

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie

**Analýza výrobních a vývojových aspektů vstřikování
plastů**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Autor práce: Daniel Balatý

PRAHA 2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Daniel Balatý

Zemědělské inženýrství

Inženýrství údržby

Název práce

Analyza výrobních a vývojových aspektů vstřikování plastů

Název anglicky

Analysis of productional and development aspects of plastics injection

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je shromáždit a analyzovat aktuální poznatky o možnostech a limitách vstřikování plastů s důrazem na problematiku výrobních postupů, vstřikovacích forem, návrh vstřikovaného dílu, kontrolu návrhu dílů atd. Bakalář se zaměří na vývojové trendy v předmětné problematice. Na základě závěrů z literárního rozboru, případně vlastní experimentální části předmětné problematiky, stanoví bakalář přínos práce.

Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše).

Závěry a přínos práce.

Doporučený rozsah práce

cca 30 stran

Klíčová slova

plasty, technologické operace, výroba, výzkum

Doporučené zdroje informací

Časopis: International Journal of Adhesion and Adhesives, Composite structures, Research in Agricultural Engineering, International Journal of Solids and Structures, Journal of Materials Processing Technology, Surface and Coating Technology, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Strojírenská technologie, The journal of adhesion, Journal of material science, The Journal of Physical Chemistry, International Journal of Fatigue, Journal of materials processing technology, Polymer Degradation and Stability, Manufacturing technology

KANG, G., KAN, Q. Cyclic plasticity of engineering materials: experiments and models. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2017.

MILLS, N. J. Plastics: microstructure and applications. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier, 2005.

Sborníky z přednášek zabývající se problematikou vstřikování plastů

TRES, P. A. Designing plastic parts for assembly. 8th edition updated. Munich: Hanser, 2017.

ZEMAN, L. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018.

ZEMAN, L. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN – technická literatura, 2009.

Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 12. 1. 2019

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2019

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 25. 03. 2020

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Analýza výrobních a vývojových aspektů vstřikování plastů vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že 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, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Daniel Balatý

Poděkování:

Děkuji všem, kteří mi pomohli při psaní této práce, zejména prof. Ing. Miroslavu Müllerovi, Ph.D., vedoucímu bakalářské práce za vedení a za cenné rady, které mi poskytl. Dále také firmě AKKA Czech Republic s.r.o., pod jejíž záštitou jsem mohl konstruovat vstřikovací formu a získat mnoho zkušeností.

Analýza výrobních a vývojových aspektů vstřikování plastů

Abstrakt: Cílem bakalářské práce bylo analyzovat a shromáždit současné možnosti a limity vstřikování plastových dílů, problematiku výrobních postupů, analyzovat vývojové aspekty se zaměřením na trendy současnosti a popsat konstrukci plastového dílu. V první, teoretické části je popsána technologie vstřikování, oblasti podléhající vývojovým trendům, ale i základní informace o plastech a jak správně postupovat při návrhu vstřikovaného dílu a jeho formy. Druhá část je věnována samotné konstrukci vstřikovací formy, během které lze snadno poukázat na spojitosti jednotlivých zásad při konstruování výlisku a jeho vstřikovací formy. V závěru druhé části je pak provedena analýza vstřikovacího procesu pro navrženou formu, která slouží jako výstupní kontrola jakosti. Bakalářská práce je napsána jako seznámení s technologií vstřikování plastů, konstrukcí výlisku a vstřikovací formy. Je určena zejména pro konstruktéry, začínající s touto problematikou, kterým by měla sloužit jako podpora ve vzdělávání a manuál při konstrukci. Pro doplnění znalostí, nebo jejich ověření může sloužit i veřejnosti znalé v oboru plastikářství.

Klíčová slova: Vstřikování, plastový díl, vstřikovací forma, konstrukce, NX 12.0

Analysis of productional and development aspects of plastics injection

Abstract: The aim of the bachelor's thesis was to analyze and gather the current possibilities and limits of injection molding of plastic parts, problems of production processes, analyze developmental aspects with focus on current trends and describe the construction of plastic part. The first, theoretical part describes the technology of injection molding, areas subject to development trends, as well as basic information about plastics and how to proceed with design of the plastic part and its mold. The second part is devoted to the construction of the mold, during which it is easy to point out the relation of the individual principles in the construction of the part and its injection mold. At the end of the second part there is an analysis of the injection process for the designed mold, which serves as the final quality control. The bachelor's thesis is written as an introduction to plastic injection technology, plastic part and injection mold construction. It is aimed especially for designers, who start with this issue, which should serve as a support in education and a manual during construction. It can also serve the public knowledgeable in the field of plastics to completion or verify knowledge.

Keywords: Injection molding technology, plastic part, injection mold, design, NX 12.0

Obsah

ÚVOD.....	1
I. TEORETICKÁ ČÁST	2
1. Vstřikování plastů	3
1.1. Princip technologie vstřikování.....	3
1.2. Vstřikovací stroje	6
1.2.1. Rozdělení vstřikovacích strojů.....	6
1.2.2. Charakteristika vstřikovacího stroje	8
1.3. Plasty	11
1.3.1. Materiály pro vstřikování.....	12
1.3.2. Přísady	14
1.3.3. Technologie přípravy	15
1.4. Speciální technologie vstřikování	20
2. Návrh vstřikovaného plastového dílu	24
2.1. Dělicí rovina.....	24
2.2. Zaformovatelnost	25
2.3. Tloušťka stěny, žebra, nálitky	26
2.4. Zaoblení hran a rohů	29
3. Návrh konstrukce vstřikovací formy	30
3.1. Analýza dílu, zaformování	31
3.2. Násobnost.....	32
3.3. Vtokový systém.....	32
3.4. Temperace	35
3.5. Vyhazovací systém.....	36
3.6. Odvzdušnění.....	38
II. PRAKTICKÁ ČÁST	39
4. Cíle bakalářské práce	40
5. Použitý software	40

6.	Vstřikovaný díl	41
7.	Vstřikovací stroj.....	42
8.	Konstrukce formy	43
9.	Analýza vstřikovacího procesu	48
ZÁVĚR.....		50
Seznam použité literatury		52
Seznam použitých zkratk a symbolů		55
Seznam obrázků.....		56
Seznam tabulek.....		58

ÚVOD

V posledních desítkách let se věnuje zpracování plastů stále větší pozornost. Není divu, plastové díly můžeme vidět všude kolem nás: potravinářské obaly, hygienické pomůcky, díly automobilů atd. Plasty jsou součástí našeho každodenního života a ve strojírenství tomu není jinak. Cílem konstruktérské a výrobní činnosti je vždy navrhnout a vyrobit co nejlepší výrobek s minimem nákladů a zbytkového materiálu. V současné době, kdy se klade stále větší důraz na minimalizaci času výrobního procesu, se dostává vstřikování plastů stále více do popředí oproti konvenčním materiálům jako např. sklo, dřevo, kov, keramika.

Technologie vstřikování a materiály výlisků jsou tedy podrobovány neustálému vývoji a modernizaci. Princip technologie se nijak zásadně nemění, spíše se modifikuje, vytváří se speciální metody vstřikování a vylepšují se funkční části zařízení, jako například pohon vstřikovacích strojů. Největší oblastí vývoje je v současnosti rozvoj materiálů výlisků, kterému je věnována největší pozornost. Rozvíjí se jak spektrum používaných materiálů, tak jejich složení. Vstřikování je vysoce produktivní proces s možnostmi vyrábět širokou škálu výrobků, od různé složitosti, velikosti až po barevné provedení a kvalitu povrchu. Produkty vyrobené touto metodou mají výborné vlastnosti: nízkou hmotnost, velkou pevnost a jejich parametrickou stálost, kterou s tvarem dílu zajišťuje vstřikovací forma. Tyto aspekty umožňují snadnou opakovatelnost vstřikovacího procesu a jeho mechanizaci, čímž dosahujeme krátkých výrobních cyklů. Jedná se tedy o metodu uplatňující se zejména v sériové výrobě. Lze vyrábět hotové produkty (kelímky, krabičky), polotovary nebo díly, které se kompletují do větších celků (části automobilů).

Při návrhu výlisků a vstřikovacích forem se konstruktér řídí několika kritérii (ekonomické, technologické, funkční, estetické). Aby je však mohl splnit a nesetkal se neúspěchem, je třeba dodržet základní doporučení a zásady pro jejich konstrukci.

Cílem bakalářské práce je seznámení se s technologií vstřikování plastů a zásadami konstrukce plastových výlisků a vstřikovacích forem. Obsah je zaměřen na získání základních znalostí plastikářské problematiky pro konstruktéry začínající s touto problematikou v praxi, kterým by měla práce sloužit jako podpora ve vzdělávání, nebo ucelení a ověření již nabitých vědomostí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. Vstřikování plastů

Vstřikování plastů sahá až do roku 1870, kdy si bratři Hyattovi v USA nechali patentovat nový materiál, ze kterého následně zhotovili celuloid i se zařízením k jeho vstřikování. Od té doby tato metoda urazila velký kus cesty a dnes už se jedná o velmi efektivní proces výroby, kterým dokážeme zhotovit široké spektrum plastových výrobků s velmi vysokou přesností a kvalitou provedení s nízkým procentem odpadního materiálu. To je zabezpečeno správnou konstrukcí dílu a vstřikovací formy. Jak už bylo řečeno, lze vyrábět hotové výrobky, polotovary či komponenty pro následnou kompletaci a použít při tom téměř všechny druhy termoplastů a částečně některé kaučuky a reaktoplasty. [1], [2]

Vstřikovací forma dává dílu požadovaný tvar a jeho tvarovou přesnost, což umožňuje opakovatelnost výrobního procesu. Jsme tedy schopni během i několika vteřin vyrobit hotový produkt a tím snížit jeho výrobní cenu. Pojí se s tím samozřejmě i nevýhoda tohoto procesu, a to je vyšší počáteční investice na zařízení a komponenty k tomu potřebné. Je tedy zřejmé, že se jedná o princip zaměřený zejména na velkoobjemovou a sériovou výrobu.

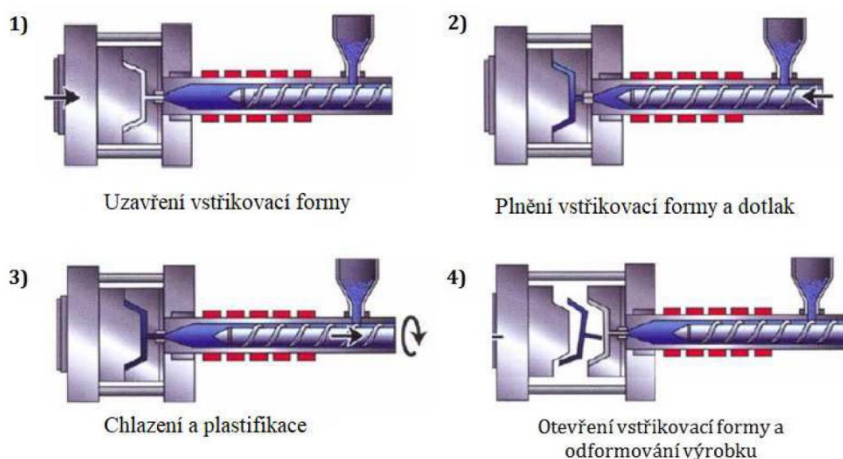
1.1. Princip technologie vstřikování

Vstřikování je způsob tváření plastů založený na principu tlakového lití. Existují řady různých úprav standartního procesu vstřikování (vícekomponentní, sekvenční, s podporou plynu a jiné). Zpravidla však tento proces můžeme periodizovat podle jednotlivých fází.

Fáze vstřikovacího procesu:

- Plastikační fáze
- Vstřikovací fáze
- Dotlaková fáze
- Fáze chladnutí
- Vyhození výlisku

Vstřikování plastů je cyklicky se opakující operace a je tedy nezbytné, aby další cyklus byl naprosto shodný s předešlým. Jednotlivé fáze a jejich průběh, jsou hlavními částmi procesu ovlivňující jakost a stav výlisku. Tyto fáze, které budou dále podrobněji popsány jsou zobrazeny na obrázku 1 - 2. [3]



Obrázek 1 - Vstřikovací proces [3]

Plastikační fáze

Plast, nejčastěji v podobě granulátu, je dodán do násypky pro plastový polotovar, odkud je odebrán otáčejícím se šnekovým dopravníkem, nebo pístem do tavicí komory. Za působení tření a topení je převáděn do stavu taveniny, čímž se homogenizuje, a je transportován směrem k trysce. V této fázi je forma v zavřené poloze. [4]

Vstřikovací fáze

Materiál je tryskou veden do vtokové soustavy a postupně zaplňuje dutinu vstřikovací formy. Hlavní úkol této fáze je naplnit dutinu formy homogenní taveninou tak, aby výlisek byl konstantně plněn v celém průřezu a nedocházelo k vytvoření např. studených spojů, nezatečení atd. U jednoduchých výlisků s konstantní tloušťkou stěny lze předpokládat, že tento aspekt bude dodržen, ale u tvarově složitějších výlisků s různými tloušťkami stěn mohou být některá místa výlisku kritická. V tomto případě, ale i jako běžná kontrola, je dobré použít Software, který zobrazuje analýzu tečení, teploty, tlak a jiné důležité informace. [5]

Rychlost plnění je vysoce variabilní a ovlivňuje zejména povrch výlisku. Teplota taveniny a formy spolu s rychlostí vstřikovací fáze se musí optimalizovat. Pokud je rychlost nízká, zvyšuje se sice pevnost a houževnatost, ale tavenina s nižší rychlostí v dutině formy rychleji tuhne a snižuje se tím lesklost povrchu. Pro polymery s vláknitým plnivem se doporučuje vyšší rychlost a pro polymery s výskytem částicového plniva naopak nižší. [5]

Dotlaková fáze

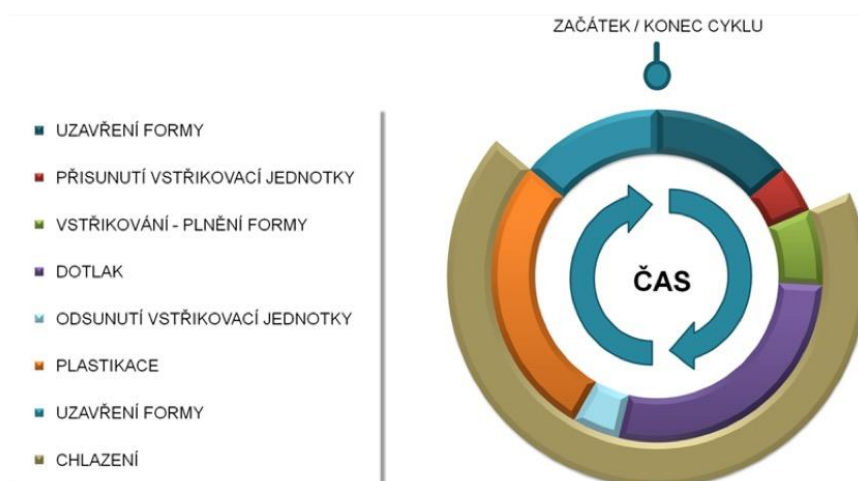
Po předešlé fázi je dutina naplněna z 90-99 % svého objemu. Nastává dotlaková fáze, která by měla zajistit úplné naplnění tvarové dutiny a dosažení přesného tvaru a rozměru dílu, a tím i stejnou hmotnost. Hlavní funkcí této fáze je dodat do dutiny určité doplňující množství taveniny, které je definováno velikostí smrštění při jejím chladnutí. [2]

Fáze chladnutí

V terminologii vstřikování plastů odlišujeme dva termíny v oblasti snižování teploty vylisku, a to ochlazování a chlazení. Z plastového vylisku teplo přestupuje do vstřikovací formy už od chvíle jeho vstřiku do tvarové dutiny. Dochází tak k postupnému ochlazování do té doby, než je díl dostatečně ochlazen k odformování a následnému vyhození z formy. Tato fáze obsahuje jak dotlakovou fázi, tak fázi chlazení. Chlazení je fáze, začínající dotlakem a končící vyhozením vylisku. [1]

Vyhození vylisku

V posledním kroku celého vstřikovacího cyklu dochází k otevření formy pohybem pohyblivé části vstřikovací formy a vyhození dílu. Poté se celý cyklus opakuje.



