLOH	67

ÚVOD

S postupným vývojem lidské rasy, novými objevy a zlepšováním výrobních technologií, přichází i zvyšování požadavků na mechanické, fyzikální i chemické vlastnosti materiálů používaných jak v obecném průmyslu, tak i ve strojírenské výrobě.

S tímto nevyvratitelným faktem přichází ke slovu polymerní materiály, které do značné míry mění pravidla zpracování a použití materiálů, které byly známy do objevení polymerů a otevírají dveře pro nekonvenční metody zpracování a zcela nové možnosti využití těchto materiálů. [1]

Jedním z hlavních důvodů, proč se polymery dostávají do popředí strojírenské výroby, je fakt, že nabízejí velkou škálu rozdílných vlastností a možných postupů zpracování, jako je vstřikování, odlévání, slinování, vyfukování nebo dokonce 3D tisk, s ohledem na cenovou dostupnost výroby.

A právě nejčastěji používaný způsob zpracování je vstřikování do vstřikovací formy. Jedná se o vcelku obsáhlý a komplikovaný proces, při kterém je velká část pozornosti věnována vstřikovací formě, která musí splňovat řadu kritérií, aby bylo dosaženo co nejefektivnější výroby. Proces probíhá na vstřikovací stroji, kdy je zplastikovaný polymer vstříknut do formy tvořící negativ dané součásti a po ochlazení je z formy vyhozen hotový díl.

Jelikož je tento proces ovlivněn mnoha faktory, jsou používány moderní softwary pro usnadnění a zefektivnění práce návrhářů, příkladně pro analýzu toku taveniny nebo použití takzvaných stavebnicových systémů pro konstrukci formy, kdy lze čerpat z knihoven normalizovaných dílů, a ušetřit tak čas a tedy i peníze. [3]

Tato bakalářská práce je zaměřena na návrh a konstrukci vstřikovací formy pro skateboardové kolo.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SKATEBOARDING

Je pravděpodobné, že dnes už téměř každý alespoň okrajově ví, co skateboarding znamená nebo minimálně tuší o co se ve skateboardingu jedná.

Pro jistotu je zde však stručný popis a přehled popisující skateboard a jízdu na něm. K dřevěné desce jsou pomocí dvou kovových náprav připevněna plastová kolečka opatřena ložisky a jezdec nazývaný „skater“ se pomocí odražení nohama pohybuje a odražením desky o zem je schopný vyskočit i se skateboardem do vzduchu a předvádět rozmanité triky.

Dnes je skateboarding považován za sportovní nebo rekreační aktivitu, typ dopravního prostředku, zaměstnání, kratochvíli, nebo dokonce umění a životní styl. [2]

1.1 Skateboardová kola



Obrázek 1 Skateboardová kola [6]

Skateboardová kola jsou velmi důležitou částí, i proto, že jsou při jízdě v přímém kontaktu se zemí a přímo ovlivňují chování a ovládání skateboardu. Jako materiál pro výrobu je v dnešní době standardně používán Polyuretan v různých tvrdostech.

Každé kolečko je opatřeno dvojicí valivých kuličkových ložisek, zpravidla průmyslového standartu 608 se sedmi kuličkami, o rozměru vnitřního otvoru 8mm, průměrem 22mm a šířkou 7mm.

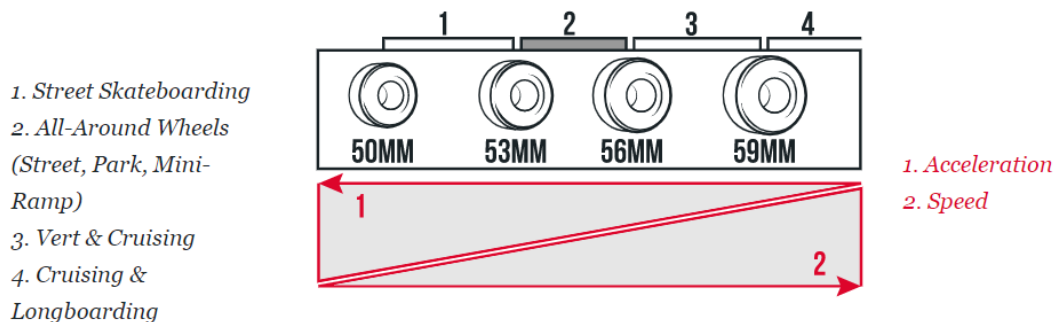
Hlavní parametry, které ovlivňují použití a vlastnosti kolečka jsou: velikost kolečka, tím je myšlen průměr a tloušťka, tvrdost a v neposlední řadě tvar. [8,6]

1.1.1 Velikost kol

Průměr kola

Průměr kol má zásadní vliv na jízdní vlastnosti skateboardu. Od průměru kol se odvíjí akcelerace a celková rychlost. Na obrázku 3 lze vidět, že se zvětšujícím se průměrem

kolečka, se zvyšuje celková rychlost, ale zmenšuje se akcelerace. Kdežto menší kolečka mají lepší akceleraci, ale menší rychlost. [6]



Obrázek 2 Vztah akcelerace a celkové rychlosti vůči průměru kola [6]

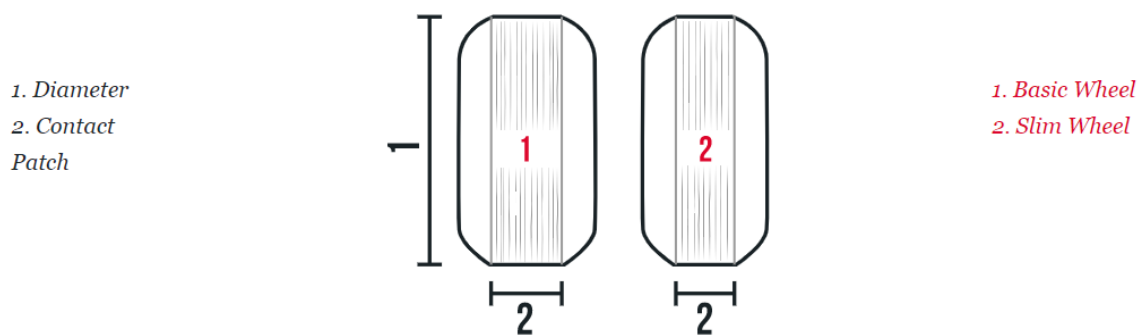
Podle těchto vlastností se také liší použití pro jednotlivé disciplíny:

- Malá kolečka (do průměru 53 mm) jsou používána pro street a skatepark ježdění, kdy jezdec dělá technicky náročné triky, proto je výhodou menší kolečko, které má nižší hmotnost, lepší akceleraci.
- Středně velká kolečka (průměr 54–58 mm) se používají hlavně pro disciplínu park neboli takzvaný „bazén“, kdy jezdec potřebuje vyšší rychlost, která mu umožňuje efektivně jezdit právě v tomto prostředí.
- Velká kolečka (průměr 59 mm a větší) naleznou využití pro samotnou jízdu a horší kvalitu povrchu, jelikož větší průměr kolečka lépe překoná nerovnosti a má největší rychlost. S těmito kolečky se setkáváme při obyčejném ježdění po městě nebo na cyklostezce, kde nám skateboard slouží spíše jako dopravní prostředek (takzvaný „cruising“).
- Největší kolečka používáme tehdy, když chceme dosáhnout největších rychlostí. To se týká disciplín longboarding (jezdec při jízdě provádí ostré zatáčení, nebo taneční kreace) a downhill longboarding (jízda z prudkého kopce doplněná o powerslidy (klouzání skateboardu bokem po všech čtyřech kolech)). [6]

Šířka kontaktní plochy kola s povrchem

Důležitým parametrem co se rozměrů koleček týče, je i samotná šířka plochy kolečka, která je v kontaktu s povrchem. Od tohoto parametru se odvíjí také rychlost kolečka, jelikož se mění valivé tření, dále také celková váha kolečka, stabilita, překonávání překážek (nerovnosti, kamínky) a přilnavost.

Obecně lze říci, že užší kolečka jsou používány pro technické street ježdění a širší stabilnější kolečka pro disciplíny, kde jezdec dosahuje větších rychlostí, nebo se pohybuje po méně kvalitním povrchu. [6]



Obrázek 3 Šířka plochy kolečka, která je v kontaktu s povrchem [6]

1.1.2 Tvrdost kol

Další velmi důležitou vlastností je tvrdost kolečka. Od tvrdosti se odvíjí rychlost, přenášené vibrace a schopnost kolečka klouzat po povrchu, po kterém se pohybuje.

Tvrdost skateboardových koleček a tedy tvrdost polyuretanu je uváděna na stupnici v jednotce durometr, značené písmenem A. Tato stupnice disponuje 100 jednotkami, přičemž platí, že čím vyšší číslo, tím vyšší tvrdost. Skateboardová kolečka se orientačně pohybují od hodnot 75A a výše.

Charakteristikou měkkých koleček je tichá jízda, vyšší přilnavost a minimální vibrace na hrubém povrchu, ale taky menší rychlost a horší schopnost po povrchu klouzat. [6]

Dle základních tvrdostí se kolečka dělí na:

- Velmi měkká kolečka (tvrdosti 75–92 A) minimalizují vibrace, mají skvělou přilnavost a jsou využívána pro jízdu po nerovném povrchu a obecně se s těmito tvrdostmi lze setkat u velkých cruisových kol.
- Měkká kolečka (tvrdosti 93–95 A) nejčastější využití nalézají u začátečníků nebo při streetovém ježdění na hrubém povrchu. Jsou takovým hybridem, co se tvrdosti koleček týče, jelikož si nesou trochu z vlastností jak velmi měkkých, tak tvrdších koleček a mohou být použity pro víceúčelové ježdění.
- Tvrdá kolečka (tvrdosti 94–99 A) používají jezdci ve skateparcích a na hladkém povrchu. Tato kolečka skvěle zrychlují a umožňují techničtější ježdění na překážkách.
- Velmi tvrdá kolečka (tvrdosti 99–101 A/ 83–84 B) jsou určena hlavně pro velmi pokročilé jezdce, schopné využívat specifických vlastností těchto koleček, tedy hlavně skvělé schopnosti klouzat po povrchu. [6]

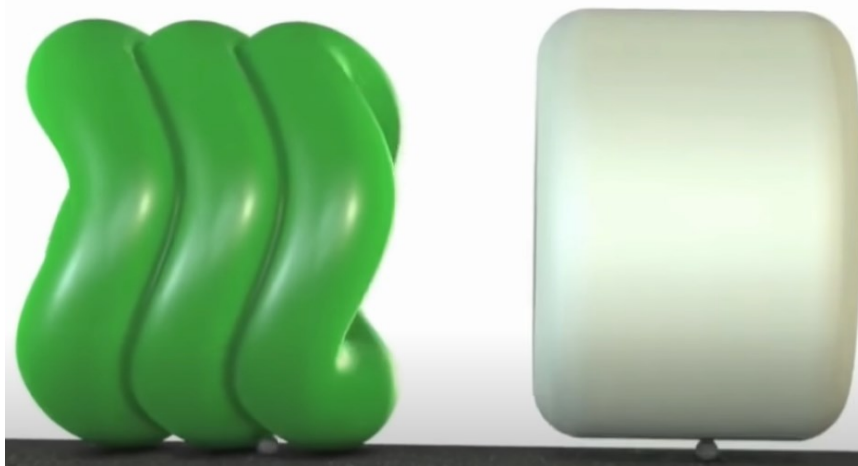
1.1.3 Shark wheel

Samostatnou kapitolou je speciální kolečko s názvem shark wheel, které se na trhu pohybuje teprve několik let. Na první pohled je zřejmé, že největší rozdíl je tvar kolečka, kdy po obvodu vedou tři linie, které tvoří dvojici drážek. Při pohledu na čelo kola zjistíme, že není zdánlivě kruhové, ale že se tvar blíží spíše čtverci. [12]



Obrázek 4 Shark wheels [12]

Tento unikátní tvar má hned několik výhod. Jako první a nejvýraznější výhoda je jízda po hrubém povrchu, kdy jsou eliminovány vibrace, dochází k lepšímu překonávání nerovností a plynulosti jízdy. Dochází k tomu právě díky křivkám, kterými shark wheel disponuje. Zatímco tradiční kolo při zdolávání překážky jede přímo přes ni, a tím vzniká vibrace a kolo ztrácí po určitou dobu kontakt s povrchem, shark wheel zdolává nerovnost posunutím vlevo nebo vpravo. Takzvaně se nesnaží nerovnost přímo přejet, ale částečně ji objet. [12]



Obrázek 5 Zdolávání nerovnosti, vlevo shark wheel, vpravo tradiční kolečko [12]

Dalšími výhodami je stabilita při vyšších rychlostech, větší životnost, díky rozložení váze do tří linek, po kterých se shark wheel pohybuje, o 57% menší valivý odpor při jízdě díky menší kontaktní ploše, a tím i snadnější a předvídatelnější powerslidy. V dnešní době se koncept shark wheel od skateboardingu rozšiřuje také do ostatních odvětví. Příkladem může být použití sharkwheel pro zemědělství, kolečka kufrů a zavazadel, mobilní lůžka v sanitkách, jednoduché přepravní prostředky a tak dále. [12]



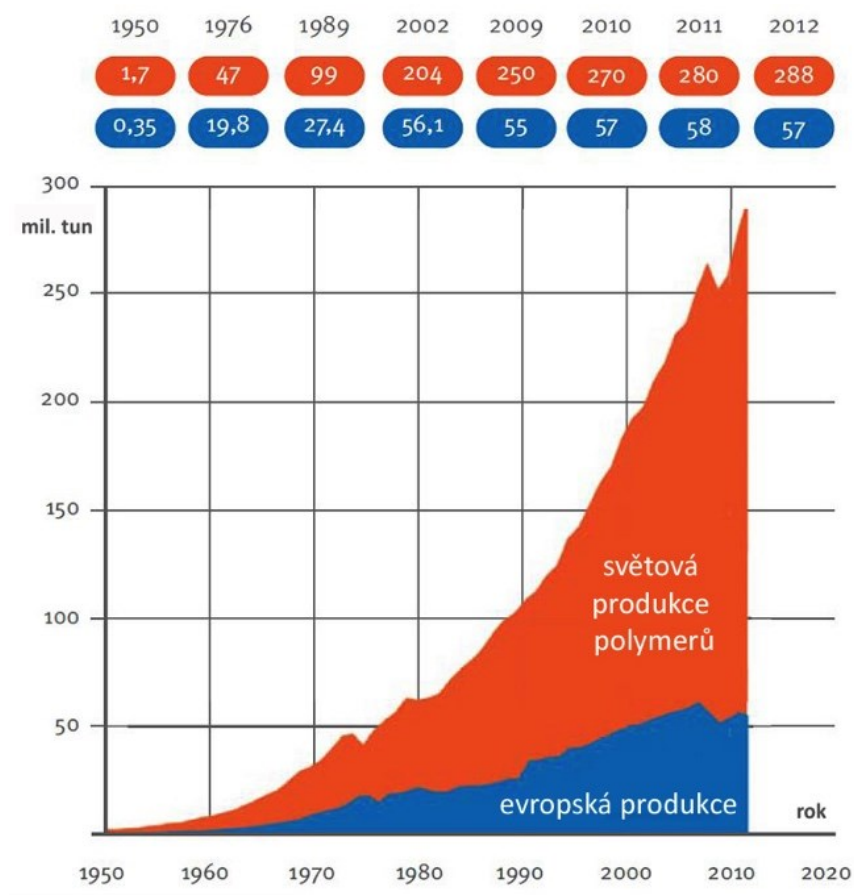
Obrázek 6 Příklady využití konceptu shark wheel [12]

2 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Jako polymery, lze rozumět z chemického hlediska hlavně organické látky, které jsou přírodního nebo syntetického původu. Mezi typické organické látky lze zařadit například ropu, zemní plyn, dřevo a tak dále. Polymery jsou látky složené z molekul jednoho nebo více druhů atomů (velmi časté jsou atomy vodíku, uhlíku a kyslíku). To, čím se polymery liší, je velikost a tvar jejich makromolekul a řetězcová struktura těchto molekul.