Obrázek 2 - Časový harmonogram vstřikovacího cyklu [4]

1.2. Vstřikovací stroje

Vstřikovací proces probíhá na strojích určených výhradně pro vstřikování plastů tzv. vstřikolisech (obrázek 3). Materiály, které se na nich zpracovávají jsou převážně polymery dodávané v podobě granulátu nebo prášku, je ale možné i zpracování tekutého systému.



Obrázek 3 - Vstřikovací stroj [15]

1.2.1. Rozdělení vstřikovacích strojů

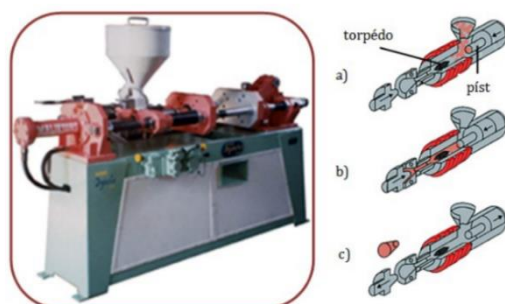
Vstřikovací stroje rozdělujeme podle kritérií do jednotlivých skupin: [6]

- podle pohonu, který umožňuje pohyb v hlavních osách (hydraulické, elektrické a hybridní vstřikovací stroje)
- podle použitého prvku dopravujícího granulátu, pasty či kapaliny do tavicí komory (pístové vstřikovací stroje, šnekové vstřikovací stroje)
- podle směru pohybu pohyblivé části formy, desky (horizontální – pohyb zleva doprava a vertikální – pohyb shora dolů a opačně)
- podle druhu zpracovávaného materiálu (určené pro termoplasty, reaktoplasty a pro kaučuk)
- podle množství desek pro uzavírací jednotku (dvoudeskové a třideskové)
- podle množství šnekových dopravníků (jednošnekové a vícešnekové)
- podle rychlosti otáček šneku (rychlloběžné a pomaloběžné)
- podle aplikace předplastikační fáze (bez předplastikační fáze, s předplastikační fází)
- podle množství vodících sloupků (bezsloupkové, se dvěma nebo se čtyřmi sloupky)
- podle uzavírací síly vstřikolisu (malý vstřikolis do 50 tun, střední 50 až 500 tun a velký nad 500 tun) Pozn. V praxi se běžně používá označování v tunách: př. 50 tun = 500kN.

Pístové vstřikovací stroje

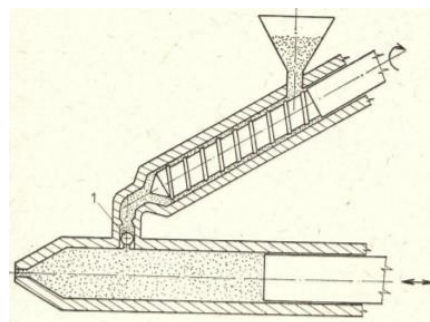
Jedná se o prvotní provedení dnes téměř nepoužívaných strojů pro vstřikování plastů. Základním principem této konstrukce je pístový mechanismus ve vstřikovací jednotce. Pro jeho nevýhody byl postupem času nahrazen šnekovými vstřikovacími stroji. Mechanismus je omezen jen pohybem pístu dopředu a dozadu. V zadní poloze pístu je do plastikační a vstřikovací jednotky dodáván polymer z násypky, obvykle ve formě granulátu. Ten je ohříván vnějším topným válcem a pohybem pístu tlačem vpřed, směrem ke vstřikovací trysce. Jelikož je pohyb pouze přímočarý, nedochází uprostřed válce k tak dokonalému prohřátí polymeru jako blíž ke stěnám. V důsledku nedokonalého prohřátí se zvětšuje hydraulický odpor, ztráty a není dosažena taková homogenita materiálu. [6], [7]

Řešením nehomogenity mohlo být použití tzv. torpéda, které bylo umístěno před vstřikovací trysku a mělo zaručit lepší promísení směsi. Další myšlenkou bylo přidání sekundárního vstřikovacího válce, ve kterém byl umístěn šnekový mechanismus a zpětný ventil, což následně vedlo k přechodu na čistě šnekové vstřikovací stroje. [6], [7]



Obrázek 4 - Pístový vstřikovací stroj s torpédem [6]

- a) dávkování, b) plastifikace a vstřik,
c) odformování



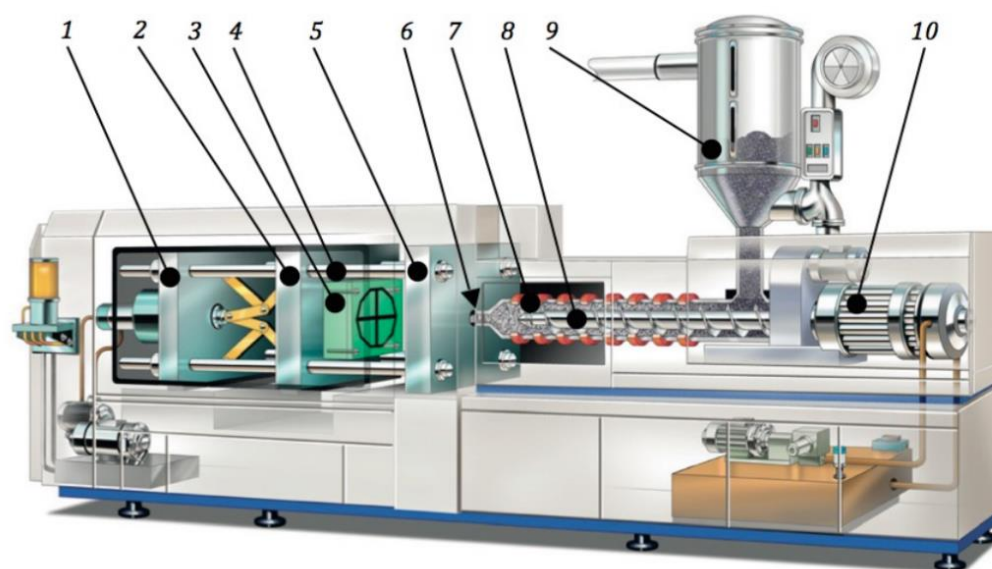
Obrázek 5 - Pístový vstřikovací stroj s plastikačním šnekem [35]

Šnekové vstřikovací stroje

Jak již bylo zmíněno, jedná se o nástupce pístových vstřikovacích zařízení, které dnes dominují na trhu. Jejich provedení může být horizontální nebo vertikální a zpravidla se skládají z těchto částí: vstřikovací jednotka, uzavírací a řídicí jednotka, a jednotka kontrolní. Detailnější popis můžeme vidět na obrázku 6, kde je zobrazen a popsán horizontální vstřikovací stroj se šnekovým podavačem. Hlavními výhodami použití šneku jsou: dosažení lepší homogenity směsi a jejího toku, snížení smrštění výlisků v důsledku nižších vnitřních pnutí a lepší výkonnosti vstřikovacího stroje. [6] [7]

1.2.2. Charakteristika vstřikovacího stroje

Jednotlivá provedení vstřikovacích strojů se od sebe mohou lišit konstrukcí, cenou či jinými parametry, a funkcemi stroje. Veškeré tyto stroje jsou v dnešní době již plně automatizovány a na trhu jich je nespočetné množství. Vzhledem k velkému množství vstřikovacích strojů na trhu, nemusí být pro zákazníka výběr jednoduchý. Při porovnání by se mělo vzít v úvahu kromě ceny i specifikace neboli charakteristika vstřikovacího stroje (vstřikovací jednotka, šnek, uzavírací jednotka a ovládání).



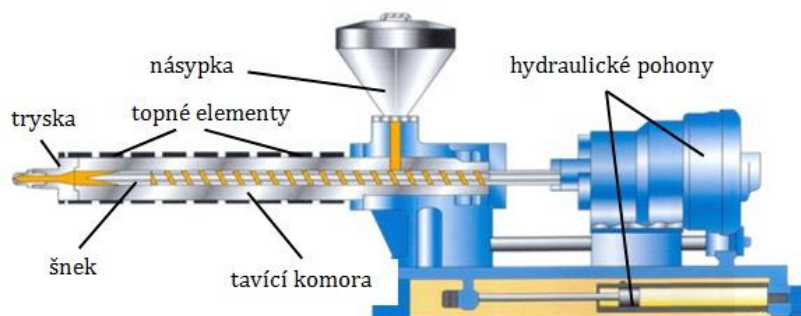
Obrázek 6 - Šnekový vstřikolis [4]

1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska vstřikolis, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky vstřikolis, 5 – pevná upínací deska vstřikolis, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky vstřikolis, 7 – tavící komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro plastový polotovar, 10 – pohonná jednotka šneku

Vstřikovací jednotka

Cílem vstřikovací jednotky je přeměnit polymer ve formě granulátu, nebo jiné formy, na formu homogenní vysoce viskózní taveniny a vstříknout tuto směs vstřikovací tryskou do dutiny formy. Celý proces by měl probíhat za vysoké rychlosti a tlaku. Tím by mělo být dosaženo správné vyplnění tvarové dutiny, zabezpečena rozměrová přesnost a tvar výlisku. Jak už víme, šnekové vstřikovací stroje jsou dnes nejpoužívanějším typem zařízení pro zpracování plastů. [8], [9]

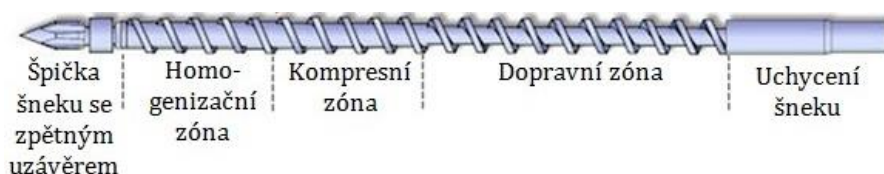
Hlavními prvky vstříkovací jednotky těchto strojů jsou tavicí komora, šnek s topením, vstříkovací tryska a další. Aby byl zajištěn otáčivý pohyb šneku, je vstříkovací jednotka vybavena posuvnými pohony. Ty však zajišťují nejen pohyb šneku, ale také pohyb vstříkovací jednotky, umístěné na posuvné konzoli, a umožňují tak přisunutí a odsunutí trysky k pevné části vstříkovací formy. [8], [9]



Obrázek 7 - Vstříkovací jednotka [6]

Šnekový mechanismus vstříkovacího stroje

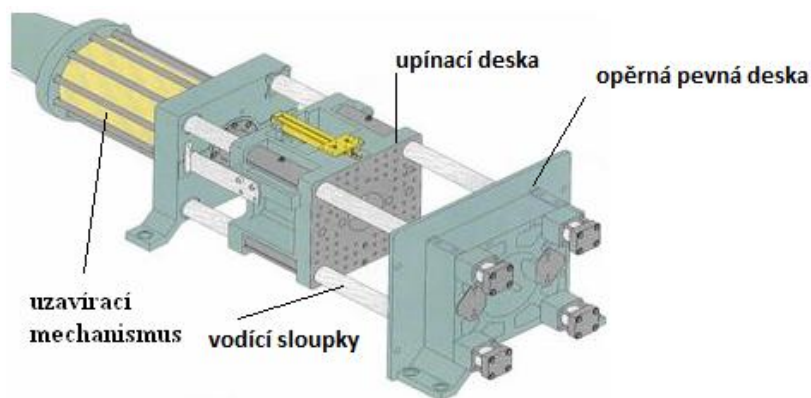
Šnek je pohyblivá část nacházející se v tavicí komoře, která dopravuje materiál z násypky směrem ke vstříkovací trysce. V prostoru šnekového mechanismu dochází k plastikaci, mísení materiálu a dosahování jeho homogenity. Klasické šneky pro vstříkování termoplastů se skládají ze tří pásem. První je pod násypkou, kde je konstantní hloubka a velikost šneku je minimální. Označujeme ji jako vstupní, dopravní, nebo také dávkovací. Granulát se v tomto pásmu ohřívá, stlačuje a zbavuje se tím vzduchu. K tání materiálu dochází až na konci tohoto pásma. Ve středním pásmu se zvyšuje velikost jádra šneku a šnekový kanál je zmenšován. Dochází k nárůstu stlačení, tudíž tání materiálu. Jedná se tedy o přechodové neboli kompresní pásmo. Třetí a také poslední pásmo se nazývá homogenizační, nebo také výstupní. Nachází se před vstupem taveniny do vstříkovací trysky a jeho cílem je homogenizace granulátu. Zakončení šneku je vždy opatřeno prvkem proti zpětnému tečení. [10]



Obrázek 8 - Pásma šneku vstříkovacího stroje [6]

Uzavírací jednotka

Na dnešních zařízeních je síla a rychlost, která uzavírá vstřikovací formu, plně programovatelná. Hlavním úkolem uzavírací jednotky je otevření a zavření formy v závislosti na požadavcích vstřikovacího procesu a zajistit tak formu dokonale uzavřenou po celou dobu jejího plnění. U uzavírací jednotky rozlišujeme přísuvnou sílu F_p a uzavírací sílu F_u . [10]



Obrázek 9 - Uzavírací jednotka [11]

Základní části uzavírací jednotky: [10], [12]

- Pevná upínací deska spojená s ložem
- Pohyblivá část formy a desky pro upnutí
- Pevná část formy a deska pro umístění trysky
- Vodící sloupky

Uzavírací systémy současných strojů používají pro svůj pohon různé druhy konstrukce. Zpravidla se jedná o provedení hydraulické nebo mechanické, popř. jejich kombinace. V posledních letech jsou tyto pohony nahrazovány elektrickými, které nacházejí stále větší uplatnění.

Ovládání stroje

Posledním, ale určitě neméně důležitým aspektem charakteristiky vstřikovacího stroje je jeho ovládání (řízení). Jeho jednoznačná obsluha a modifikovatelnost vstupních a požadovaných parametrů by měla být zárukou kvality a spolehlivosti stroje. Jen tak je možné docílit správného výsledku za dodržení výrobního postupu a zásad.

Strojní zařízení musí obsahovat systém řízení a kontroly, které by mělo být snadno dostupné a modifikovatelné pomocí ovládacích a zapisovacích prvků (klávesnice, dotykový displej atd.) Program, ve kterém je vstřikovací proces zapisován (programován), by měl být certifikován a obsluhován osobou proškolenou v tomto programu. [9]



Obrázek 10 - Ovládací rozhraní [13]

1.3. Plasty

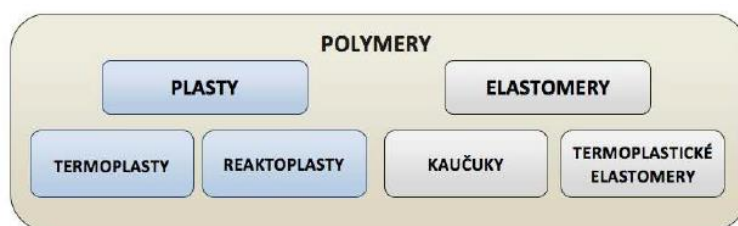
Plasty nebo také plastické hmoty označujeme materiály syntetického nebo přírodního původu s makromolekulovou stavbou. Jsou to pevné látky, které lze dobře formovat do požadovaného tvaru za pomoci tlaku, tepla nebo jejich kombinací. Obvykle obsahují ještě jiné látky ke zlepšení jejich vlastností, jako je například pevnost, houževnatost, odolnost proti opotřebení či stárnutí a další. [8], [10]

V současnosti se můžeme setkat se stovkami různých druhů plastů, které nám trh dokáže nabídnout. Přestože vznikají stále nové polymery nebo jejich modifikace, téměř tři čtvrtiny celkové produkce průmyslové výroby zaštiťují pouze tři druhy, a to PVC, styrenové plasty a polyolefiny. Stále rozšiřující se sortiment plastů je pro oblast konstrukce velkou výhodou, ale nese s sebou s nespočtem výhod také větší nároky na znalost a dosavadní zkušenosti konstruktérů. Výběrem materiálu můžeme zásadně ovlivnit konečné vlastnosti a stav výrobku. [8], [10]

Pro správnou volbu materiálu zvažujeme několik zásadních kritérií:

- Cena
- Mechanické a fyzikální vlastnosti
- Chemická a molekulová struktura
- Technologie zpracování

Plasty spolu s elastomery tvoří celek, který nazýváme polymery, viz. obrázek 11. Rozděluje je do dvou skupin podle chování plastu při opakovaném ohřátí. Pokud jejich změna tvaru a následná fixace je opakovatelná, mluvíme o termoplastech. Lze je tedy opětovně převádět působením tepla do fáze taveniny a zchladit na požadovaný tvar, který má vlastnosti tuhého tělesa. Pokud ale materiál nelze opětovně deformovat, hovoříme o tzv. reaktoplastech. Druhou větví polymerních materiálů jsou elastomery. Ty se vyznačují po zchladnutí vlastnostmi pružných (elastických) těles. [5]



Obrázek 11 - Polymery - základní rozdělení [3]

1.3.1. Materiály pro vstřikování

Vstřikovací proces je tvářecí metoda pro zpracování širokého spektra termoplastů, reaktoplastů, kompozitů, kaučuků a další. V této kapitole se budeme zabývat dvojicí, která je na poli působnosti nejvíce zastoupena, a tou jsou termoplasty a reaktoplasty.

Termoplasty

Jak již bylo řečeno, jedná se o plastické hmoty, které působením tepla opět přecházejí z pevné do plastické fáze, a my je můžeme znovu tvářet na jiný požadovaný tvar. Přechnou hranicí mezi těmito dvěma fázemi je teplota tání (T_m). Nad její hodnotou se plast chová jako tavenina a opačně pak jako tuhá látka. Celý tento proces je opakovatelný a neprobíhá při něm žádná změna chemické struktury. [14]

Tabulka 1 - Základní druhy termoplastů a jejich charakteristika [15]

Lineární polymery (termoplasty)			
Název a zkratka	struktura	T _g [°C]	T _m [°C]
Polyethylen (PE) lineární	krystalická (silně)	-122	137
rozvětvený	krystalická (středně)	-122	110
Polypropylen (PP) izotaktický	krystalická	-24	176
Polystyren (PS)	amorfní	90	-
Polyvinylchlorid (PVC)	amorfní	75	-
Polytetrafluorethylen (PTFE)	amorfní	-97	330
Polymethylmethakrylát (PMMA)	amorfní	105	-
Polyoxymethylen (POM)	krystalická	-40	181
Polyamid 6 (PA6)	krystalická	45	225
Polyamid 66 (PA66)	krystalická	65	265
Polyfenylenether (PPE)	krystalická (málo)	210	268
Polyetheretherketon (PEEK)	krystalická	154	334
Polyethylentereftalát (PETP)	krystalická (středně)	70	267
Polykarbonát (PC)	amorfní	144	-
Polyfenylsulfid (PPS)	krystalická	185	285
Polyethersulfon (PES)	amorfní	230	-

Reaktoplasty

Mezi reaktoplasty řadíme materiály, které jsme schopni převést do fáze taveniny a tvarovat je pouze danou dobu. Při této fázi ohřevu probíhá chemická změna struktury, ve které dochází k zasítování původních molekul a vzniku příčných kovalentních vazeb. [14], [15]

Proces změny struktury a následné ztvrdnutí materiálu, se nazývá vytvrzování a suroviny před touto operací se nazývají pryskyřice. Poté se stávají tyto materiály netavitelnými a nerozpustnými. Výsledkem jsou produkty, které charakterizuje vysoká tvrdost, tuhost, tepelná a chemická odolnost. [14], [15]

Tabulka 2 - Základní druhy reaktoplastů a jejich charakteristika [15]

Sesítované polymery (reaktoplasty)	
Název a zkratka	T _g [°C]
Fenolformaldehydová pryskyřice (PF)	100 až 170
Nenasycená polyesterová pryskyřice (UP)	70 až 120
Epoxidová pryskyřice (EP)	90 až 180

1.3.2. Přísady

Materiály pro vstřikování, nebo celkově polymery, se jen ojediněle používají v čistém stavu. Obvykle se do nich přidávají aditiva pro zajištění bezpečného zpracování a dosažení požadovaných vlastností, nebo jen zlepšení vlastností stávajících. Téma přídatných materiálů je v poslední době nejvíce aplikováno v oblasti vývoje vstřikování plastů. [1]

Mezi hlavní aspekty, kterými se řídí složení přísad, řadíme: [1]

- Stabilita taveniny během plastikační fáze
- Tekutost a zatékavost taveniny
- Rovnoměrná a jemná krystalická struktura
- Ochrana proti degradaci materiálu

Stabilizátory

Tepelné stabilizátory mají za úkol převážně zpomalit proces degradace materiálu a zvýšit odolnost proti vlivům vyšších teplot, vznikajících při zpracování. Následkem teplotního ovlivnění dochází ke zhoršení vlastností polymeru, nebo také jeho zbarvení. Cílem použití stabilizátorů je tyto děje minimalizovat. [14]

Světelné stabilizátory snižují degradaci slunečním zářením, převážně zamezením pronikání UV záření o vlnové délce v mezích cca 300–400 nm, které jsou nejvíce nebezpečné a vyvolávají volné radikály. Ty pak mohou způsobit degradaci odštěpení nebo zasíťování molekul. Podstata spočívá v přidání jiné látky, která nepropustí tento typ záření (např. saze). [14]

Specifické stabilizátory brání vnějším vlivům (srážky, kyslík a jiné) v dalším stárnutí. [14]

Plastifikátory

Plastifikátory označovány také jako změkčovadla, mají za úkol snížit tuhost a tvrdost, a naopak zvýšit tažnost a houževnatost. Jejich podstatou je pohyblivost vnitřních molekul a zvýšení vzdálenosti mezi nimi, tím se docílí poklesu vnitřních sil a tzv. změkčení. [1], [14]

Barviva

Barviva dodávají výrobku požadované zbarvení. Používá se přes 200 druhů pigmentu, které mohou být anorganického nebo organického původu. Organická barviva jsou rozpustná v polymerních hmotách, a tak je možné zachovat i jeho průhlednost. Hlavní požadavek, který je hlídán u této přísady je teplotní stálost, aby nedocházelo k nechtěnému ovlivnění plastické hmoty. [1]

Maziva

Maziva se používají pro zlepšení tekutosti taveniny během plastikační fáze, ale také napomáhají lepšímu vyndávání výlisků z formy. Maziva, která na povrchu vytvářejí vrstvu se nazývají vnější. Jsou v polymeru nerozpustné a tím se dostávají na povrch. Hlavním úkolem je snadnější vyjímání výrobku. Tzv. vnitřní maziva se v polymeru rozpustí a zlepšují jeho zpracovatelnost. Za použití maziv jsme schopni dosahovat lepšího vzhledu, teplotní a světelné stability. [14]

Plniva

Plniva rozdělujeme na částicová a vyztužující. Do částicových plniv můžeme zařadit organické i anorganické látky o různém tvaru a velikosti. Nejčastěji se jedná o malé kuličky, prášek nebo vlákna. Jejich hlavním cílem je snížení povrchového i vnitřního izolačního odporu a zlepšení kluzných vlastností. Míra zastoupení částicových plniv se pohybuje od 1-60% hmotnosti. [1]

Vyztužující plniva používáme zejména pro zvýšení tuhosti, pevnosti a tvarové stálosti. Ta by měla zajistit zamezení tečení materiálu za studena a jeho houževnatost. Mezi nejčastěji používanými vlákny nalezneme vlákna přírodního původu, uhlíková, kovová či minerální o délce 3-16 mm. [1]

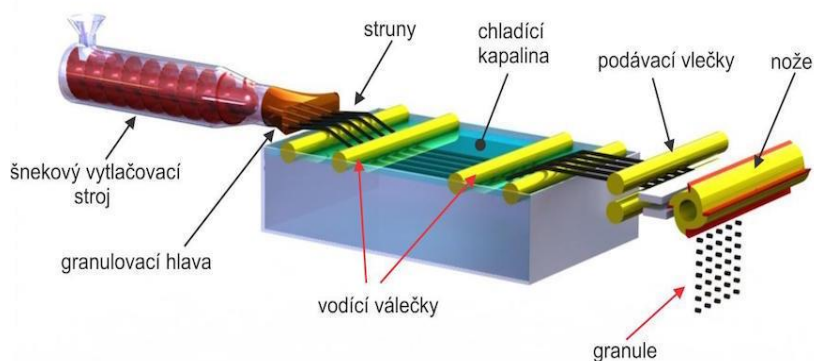
1.3.3. Technologie přípravy

Aby bylo možno zpracovávat plastické hmoty, musí nejprve projít tzv. technologií přípravy, která zahrnuje procesy pro úpravu plastů na požadované vlastnosti a tvar. Do těchto operací patří např. hnětení a míchaní, sušení, granulace a doprava.

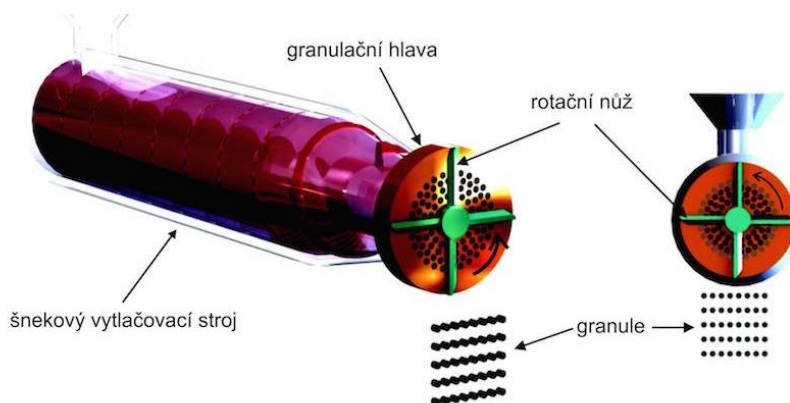
Granulace

Jak již víme, plasty jsou dodávány v různé formě granulí, kaší, past či kapalin. Nejčastěji ve formě granulí, které mají velmi dobrou dávkovatelnost s jinými materiály. Granule mohou mít tvary různých geometrických útvarů (čočka, váleček, krychle atd.) Celý tento proces výroby těchto polotovarů se nazývá granulace a můžeme ho rozdělit na dvě metody. [2]

První metodou je metoda granulace strun. Tato metoda se ještě dělí podle teploty, při které dochází k oddělování materiálu na za tepla a za studena. Celý proces vytlačování si můžeme představit jako mlýnek na maso. V případě vytlačování strun do lázně s vodou, kde dochází k jejich ochlazení, a dopravení k řezacímu noži, hovoříme o metodě za studena. Po rozsekání strun na granulát následuje ještě závěrečná fáze sušení. V případě vytlačování strun přímo do řezacího nože, umístěného za vytlačovací hlavu stroje, vzniká granulát ihned po vytlačení. V tomto případě se jedná o tzv. metodu za tepla, při které odpadá fáze sušení. [2], [10]

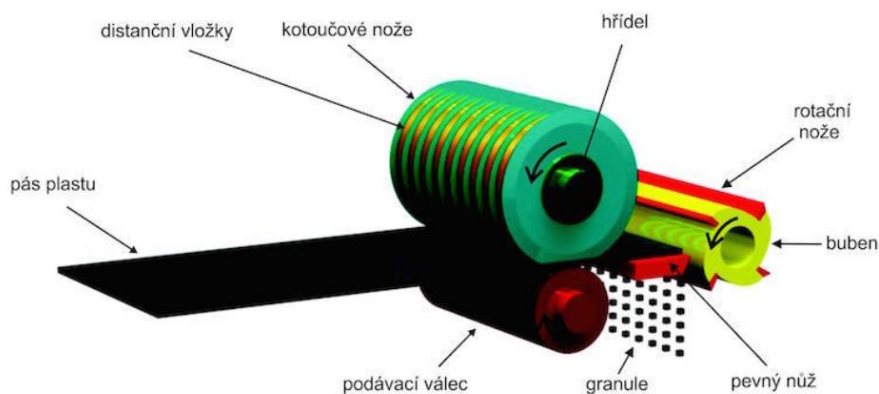


Obrázek 12 - Granulace za studena [2]



Obrázek 13 - Granulace za tepla [2]

Druhou metodou je metoda pásová a její podstatou je postupné rozřezání plastové desky. Mezi noži, umístěnými na hřídeli, a podávacím válcem je protahována plastová deska, která je rozdělována na tenké pásy. Ty jsou nadále dopravovány k sekundárnímu noži, který pásy rozseká na požadovaný tvar granulí. [2], [10]



Obrázek 14 - Pásová granulace [2]

Recyklace

Při každé výrobě vzniká procento nevyužitého materiálu. Tento zbytkový materiál se nazývá odpad. I přes snahu o jeho minimalizaci není možné dosáhnout způsobu výroby, kde by nevznikal. Můžeme, ale tento materiál znovu použít jako vstupní, pro další zpracování a tehdy hovoříme o recyklaci.