V těchto makromolekulách se tvoří řetězce, ve kterých se mnohokrát opakuje základní jednotka zvaná mer. Jelikož jsou makromolekuly dlouhé, mohou být zaplétány do sebe a tím vznikají vlastnosti, které jsou charakteristické pro polymery (pomalá rozpustnost, elasticita, vysoká viskozita polymerních roztoků a tak dále.)

I díky těmto a spoustě dalším vlastnostem se dnes polymerní materiály používají téměř ve všech průmyslových odvětvích a jejich produkce rok od roku stoupá (viz obrázek 8). [1]



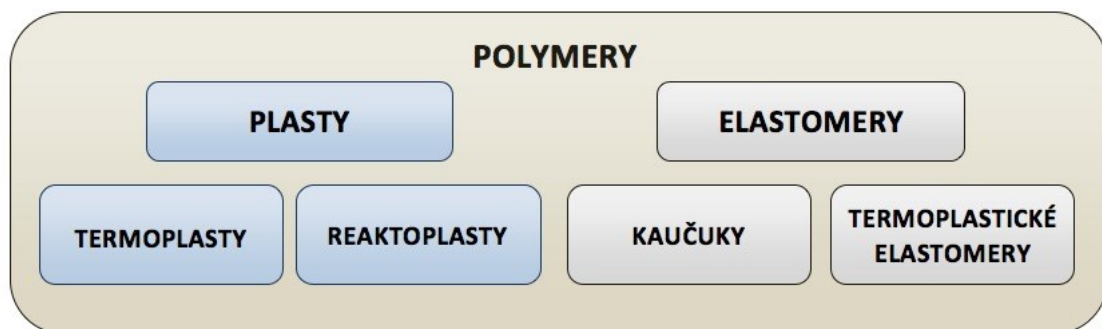
Obrázek 7 Světová produkce polymerů od roku 1950 do roku 2012 [1]

2.1 Rozdělení polymerů

Polymerů se dělí podle několika kritérií do dvou hlavních skupin, a to jsou plasty a elastomery.

Plasty jsou polymerů, u kterých při namáhání dochází k převážně nevratným deformacím a při běžných podmínkách jsou relativně tvrdé a křehké. Při zvýšení teploty se plasty stávají plastickými a lze je tvarovat. Tato změna je buďto vratná, nebo nevratná, a podle toho se dále dělí na termoplasty a reaktoplasty.

Elastomery jsou vysoce pružné materiály o nízké tuhosti, které mohou být deformovány působením menších sil, s rozdílem, že tyto deformace jsou vratné. Řadí se zde termoplastické elastomery a také kaučuky, ze kterých se pomocí vulkanizace (řídčím zesílením) vyrábí pryže, schopné odolat trvalým deformacím. [1,9]



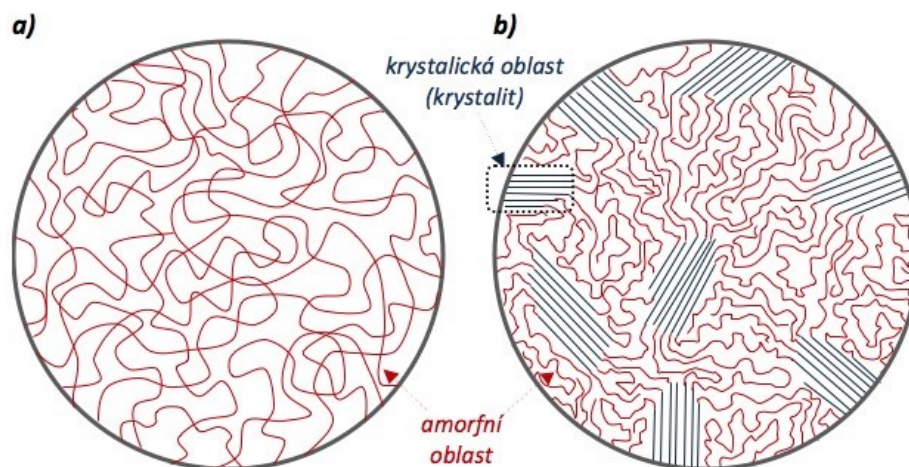
Obrázek 8 Rozdělení polymerů [1]

2.1.1 Termoplasty

Jedná se o nejrozšířenější a nejhojněji používanou skupinu polymerů. Mezi hlavními představiteli termoplastů lze nalézt například PS, PE, PP, PET.

Jsou to materiály, které mohou být opakovaně plastikovány a tvarovány. Této změny je dosaženo při zahřátí nad teplotu tání, kdy se materiál stává plastickým a tvárným, a při ochlazení pod teplotu tání se vrací do původního tuhého stavu. Nedochozí k chemické reakci a nemění se struktura materiálu. Při zmíněném ochlazení zplastikovaného polymeru se makromolekuly více či méně uspořádávají a dle této skutečnosti lze termoplasty dělit na amorfní a semikrystalické. [1,9]

- Amorfní termoplasty – obsahují náhodné nebo nepravidelné uspořádání makromolekulárních řetězců v prostoru, netvoří tedy uspořádanou krystalickou strukturu. Z pohledu využití je zásadní teplota skelného přechodu T_g , pod kterou je plast ve sklovitém stavu, je tedy tuhý a křehký a nad teplotou T_g je v kaučukovitém elastickém stavu. Amorfní termoplasty disponují transparentností, dobrou rozpustností v organických rozpouštědlech, jsou tvrdé a křehké. Dále se také vyznačují malým smrštěním při vstřikování do formy, což je vhodné pro výrobu přesných dílů. Časté využití najdou amorfní polymery v automobilovém průmyslu a ve spotřebním zboží. Hlavní zástupci jsou PVC, PS, PMMA, PC a další. [1]
- Semikrystalické termoplasty – tvoří částečně uspořádané makromolekulární řetězce v prostoru, obsahují tak částečně uspořádanou krystalickou strukturu, zbylá část je poté amorfní. Krystalická část může být v materiálu obsažena do 80% a z důvodu tvorby krystalických struktur tyto materiály nejsou transparentní. Vlastnosti jsou významně ovlivněny podílem krystalické fáze, tudíž fází ochlazování. Dochází u nich také k většímu smrštění a to až do 2,5% z celkového objemu. Zásadní teplota pro semikrystalické termoplasty je teplota tání T_m , pod touto teplotou materiál zachovává pevnost a tuhost, a vstřikování probíhá nad teplotou T_m , kdy je materiál v tekutém stavu. Mezi typické semikrystalické termoplasty patří PE, PP, PA [1]



a) amorfni polymer, b) semikrystalický polymer

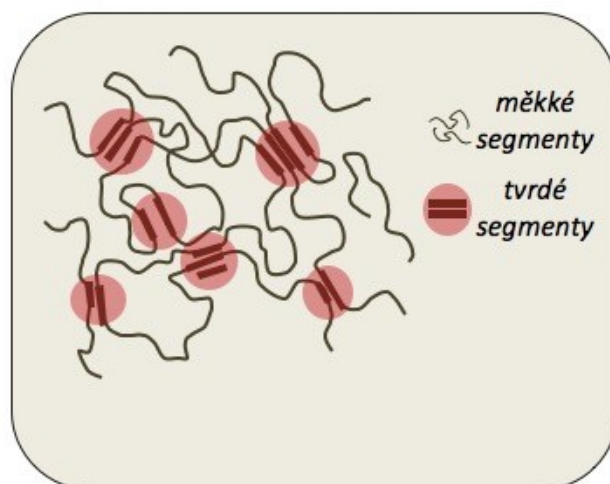
Obrázek 9 Schématické zobrazení nadmolekulární struktury polymerů [1]

2.1.2 Reaktoplasty

Lze je nazývat také termosety a jsou to amorfní polymery, které nelze opakovaně tavit a tvarovat. Důvodem je, že při dalším zahřívání dochází k chemické reakci zvané zesíťování. Při této reakci se původní molekuly mění do zesíťovaného stavu a jsou nadále netavitelné a nerozpustné. Tento proces je nevratný a tyto materiály jsou tvarovatelné pouze určitou dobu po prvním zahřátí, následně už není možné provést opětovné tváření, svaření nebo roztavení do taveniny. Vlastnosti těchto materiálů jsou pevnost, tvrdost, teplotní a chemická odolnost. Časté využití najdou reaktoplasty ve formě lepidel, pěn nebo pryskyřic, což jsou nevytvrzené reaktoplasty. [1,9]

2.1.3 Termoplastické Elastomery (TPE)

Jsou to materiály, jejichž struktura je tvořena tvrdými a měkkými segmenty. Měkké segmenty tvoří elastomery a tvrdé segmenty tvoří termoplasty, které tvoří uzly sítě. Tato struktura je zesíťovaná a hlavní rozdíl je v povaze uzlů této sítě. U pryží (vulkanizovaných kaučuků) jsou uzly chemické povahy, kdežto u termoplastických elastomerů jsou fyzikální povahy a jsou tvořeny množstvím nemísitelných termoplastických segmentů. Tento rozdíl umožňuje TPE vstříkovat jako běžné termoplasty, do forem na běžných vstřikovacích strojích určených pro termoplasty, při stále dobrých elastických vlastnostech. [1]



Obrázek 10 Schématické zobrazení struktury TPE [1]

2.2 Vlastnosti polymerů

Vlastnosti polymerů, velice razantně ovlivňují samotný proces jejich zpracování. Tyto vlastnosti lze měnit a upravovat, pokud jsou přidány různé přísady. Častými přísadami jsou hlavně změkčovadla, stabilizátory a barviva.

Zde je přehled, co vše má vliv na vlastnosti polymeru:

- Molekulární struktura,
- uspořádání molekul (krystalizace),
- chemické složení,
- přidané přísady,
- teplota a okolní vlhkost,
- zatěžování (velikost, způsob, doba). [3,9]

Z hlediska zpracování polymerů, zejména tedy vstřikování, jsou stěžejní tyto vlastnosti:

- Velikost smrštění (při tuhnutí materiálu ve vstřikovací formě),
- tekutost (definuje také zatékavost materiálu, dle které lze volit vtokovou soustavu, tloušťku stěn výstřiku a zaformování),
- ITT (index toku taveniny, který udává množství taveniny v gramech, které proteče tryskou za 10 minut). [3]

2.3 Faktory ovlivňující výběr daného materiálu

Pro metodu vstřikování je zapotřebí zvolit takový materiál, který splňuje veškeré náležitosti pro vstřikovací proces a zároveň je schopen splnit požadavky na jeho budoucí využití, ke kterému je určen. Rozhodujícím je i samotný tvar vstřikované součásti, který musí být vhodný pro metodu vstřikování, dále také drsnost povrchu a rozměrová přesnost, kterých je možno dosáhnout touto metodou. [3]

Optimální volbu materiálu lze posoudit dle těchto hledisek:

- Výsledný výrobek musí splňovat předem dané funkční požadavky,
- výroba součásti i formy musí být z technologického hlediska ekonomická a časově adekvátní,

- návrh a zvolená technologie pro výrobu musí být realizovatelná.

Z hlediska samotné funkce požadovaného výrobku jsou důležité následující body:

- Mechanické vlastnosti (tuhost, tvrdost, rázová odolnost, odolnost proti otěru,)
- chemická odolnost,
- optické vlastnosti (průhlednost, zabarvení nebo barva, lesk povrchu),
- odolnost UV záření. [3,9]

Finanční:

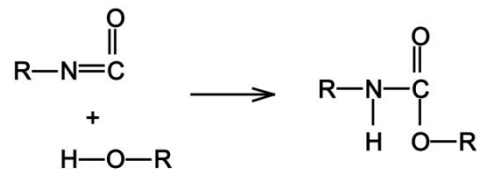
- Procesní náklady,
- cena materiálu,
- systémové náklady. [3]

Rozměrové:

- Rozměrová a tvarová přesnost,
- hmotnost výstřiku,
- geometrie výstřiku,
- materiál amorfni nebo částečně krystalický,
- smrštění materiálu. [3]

2.3.1 Polyuretan

Je to synteticky vyrobený polymer, který se řadí do skupiny polyesteramidů, jež jsou kombinací polyesterů a polyamidů. Vzniká reakcí vícefunkčních isokyanátů a látek pocházejících z hydroxilové skupiny, často polyalkoholů. [9]



Obrázek 11 Vznik polyuretanové řady [9]

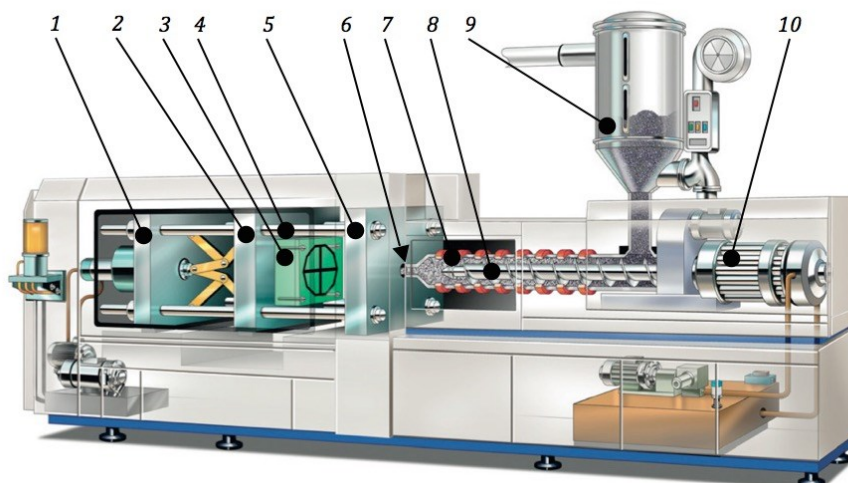
Při výrobě polyuretanů lze přidávat katalyzátory a extendry, jež jsou jedno či vícefunkční molekuly, které reagují s uretanovými řetězci tak, že je prodlužují. Lze vyrábět polyuretany jak tuhé nebo měkké, tak i lineární a zesíťované. Polyuretany tak obsahují velkou škálu různých vlastností, mezi kterými jsou nejvýraznější velmi dobrá odolnost vůči otěru, výborná adheze k řadě materiálů tak i odolnost vůči kyselinám a zásadám. Díky těmto a dalším vlastnostem nacházejí uplatnění jako tlumicí prvky, dopravní válce a rolny, často jako pružné pěny PUR, nebo v tomto případě jako materiál pro výrobu skateboardových kol. [9]

3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Jedná se o nejrozšířenější způsob zpracování a lze jej uplatnit pro zpracování téměř všech druhů plastů (termoplastů, termoplastických elastomerů, reaktoplastů, kaučuků, elastomerů, polymerních směsí a také kompozitů), nejhojněji je však používán pro termoplasty. Jedná se o cyklický proces, kdy výsledný produkt je tvarově i rozměrově přesný, s dobrou kvalitou povrchu a mechanické a fyzikální vlastnosti jsou reprodukovatelné. Tento proces se vyznačuje vysokou rychlostí a efektivitou výroby, nicméně s tím jsou spojené i vysoké náklady na návrh a výrobu formy a pořízení vstřikovacích strojů, takže je vhodný spíše pro velkosériovou až hromadnou výrobu. [13]

3.1 Princip vstřikování

Princip vstřikovacího procesu vypadá následovně: Daný plast pro výrobu součásti (nejčastěji ve formě granulí), je umístěn v násypce, odkud je pomocí dopravního elementu (nejčastěji šnek, nebo i píst) dopravován do plastikační komory. V plastikační komoře, je granulát za působení tření a zahřívání přeměněn na taveninu. Jako tavenina je plast vstřikován do dutiny vstřikovací formy, kterou vyplní a nabývá daného tvaru. Následuje ještě dotlaková fáze, kdy za působení tlaku je snižovaný vliv smrštění a pnutí v materiálu. Následně se plast ochlazuje a tím tuhne. Jakmile je dostatečně tuhý, je proces ochlazování u konce a hotový výrobek je vyhozen ven z formy. Proces vstřikování se tak může opakovat pro další díl. [13,14]

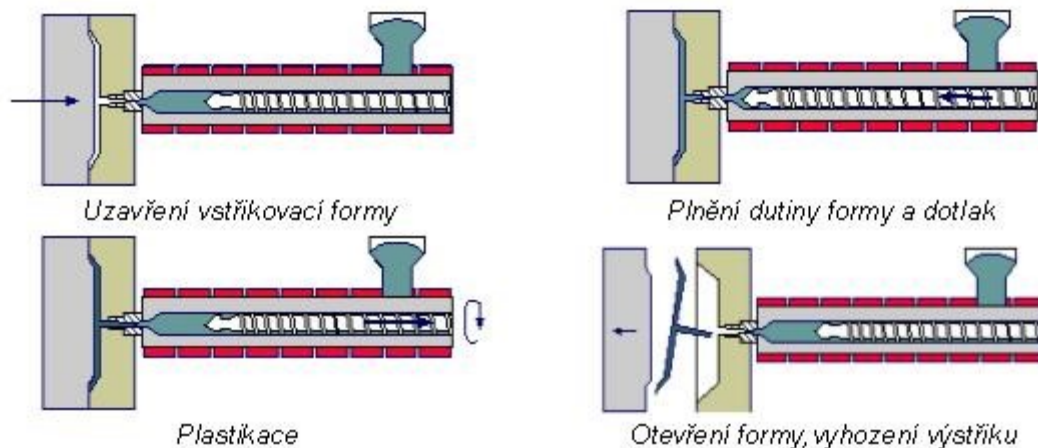


1) uzavírací jednotka, 2) pohyblivá upínací deska, 3) pohyblivá část vstřikovací formy, 4) vodící sloupky, 5) pevná upínací deska, 6) čelo špičky vstřikovací trysky, 7) tavící komora, 8) dopravní šnek, 9) násypka pro plastový granulát, 10) pohon šneku.