Odpadový materiál, který není znečištěn a má tedy téměř stejnou strukturu jako primární surovina je tzv. odpad technologický a řadíme sem např. zmetky, vtokové soustavy a jiné. Tyto části jsou vhodné pro zpracování na regranulát či recyklát a lze je pak opět použít. Naproti tomu odpad užitný, kterým označujeme používané díly, které už prošly používáním, a tedy i fází degradace (časovou, tepelnou, povětrnostní), není zcela vhodný. Může totiž obsahovat kromě primárních surovin, také nečistoty, barviva či jiné cizí látky, a proto se nedoporučuje jeho opětovné použití buď vůbec, nebo jen v malé míře. [10]

Regranulát získáváme nadrcením a rozemletím plastového odpadu, v té chvíli můžeme ještě materiál upravit přísadami (stabilizátory, plniva atd.) a zlepšit tak jeho vlastnosti. Následně projde znovu fází granulace. Výroba recyklátu je poměrně jednodušší a levnější, protože hmota je pouze rozdrčena a namleta, není však zabezpečena stejná velikost všech částic, což je nevýhodou při následné dávkovatelnosti. [10]

Recyklované složky (regranulát, recyklát) se používají ve výrobě buď jako samostatná surovina a výrobek je tedy vyroben ze 100 % této složky, což musí být zohledněno v požadavku na vyráběný díl, nebo jako příměs do čisté směsi. V tomto případě se doporučuje maximálně 15-20 % hmotnostního objemu směsi doplnit recyklovanou složkou, aby byly dodrženy vlastnosti hlavního materiálu vylisku. [2]



Obrázek 15 - Regranulát [36]



Obrázek 16 - Recyklát [37]

Doprava

Transport surovin do zpracovatelského závodu neboli doprava, je jednou z hlavních částí přípravných procesů. V prvním kroku jsou z chemického závodu dodávány čisté suroviny ve formě granulí, prášku či pasty v 20 až 25 kilogramových pytlích, velkoobjemových vacích až do hmotnosti půl tuny, komisních krabicích či cisternách do zpracovatelského závodu. Ve zpracovatelském závodě jsou jednotlivé hmoty umístěny separátně do centrálních skladů. U velkých odběratelů se skladují převážně v silech, u menších v podávacích zařízeních, odkud je materiál pneumaticky rozváděn k sušárnám, nebo rovnou ke strojům. Jelikož není příliš časté, aby vstříkovací stroje současně vyráběli vždy stejný produkt ze stejného materiálu, musí mít každý stroj svůj dávkovací systém. V praxi je materiál dodáván buď ze zásobníku přímo u stroje, anebo centrálně ke každému stroji zvlášť do plnicího zásobníku umístěného nad násypkou. Z dávkovacího zařízení odchází granulát, pasta či prášek již promíchán a obohacen o přísady přímo do násypky stroje, a začíná vstříkovací cyklus. Dopravní proces by měl probíhat za určitých podmínek, aby nedošlo k možnému ovlivnění kvality surovin, a tak i kvality konečného výrobku. [2]

Sušení

Sušení je technologický proces, který zařazujeme, pokud plastická hmota byla v kontaktu s vodou, nebo došlo k jejímu navlhnutí. Jedná se například o granulát získaný metodou za studena, kdy vytlačované struny procházejí lázní s vodou, nebo emulze polymeru. V důsledku zvýšené vlhkosti může dojít ke zhoršení vlastností výstřiku, nebo způsobení vady povrchu (vlhkostní šmouhy). Před zpracováním je tedy nutné tyto materiály sušit, a to buď v sušárnách, nebo přímo v plastikační jednotce stroje. Do násypky se doporučuje vkládat pouze tolik materiálu, aby byla zajištěna jeho spotřeba do 30 minut a eliminována se tak možnost jeho navlhnutí. Násypky se také vyhřívají a proudem vzduchu udržují plast na dané teplotě. [2], [14]

Tabulka 3 - Podmínky sušení a navlhavost plastů [14]

Skupina	Plast	Navlhavost ve vzduchu	Podmínky sušení teplota/doba
Nenavlhavé	PE – LD	0	Nesuší se. Při nevhodném skladování: 50-70°C / 0,5-1 h
	PE – HD	0	
	PE – LLD	0	
	PP	0	zcela výjimečně 80°C / 0,5-1 h
	PS	0	zcela výjimečně 60-80°C / 1-3 h
Navlhavé plasty	PVC	< 0,3	60-70°C / 2 h
	PMMA	0,8 – 1,2	70-80°C / 12-24 h
	PA 6	3,0 – 3,5	80-90°C / 6-12 h
	PA 66	2,5 – 3,0	70-80°C / 24-30 h
	PA 11	0,8 – 1,2	70-80°C / 3-5 h
	PA 12	0,8	100-110°C / 2-6 h
	POM	0,25	80-110°C / 1-3 h
	PET	0,3	120-140°C / 5-7 h
	PBT	0,25	90-120°C / 2-5 h
	PC	0,15 – 0,20	110-120°C / 4-12 h

Hnětení a míchání

Princip míchání spočívá ve směšování základní suroviny s přísadami (viz. kapitola 1.3.2), aby byly zlepšeny dosavadní vlastnosti materiálu a zajištěn správný průběh vstřikovacího procesu. Základním požadavkem je docílit rovnoměrně promíchané směsi a následně homogenní struktury výrobku. Tento proces je aplikován u všech forem polymeru (granulát, prášek, pasta či kapalina). Podle odporu částic při míchání dělíme míchání do dvou skupin. První je míchání s nízkým odporem vůči posunu např. prášků, pasty či kapaliny. Druhým je míchání s vysokým odporem vůči posunu, které se ještě dělí na intenzivní a extenzivní.

Intenzivní (hnětení), kdy je polymer ve změkklé fázi probíhá na strojích, které nazýváme hnětiče. Extenzivní (míchání), kdy proces závisí na fázi tečení materiálu např. prášek a barvivo, se provádí v tzv. míchačkách. Konečná fáze míchaní pak probíhá přímo ve vstřikovacím zařízení, a to v plastikační a vstřikovací fázi. [10]

1.4. Speciální technologie vstřikování

Jelikož vstřikování plastů má v dnešní době velké uplatnění, tak i přes to, že se jedná o relativně mladou technologii, bylo vyvinuto už značné množství modifikací, které označujeme jako speciální technologie vstřikování. Každá z nich má svá specifika ve vstřikovacích parametrech, v konstrukci strojů i forem a svém využití na trhu. Všechny jsou však založeny, na základní podstatě a principu vstřikování. Primárně je můžeme dělit do dvou skupin. První je vstřikování s podporou jiné látky (voda, plyn) a druhá je vstřikování více materiálů. [2], [3], [10]

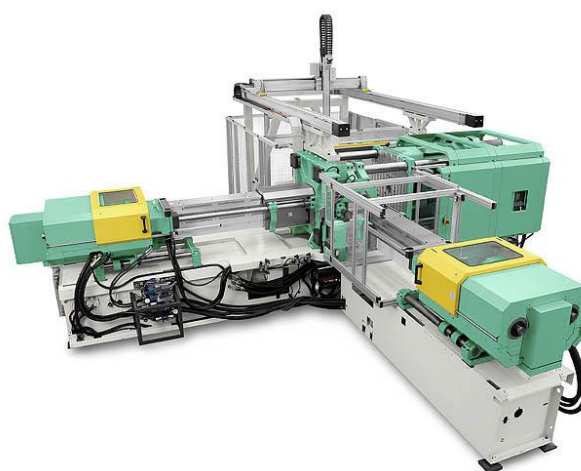
Do metod speciálního vstřikování řadíme tyto: [2], [10]

- Vstřikování plastů s podporou vody
- Vstřikování plastů s podporou plynu
- Vstřikování vícekomponentní a vícebarevné
- Vstřikování sendvičů
- Vstřikování intervalové
- Vstřikování mramorové
- Vstřikování reaktoplastů
- Vstřikování kaučuků a pryží
- Vstřikování reakční
- Vstřikování zástřikem
- Vstřikování tandemové
- Vstřikování nízkotlaké
- Vstřikování strukturních pěn
- A jiné speciální technologie vstřikování

Z výše uvedeného seznamu je patrné, že vstřikování už urazilo kus cesty a speciálních metod je více než nepatrné množství. Proto si níže v této kapitole přiblížíme alespoň první tři z nich.

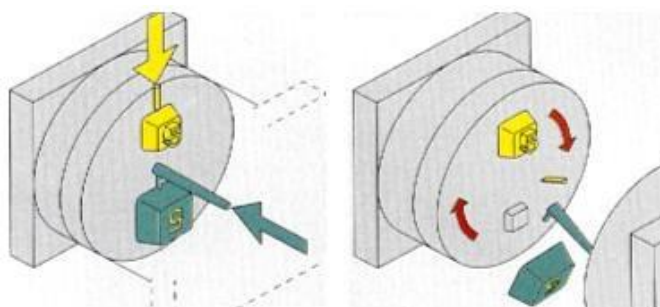
Vícebarevné a vícekomponentní vstřikování

Metoda vícebarevného a vícekomponentního vstřikování spojuje více materiálů nebo barev v jedné vstřikovací formě s cílem zlepšit estetičnosti výrobku a jeho funkčnost. Při výrobě, která je založena na kombinaci termoplastického elastomeru a termoplastu je tato metoda velmi vyhledávána. Celý proces je založen na působení adhezních sil mezi dvěma a více různými materiály, které jsou vstřikovány do dutiny formy. Stroje určené pro tento druh technologie jsou konstrukčně odlišné a obsahují více samostatných vstřikovacích jednotek, aby každý materiál mohl mít zajištěné rozdílné nastavení vstřikovacích parametrů. Vstřikovací jednotky bývají umístěny nad sebe nebo paralelně. [2], [16]



Obrázek 17 - Vstřikolis pro dvoukomponentní vstřikování [17]

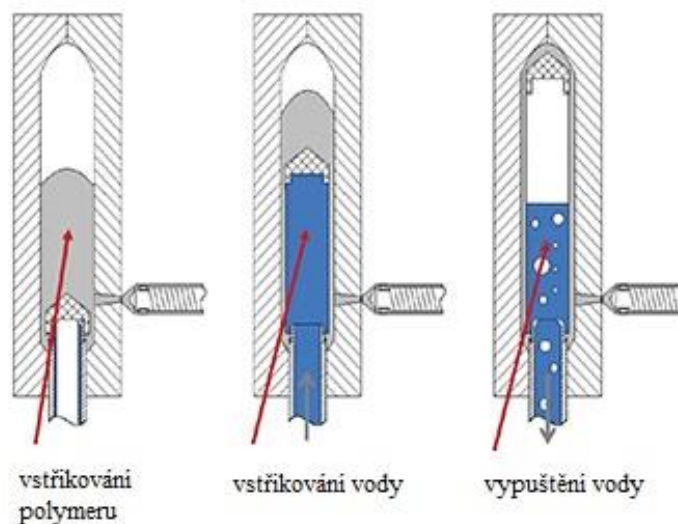
Nejčastěji používaným typem je vstřikování dvoukomponentní, které je také nejjednodušší. Vstřikovací forma obsahuje dvě dutiny. Do první tvarové dutiny je vstříknut materiál A a současně do druhé dutiny materiál B. Ve druhé dutině dojde ke spojení obou polymerů a vznikne tak konečný výrobek. Forma je otočena o 180° a z druhé dutiny je výlisek vyhozen. Celý proces se opakuje. U tří nebo čtyřkomponentního vstřikování se obvykle mění jen úhel pootočení formy. [2]



Obrázek 18 - Princip dvoukomponentního či dvoubarevného vstřikování plastů [10]

Vstřikování s podporou vody – WIT

Metoda WIT (Water Injection Technology) se používá pro vstřikování výrobků s dutinami, nebo duté v celém průřezu. Dutina se vytváří vstříknutím vody do taveniny, za podmínkou zamezení jejího odpařování po dobu cyklu. Proces by měl proto proběhnout rychle za vysokého tlaku, který je na začátku vstřiku nižší až do úplného vyplnění dutiny. Poté se tlak zvýší, čímž se získá požadovaný tvar a je v něm tak zakomponována i fáze dotlaku. Hodnoty tlaku a časové prodlevy mezi fázemi vstříknutí plastické hmoty a vody jsou variabilní a závisí na materiálu výrobku. Proces končí odsátím kapaliny z dutiny anebo jejím vytlačěním vzduchem. [2], [18]



Obrázek 19 - Proces vstřikování s podporou vody [18]

Výhody metody WIT:

- Výroba tlustostěnných dílů (např. hračky, automobilové díly)
- Kratší doba vstřikovacího cyklu (důsledkem rychlejšího ochlazení kapalinou)
- Nižší uzavírací síly
- Menší smrštění a deformace
- Vysoká kvalita povrchu
- Nižší hmotnost výrobků

Mezi hlavní nevýhody patří navýšení ceny nástroje, který je složitější oproti konvenčnímu, a to až o 80 %. S tím souvisí i vyšší cena stroje a nutnost dokoupení doplňkových zařízení a komponent, které slouží složitějšímu řízení procesu. [18]

Vstřikování s podporou plynu – GIT

Metoda GIT (Gas Injection Technology) patří mezi řadu technologií umožňující vytvářet výrobky požadovaných tvarů a kvality s dutinou, obdobně jako u metody s podporou vody. Spočívá ve vstříknutí inertního plynu do jádra taveniny ve vstřikovací formě. Nejčastěji se používá čistý dusík s čistotou minimálně 99,9 %. Základní provedení je kombinace konvenčního vstřikolisu s doplňkovými tryskami pro plyn, nebo upravenou vstřikovací formou. [19]

Průběh cyklu je téměř shodný s klasickým vstřikováním s tím rozdílem, že plyn přebírá fázi dotlaku. Nejdříve se vstřikovací tryskou přivede do formy plastická směs a po zavadnutí vnější strany dílu se do jádra vstříkne plyn. Od tohoto okamžiku plyn přebírá dotlakovou fázi. Aby se kompenzovalo smrštění plastické hmoty vlivem tlaku plynu, musí být adekvátně široké otvory pro přívod plynu. Jelikož plyn působí přímo v požadovaném místě dotlaku nebo jeho blízkém okolí, jsou za potřebí nízké tlaky, a tak se snižuje možnost vzniku deformace u rozměrných dílů. Celý proces končí po uplynutí času potřebného pro dotlakovou fázi, následném vypuštění plynu a vyhození dílu. [19]



Obrázek 20 - Příklady dílů vyrobených technologií vstřikování s podporou plynu [20]

Výhody metody GIT:

- Výroba tenkostěnných dílů
- Nižší uzavírací síly
- Odstranění propadlin a prohlubní
- Zkrácení doby cyklu
- Nižší hmotnost výrobků

Nevýhodou technologie s podporou plynu je navýšení ceny nástroje a strojního zařízení, jako u metody s podporou vody. Dalším nedostatkem této metody je problematika zvýšených teplot v dutinách, kde ohřátý plyn předává teplo okolí. Z toho důvodu jsou dutiny proplachovány vodou nebo vzduchem. [2]

2. Návrh vstřikovaného plastového dílu

Nejdůležitější fází návrhu plastového dílu je jeho konstrukce. Je tedy na konstruktérovi, jak dobře zvolí jednotlivé prvky a řešení dílu za účelem dosažení optimálního řešení a uspokojení funkčního, estetického, technologického a ekonomického hlediska při dodržení konstrukčních zásad. [21], [22]

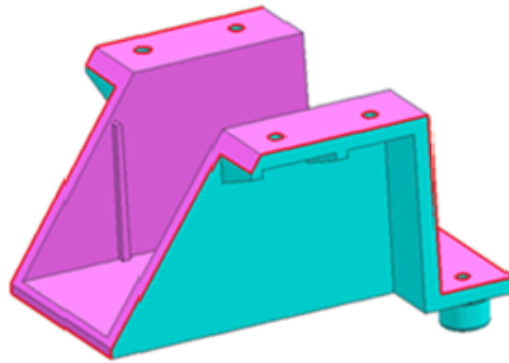
Konstrukce plastového dílu musí splňovat zpravidla dvě hlediska. První je kombinací funkčního a estetického. Konstruktor musí dodržet funkci dílu, pro kterou je určena (např. kryt baterie) a postupuje podle tohoto požadavku. Z estetického hlediska už to tak být úplně nemusí, protože tato fáze je většinou ovlivňována ze strany návrhářů daného designu, kteří za toto hledisko přebírají odpovědnost. Druhé hledisko je ryze technologické a jeho cílem je vyrobitelnost daného dílu a dodržení základních zásad konstrukce. [21]

Z těchto důvodů vyžaduje konstrukce plastových dílů alespoň základní znalost technologických postupů a představu o výsledném řešení. Tyto znalosti by měl konstruktér nabýt praxí, odbornou literaturou či jinými aktivitami v oboru plastikářství. Ovšem žádoucí je zde i týmová spolupráce, která má velký přínos při eliminaci profesní slepoty. [22]

2.1. Dělicí rovina

Jedná se o tvarovou plochu, která je definována jako místo styku tvárníku a tvárnice. Už při prvotním návrhu dílu by měl konstruktér pracovat tak, aby dělicí rovina byla co nejjednodušší, nejhladší, bez ostrých přechodů a umístěna tak, aby co nejméně ovlivňovala konečný vzhled výlisku a bylo zabezpečeno snadné vyjímání dílu z formy. Z toho důvodu se nejčastěji umísťuje na hranu vnější strany výlisku jako je zobrazeno na obrázku 21. Dělicí rovina je zde znázorněna červenou barvou. Tyrkysová a fialová jsou pak barvy tvarové plochy tvárníku a tvárnice. [23]

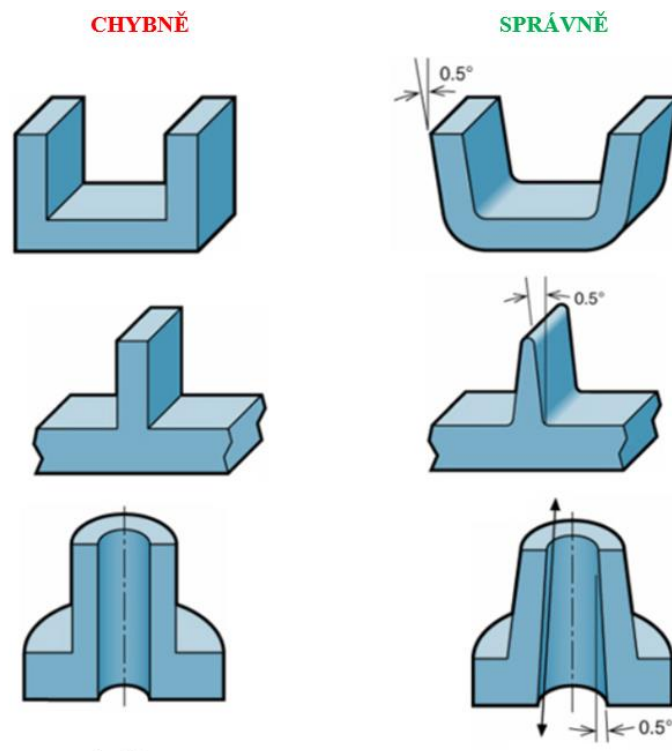
Z hlediska polohy dělicí roviny rozlišujeme primární a sekundární dělicí rovinu. Primární dělicí rovina je kolmá na hlavní odformovací směr (otevření formy) a je tvořena funkční plochou, která zamezuje úniku taveniny z tvarové dutiny. Sekundární dělicí rovina, ať už jedna či více, je rovina kolmá na odformovací směr výsuvného jádra a vyskytuje se u výrobků s bočními nálitky, otvory a jiné. [23], [24]



Obrázek 21 - Příklad dělicí roviny na plastovém díle [25]

2.2. Zaformovatelnost

Zaformovatelnost definuje optimální provedení úkosů, dělicí roviny a jiných konstrukčních prvků, které zajistí, že vylisek bude dobře odformovatelný v hlavním formovacím směru, nebo za doprovodu výsuvných jader. Úkosování stěn je proto nezbytnou částí při tvorbě modelu. Pokud by úkosování nebylo zohledněno, došlo by pravděpodobně k nevyhození vylisku a odření stěn smýkáním o plochu tvarové dutiny při otvírání formy. [21]



Obrázek 22 - Zobrazení chybného a správného úkosu na příkladech [26]

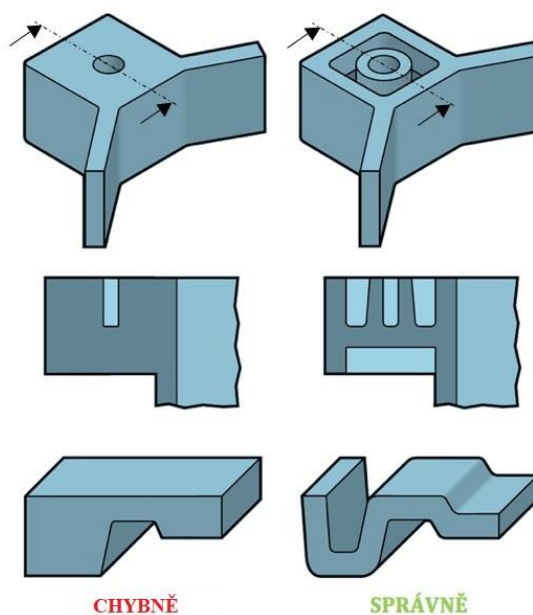
Velikost úkosového úhlu je velmi variabilní a závisí zejména na poloze a způsobu vyjímání dílu z formy. Rozdíly můžeme zaznamenat i v jednotlivých formách podle jejich použití, zda se jedná o sériové či prototypové pro malé počty kusů. V tabulce 4 jsou mezní hodnoty úkosu pro dané tvary. Z praxe však můžeme říci, že optimálním úkosovým úhlem jsou 2°, nízké žebrování nebo nálitky pak lze úkosovat až minimální hodnotou 0,5° a plochy, na kterých se dotýká tvárník s tvárnicí by mělo být dosaženo minimálně 5°.

Tabulka 4 - Doporučené hodnoty velikosti úkosu [27]

Charakteristika tvaru	úkos
Vnější plochy	0,5° – 2°
Vnitřní plochy	0,5° – 3°
Otvory do hloubky dvojnásobku průměru	0,5° – 1°
Hluboké otvory	1° – 10°
Žebra, nálitky	1° – 10°
Výstupky	2° – 10°

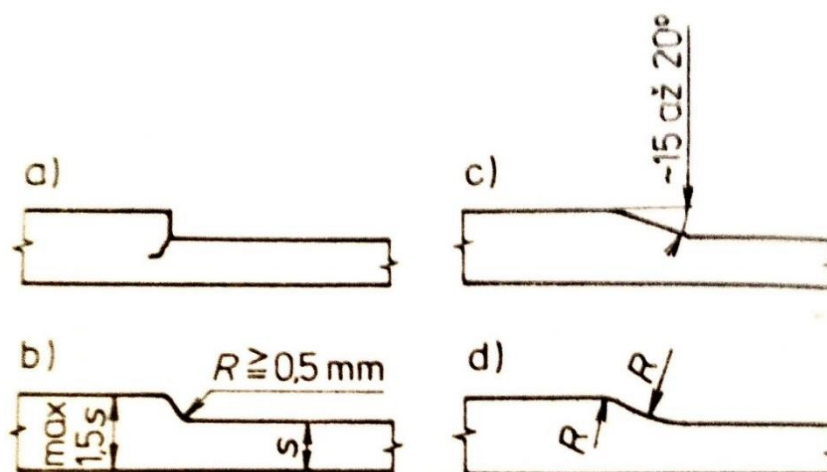
2.3. Tloušťka stěny, žebra, nálitky

Tloušťka stěny je z funkčního hlediska velmi významným kritériem pro správnou tuhost a pevnost daného výrobku. Určuje se zpravidla podle volby materiálu a jeho tečení ve formě. Tuto charakteristiku udává výrobce a je dána poměrem délky tečení plastu a tloušťkou stěny. [21]



Obrázek 23 - Chybné a správné dodržení konstantní tloušťky [4]

Při návrhu plastového dílu by měla být dodržena konstantní tloušťka stěny tak, aby byla zabezpečena tuhost a pevnost, ale zároveň nedocházelo ke vzniku propadlin a vnitřních staženin. Pokud však konstrukce vyžaduje změnu tloušťky stěny, měli bychom se řídit podle obrázku 24, kde jsou znázorněny různé příklady přechodů mezi jednotlivými tloušťkami. Zmenšení průřezu pak nesmíme opomenout při návrhu umístění vtoku. Bude-li ústí vtoku do tenčí stěny, bude materiál v této stěně tuhnut dříve než ve stěně s větším průřezem. Širší stěna pak může obsahovat vnitřní staženiny, ale i propadliny na jejím povrchu v důsledku dotlačování směsí. [21], [22]

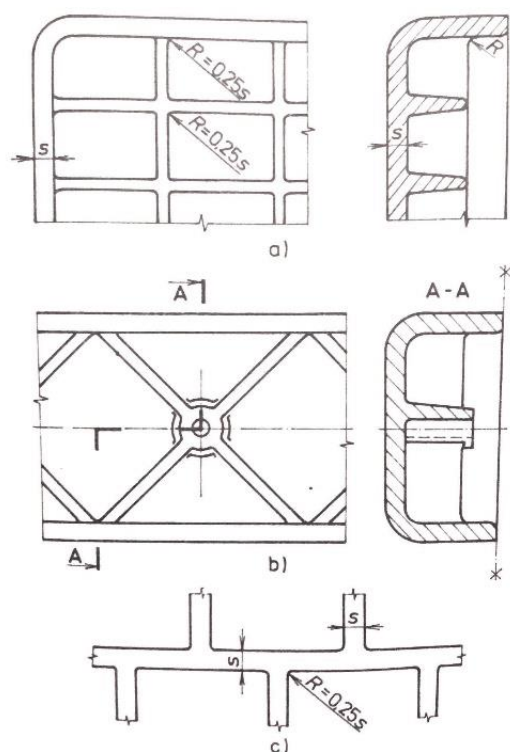


Obrázek 24 - Přečody při změně tloušťky stěny [22]

a) chybné (vznik trhlin), b) mírné zlepšení, c) dobré, d) velmi dobré

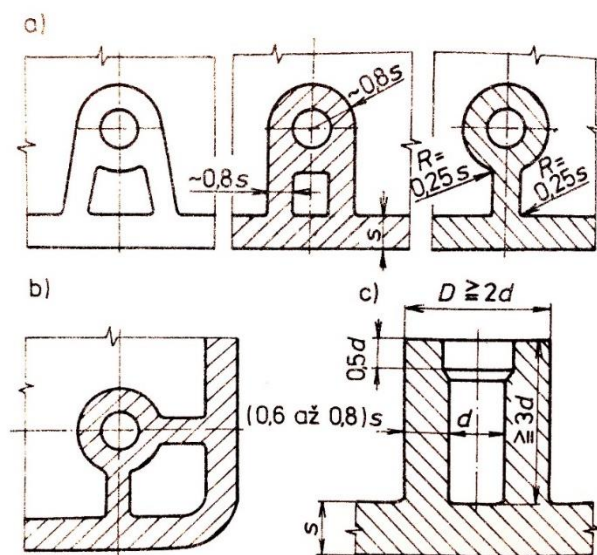
Žebrování nebo jednotlivá žebra se velmi často používají, jako zpevňující prvek výlisků. Tloušťka stěny žebra by měla být z lisotechnického hlediska 0,5-0,7 tloušťky stěny výlisku, aby se předešlo nežádoucím deformacím. [22]

Nejčastější uspořádání žeber je do tzv. šachové struktury, kde by vzdálenost mezi jednotlivými žebry měla být minimálně 5násobek tloušťky žebra. Kvůli kumulaci materiálu v křížových spojích není toto provedení zcela ideální. Pokud je to tedy možné, volíme spíše napojování žeber do „T“, nebo tzv. strukturu pláství, kterou si můžeme představit jako plástve ve včelích úlech. Jedná se tedy o desítky šestiúhelníků vedle sebe. U veškerých principů žebrování nesmíme opomenout správné dodržení rádiusů ve spojích a zakončeních žeber, z důvodu hromadění materiálu. [22]



Obrázek 25 - Křížové žebrování [22]

a) šachové, b) diagonální, c) do „T“



Obrázek 26 - Uspořádání nálitků [22]

a) ke stěně, b) rohové,
c) základní parametry nálitku pro závitořezný šroub

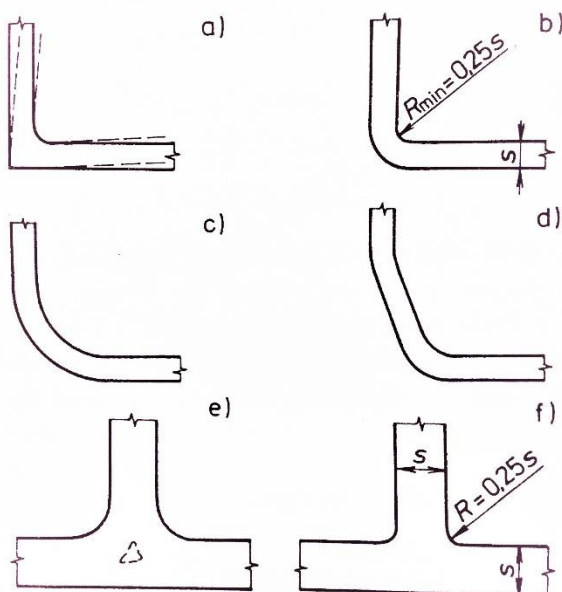
Nálitky nalezneme v mnoha konstrukcích plastových dílů, kde plní funkci upevňovacích a montážních prvků. Stejně jako u žebrování musíme dodržovat rozměrová doporučení, ale také úkosity a rádiusy, abychom se vyhnuli možnému vzniku propadlin a hromadění materiálu. Pokud konstruujeme vysoké nálitky, které přesahují výškou 5násobek průměru, musíme počítat s možnou problematikou plnění a chlazení vnitřních jader. Uspořádání ke stěně, do rohu či na ploše plastového dílu, spojujeme obvykle žebry tlustými maximálně 0,8násobku tloušťky základní stěny. [4]

Rozměry nálitků pro jednotlivé závitořezné šrouby, závitové vložky a jiné, určuje zpravidla výrobce. Proto se řídíme tabulkovými hodnotami, které můžeme popřípadě přizpůsobit požadované konstrukci.