Obrázek 12 Vstřikovací stroj s popisy jeho částí [14]

3.2 Fáze vstřikovacího cyklu

Vstřikovací cyklus určuje přesně definované operace jdoucí po sobě, kdy plast prochází teplotním a tlakovým cyklem. Za počátek tohoto cyklu lze považovat zavření vstřikovací formy, nebo roztavení plastu na taveninu. [13]

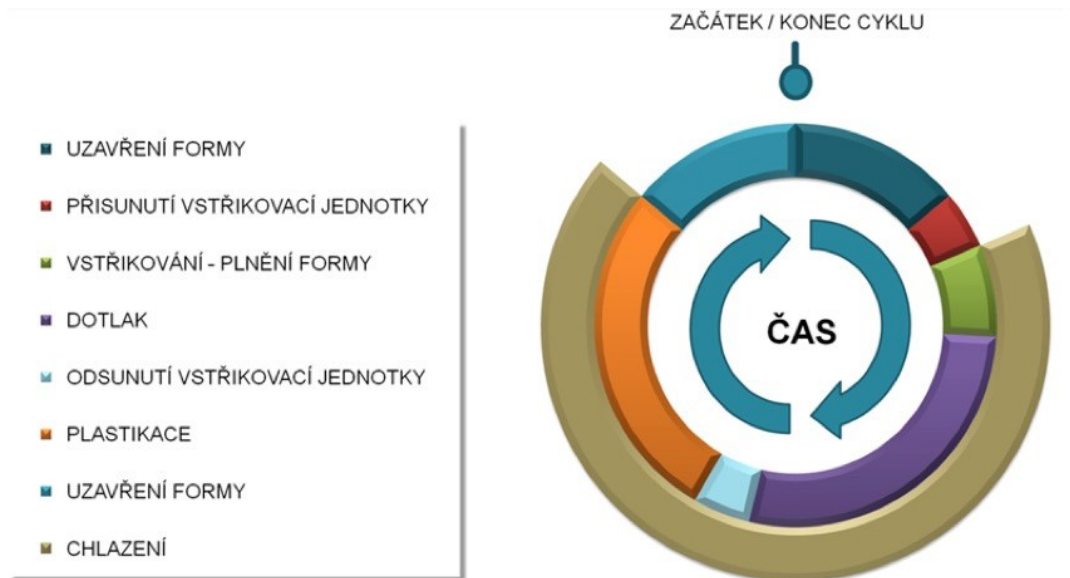


Obrázek 13 Vstřikovací cyklus [14]

Nejčastěji se vstřikovací cyklus vzhledem k času skládá z těchto fází:

- Uzavření formy – dochází k němu při působení velkého tlaku, aby se tavenina nedostala do dělicí roviny,
- vstřikování – plastikační jednotka přijíždí k formě a už zplastikovaný polymer je přes vtokové systémy dopravován do dutiny formy,
- dotlak – po naplnění 90-99% formy taveninou následuje dotlak, tedy rapidní zvýšení tlaku při zpomalení vstřikovací rychlosti polymeru. Má za účel kompenzaci smrštění materiálu vlivem chladnutí,
- plastikace – po odsunutí plastikační jednotky, v ní dochází k plastikaci, která probíhá v plastikační komoře a jedná se o přeměnu tuhých granulí polymeru na taveninu, kdy je polymer zahříván jednak topnými tělesy a jednak třením při dopravě šnekem,
- chlazení – je to časově nejdelší fáze, kdy tuhnoucí polymer předává teplo formě (chlazení bývá podpořeno chladícím systémem formy) a snižuje svou teplotu. Při této fázi se stává zcela tuhým. Dochází také ke smrštění polymeru, které je pro jednotlivé polymery rozdílné,

- pohyby vstříkovací formy – forma vykoná pohyb, při kterém je vyhozen finální výrobek. Vyhození výrobku z formy je nazýváno odformování. Po tomto kroku, se cyklus vstříkování může opakovat pro další díl. [13,14]



Obrázek 14 Znárodnění časů vstříkovací cyklus [13]

3.3 Vstříkovací stroje

Jsou to stroje, používané pro vstříkování polymerů. Lze zde najít velkou škálu rozdílných strojů, kdy mezi rozhodující faktory, který stroj vybrat, patří: samotné provedení, možnosti použití, využitelnost, snadnost obsluhy a cena stroje. Ke správné funkci je zapotřebí, aby tento stroj měl přístup k elektrické energii, vodnímu okruhu a popřípadě i zdroj stlačeného vzduchu. Vstříkovací stroj je pak ještě doplněn o periferní zařízení, mezi které patří temperační systémy, sušárny, mlýny a drtiče odpadového materiálu, roboty, dopravní pásy a tak dále. [15]

Vstříkovací stroje se dělí podle toho, jaký mají pohon:

- Hydraulické pohony,
- elektrické pohony,
- hybridní pohony (kombinace hydraulických a elektrických pohonů).

Podle typu pracovního členu vstříkovací jednotky:

- Šnekové vstříkovací stroje,

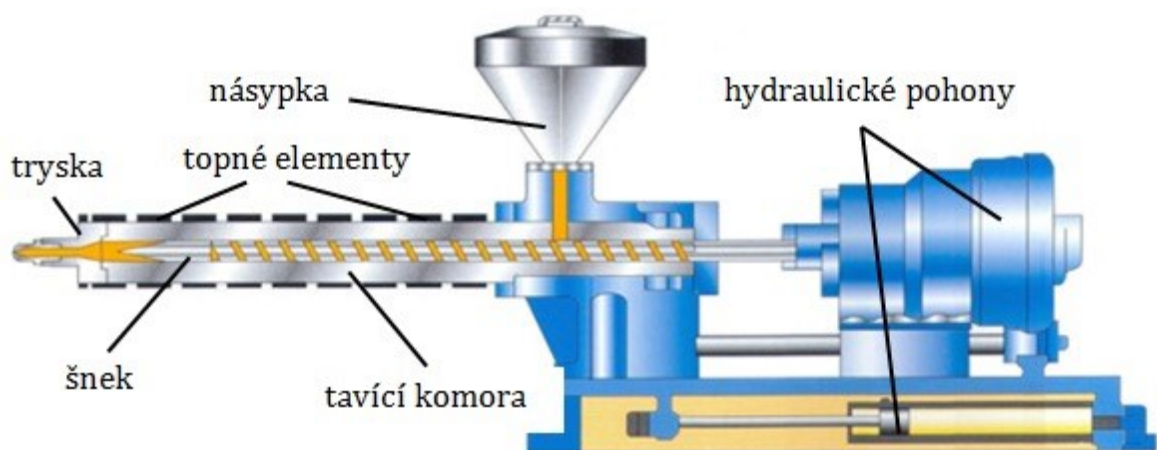
- pístové vstřikovací stroje.

Podle směru pohybu uzavírací desky:

- Vertikální vstřikovací stroje (pohyb desky ve svislém směru),
- horizontální vstřikovací stroje (pohyb desky v horizontálním směru). [3,14, 15]

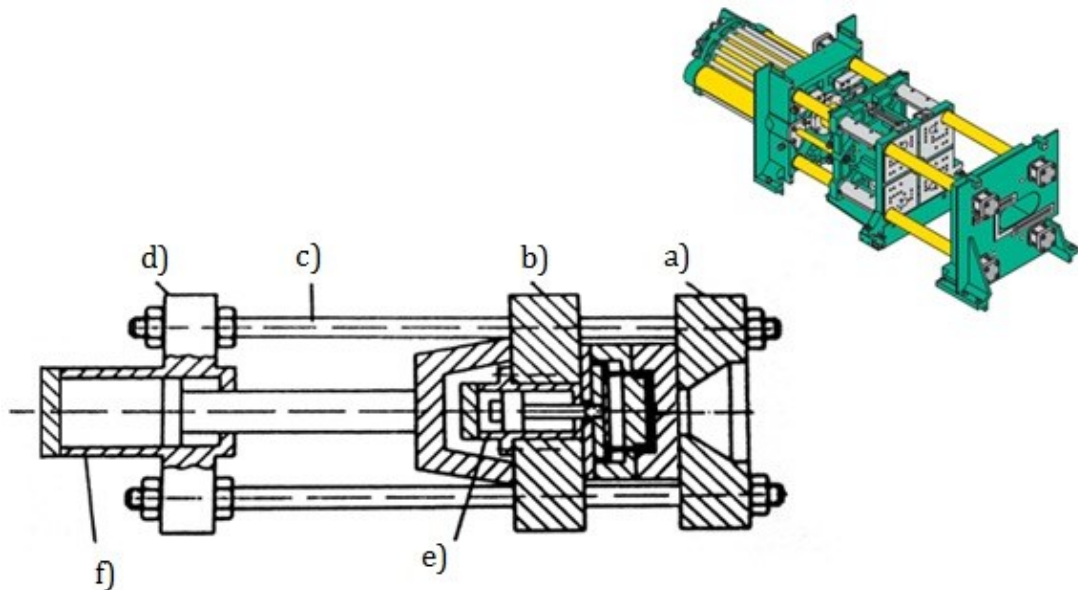
Základní sestava vstřikovacího stroje je dána následovně:

- Vstřikovací jednotka – slouží k přeměně polymerního granulátu na taveninu a její přepravě skrze trysku do formy. Jako dopravní člen je nejčastěji používán šnek, poháněný motorem, konající posuvný pohyb a také rotující pohyb kolem své axiální osy, do kterého se skrze násypku dostává granulát. Roztápění plastu je podporováno topnými tělesy, nicméně velkou část tepelné energie tvoří tření granulí o stěny plastikačního válce a povrch šneku (až 70%). Skrze trysku je polymerní tavenina vstřikována do formy. [3,15]



Obrázek 15 Vstřikovací jednotka [15]

- Uzavírací jednotka – slouží pro pohyby formy. To znamená její otevření, uzavření, odformování. Její hlavní části jsou upínací deska, vodící sloupky, pevná opěrná deska a uzavírací mechanismus (mohou být hydraulické, hydraulicko-mechanické a elektro-mechanické). [15]



- a) pevná část formy, b) pohyblivá část formy, c) vodící tyče, d) rám stroje, e) hydraulický vyhazovač, f) hydraulický válec pro ovládání pohyblivé části formy

Obrázek 16 Hydraulická uzavírací jednotka a její popis [15]

Řídící a kontrolní jednotky – dnes se sestávají z procesorové techniky, kdy na displeji má obsluha přístup k celému ovládání stroje, kontrole a úpravě parametrů vstřikovacího procesu. Tyto parametry mají velmi podstatný vliv na vstřikovací proces, zejména tedy na kvalitu, tvar a přesnost výstřiku. Jedná se o: Nastavení velikosti vstřikovacího tlaku, velikosti a doby dotlaku, rychlosti vstřikování a doby chlazení. Nastavení teploty, doby tavení a zpracovávání taveniny potom určuje především fyzikální a mechanické vlastnosti. [3, 15]

3.4 Smrštění a deformace plastů

Smrštění je trvalá změna objemu materiálu výrobku, při ochlazování a za působení tlaku, kdežto deformace představuje změnu tvaru při zachování původního objemu.

Smrštění lze udávat jako poměr celkového objemu v procentech, o který je výrobek menší, než rozměr dutiny formy. Můžou to být také změny v lokálním místě výrobku, které se projevují jako propadliny nebo dutiny. Lze rozlišovat dva druhy smrštění, výrobní smrštění (měřeno 24 hodin po vyrobení součásti při teplotě 23 °C), a dodatečné smrštění (probíhá po delší době než smrštění výrobní, například relaxací polymeru nebo sekundární krystalizací u semikrystalických polymerů). [13]

Smrštění ovlivňují:

- Technologické parametry,
- typ polymeru,
- umístění vtoku,
- konstrukce dílu (tloušťka stěny, objem, atd.),
- vstřikovací tlak – vyšší vstřikovací tlak, znamená menší výrobní smrštění. Vstřikovací tlak klesá se vzdáleností tečení kapaliny, tudíž u vtoku je vstřikovací tlak nejvyšší a je zde také nejmenší smrštění. Na nejvzdálenějším místě formy je zas hodnota smrštění nejvyšší,
- dotlak – vyšší a delší dotlak způsobuje menší smrštění,
- teplota formy – větší vliv má u semikrystalických polymerů než u amorfních. Kratší čas chlazení plastu zmenšuje výrobní smrštění, ale zvětšuje smrštění dodatečné.

Mezi další procesy, které probíhají v materiálu po vstřikování, patří:

- Krystalizace,
- pnutí,
- deformace. [13]

3.5 Vady vstřikovaných výrobků

Základní rozdělení vad výstřiků:

- Zjevné (lze je určit vizuální kontrolou),
- skryté (nelze je určit na pouhý pohled, je zapotřebí vyrobený díl podrobit laboratorním zkouškám, kdy se tyto vady projeví),
- vady vzniklé při vlastním vstřikování (vady, které vzniknou při samotném procesu výroby dílu). [3]

Vady zjevné rozdělujeme na vady tvaru a vady povrchu.

Vady tvaru:

- Nedostříklé, nekompletní výstřiky,
- nerovnoměrný povrch (vlnitý, hrubý),

- přetoky a otřepy,
- propadliny,
- celková deformace výstřiku (nerovnoměrné smrštění),

Vady povrchu:

- Rozdílné barvy povrchu,
- rozdíly v lesku,
- trhliny,
- tokové čáry,
- skvrny,

Mezi vady skryté patří:

- Vnitřní pnutí,
- vakuové bubliny,
- zvýšená křehkost,
- nerovnoměrná orientace makromolekul.

Vady vzniklé při vlastním vstřikování:

- Otisky po vyhazovačích,
- deformace výstřiku při jeho vyhození z formy,
- vrypy na vtokové vložce formy,
- špatný dosed vstřikovací trysky na vtokovou vložku formy,
- vytahování vláken ze vstřikovací jednotky.