2.4. Zaoblení hran a rohů

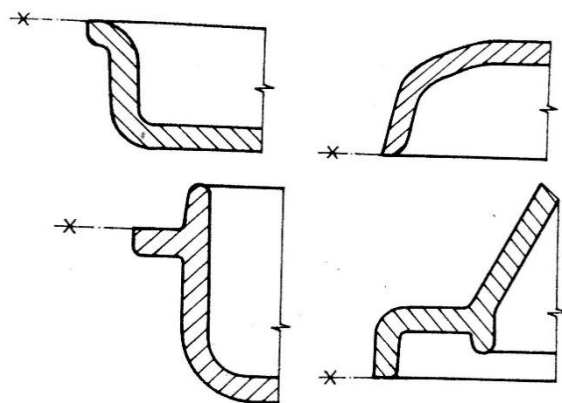
Na plastovém díle se snažíme vyhnout ostrým rohům, ve kterých by mohlo docházet ke koncentraci napětí a možnosti následného lomu, a proto veškerá napojení a rohy stěn, žeber, opatřujeme doporučenými rádiusy. Doporučený poměr rádiusu R vůči tloušťce materiálu je minimálně 0,25, v praxi se však používají hodnoty i 0,15. Velikost vnějšího rádiusu je pak dána součtem velikosti vnějšího rádiusu a tloušťky materiálu. Při návrhu dílu vždy volíme nejprve menší rádius, který lze dodatečně zvětšovat. Postupujeme tak z důvodu snazšího odebrání materiálu než jeho přidávání při výrobě formy. [4], [22]

Automaticky však nedáváme rádiusy na veškeré hrany vylisku. Končí-li stěna v dělicí rovině, necháváme ostré hrany viz. obrázek 28. Úhel v tomto místě je obvykle 90° , pokud nevyžaduje výrobek jinak. [22]



Obrázek 27 - Zaoblení rohů a stěn [22]

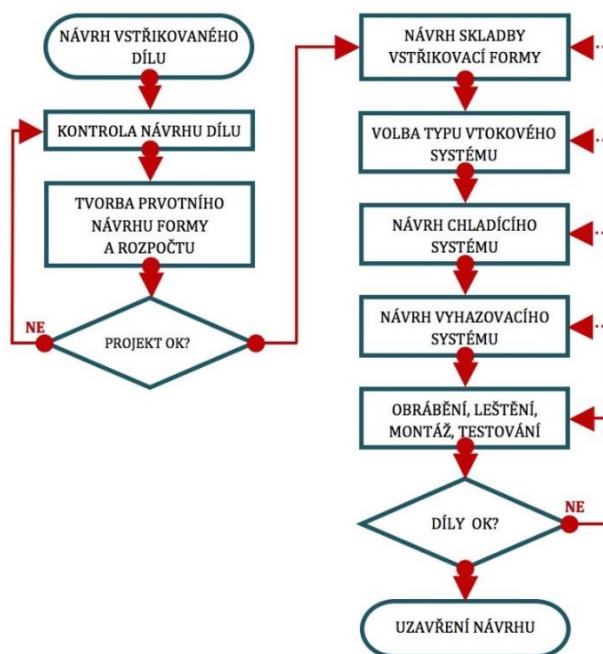
- a) chybné (koncentrace napětí),
- b) dostačující, c), d) správné, e) chybné (vznik kumulace materiálu), f) správné



Obrázek 28 - Ostré hrany v dělicí rovině [22]

3. Návrh konstrukce vstřikovací formy

Návrh konstrukce vstřikovací formy obsahuje několik základních kroků, které je nezbytné dodržet a provést v určité jakosti a sledu. Jednotlivé kroky jsou zobrazeny na obrázku 29. [4]



Obrázek 29 - Postup návrhu vstřikovací formy [4]

Pro zajištění co nejvyšší kvality výstřiku, je na formě po jejím vyrobení a smontování, provedena zkouška vstřikovacího procesu, jejímž výstupem jsou první vzorky daného výlisku a prověření funkčnosti formy. Zpravidla se optimalizace vstřikovací formy a výroba vzorků, provádí více než jednou, neboť je téměř nemožné zohlednit veškeré aspekty ovlivňující vstřikovací proces. V dnešní době se s cílem minimalizace nutných úprav vstřikovací formy stále častěji používá analýza vstřikovacího procesu, díky které lze předejít vyrobení nefunkční nebo neopravitelné formy. [4], [9]

Požadavky na vstřikovací formu:

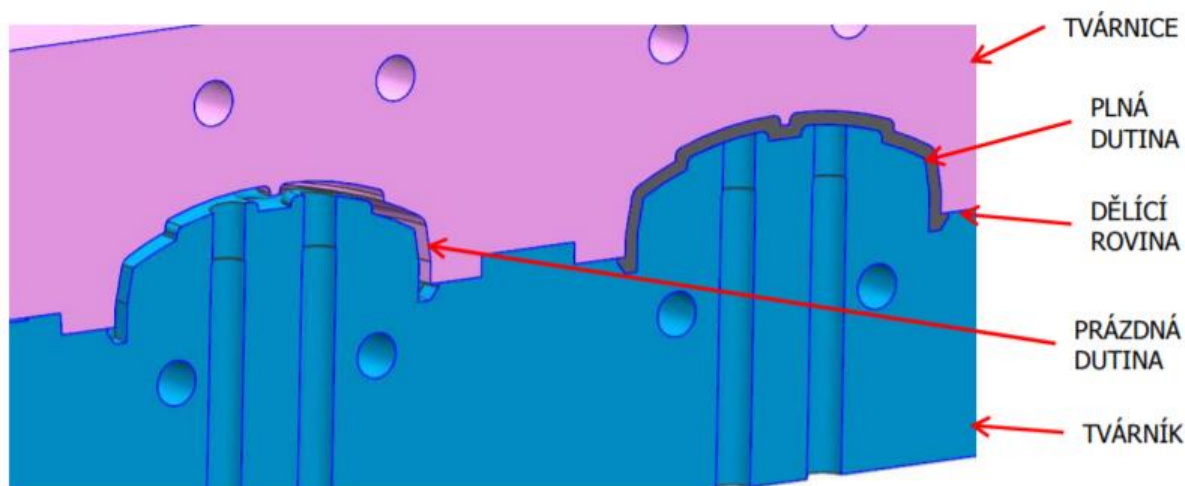
- Vysoká pevnost a tuhost pro zajištění rozměrové stálosti při působení pracovních tlaků
- Maximální přesnost a jakost povrchu tvarové dutiny funkčních dílů
- Správně zvolené funkční prvky (vtokový systém, temperace, odvzdušnění a jiné)
- Cena a živostnost

3.1. Analýza dílu, zaformování

Pro zjištění dělicí roviny a správného zaformování dílu, provádíme nejprve analýzu úkosů stěn, která vychází z konstrukce vstřikovaného dílu. Podle úkosů v hlavním směru odformování určíme hlavní dělicí rovinu, v případě přítomnosti vedlejších formovacích směrů pro posuvná jádra, určíme také vedlejší dělicí roviny. To umožní navrhnout zaformování výlisku a rozdělit tak formu na tvárník a tvárnici. Zaformování provádíme vždy na konstrukci výlisku, zvětšené o smrštění materiálu, ze kterého bude vyroben. Jak již bylo zmíněno v kapitole návrhu vstřikovaného dílu, je žádoucí, aby plocha dělicí roviny byla co nejjednodušší a nejlépe kolmá na osu pohybu (otevírání, zavírání) formy. Pro minimalizaci ceny a výskytu nežádoucích elementů v průběhu plnění, např. přetoků při nedovření formy, se snažíme při konstrukci dělicí plochy dodržet několik zásad. [23], [28]

Požadavky na dělicí rovinu ve formě: [28]

- Snadné vyhození výlisku
- Přečhy dělicí roviny na hranách výlisku (ojediněle v rádiusech)
- Snaha o co nejjednodušší tvary pro výrobu
- Nesmí procházet pohledovou či funkční plochou výlisku
- Minimalizovat počet dělicích ploch
- Tvarově členitější část výlisku na straně tvárníku
- Pohledové plochy na straně tvárnice



Obrázek 30 - Řez dutiny vstřikovací formy [23]

3.2. Násobnost

Násobnost formy je jedním z hlavních parametrů při konstrukci vstřikovací formy. Vyjadřuje, kolik tvarových dutin bude obsahovat vstřikovací forma. Správné zvolení násobnosti formy je zohledňováno několika hledisky. [28]

Hlediska při návrhu násobnosti formy: [28]

- Objem výroby daného dílu [ks]
- Přesnost a kvalita dílu
- Výrobní a kapacitní možnosti vstřikovacího stroje
- Termín předání a ekonomičnost procesu

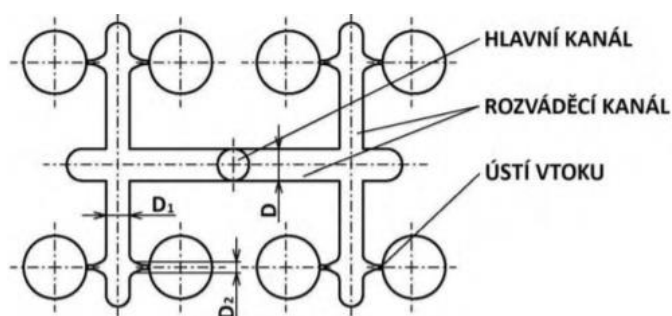
Pro vyšší přesnost a kvalitu výstřiku daného dílu je vhodnější volit, co nejmenší násobnost formy z důvodu snížení její složitosti a shodnosti tvaru výlisků. Při prototypové výrobě forma nejčastěji obsahuje jednu či dvě tvarové dutiny, vyšší násobnost formy se provádí jen ojedinele na žádost zákazníka.

3.3. Vtokový systém

Cílem vtokové soustavy je dopravit roztavený plast z plastikační jednotky do tvarové dutiny formy. [21]

Studený vtokový systém (SVS)

Skládá se z hlavního vtokového kanálu, rozváděcího kanálu a jednoho či více ústí vtoku, podle počtu tvarových dutin ve vstřikovací formě (násobnost). [21]



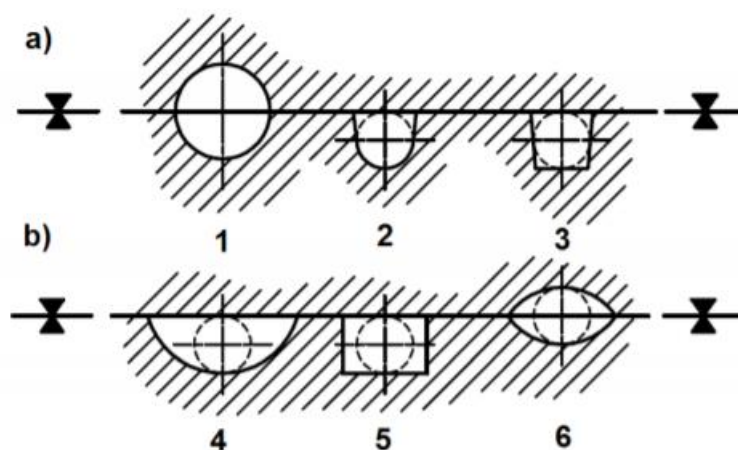
Obrázek 31 - Části studeného vtokového systému

Oproti vyhřívanému systému, vždy během vstřikovacího procesu dojde k úplnému vychladnutí plastické směsi a pro jeho jednoduchost a nižší ekonomickou náročnost se častěji používá v malosériové výrobě, nebo pro jednoduché výlisky. [29]

Při konstrukci studených vtoků, umísťujeme vtok ideálně do místa s největší tloušťkou stěny vstřikovaného dílu a samotné ústí dimenzujeme s cílem maximalizovat dobu dotlaku, čímž eliminujeme výskyt vtaženin. Návrh tvaru a rozměrů vlastního vtoku je ovlivňován několika faktory. [9] , [21]

Faktory ovlivňující konstrukci vtoků: [9]

- Konstrukce a tvar výlisku
- Množství materiálu pro výstřik
- Technologičnost a obtížnost výroby
- Snadné začištění výlisku



Obrázek 32 - Příklady vtokového kanálu [29]

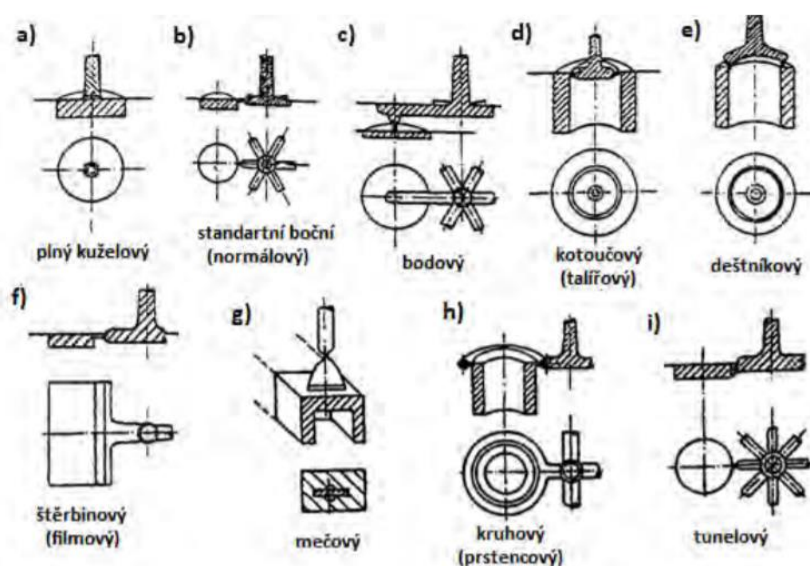
a) funkčně správné, b) funkčně chybné, 1,6 – technologicky nevhodné,
2,3,4,5 – technologicky vhodné

Hlavním kritériem pro vhodnost vtokového kanálu je tzv. smáčivé číslo aS , které definuje poměr smáčeného povrchu vůči průtočnému průřezu. Na obrázku 32 jsou zobrazeny různé příklady vtokového kanálu, z čehož nejvíce používaným je varianta 1 (kruhový) pro jeho snadnou vyrobiteľnosť a výhodnosť. [29]

Hlavní vtokový kanál je definován jako část mezi tryskou a rozváděcím kanálem do kterého ústí, ojedinele napřímo do dutiny formy. Zpravidla má tvar kužele, který je na straně trysky zvětšen o 0,5-1 mm a vnitřním úkosem 1,5°. [29]

Rozváděcí kanály pak navrhujeme v závislosti na násobnosti a konstrukci formy. Zpravidla se snažíme co nejvíce zkrátit vzdálenost toku materiálu od trysky a zároveň dodržet stejnou dráhu toku do všech tvarových dutin. Průměr rozváděcího kanálu by měl být identický nebo mírně zvětšen oproti průměru ústí vtoku. [21], [29]

Ústí vtoku je konečným prvkem vtokového systému a umožňuje oddělení vtokové soustavy od výlisku během, nebo po procesu vyhazování. V praxi se používá několik základních typů ústí, které závisí na tvaru výlisku.



Obrázek 33 - Příklady ústí vtoku [29]

Základní typy ústí vtoku: [9], [21], [29]

- Tunelový vtok – jedná se o modifikaci bodového vtoku, jehož hlavní výhodou je umístění do libovolné strany formy (tvárník, tvárnice).
- Bodový vtok – jedná se zpravidla o kruhový průřez vtokového ústí se zúžením, umístěným uvnitř, nebo vně dělicí roviny. Musí být zaručeno oddělení vtokové soustavy od výlisku a až poté otevření vstřikovací formy.
- Kuželový vtok – přívod taveniny do tvarové dutiny je bez zmenšení průměru ústí, nejčastěji pro symetrické výlisky za použití jednonásobné formy.

- Boční vtok – nejvíce používaný vtok ležící v dělicí rovině, zpravidla obdélníkového průřezu a po vyhození zůstává součástí vylisku.
- Filmový vtok – jedná se o boční vtok, nejčastěji používaným pro vstřikování dutin kruhového či trubicového průřezu s vysokými požadavky na jakost.

Vyhřívaný vtokový systém (VVS)

V současné době je stále více využíváno vyhřívaných vtokových systémů v plastikářském průmyslu, díky výhodám, kterými disponují oproti studeným. [21]

Výhody VVS: [21]

- Snadná automatizace výrobního procesu
- Umožnění velkokapacitní výroby rozměrných, konstrukčně i technicky složitých vylisků
- Kratší doba vstřikovacího cyklu
- Proces bez odpadu vtokové soustavy (nižší náklady)

Metoda vstřikování s vyhřívanou vtokovou soustavou je založena na naplnění dutiny formy homogenní směsí, která je v plastické formě i po dokončení vstřiku, a to v celém průřezu vtoku, díky topným elementům vyhřívané soustavy (topné patrony, spirály a jiné). Výsledkem je možná aplikace menšího ústí vtoku, čímž se rapidně rozšiřuje spektrum vyrobitelných vylisků dané jakosti. [28]

3.4. Temperace

V důsledku ochlazování vylisku od počátku vstřikovací fáze až po jeho vyhození je forma ohřívána prouděním směsi a přestupem tepla stěnami tvarové dutiny a vtokové soustavy. Cílem temperačního systému vstřikovací formy je udržovat konstantní teplotu po celou dobu cyklu prostřednictvím cirkulujícího média, který formu ohřívá, nebo ochlazuje podle potřeby. Temperace má velký vliv na optimální průběh chladnutí a tím na vstřikovací fázi a konečnou kvalitu vylisku. [28]

Ohřívání formy se používá pro zpracování polymerů, které vyžadují vyšší teploty vstřikovací formy a zároveň při zahajování výrobního procesu, kdy je forma studená a nutno je nejprve ohřát na provozní teplotu. [28]

Nejvíce používaným typem rozvodu temperačního média je soustava kanálů, ve které cirkuluje zpravidla voda, nebo také olej, vzduch a jiné. Jednotlivé temperační kanály jsou vzájemně propojeny spojovacími prvky tak, aby byl vytvořen uzavřený okruh, který je regulován řídicí a temperační jednotkou. [4]

Při návrhu temperační soustavy se řídíme doporučenými hodnotami vzdáleností pro umístění kanálů vůči tvarové dutině formy. Doporučené rozměry volíme vždy podle tloušťky stěny vylisku, aby byla zaručena maximální efektivnost chlazení či ohřevu. Výsledné konstrukční řešení je kompromisem mezi tabulkovými hodnotami a možnostmi dané formy. [4]

Tabulka 5 - Doporučené hodnoty kanálů temperační soustavy [4]

TLOUŠŤKA STĚNY VSTŘIKOVNÉHO DÍLU t [mm]	VZDÁLENOST OSY TEMPERAČNÍHO KANÁLU OD DUTINY VSTŘIKOVČÍ FORMY A [mm]	VZÁJEMNÁ VZDÁLENOST OS SOUSEDNÍCH TEMPERAČNÍCH KANÁLŮ v [mm]	PRŮMĚR TEMPERAČNÍHO KANÁLU ØD [mm]
0 - 1	10 - 14	10 - 12	5 - 6
1 - 2	10 - 20	12 - 16	6 - 8
2 - 4	20 - 25	16 - 22	8 - 10
4 - 6	25 - 35	22 - 28	10 - 12
6 - 8	32 - 42	28 - 36	12 - 16
8 - 12	42 - 55	36 - 50	16 - 20

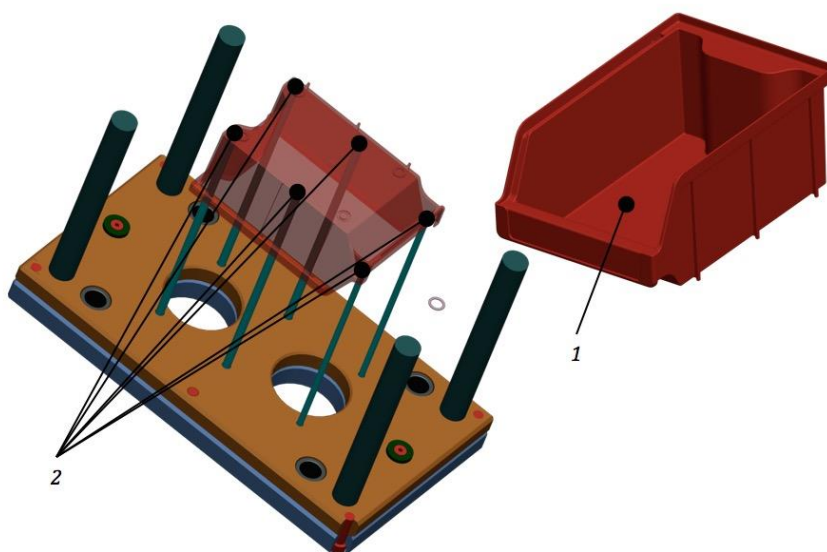
3.5. Vyhazovací systém

Cílem vyhazovacího systému je vyhození vylisku, bez jakéhokoliv vzniku deformace. Hlavním kritériem pro umožnění bezpečného vyhození vylisku z formy je správné navržení jeho konstrukce, úkosů a jakosti povrchu. V důsledku chladnutí směsi dochází k jejímu smrštění a následnému zachycování vylisku na tvarových částech formy. [4], [28]

Celý průběh vyhození vylisku z formy rozdělujeme do dvou fází. V první fázi je pohyb vykonáván pohyblivou částí formy (tvárníkem), přičemž dochází k otevření vstřikovací formy neboli vlastnímu vyhazování. Následná druhá fáze je tvořena zpětným pohybem vyhazovacího systému. [28]

Základní typy vyhazovacích systémů: [4], [21], [28]

- Mechanické – nejvíce používané v celém spektru výroby výlisků, buď samostatně nebo jejich kombinacemi.
 - Rovný vyhazovač – má největší uplatnění, zejména pro jeho jednoduchost a nízkou cenu, musí však dosedat na rovnou plochu proti výlisku a po jeho působení zůstává na ploše stopa. Nedoporučuje se tedy na pohledových plochách.
 - Šikmý vyhazovač – jeho použití je v místech, které nejsou kolmé na dělicí rovinu, zpravidla se nacházejících u rozměrově menších výlisků.
 - Trubkový vyhazovač – jeho funkce je založena na metodě stírání pomocí tlaku, zatímco vnitřní kolík je pevný, vnější vyhazovač dutého průřezu vykonává stírací a vyhazovací funkci.
 - Stírací deska – vhodná zejména u tenkostěnných, nebo rozměrných výlisků pro působení stírací síly po celém obvodu tvárníku a možnosti dosahování velké síly a malých deformací.
- Hydraulické – vhodné pro výlisky vyžadující větší vyhazovací síly a kratší zdvih.
- Pneumatické – vhodné zejména pro rozměrné tenkostěnné výlisky, které snáze podléhají deformaci a je nutné je před vyhozením zavzdušnit a zajistit tak oporu stlačeným vzduchem po celé ploše výlisku.



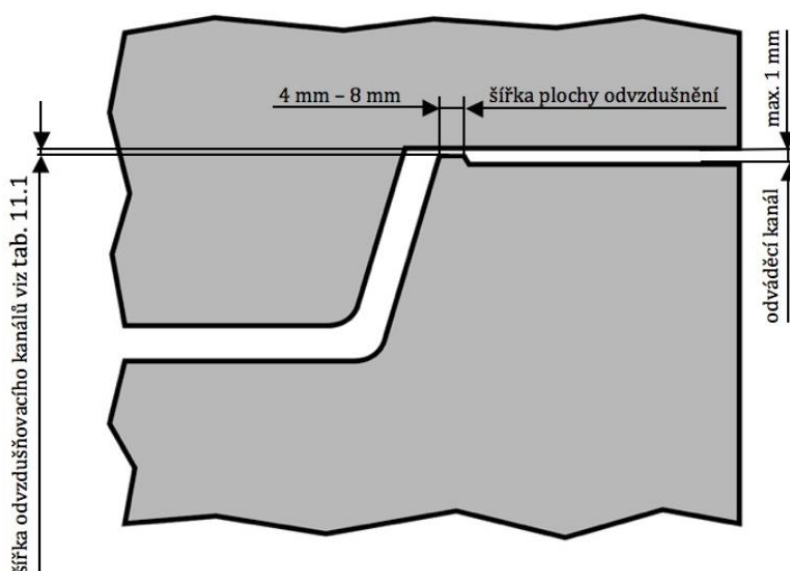
Obrázek 34 - Ukázka vyhazovacího systému [4]

1) výlisek, 2) umístění vyhazovacích kolíků

3.6. Odvzdušnění

Během plnění dutiny formy plastickou směsí je současně stlačován vzduch nacházející se v tvarové dutině a vzduch obsažený v plastické směsi. Pokud by nebyla forma dostatečně odvzdušněna, mohlo by dojít k degradaci mechanických vlastností vznikem bublin. V krajním případě i k zapálení vzduchu v důsledku jeho velkého stlačení tzv. Dieslovým efektem. S rostoucím tlakem vstřikovací fáze, roste i nutnost účinného odvádění vzduchu, a to po celou dobu cyklu (vznik protitlaku a následné pnutí ve výlisku). [21], [28]

Umístění odvzdušnění formy lze provádět na základě zkušeností a znalostí. U složitějších výlisků s více než jedním vtokem se doporučuje použití analytických programů simulujících plnění formy. [21]



Obrázek 35 - Doporučené provedení odvzdušňovacího kanálu [4]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4. Cíle bakalářské práce

V bakalářské práci bylo požadavkem vypracovat literární rešerši z oblasti vstřikování plastů, zejména analyzování této metody, její výrobní možnosti a vývojové trendy. Problematika vstřikování byla detailněji popsána v teoretické části. V praktické, experimentální části bylo cílem konstrukční zásady vstřikování plastů předvést v praxi. Z toho důvodu bylo zvoleno zpracování návrhu konstrukce vstřikovací formy pro daný vylisek, na které lze snadno ukázat spojitost mezi konstrukcí, technologií a výrobou.

V praktické části byli určeny tyto cíle:

- Analýza vstřikovaného dílu
- Konstrukce vstřikovací formy
- Kontrola vstřikovacího procesu

5. Použitý software

NX 12.0

Jedná se o CAD/CAM/CAE software od firmy Siemens PLM, jehož první verze se datuje roku 2002. Software Siemens NX 12.0 je flexibilní a výkonné prostředí, které umožňuje dodávat lepší produkty rychleji a efektivněji. Jedná se o široce obsáhlý modelář, který nabízí řešení pro návrh, simulaci a výrobu, která společně umožňuje realizaci digitálního dvojčete reálného dílu. Díky podpoře veškerých aspektů vývoje produktů, od prvotního návrhu přes technologičnost až po výrobu, NX poskytuje různé pracovní role, nástroje a knihovny s normalizovanými díly a prvky. Lze pak vytvářet rychle a efektivně modely těles nebo celé sestavy a jejich výkresovou dokumentaci. [30]

Cadmould 3D-F

Modulární software pro analýzu a optimalizaci vstřikovacího procesu. Díky podpoře formátu STL, STEP nebo IGES je tento program schopen velmi rychle a přesně zhotovit výpočtový model, který vychází z objemu tvaru dílu. Během výpočtů jsou dodrženy veškeré parametry chování taveniny zadaného plastu (stlačitelnost, strukturně-viskózní chování či teplotní závislost). Výsledné řešení lze podle výpočtového času upravovat od rychlého

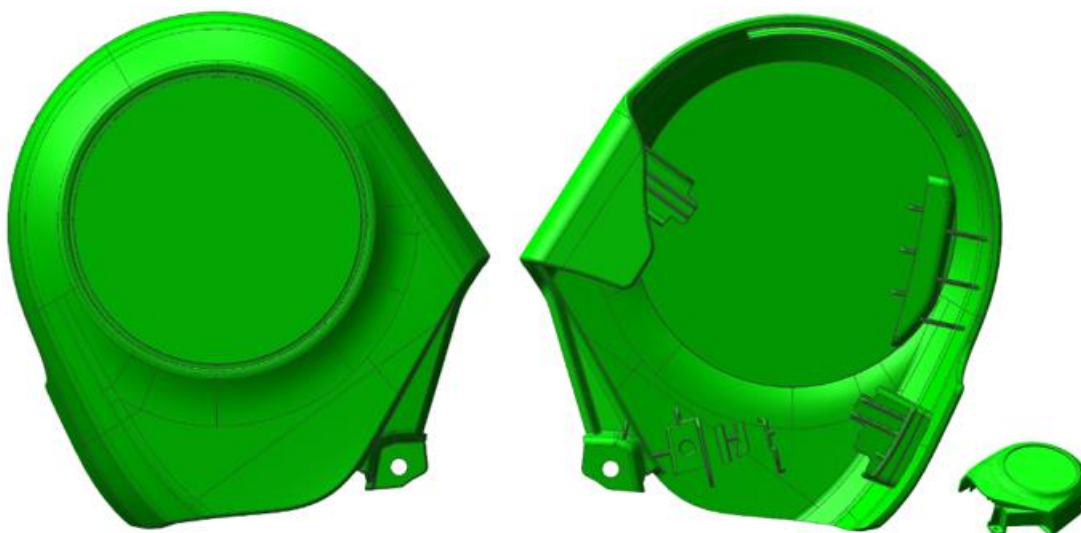
prvotní odhadu až po velmi precizní rozbor, který je předpokladem pro správné vyhodnocení vstřikovací formy a dílu, popř. provedení jejich optimalizace. [31]

Meusburger

Knihovna normálií pro výrobu forem od firmy Meusburger, která se pohybuje na trhu 55 let. V jejich nabídce nalezneme lisovací techniku, desky rámu, normálie a dílenské potřeby. Veškeré katalogové produkty lze stáhnout v různých formátech 3D a lze si tak usnadnit a urychlit práci při samotném konstruování. [32]

6. Vstřikovaný díl

Vstřikovaným dílem je krytka airbagu pro osobní automobil. Jelikož se jedná o výrobek z konceptu vozu, který je v současnosti stále součástí vývojové fáze, nebudou zde uvedeny žádné názvy. Samotný díl se nachází v interiéru, a tak budeme dbát na vysokou kvalitu pohledové strany.



Obrázek 36 - Vstřikovaný díl

Materiál vstřikovaného dílu

Materiál byl definován zákazníkem ve výrobním výkresu vstřikovaného dílu. Jedná se o termoplast PP+T20, tedy polypropylen s 20 % mastku. Specifický je dobrou tuhostí, tvrdostí, rozměrovou stabilitou a sníženým tečením oproti nemodifikovanému polypropylenu.

Tabulka 6 - Vybrané vlastnosti a doporučení PP+T20 [33]

Charakteristické vlastnosti a doporučené podmínky	
Hustota tuhé fáze	1,04 g/cm ³
Modul pružnosti v tahu	3103 MPa
Modul pružnosti v ohybu	2413 MPa
Mez pevnosti v tahu	32 MPa
Mez pevnosti v ohybu	52 MPa
Index toku taveniny	10 g/10min
Teplota taveniny	200 - 290°C
Smrštění	1%
Teplota formy	30 - 50°C

7. Vstřikovací stroj

Na výrobu vstřikovaného dílu byl použit vstřikolis od německé firmy Krauss Maffei. Jedná se o model KM 350–2000 CX z roku 2011, který vychází z plně hydraulické řady CX.