Pro odstranění těchto vad je zapotřebí změnit jeden nebo více z níže uvedených bodů:

- Vstřikovací proces,
- vstřikovací stroj,
- materiál výstřiku,
- konstrukce výstřiku,
- konstrukce vstřikovací formy. [3]

4 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací formy je vcelku složitý nástroj pro vstřikovací výrobu plastových výrobků. Forma plní funkci dopravy taveniny do dutiny formy, dále odvod tepla z taveniny a poté odformování výrobku. Vstřikovací formy se vyznačují zpravidla vysokou cenou a časovou náročností návrhu a konstrukce, jelikož jejich použití se uplatňuje u velkosériových a hromadných výrob, kdy je požadovaná dlouhá životnost. Musí odolávat poměrně velkým tlakům, které jsou u procesu vstřikování potřebné. Dbá se na vysokou přesnost a jakost funkčních ploch formy, jsou tedy důležité rozměrové tolerance, povrchová úprava a zvolený materiál. [11,3]

VSTŘIKOVACÍ FORMA					
DOPRAVA TAVENINY		PŘENOS TEPLA		ODFORMOVÁNÍ DÍLU	
ODOLNOST PROTI DEFORMACÍM	VEDENÍ TAVENINY	ODVOD TEPLA Z DÍLU	ODVOD TEPLA Z FORMY	OTEVŘENÍ FORMY	ODFORMOVÁNÍ DÍLŮ
PODPĚRNÉ VÁLCE	VŤOKOVÝ SYSTÉM	POČET TEMPERAČNÍCH KANÁLŮ	RYCHLOST TOKU TEMPERAČNÍ KAPALINY	DĚLICÍ ROVINA	VYHAZOVAČE
TLOUŠŤKA DESEK	ÚSTÍ VŤOKU	ROZMĚRY CHLADÍCÍCH KANÁLŮ	PRŮŘEZ VEDENÍ TEMPERAČNÍ KAPALINY	VYTAŽENÍ JADER	ROBOTICKÉ VYJMÁNÍ
VÍCENÁSOBNÁ PROPOJENÍ	-	TEPELNĚ VODIVÉ VLOŽKY	-	-	TAHAČE JADER
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

Obrázek 17 Základní přehled funkcí a vlastností vstřikovací formy [11]

Základní rozdělení vstřikovacích forem:

- Podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné (násobností se rozumí, kolik má forma dutin),
- podle konstrukčního řešení formy (dvoudeskové, třideskové, čelist'ové, vytáček, etážové, s výsuvným jádrem a tak dále),
- podle orientace ve vstřikovací stroji (vstřik taveniny kolmo na dělicí rovinu nebo podélně vůči vstřikovací rovině, takzvaně do osy). [14]

4.1 Konstrukce vstřikovacích forem

Aby byl konstruktér schopný navrhnout vstřikovací formy, potřebuje znát následující podklady:

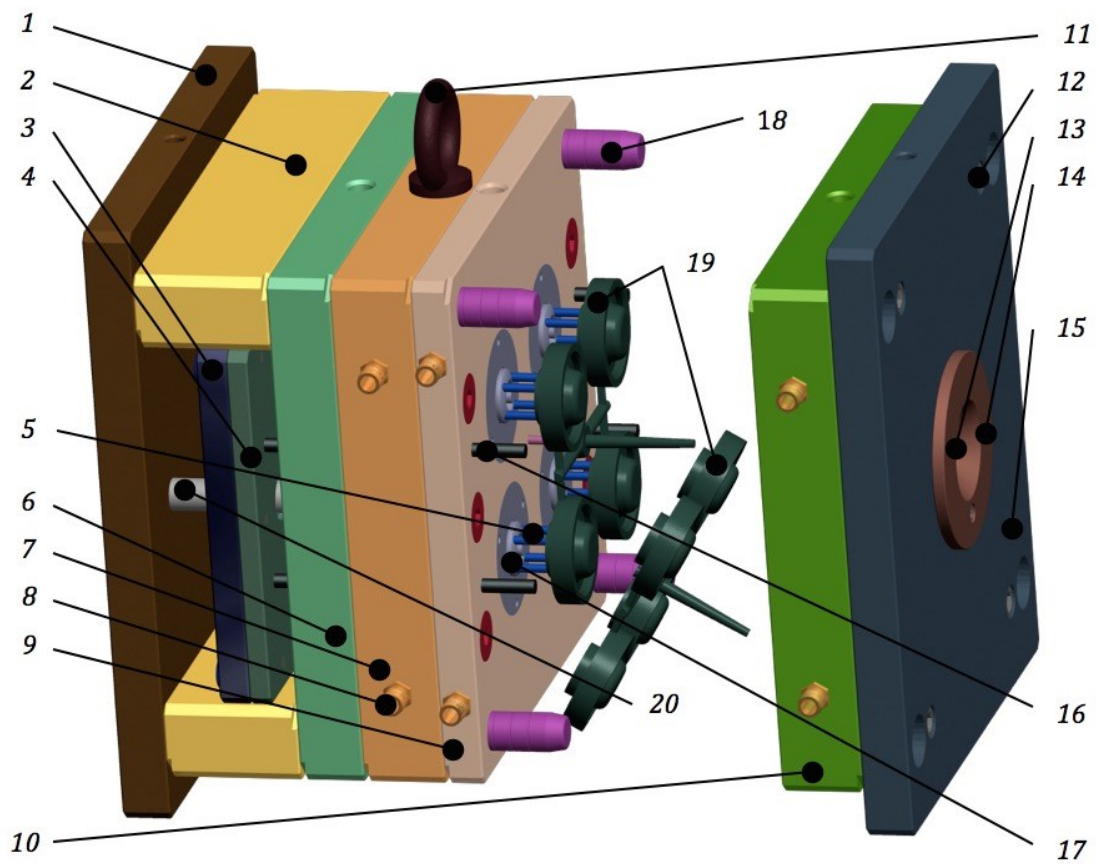
- 3D model požadovaného výrobku, se všemi technologickými požadavky (rozměrová a tvarová přesnost, jakost a tak dále),
- materiál výstřiku (materiálový list se všemi náležitostmi, které obsahuje)
- podrobnější požadavky na formu (násobnost formy, životnost, požadavky na náhradní díly a údržbu formy a tak dále),
- informace a možnosti vstřikovacího stroje,
- cenové rozpětí zakázky. [3]

Na základě těchto informací je konstruktér schopný následovat postupné kroky návrhu formy:

- Volba vhodného zaformování a dělicí roviny (dle dané součásti je volena dělicí rovina, aby byla co nejefektivněji umístěna, ideálně hranami výstřiku),
- stanovení rozměru tvarových dutin (stanovení na základě velikosti smrštění, tedy materiálu a geometrických atributů součásti),
- volba vhodného vtokového, temperačního, vyhazovacího a odvzdušňovacího systému (odvíjející se od zaformování a dělicích rovin),
- určení vhodných materiálů a výroby formy,
- volba vhodného uchycení formy na vstřikovacím stroji. [13,3]

4.2 Části vstřikovací formy

Vstřikovací forma se skládá z mnoha částí, kdy se snažíme uplatnit co nejvíce dostupných normalizovaných částí, čímž šetříme čas a peníze. Takto lze stavebnicově skládat formu, což je nejefektivnější možnost konstrukce. Na obrázku níže je popis a znázornění hlavních částí u dvoudeskové vícenásobné formy. [13]



1) upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2) rozpěra, 3) hlavní vyhazovací deska, 4) přídržovací vyhazovací deska, 5) vyhazovač, 6) podpěrná deska, 7) „B“ deska, 8) přípojka chlazení, 9) „C“ deska, 10) „A“ deska, 11) manipulační oko, 12) hlavní montážní šrouby, 13) vtoková vložka, 14) středící kroužek pevné části vstřikovací formy, 15) upínací deska pevné části vstřikovací formy, 16) vracecí kolíky, 17) pevné jádro, 18) vodící sloupky, 19) vstřikovaný díl, 20) podpěrné válce

Obrázek 18 Otevřená dvoudesková vícenásobná vstřikovací forma a popis jejích částí [13]

4.3 Zaformování a dělicí rovina

Způsob zaformování a dělicí rovina se odvíjí od konstrukce vstřikovaného dílu, a pokud jsou dobře zvoleny, umožňují dodržet ekonomiku výroby i správné rozměry a tvar výrobku.

Dělicí rovinou se rozumí plocha mezi pevnou a pohyblivou částí vstřikovací formy. Má za úkol utěsnit dutiny formy, a zamezit únikům taveniny. Kolmo na rovinu působí velké síly (od stovky až tisíce tun), které nazýváme uzavírací síly. Co se návrhu dělicí roviny týče, snažíme se jej udělat co nejjednodušší, a to při zachování stanovených požadavků. Zprvu z důvodu jednodušší a tím i levnější výroby formy a zadruhé kvůli lepšímu a kvalitnějšímu těsnění. Je nezbytné, se u dělicí roviny vyhnou jakýmkoli vadám, zejména přesazením a

nepřesnostem. Tyto chyby mají za následek otřepy, povrchové vady nebo zatečení taveniny mimo dutinu.

Způsob otevírání formy může být radiální nebo axiální. Opět záleží na konstrukci vstřikovaného dílu a dělicí rovině. [3,11]

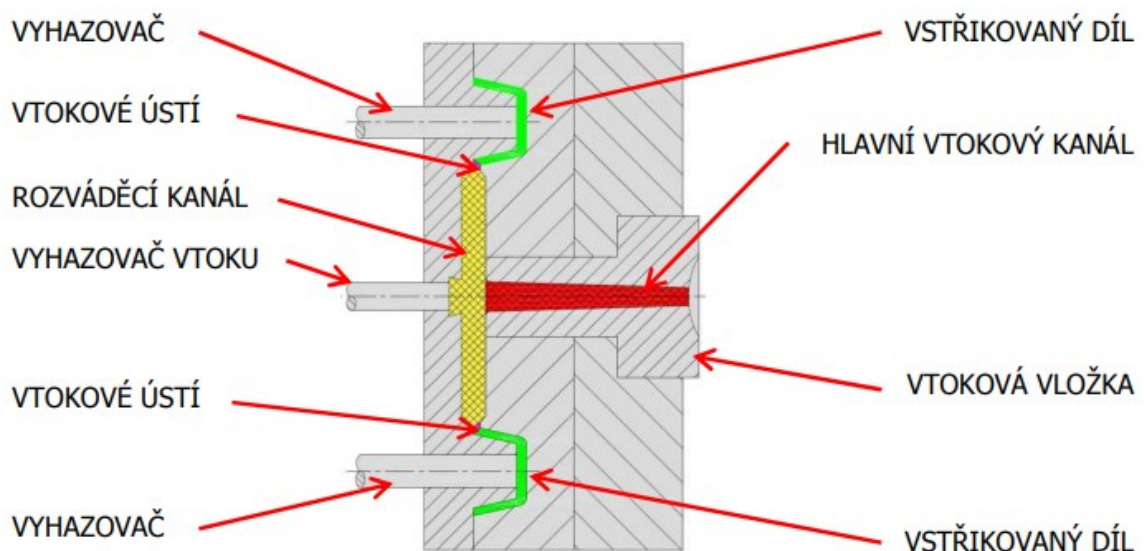
4.4 Vtokové systémy

Vtokovými systémy se rozumí vtoková soustava, jež je složena s hlavního vtokového kanálu, rozváděcích vtokových kanálů a ústí do tvarové dutiny formy. Vtoková soustava vstřikovací formy zajišťuje přepravu taveniny z plastikační jednotky do dutiny formy. Uspořádání vtokové soustavy se odvíjí od konstrukce formy (zejména její násobnosti).

Vtokové systémy lze rozdělit na:

- Studené vtokové systémy,
- horké vtokové systémy. [3,16]

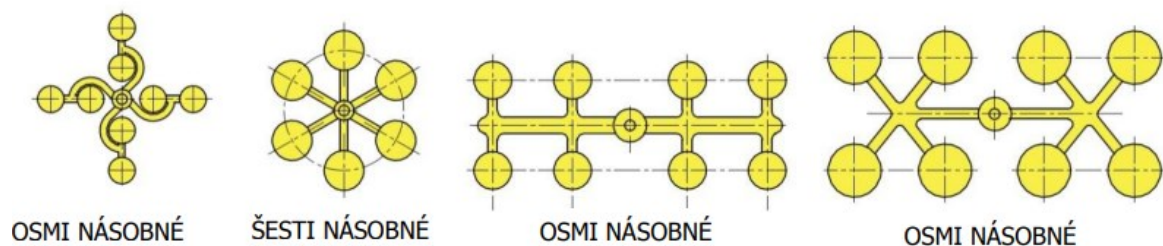
4.4.1 Studené vtokové systémy



Obrázek 19 Schéma studeného vtokového systému [16]

Studený vtokový systém vychladne během výrobního cyklu, jinak řečeno při vstřikování taveniny plastu do studeného vtokového systému tavenina okamžitě tuhne na stěnách rozvodových kanálů. Vzniká izolační vrstva a k proudění taveniny dochází ve středu průřezu kanálu.

U vícenásobných forem je požadováno, aby systém naplnil tvarové dutiny ve stejném okamžiku, při stejném průtoku taveniny a při stejném tlaku i teplotě. Je nutno se vyvarovat dlouhých rozvodných kanálů, aby nedocházelo k časovým a tlakovým ztrátám. Nejefektivnější tvar průřezu rozvodných kanálů je kruh, který je ale zároveň relativně drahý, jelikož vyžaduje dobré lícování v obou částech formy. [3,4,16]



Obrázek 20 Příklady rozmístění rozvodových kanálů [16]

Výhody studených vtokových systémů:

- Jednodušší a levnější konstrukce výroba formy,
- standardizované díly,
- bez nutnosti energetického připojení,
- jednoduché řešení pro vícenásobné formy.

Nevýhody studených vtokových systémů:

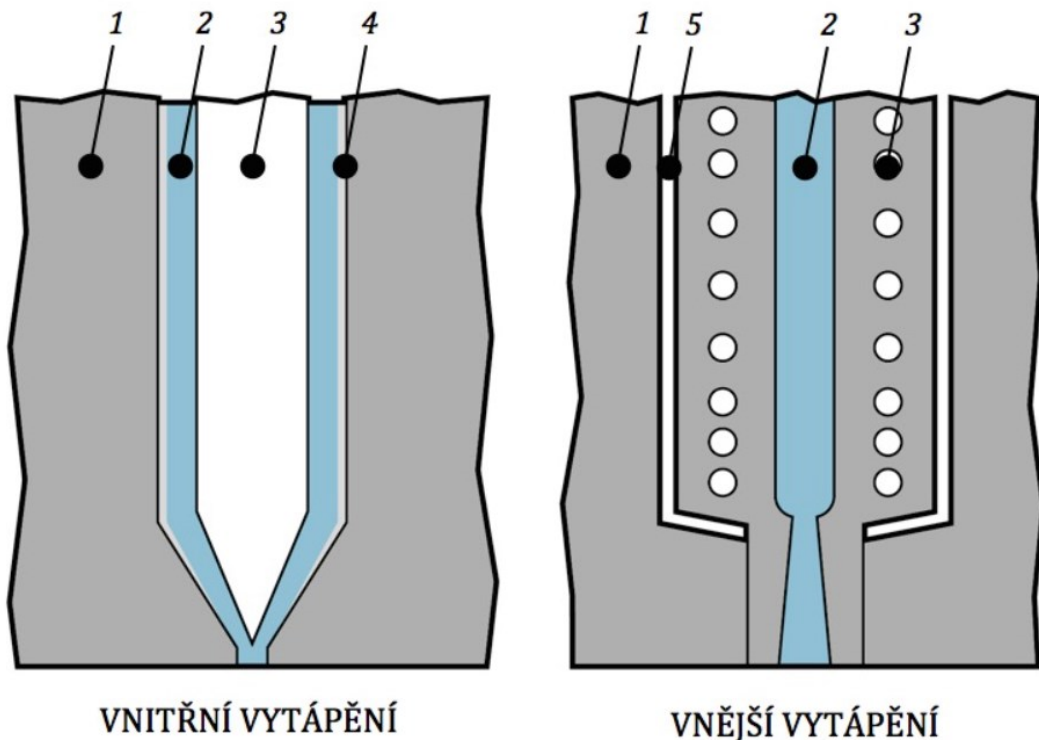
- Větší spotřeba plastu než horké vtokové systémy,
- je nutné zajistit odstranění zbylého plastu,
- je nutné přidržovat a vyhazovat vtokový zbytek. [3,4,16]

4.4.2 Horké vtokové systémy

Tyto systémy sestávají z komponent, které jsou vyhřívány. Mezi tyto komponenty patří hlavní vtok, rozvodová deska a ovládání jehly. Polymerní tavenina je po celou dobu dopravy do dutiny formy udržována při konstantní teplotě (teplota horkého vtokového systému by měla být stejná, popřípadě vyšší než teplota taveniny). To zaručuje stálou viskozitu polymerní taveniny v celém průřezu a délce rozvodového systému až do tvarové dutiny. Horké rozvody jsou tepelně izolovány od ostatních komponent vstříkovací formy, aby tepelné ztráty byly co nejmenší.

V dnešní době zaujímají horké vtokové systémy v průmyslu vstřikování plastů stále větší uplatnění. Je to dáno neustálým vývojem těchto systémů a jejich uplatněním v automatizované výrobě.

Provedení vyhřívání horkého rozvodu může být vnitřní nebo vnější. Varianta s vnějším vytápěním vyhřívá taveninu pomocí topných těles umístěných vně kanálu, kterým tavenina teče. Varianta s vnitřním vytápěním používá topné těleso, které je umístěno přímo uprostřed kanálu, kterým teče tavenina. Nevýhodou vnitřního vyhřívání je tuhnutí taveniny na studených stěnách kanálu. Tato zatuhlá tavenina může později způsobit vady výstřiku, pokud se dostane do dutiny formy. Horké rozvody proto nejsou vhodné pro transparentní plasty nebo plasty se zvýšenou citlivostí na teplotu. [4,17]



- 1) studený materiál formy, 2) kanál pro proudění taveniny, 3) topné těleso, 4) zamrzlá vrstva plastu, 5) izolační vzduchová mezera

Obrázek 21 Základní varianty provedení vyhřívání horkého rozvodu s popisem [17]

Výhody horkých vtokových systémů:

- Časová úspora při výrobním cyklu,
- nejsou potřeba vtokové kanály,
- menší spotřeba plastu než mají studené vtokové systémy,
- menší tlakové ztráty,
- regulace teploty systému ovlivňuje vlastnosti výstřiku
- modularita jednotlivých systémů.

Nevýhody horkých vtokových systémů:

- náročnější konstrukce,
- vyšší pořizovací cena, vyšší servisní náklady,
- obtížná dodatečná změna polohy vtoků. [17]

4.5 Temperační systémy

Temperační systémy regulují teplotu vstřikovací formy. Formu můžou jak zahřívát, tak ochlazovat. Významně také zkracují čas vstřikovací operace.

Je důležité je optimálně zvolit, jelikož mají přímý vliv na:

- Kvalitu vyráběných dílů,
- jednotkové náklady výstřiku,
- povrch součástí,
- výrobní a dodatečné smrštění výstřiku. [11]

Na začátku procesu je vstřikovací forma předehřáta na provozní teplotu, která je vhodná pro vstříknutí taveniny. Poté je tavenina vstříknuta a ochlazována na teplotu vhodnou pro vyjmutí, kdy předává teplo vstřikovací formě. Po vyjmutí výstřiku z formy je potřeba formu ochladit na danou teplotu, aby mohlo proběhnout vstřikování dalšího dílu.

Nejrozšířenějším řešením jsou temperační kanály s proudícím médiem, kdy je kladen důraz na efektivní rozmístění těchto kanálů, aby i za efektivní a rovnoměrné temperace formy bylo možné umístění vyhazovačů, vtoků, šroubů a dalších komponent. Je vhodné používat více

kanálů o menším průměru, než méně kanálů o větším průměru, jelikož efektivita temperace se s větším průměrem zvyšuje jen nepatrně, ale snižuje se tuhost formy. [3,11]

Temperační systém je obvykle složen z:

- Temperační a řídicí jednotky,
- temperačních kanálů,
- spojovacích prvků,
- temperačního média. [11]

Jako temperační média jsou nejrozšířenější voda, oleje a glykoly, kdy nejčastější z nich voda poskytuje vysoký přestup tepla, ekologickou nezávadnost a nízké náklady.

Základní požadavky na temperační systémy:

- Temperační okruh by neměl obsahovat místa, kde neproudí kapalina,
- temperační kanály o malých průměrech (do 6 mm), by měly být provozovány s adekvátním temperačním médiem z důvodu rychlého zanášení,
- vyšší temperační účinek okolo vtokové vložky a ústí vtoku. [11]

4.6 Vyhazovací systémy

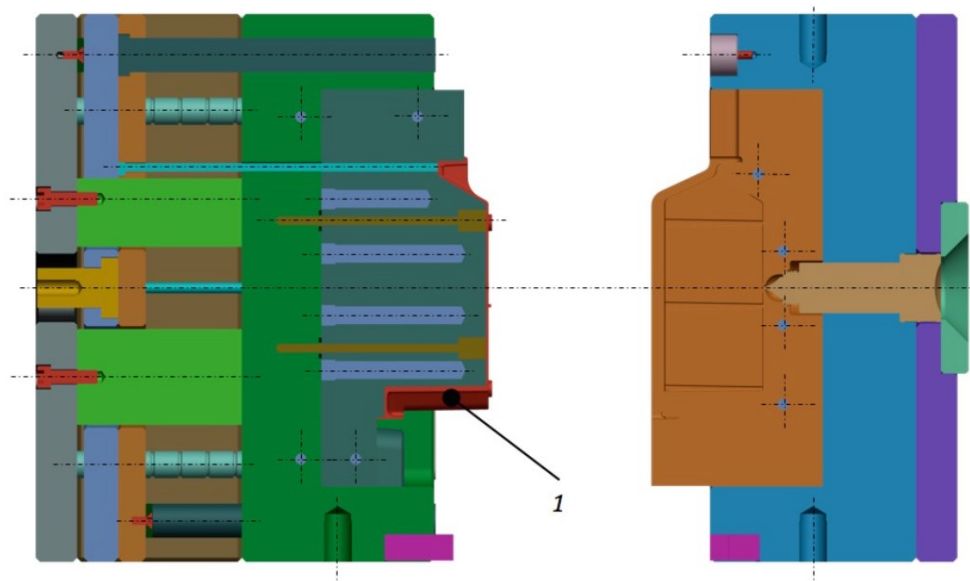
Vyhazovací systémy obstarávají vyhození hotového výstřiku z tvarové dutiny vstřikovací formy. Je potřeba se zaměřit na osy směrů pohybů vyhazovacího systému, rozložení vyhazovačů na vstřikovaném dílu a vyhazovací sílu.

Volba vyhazovacího systému závisí především na konstrukci a geometrii výrobku, jakosti ploch a technologických podmínkách procesu, kdy je nezbytné, aby nedošlo k poškození výrobku. Vyhození může být zcela automatické nebo poloautomatické. Jako nejjednodušší a také nejčastější způsob se používá mechanické vyhození, které může být realizováno následujícími možnostmi:

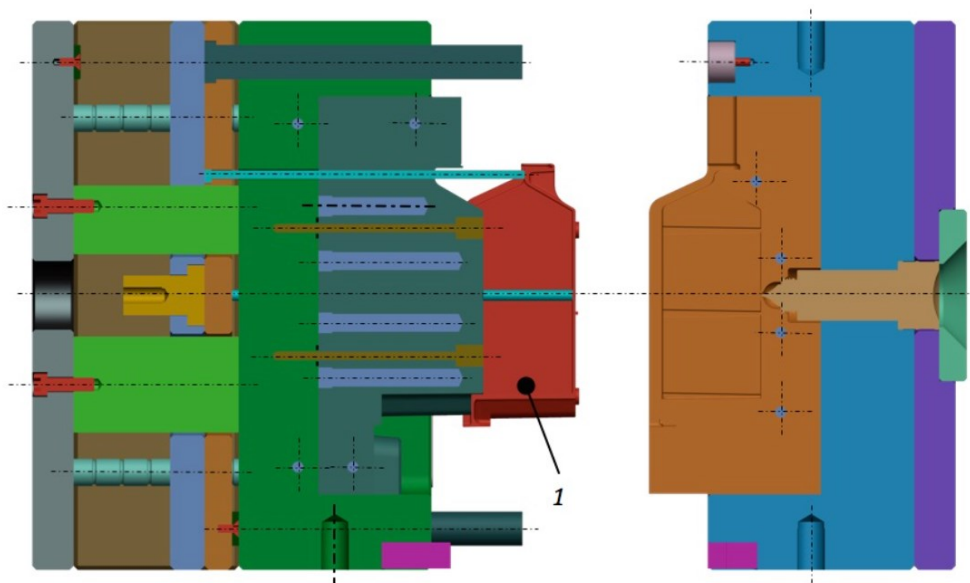
- Vyhazovače (válcové, ploché, půlkruhové a tak dále),
- stírací objímky,
- stírací desky,
- pneumatické vyhazování. [3,11]

Požadavky na vyhazovací systém jakéhokoli provedení jsou následovné:

- Jednoduché a efektivní vyhození vstříkovaného dílu,
- vyhození bez deformací nebo vad povrchu,
- při otevření formy se vstříkovaný díl musí nacházet na straně formy opatřené vyhazovacím systémem, jinak by vyhození nebylo možné,
- odstranění vtokového systému. [3,11]



Obrázek 22 Otevřená vstříkovací forma, vyhazovací systém v zadní pozici [11]



Obrázek 23 Otevřená vstříkovací forma, vyhazovací systém v přední pozici [11]

4.7 Odvzdušňovací systémy

Při vstupování taveniny do tvarové dutiny formy, je tato dutina naplněna uzavřeným vzduchem. Tokové čelo taveniny tlačí tento vzduch dále do dutiny formy, a aby docházelo k bezproblémovému plnění bez vad, je zapotřebí opatřit formu odvzdušňovacími systémy. Pokud není umožněno vzduchu opustit dutinu formy, můžou nastat následující problémy:

- Nedoplněný výstřík, neboli zamrznutí čela taveniny,
- uzavření vzduchu, vytvoří se bubliny v objemu výstříku,
- výskyt studených spojů (pevnostní a vzhledové vady),
- expanze nahromaděného vzduchu, takzvaný Dieselův efekt (vznik lesklého nebo spáleného povrchu),
- vnitřní pnutí ve výstříku,
- velké tlakové spády v dutině formy. [3,4]

Pro řešení odvzdušňovacího systému je nezbytné, aby odvzdušnění bylo provedeno v místě uzavírání vzduchu, a tloušťka odvzdušňovacích kanálů nesmí způsobovat přetoky taveniny. Obecně taky platí, že čím je rychlost plnění vyšší, tím účinnější musí být odvzdušňovací systém.

Mezi způsoby odvzdušnění tvarové dutiny vstříkovací formy patří:

- Hlavní dělicí rovinou nebo vedlejšími dělicími rovinami,
- vůlemi mezi tvarovými pevnými částmi formy,
- vůlemi mezi pohyblivými částmi formy,
- odvzdušňovacími kanály. [3]

Většinou jsou tyto místa voleny konstruktérem formy, u komplikovanějších výstříků s více vtoky je potřeba použít simulační softwary jako například Mold Flow nebo Cadmould. [3]

4.8 Materiály forem

Jelikož proces vstřikování je velkosériovou až hromadnou záležitostí a na formu působí velké síly a je teplotně ovlivněna, tak i na materiály forem a jejich tepelné zpracování jsou kladené vysoké nároky, aby bylo dosaženo požadované kvality vstřikovaných dílů, také dlouhé životnosti s minimálními náklady na údržbu a servis a také ekonomické výroby s minimálním odpadem a pořizovacími náklady. Materiál formy dále ovlivňuje i druh požitého plastu, přesnosti výrobku, vstřikovací podmínky a druh vstřikovacího stroje. [3,4]

Z hlediska výrobce dílů forem jsou důležité tyto vlastnosti:

- Obrobitelnost, svařitelnost,
- leštitelnost,
- vhodnost pro povlakování,
- rozměrová stálost. [3,4]

Z hlediska provozovatele formy pak:

- Mechanicko-technologické vlastnosti,
- povrchová tvrdost,
- jádrová houževnatost,
- odolnost vůči korozi,
- tepelná vodivost. [3]

Pro výrobu vstřikovacích forem se nejčastěji používají:

- Oceli - Pro tvarové díly malých až středně velkých forem se používají cementační oceli. Kalitelné a antikorozi oceli se používají pro tvarové části forem pro chemicky agresivní plasty nebo velké tvárnice a tvárníky (nástrojová chrom-nikl-vanadová ocel pro houževnaté součásti, chrom-wolfram-vanadová ocel pro součásti vystavené abrazivnímu opotřebení). Zápustkové oceli s možností nitridování ČSN 19663, 19662, 19650, 19550 a 19552 jsou využívány pro střední a velké tvarové součásti forem.

Konstrukční oceli třídy 11 se používají pro upínací desky, rozpěrky a méně namáhané části. Vodící sloupky a pouzdra jsou konstruovány z cementačních ocelí ČSN 14221 nebo 14220, které jsou poté kaleny nebo cementovány. Pro vyhazovače

jsou nejčastěji používány oceli ČSN 19421 a 19452. Dorazy jsou vyráběny z nástrojové oceli ČSN 19312, která je poté kalena na tvrdost 58HRc. Pro závitová jádra naleznou uplatnění oceli třídy 19 a méně namáhané vtokové vložky jsou vyráběny z cementačních ocelí ČSN 19487 a 19486,

- neželezné slitiny kovů (nejčastěji měď nebo hliník),
- ostatní tepelně nevodivé a izolační materiály. [3,4]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jako hlavní cíle této bakalářské práce byly stanoveny tyto body:

- Vypracovat literární rešerši zabývající se danou problematikou,
- vytvořit 3D model vstříkované součásti,
- vytvořit 3D konstrukční návrh vstříkovací formy pro daný díl,
- vyhotovit výkres sestavy vstříkovací formy včetně kusovníku a příčných pohledů.

V teoretické části bylo nejprve popsáno použití skateboardových kol a jejich základní charakteristiky, dále pak bylo přiblíženo základní rozdělení a popis polymerních materiálů. Druhá polovina teoretické části se zaměřila na problematiku vstříkovacího procesu a konstrukci vstříkovacích forem.

V části praktické byl vymodelován 3D model vstříkované polymerní součásti, jež představoval skateboardové kolo typu Sharkwheel. K tomuto dílu byla navrhována vstříkovací forma, její 3D sestava a výkres sestavy formy s kusovníkem.

Návrh modelu vstříkovaného dílu a sestavy formy byl realizován pomocí softwaru CimatronE 11, kdy pro návrh formy byly použity normalizované díly z katalogu společnosti Meusburger.

6 POUŽITÝ SOFTWARE

6.1 CimatronE 11



Obrázek 24 Logo společnosti Cimatron [21]

Návrh vstříkovaného dílu a vstříkovací formy byl realizován pomocí softwaru CimatronE 11, který byl vytvořen Izraelskou firmou Cimatron založenou roku 1982, která se zaměřuje na produkci CAD/CAM softwarů pro obrábění, tvorbu nástrojů a CNC programování. CimatronE 11 umožňuje řešení návrhů vstříkovacích forem, zápustek, postupných lisovacích nástrojů a mnoho dalšího. [21]



Obrázek 25 Software CimatronE 11 a možnosti jeho využití [21]

6.2 Meusburger normálie



Obrázek 26 Logo společnosti Meusburger [20]

Pro výběr normalizovaných dílů vstřikovací formy byl zvolen katalog normalizovaných dílů od Rakouské firmy Meusburger, zaměřující se na výrobu nástrojů, forem a strojírenských součástí, která nabízí velkou škálu vysoce přesných normalizovaných dílů vstřikovacích forem.



Obrázek 27 Hlavní nabídka produktů firmy Meusburger [20]

7 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Dle technologických parametrů a rozměrů vstřikovací formy byl zvolen vyhovující vstřikovací stroj pro tuto vstřikovací formu, vyráběný společností Arburg, konkrétně model ALLROUNDER 520-S. [19]



Obrázek 28 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 520-S [19]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Maximální uzavírací síla	1300	kN
Maximální délka otevření	575	mm
Maximální světlost mezi upínacími deskami	825	mm
Minimální výška formy	250	mm
Velikost upínací desky	688 x 688	mm
Vzdálenost mezi upínacími sloupky	520 x 520	mm
Maximální zdvih vyhazovacího systému	175	mm
Maximální vyhazovací síla	50	kN
Celkový výkon stroje	30,9	kW
Průměr šneku	30	mm
Poměr šneku	23,3	
Maximální objem vstřikované dávky	106	cm ³
Maximální vstřikovací tlak	2500	bar
Maximální kroutící moment šneku	320	Nm

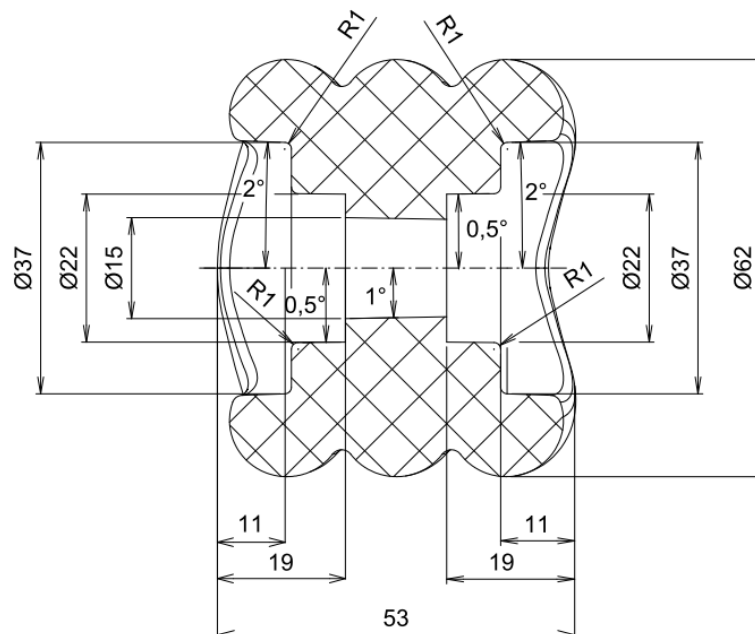
Tabulka 1 Vybrané parametry vstřikovacího stroje ARBURG ALLROUNDER 520-S [22]

8 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstříkovaným výrobkem je kolečko typu shark wheel o dvou drážkách, určené pro longboarding a cruising. Rozměry kolečka jsou 62 mm v průměru a 53 mm na šířku. Každé kolečko disponuje otvory pro dvojici standardních skateboardových ložisek. Materiálem bude termoplastický polyuretan o tvrdosti 75A.



Obrázek 29 3D model vstříkovaného výrobku



Obrázek 30 Rozměry vstříkovaného výrobku

9 MATERIÁL VÝROBKU

Materiálem vstříkovaného výrobku byl zvolen termoplastický polyuretan na bázi polyesteru určený pro technologii vstříkování, od firmy Huntsman. V katalogu firmy je materiál popsán jako IROGRAN A 70 E 4675, bez přidaných změkčovadel a ve vysoké třídě provedení. Tento materiál dále nabízí tvarovou stabilitu po odformování, krátké časy pracovních cyklů a dobrou elasticitu. Podrobné informace potřebné ke konstrukci formy jsou uvedeny v následující tabulce a příloženém materiálovém listu. [18]

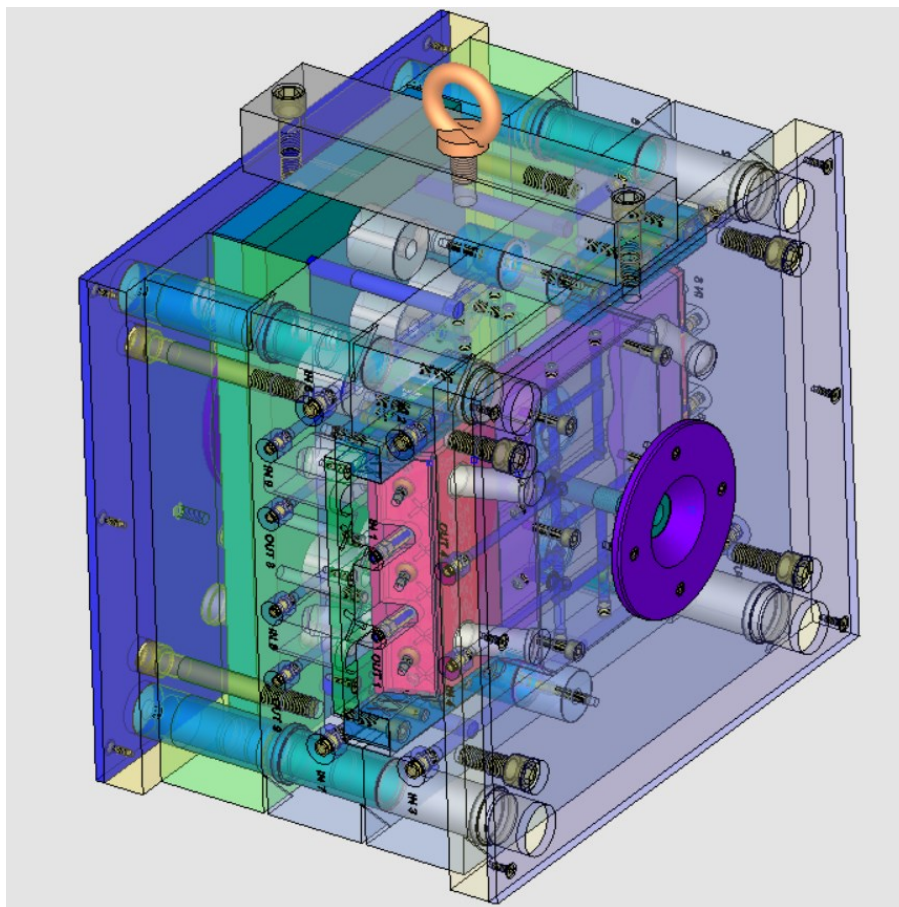
Parametr	Hodnota	Jednotka
Hustota	1,15	g/cm ³
Smrštění	0,25	cm/cm
Index toku taveniny	30	g/10 min
Tvrдость	75	Shore A
Bod tání	125–190	°C
Teplota trysky	170–200	°C
Teplota vstříkovací formy	20–70	°C

Tabulka 2 Vybrané vlastností materiálu pro vstříkovaný výrobek [18]

10 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Konstrukce vstřikovací formy byla navrhována tak, aby co nejvíce vyhovovala danému vstřikovanému dílu. Hlavními požadavky jsou kvalitní zpracování poskytující dlouhou životnost formy s minimálními náklady na servis, cenově dostupné a kvalitní normalizované díly a vyhovující konstrukční řešení při vynaložení adekvátních finančních prostředků. Bylo použito co největší množství normalizovaných dílů pro vstřikovací formy z katalogu společnosti Meusburger, které usnadňují a zrychlují proces návrhu a výroby formy. Sestava formy byla vytvořena v již dříve avizovaném softwaru CimatronE 11, který je vyhovující pro tvorbu vstřikovacích forem.

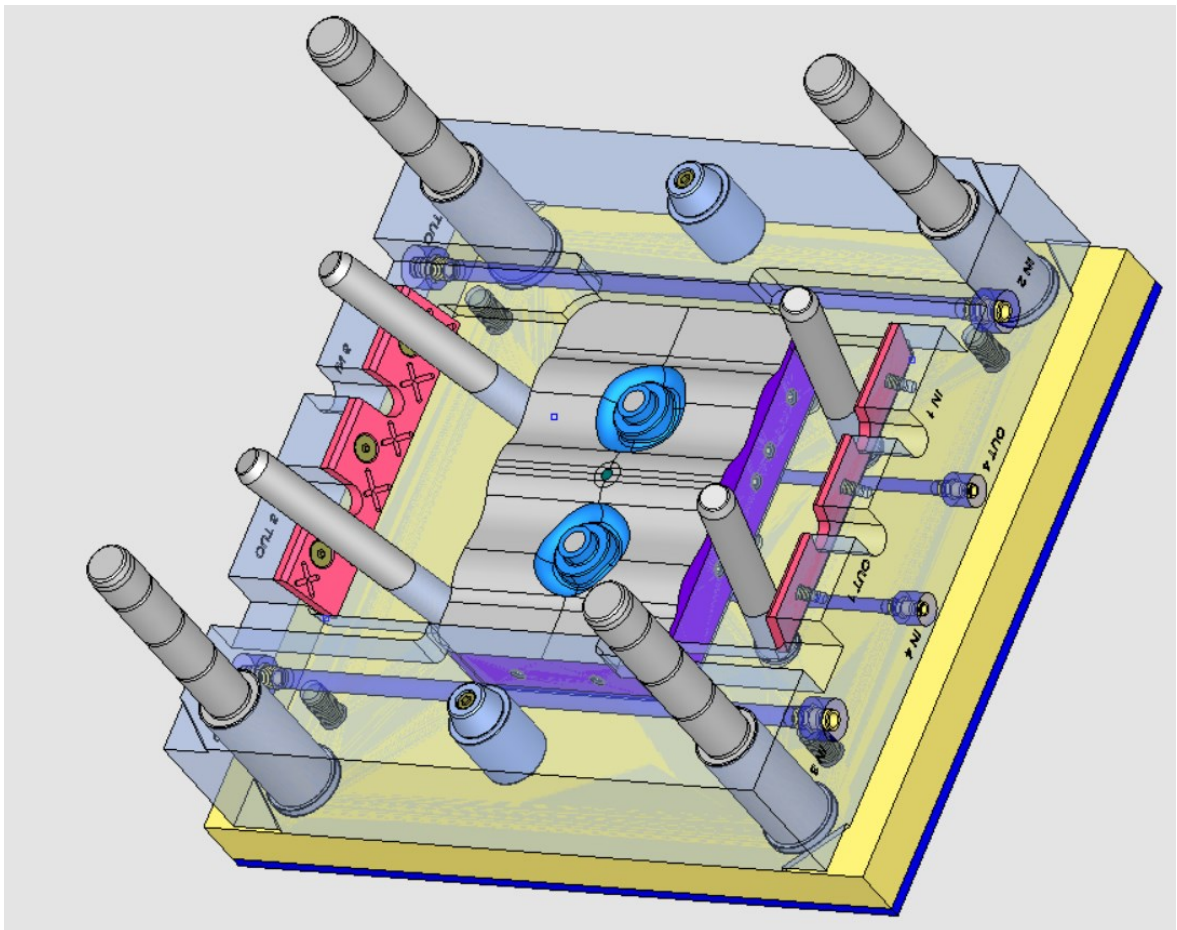
Jedná se o dvojnásobnou formu, probíhá tedy vstřikování dvou dílů v průběhu jednoho cyklu. Celá vstřikovací forma se skládá ze tří hlavních částí, těmi jsou levá strana formy, pravá strana formy a vyhazovací systém (forma je ještě doplněna o přepravní hranol s manipulační oko). Pozornost je věnována dostatečné tuhosti formy a vyhovujícímu chlazení, což umožňuje přesnou výrobu vstřikovaných součástí.



Obrázek 31 3D model sestavy vstřikovací formy

10.1 Pravá strana formy

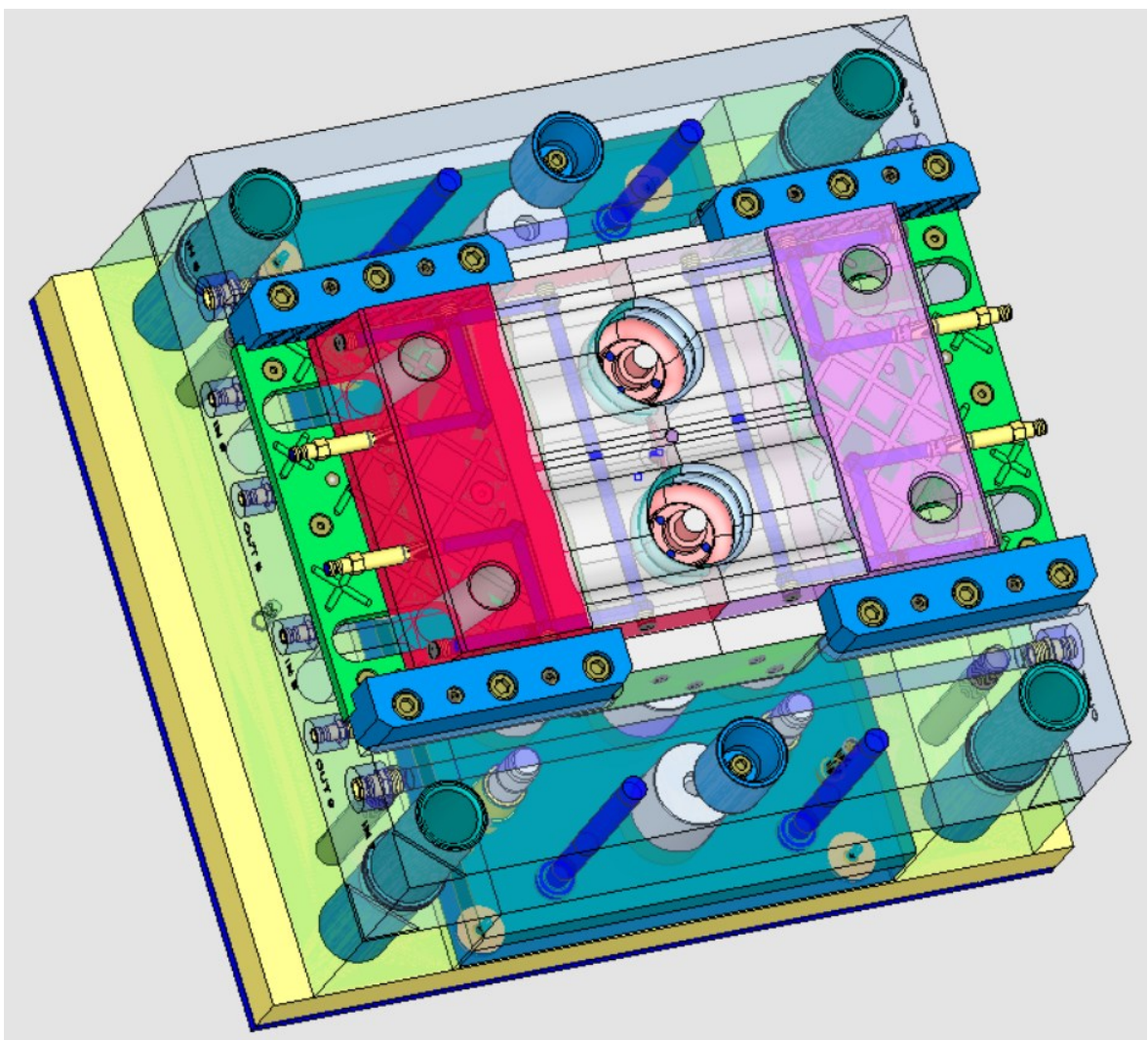
Pravá strana formy je pevnou částí vstřikovací formy, která se nepohybuje a přijíždí k ní plastikační jednotka, která najíždí do středícího kroužku, kde skrze vtokovou vložku vstříkne polymerní taveninu do vtokové soustavy formy. Tato strana formy je složena ze čtyř vzájemně spojených desek. Skládá se z desky izolační, která izoluje formu od vstřikovacího stroje, dále desky upínací, která slouží k upnutí formy na vstřikovací stroj, a následně desky tvarové. Tvarová deska obsahuje tvárnici o dvou tvarových dutinách, dále jsou zde ukotveny vodící čepy, kužely pro středění a šikmě uložené čepy pro vedení bočních posuvných čelistí. Nachází se zde také soustava temperačních kanálů, které temperují jak tvarovou desku, tak i tvárnici.



Obrázek 32 Pravá strana vstřikovací formy

10.2 Levá strana formy

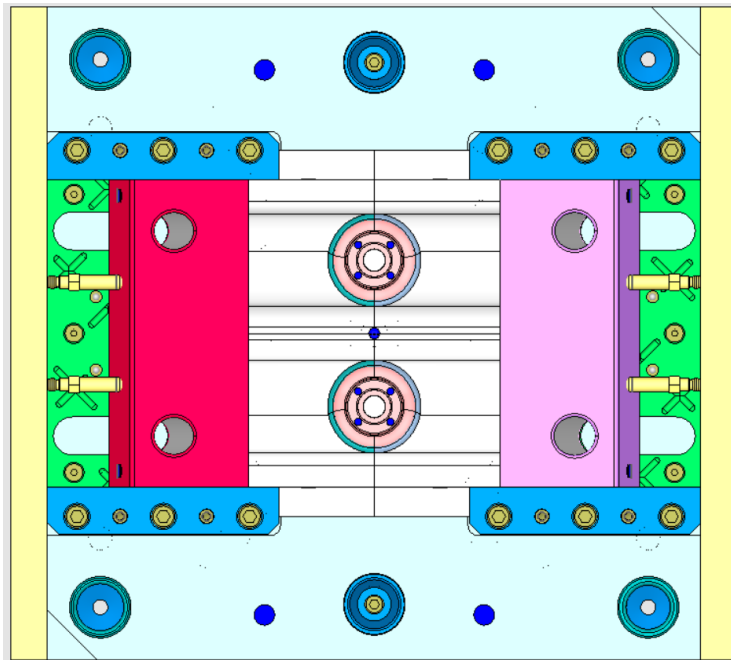
Levá strana vstřikovací formy je pohyblivou částí formy, jejíž pohyb otevírá a uzavírá tvarové dutiny. Sestává z izolační a upínací desky, dvou rozpěrných desek, mezi kterými se nachází vyhadzovací systém a podpěrné válce zvyšující tuhost formy. Na rozpěrných deskách je umístěna tvarová deska, která je vybavena temperačními obvody a na které jsou umístěny boční posuvné čelisti a tvárník. Po stranách se nachází vodící pouzdra a středící trubky, do kterých zajíždí vodící čepy, díky kterým je veden pohyb celé levé části formy. Dalším prvkem je vedení bočních čelistí, opatřené mazacími drážkami a kuličkovými dorazy.



Obrázek 33 Levá strana vstřikovací formy

10.3 Násobnost formy

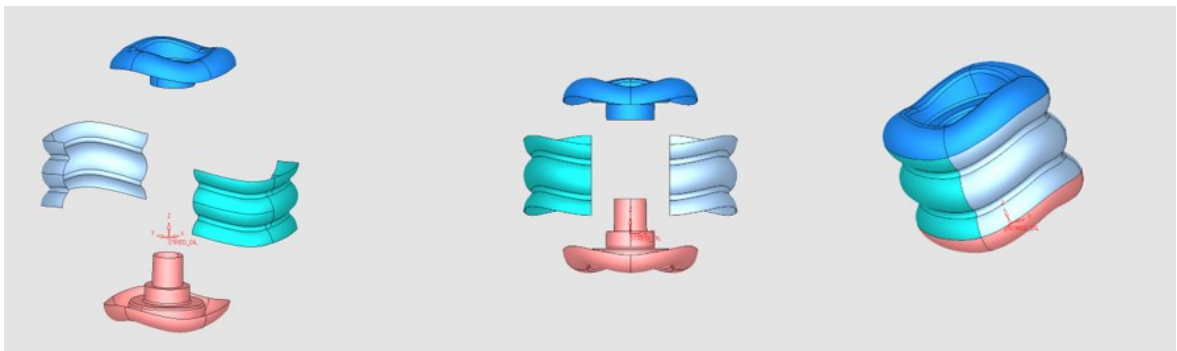
Násobností formy je ovlivněna zejména efektivita a ekonomická náročnost výroby výstřiků, dále složitost návrhu a konstrukce formy (a tedy i finanční náklady návrhu a výroby), a v neposlední řadě rozměry a velikost uzavírací síly a s tím spojená volba vstřikovacího stroje. Vzhledem k těmto skutečnostem byla zvolena dvojnásobná vstřikovací forma, která je vhodná pro vstřikování daného dílu.



Obrázek 34 Násobnost vstřikovací formy

10.4 Dělicí roviny

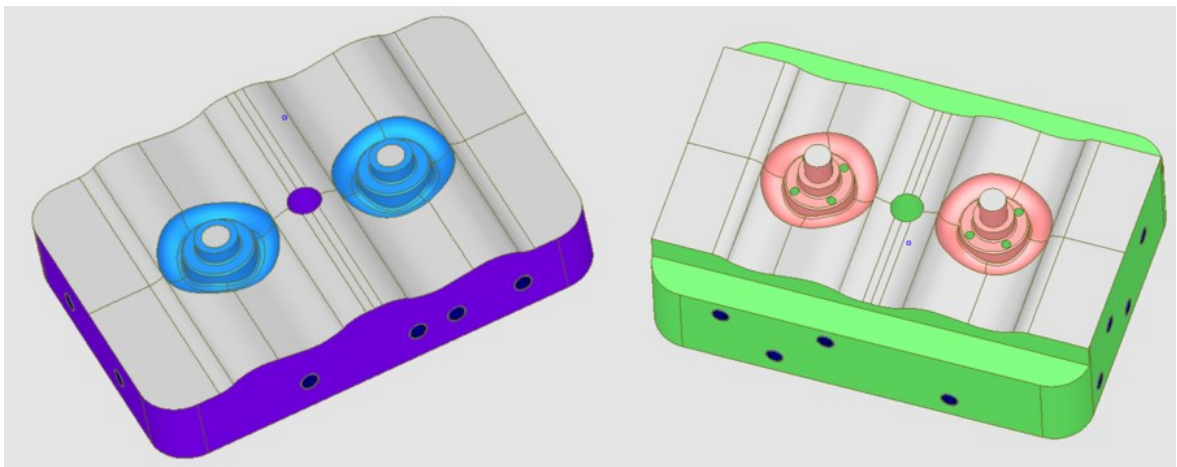
Aby došlo ke správnému odformování výrobku s danou geometrií, bylo zapotřebí navrhnout tři dělicí roviny, jedna rozdělující boční posuvné čelisti a dvě vymezené tvárníkem a tvárnicí, ve kterých se forma otevírá a umožňuje vyhození výstřiku (viz obrázek 35).



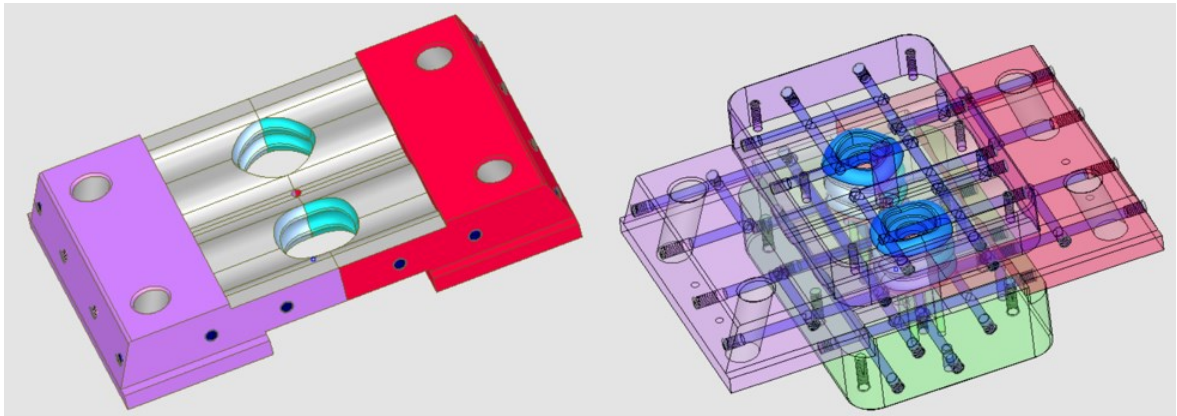
Obrázek 35 Znáznornění dělicích rovin

10.5 Tvarové dutiny

Tvarové dutiny vstřikovací formy jsou složeny ze čtyř částí. Jedná se o tvárník, tvárnici a dvojici bočních posuvných čelistí vedených po šikmě uložených čepech. Všechny tyto části jsou vybaveny temperačními kanály. Dohromady tyto části tvoří dvě tvarové dutiny, představující negativy vstřikovaných součástí, které jsou zvětšeny o hodnotu smrštění vstřikovaného polymeru. Tvárnice je umístěna v pravé straně formy, tvárník s bočními čelistmi pak v levé straně formy. Po otevření formy zůstávají výstříky na její levé straně, odkud jsou vyhozeny vyhazovacím systémem.



Obrázek 36 Tvárnice (vlevo) a tvárník (vpravo)

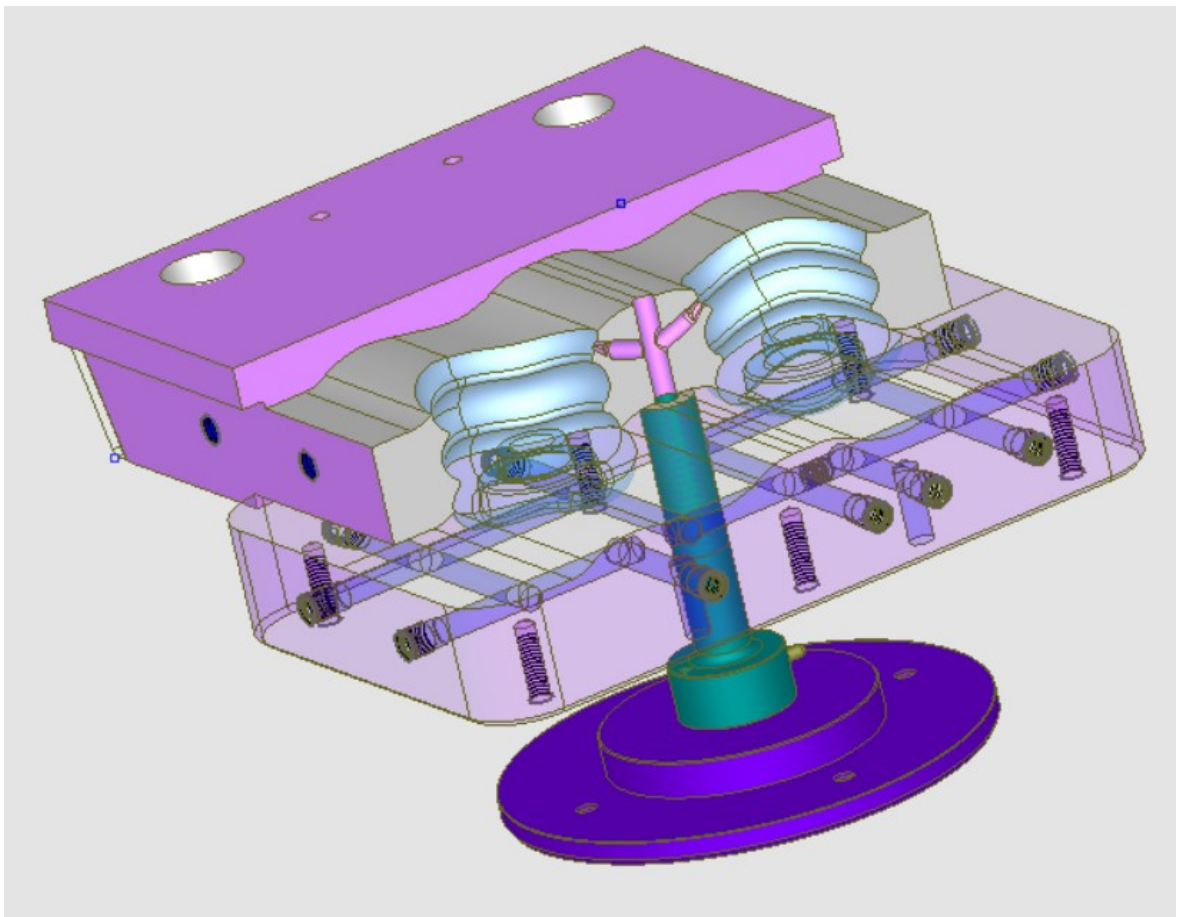


Obrázek 37 Boční posuvné čelisti (vlevo), kompletní sestavení tvarových dutin (vpravo)

10.6 Vtoková soustava

Vtokovou soustavu tvoří vtoková vložka procházející tvárnici, kterou je vstřikována polymerní tavenina do formy, dále vtokové kanálky kruhového průřezu, kterými je polymerní tavenina dopravena současně do obou tvarových dutin skrze boční vtokové ústí, umístěné ve vrchní části bočních posuvných čelistí.

Jedná se o studený vtokový systém, tedy tavenina není zahřívána přidavnými topnými tělesy a během vstřikovacího cyklu postupně chladne. Vtokové kanálky jsou navrženy co nejkratší, aby tlakové a tepelné ztráty byly co nejmenší. Po vstřikovacím cyklu vzniká vtokový zbytek, který je vyhozen vyhazovacím systémem. Spotřeba taveniny je tedy vyšší, náklady na provoz a výrobu formy jsou ale výrazně nižší.

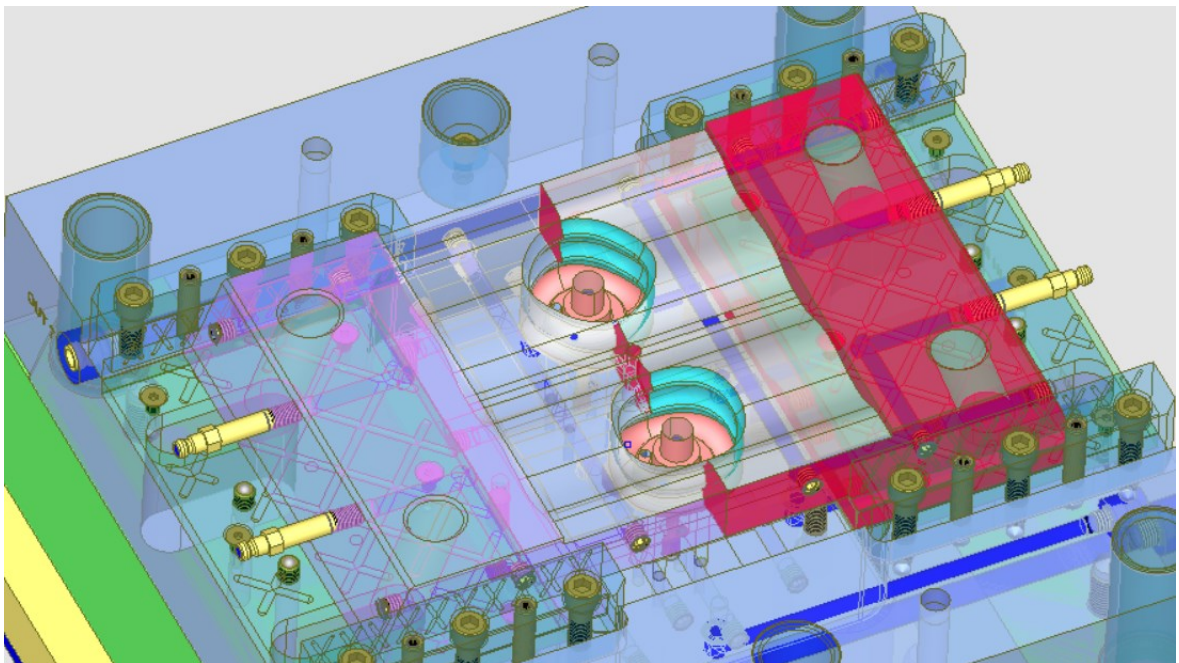


Obrázek 38 Pohled na vtokovou soustavu formy

10.7 Temperační systém

Vstřikovací formy je nutné temperovat, ať už se jedná o odvod tepla při vstřikování polymerní taveniny, tak i ohřev formy na provozní teplotu před vstřikováním. Temperační systém je v tomto případě řešen pomocí devíti temperačních obvodů o temperačních kanálech kruhového průřezu. Každá z bočních posuvných čelistí obsahuje jeden temperační okruh, tvárnice poté disponuje jedním a tvárník dvěma temperačními okruhy, kdy vyvýšené středy tvárníku jsou vybaveny spirálovou přepážkou pro efektivní temperaci. Tvarové desky na levé a pravé straně formy mají shodně dva temperační okruhy.

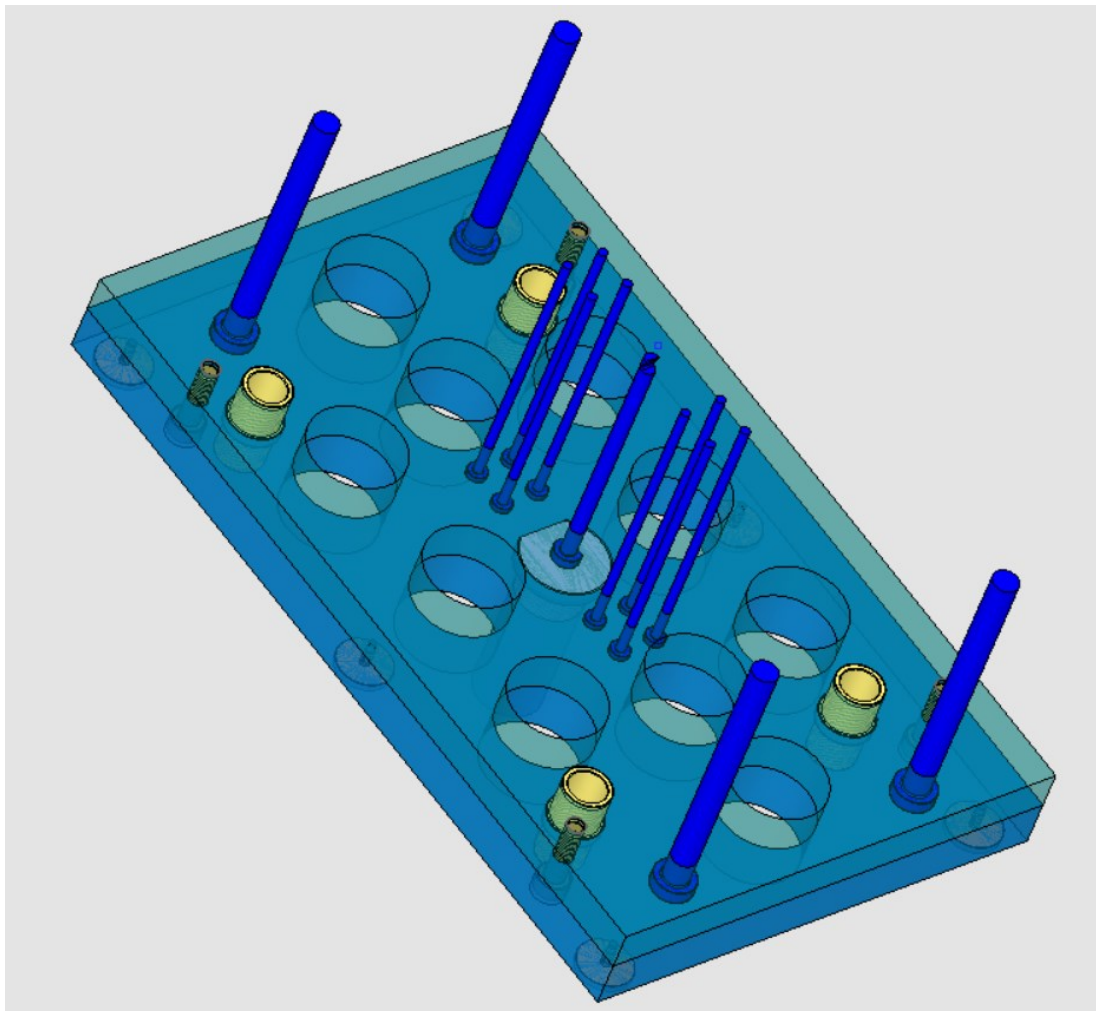
Jako temperační médium byla zvolena voda, která díky ekonomickému provozu, rychlému převodu tepla a nízkým finančním nákladům představuje vhodné temperační médium.



Obrázek 39 Temperační systém vstřikovací formy

10.8 Vyhazovací systém

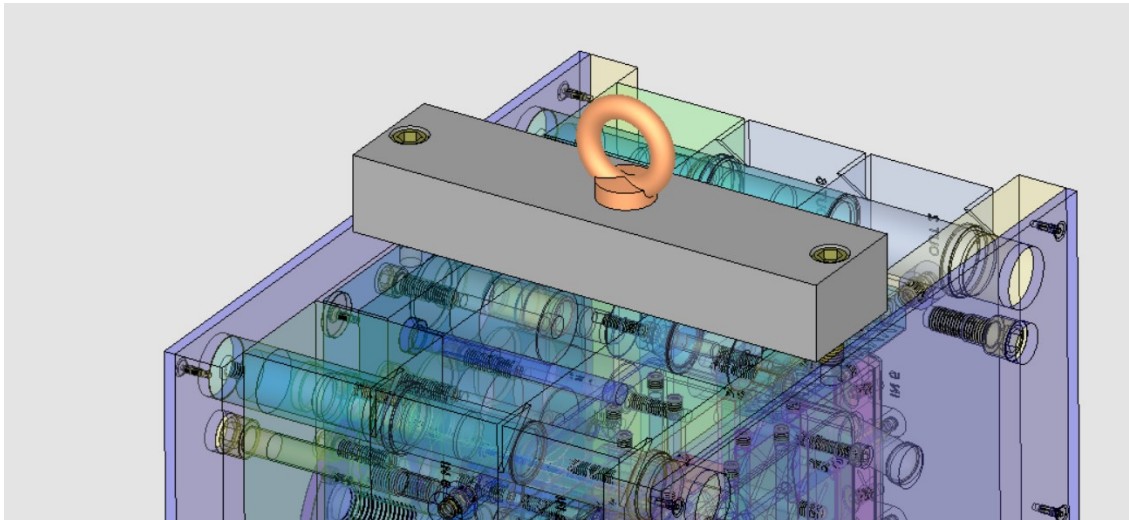
Po otevření formy zůstává výstřik na její levé straně, kde se také nachází vyhazovací systém, který jej vyhodí ven z formy. Tento vyhazovací systém disponuje osmi vyhazovači kruhových průřezů pro dva výstřiky a jedním přídržovačem vtokového zbytku, zajištěnému proti pootočení, který přidrží a poté vyhodí vtokový zbytek. Vyhazovací systém se dále skládá z opěrné vyhazovací desky, opatřené ze spodní strany závitovou vložkou pro připevnění táhla a vysoce přesnými dosedacími podložkami. K ní je shora připevněná kotevní vyhazovací deska, ve které jsou ukotveny vyhazovače a čtveřice vracejících čepů. Lze zde nalézt čtyři vodící pouzdra, které vedou pohyb vyhazovacího systému po vodících čepích vyhazovacího systému a otvory pro podpěrné válce.



Obrázek 40 Vyhazovací systém vstřikovací formy

10.9 Manipulace s formou

Pro manipulaci se vstříkovací formou je nutné zajistit vhodný manipulační systém, sloužící k manipulaci a přepravě formy. Z tohoto důvodu je na horní straně forma opatřena přepravním hranolem, připevněným dvěma šrouby k upínacím deskám levé a pravé strany formy, do kterého je namontováno manipulační oko, umístěné v těžišti formy, díky kterému může být forma uchycena manipulačním zařízením.



Obrázek 41 Manipulační systém

ZÁVĚR

Jako cíl bakalářské práce byl stanoven návrh vstřikovací formy a vytvoření 3D modelu vstřikované součásti, kterou je skateboardové kolečko typu shark wheel. Dále tvorba výkresové dokumentace ke vstřikovací formě, obsahující pohled do levé a pravé strany formy, doplněná o sestavu formy s kusovníkem a výrobní výkres vstřikované součásti.

Část teoretická se nejprve zabývá základními informacemi o skateboardových kolečkách a kolečkách typu shark wheel, následně se zaměřuje na rozdělení a vlastnosti polymerních materiálů, problematiku vstřikování a problematiku tvorby a konstrukce vstřikovacích forem.

Část praktická poté zahrnuje návrh 3D modelu vstřikované součásti, návrh 3D modelu sestavy vstřikovací formy pro danou součást, tvorbu výkresové dokumentace a volbu vhodného materiálu a vstřikovacího stroje.

Forma byla navržena jako dvojnásobná vzhledem k velikosti a finančním nákladům. Je složena ze tří hlavních částí, těmi jsou levá strana, pravá strana a vyhazovací systém. Byl zvolen studený vtokový systém s vtokovými kanálky o kruhových průřezích, o jednom vtokovém ústí na jednu tvarovou dutinu. Tvarové dutiny se skládají z tvárníku, tvárnice a dvou bočních čelistí, vedených pomocí šikmých čepů. Teplota formy je zjištěna temperačním systémem o devíti okruzích, s kanály o kruhovém průřezu, kde jako temperační médium byla zvolena voda. Vyhazovací systém tvoří osm vyhazovacích kolíků pro dvě tvarové dutiny, a jeden přidržovač vtokového zbytku. Pro manipulaci s celou formou je na vrchní straně připevněn přepravní hranol s manipulačním okem.

Materiálem pro vstřikovaný díl byl zvolen termoplastický polyuretan na bázi polyesteru od firmy Huntsman. Vstřikovacím strojem byl zvolen stroj ALLROUNDER 520-S od společnosti ARBURG. Návrh vstřikovací formy a vstřikovaného dílu byl proveden v softwaru CimatronE 11, stejně tak výkresová dokumentace. Použité normalizované díly pocházejí z katalogu společnosti Meusburger.

Byla vytvořena požadovaná výkresová dokumentace (viz přílohy).

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BĚHÁLEK, Luboš. Polymery [online]. publi.cz, 2016 [cit. 2022-2-18]. ISBN 978-8088058-68-7.
- [2] BECKY, B., WEIDMAN, L. „Authenticity in the Skateboarding World”. In.: *Rinehart, Robert E., a Synthia Sydnor. To the Extreme: Alternative Sports, Inside and Out*. SUNY Press, 2003.
- [3] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 9788027106141.
- [4] ŘEHULKA, Zdeněk. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 9788072048335.
- [5] Everything about skateboard decks, 2018. Skate delux [online]
[cit. 2022-02-18]. Dostupné z:
<https://www.skatedeluxe.com/blog/en/wiki/skateboarding/skateboard-wiki/decks/>
- [6] Everything about skateboard wheels, 2018. Skate delux [online]
[cit. 2022-02-18]. Dostupné z:
<https://www.skatedeluxe.com/blog/en/wiki/skateboarding/skateboard-wiki/wheels/>
- [7] The ultimate longboard wheel guide, 2020. Stokedrideshop [online]
[cit. 2022-02-18]. Dostupné z:
<https://stokedrideshop.com/blogs/wheels/the-ultimate-longboard-wheel-guide>
- [8] Everything about skateboard bearings, 2018. Skate delux [online]
[cit. 2022-02-18]. Dostupné z:
<https://www.skatedeluxe.com/blog/en/wiki/skateboarding/skateboard-wiki/bearings/>

- [9] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011. ISBN 978-80-7080-788-0. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-img/096.html
- [10] Polymerní materiály. www.opi.zcu.cz [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/download/Polymery_2010.pdf
- [11] Ing. Jiří Bobek, Ph.D. www.publi.cz. *Vstřikovací formy pro zpracování termo-plastů*. [online] [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/194/03.html>.
- [12] About shark wheel. *Shark Wheel* [online]. California [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://sharkwheel.com/about-us/>
- [13] LENFELD, Petr. Technologie vstřikování [online]. publi.cz, 2016 [cit. 2022-03-05]. ISBN 978-80-88058-74-8.
- [14] *Technologie II: Vstřikování plastů* [online]. [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [15] SEIDL, Martin. Stroje pro zpracování polymerních materiálů [online]. publi.cz, 2016 [cit. 2022-03-07]. ISBN 978-80-88058-71-7.
- [16] HYNEK, Martin. Studené a živé vtokové systémy [online]. Plzeň: Fakulta strojní, 2013 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
- [17] HYNEK, Martin. Horké vtoky [online]. Plzeň: Fakulta strojní, 2013 [cit. 2022-03-08] Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Horke_vtoky.pdf
- [18] Huntsman IROGRAN® A 70 E 4675 Polyester-Based TPU-High Performance Grade. *MatWeb* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=0960389235684116a2b669c262b33363&ckck=1>
- [19] *Arburg* [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupný z: <http://www.arburg.com>
- [20] *Meusburger* [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com>
- [21] *Cimatron* [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com>
- [22] *Arburg* [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_520S_TD_529082_en_GB.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

TPE termoplastické elastomery

PP polypropylén

PS polystirén

PET polyetylénstyren

PE polyetylén

PS polystyrén

PP polypropylén

PVC polyvinilchlorid

PMMA polymethylmetakrylát

PC polykarbonát

PA polyamid

PU polyuretan

PUR polyuretanové pěny

°C stupně celsia

HRC tvrdost dle Rockwella

ČSN česká státní norma

MPa megapascal

N Newton

kN kylonewton

kW kylowatt

Nm Newtonmetr

cm³ centimetr krychlový

bar jednotka tlaku

min minuty

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Skateboardová kola [6]	11
Obrázek 2 Vztah akcelerace a celkové rychlosti vůči průměru kola [6]	12
Obrázek 3 Šířka plochy kolečka, která je v kontaktu s povrchem [6]	13
Obrázek 4 Shark wheels [12]	14
Obrázek 5 Zdolávání nerovnosti, vlevo shark wheel, vpravo tradiční kolečko [12]	15
Obrázek 6 Příklady využití konceptu shark wheel [12]	16
Obrázek 7 Světová produkce polymerů od roku 1950 do roku 2012 [1]	17
Obrázek 8 Rozdělení polymerů [1]	18
Obrázek 9 Schématické zobrazení nadmolekulární struktury polymerů [1]	19
Obrázek 10 Schématické zobrazení struktury TPE [1]	20
Obrázek 11 Vznik polyuretanové řady [9]	23
Obrázek 12 Vstřikovací stroj s popisy jeho částí [14]	24
Obrázek 13 Vstřikovací cyklus [14]	25
Obrázek 14 Znázornění časů vstřikovací cyklus [13]	26
Obrázek 15 Vstřikovací jednotka [15]	27
Obrázek 16 Hydraulická uzavírací jednotka a její popis [15]	28
Obrázek 17 Základní přehled funkcí a vlastností vstřikovací formy [11]	32
Obrázek 18 Otevřená dvoudesková vícenásobná vstřikovací forma a popis jejích částí [13]	34
Obrázek 19 Schéma studeného vtokového systému [16]	35
Obrázek 20 Příklady rozmístění rozvodových kanálů [16]	36
Obrázek 21 Základní varianty provedení vyhřívání horkého rozvodu s popisem [17]	37
Obrázek 22 Otevřená vstřikovací forma, vyhazovací systém v zadní pozici [11]	40
Obrázek 23 Otevřená vstřikovací forma, vyhazovací systém v přední pozici [11]	40
Obrázek 24 Logo společnosti Cimatron [21]	46
Obrázek 25 Software CimatronE 11 a možnosti jeho využití [21]	46
Obrázek 26 Logo společnosti Meusburger [20]	47
Obrázek 27 Hlavní nabídka produktů firmy Meusburger [20]	47
Obrázek 28 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 520-S [19]	48
Obrázek 29 3D model vstřikovaného výrobku	49
Obrázek 30 Rozměry vstřikovaného výrobku	49
Obrázek 31 3D model sestavy vstřikovací formy	51
Obrázek 32 Pravá strana vstřikovací formy	52
Obrázek 33 Levá strana vstřikovací formy	53

Obrázek 34	Násobnost vstřikovací formy	54
Obrázek 35	Znázornění dělicích rovin	54
Obrázek 36	Tvárnice (vlevo) a tvárník (vpravo)	55
Obrázek 37	Boční posuvné čelisti (vlevo), kompletní sestavení tvarových dutin (vpravo)	55
Obrázek 38	Pohled na vtokovou soustavu formy	56
Obrázek 39	Temperační systém vstřikovací formy	57
Obrázek 40	Vyhazovací systém vstřikovací formy	58
Obrázek 41	Manipulační systém.....	59

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vybrané parametry vstřikovacího stroje ARBURG ALLROUNDER 520-S [22]	48
Tabulka 2 Vybrané vlastností materiálu pro vstřikovaný výrobek [18].....	50

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: CD disk

- 3D model sestavy vstřikovací formy,
- 3D model vstřikovaného dílu,
- výrobní výkres vstřikovaného dílu,
- pohled do levé strany formy,
- pohled do pravé strany formy,
- kusovník k sestavě formy,
- materiálový list zvoleného termoplastického polyuretanu,
- list s technickými daty ke vstřikovacímu stroji.

Příloha P II: Tištěná výkresová dokumentace

- Výrobní výkres vstřikovaného dílu,
- pohled do levé strany formy,
- pohled do pravé strany formy,
- řez formou A-A,
- řez formou B-B,
- řez formou C-C,
- kusovník k sestavě formy.