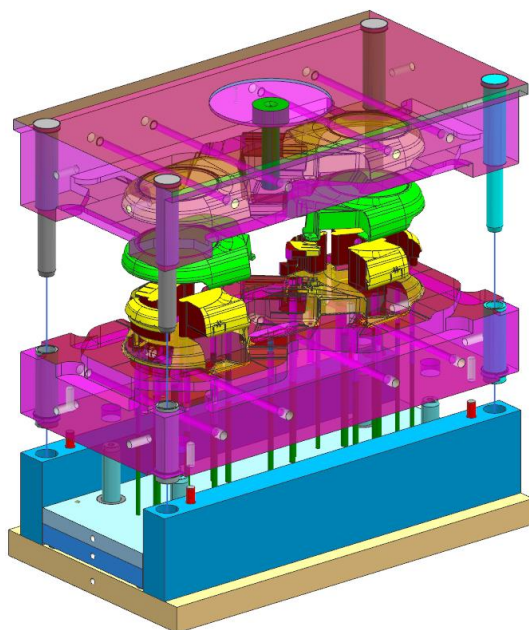
Obrázek 37 - Krauss Maffei KM 350–2000 CX [34]

Tabulka 7 - Vybrané technické parametry vstřikovacího stroje [35]

Technická data		Vstřikovací jednotka	
Uzavírací síla	3500 kN	Průměr šneku	50 mm
Maximální otevírací síla	221,1 kN	Vstřikovací tlak	2304 bar
Upínací deska (h x v)	1060 mm x 1095 mm	Zdvihový objem	432 cm ³
Vzdálenost mezi sloupky (h x v)	710 mm x 710 mm	Hmotnost vylisku, PS	393 g
Výška nástroje	min. 380 mm		
Rozestup desek	max. 1300 mm		

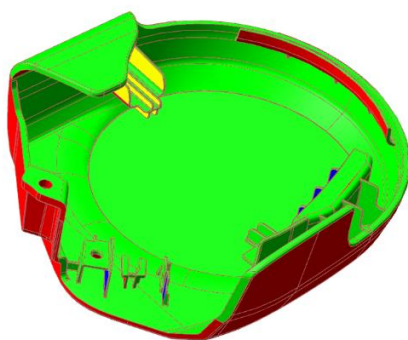
8. Konstrukce formy

Vstřikovací forma byla konstruována pro prototypovou výrobu s objemem výroby 5000 – 10 000 kusů. Materiál byl zvolen podle prototypového centra hliník EN AW 7075. Konstrukce 3D modelu formy byla vytvořena v softwaru NX 12.0 za použití normálií Meusburger a knihovny prototypového centra.



Analýza vstřikovaného dílu – Zadání

Prvním krokem po přejímce zadávacích dat, odkazů a jednotlivých normálií dané zakázky byla provedena základní analýza dílu, při které bylo kontrolováno zaoblení hran, dělicí roviny, odformovatelnost, podkoso a jiné. Jelikož nebyly zjištěny žádné velké nedostatky či nevyrobitelné části, nebylo potřeba díl nijak optimalizovat.

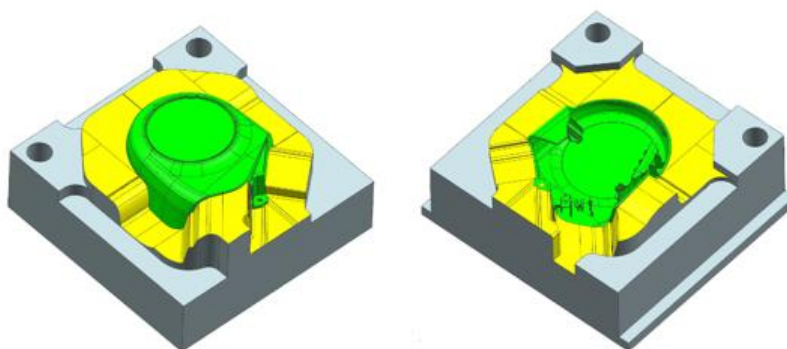


Obrázek 38 - NX Draft Analysis

Obrázek 38 zobrazuje analýzu odformování daného dílu. Vidíme přechodovou hranu mezi zelenými a červenými plochami, která reprezentuje hlavní dělicí rovinu. Plochy, které jsou na vnitřní straně dílu žluté, modré či červené jsou neodformovatelné v hlavním formovacím směru. Řešením bylo následné umístění tvarových vložek do těchto oblastí.

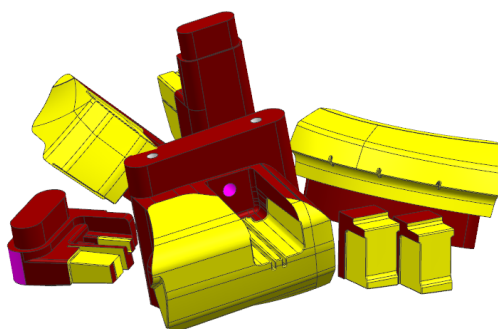
Násobnost formy a zaformování

Jelikož byl požadovaný díl poptáván jako zrcadlový, bylo na základě dřívějších zkušeností a znalostí, a zároveň podle předběžného návrhu umístění a typu vtokového ústí, zvolena poloha tvarových dutin naproti sobě. Díky napolohování obou dílu a získání tak představy o velikosti formy, byl z knihovny prototypového centra vybrán rám s rozměry 296 x 596 mm a zdvihem 63 mm.



Obrázek 39 - Zaformování dílu

Následným vytvořením modelu tvárníku a tvárnice, a odečtením zaformovaného dílu, zvětšeného o smrštění, vznikla dutina vstříkovací formy. Pro složitost vstříkovaného dílu a přítomnost neodformovatelných částí v hlavním formovacím směru, bylo nutno zkonstruovat celkem dvanáct tvarových a technologických vložek, za účelem dosažení bezchybného odformování dílu. Na základě symetrie, byla konstruována pouze pravá strana, jejímž následným zrcadlením vznikla kompletní tvarová část vstříkovací formy.



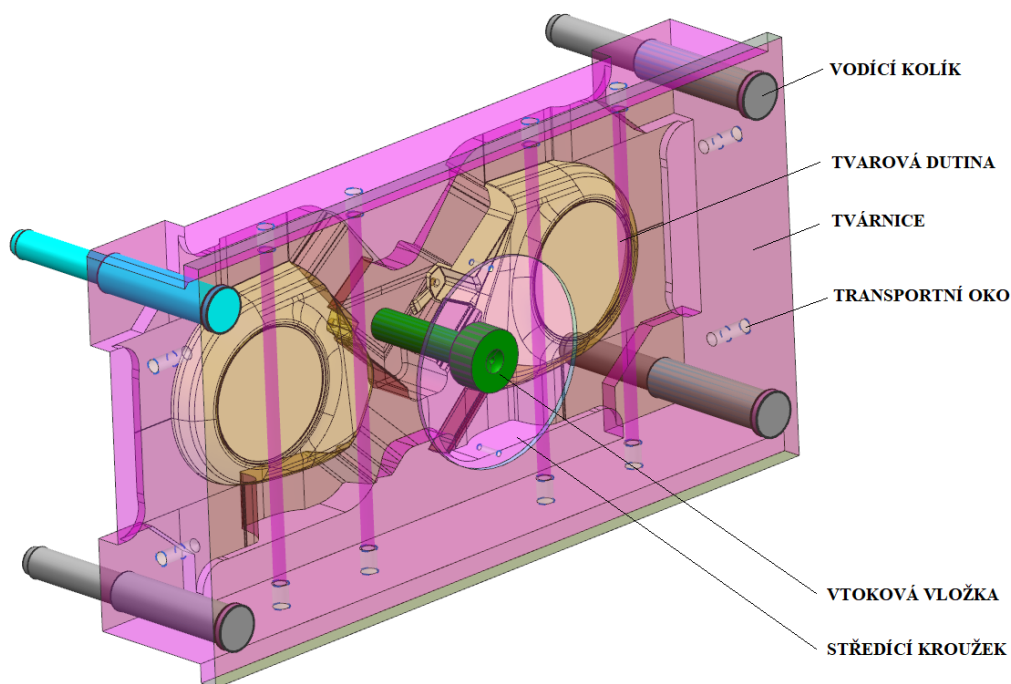
Obrázek 40 -Tvarové a technologické vložky

Odformování

Odformování a vyhození vylisku bylo zajištěno dopředným pohybem při otvírání vstřikovací formy a zpětným pohybem vyhazovací desky s vyhazovacími normáliemi od firmy Meusburger. Po ukončení zpětného pohybu zůstal vylisek na tvarové vložce spojené s vyhazovačem pomocí závitu. Následovalo sejmutí vylisku a vrácení jednotlivých tvarových vložek do dutiny formy. Poté se celý cyklus opakoval.

Pevná strana

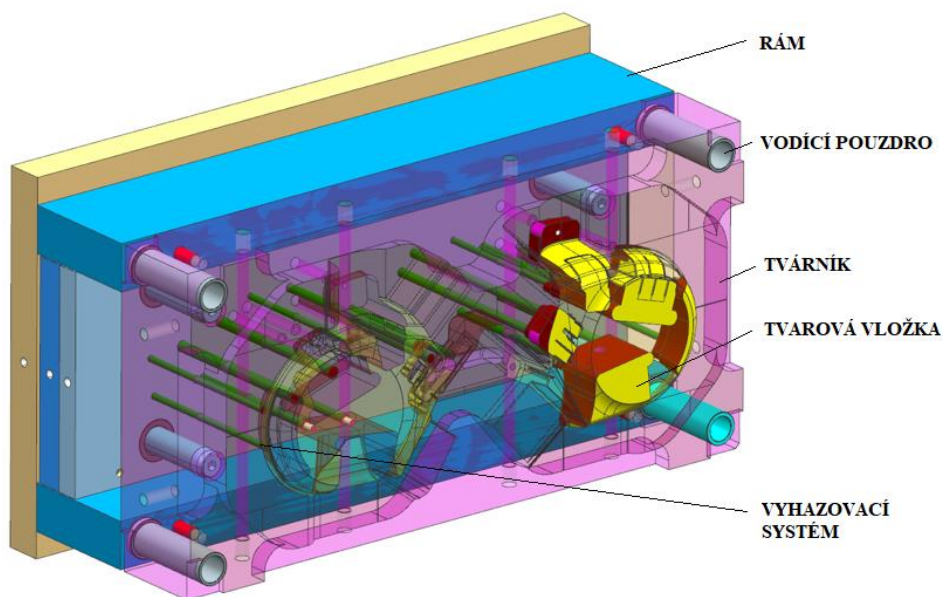
Pevná strana neboli strana trysky je část vstřikovací formy tvořena tvárnici, vtokovou vložkou, středícím kroužkem, vodícími kolíky a transportními oky. Na obrázku 41 jsou zobrazeny jednotlivé části s odkazy na jejich polohu. Vodící kolík, který je obarven modrou barvou je rozměrově větší než zbylé tři a na jeho rohu je provedeno sražení hrany tvárnice z důvodu správného ustavení pevné části do vstřikolisu. Standardizované části např. středící kroužek či transportní oka jsou v prototypovém centru používána u většiny navrhovaných forem stejně a nejsou součástí 3D modelu.



Obrázek 41 - Pevná strana vstřikovací formy

Pohyblivá strana

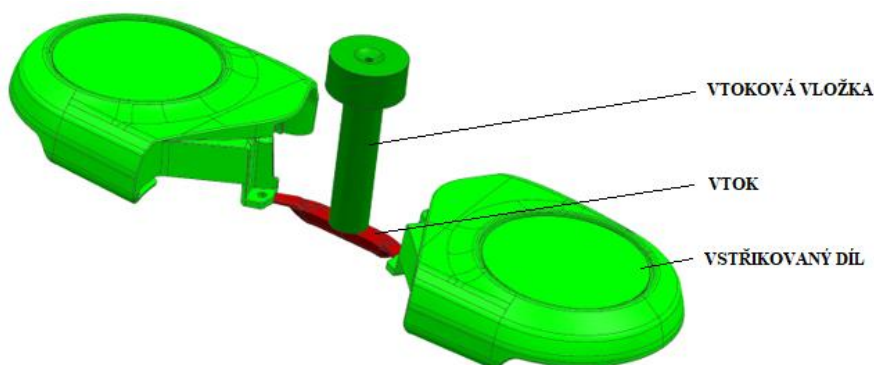
Pohyblivá strana obsahuje tvárník, vodící pouzdra, tvarové vložky a rám s vyhadzovacím systémem. Tvarové vložky jsou vyrobeny převážně z materiálu EN AW 7075 (hliník), kromě dvou. Ty jsou vyrobeny z 1.1730 (ocel), pro jejich složitost a možnost ulomení některé z částí vložky, či jiné možné deformaci. Vložky v oblasti žeber s tloušťkou 0,8 mm mají kromě funkce odformování, také funkci technologickou. Zajišťují správný průběh chlazení těchto míst s kriticky malou tloušťkou stěny a zamezují tak možnému vzniku studených spojů, nebo nezatečení materiálu.



Obrázek 42 - Pohyblivá strana vstřikovací formy

Vtokový systém

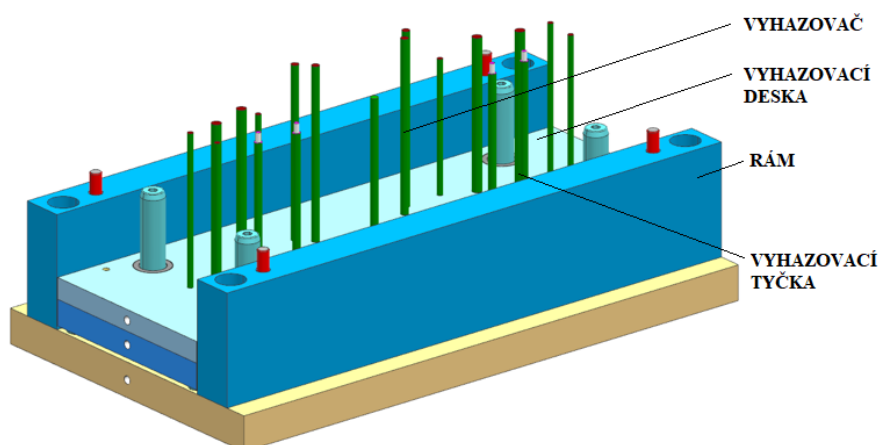
Vtokový systém byl navržen na základě předešlých zkušeností a znalostí a zkontrolován analýzou plnění. Jedná se o filmový (štěrbínový) vtok u kterého je nutné ruční odříznutí od vylisku.



Obrázek 43 - Vtokový systém

Vyhazovací systém

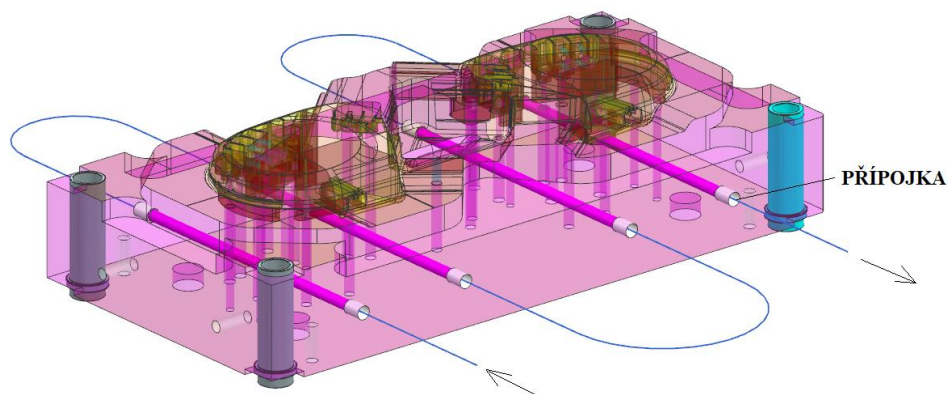
Vyhazovací systém přichází na řadu po ukončení dopředného pohybu (otevření) formy a jeho cílem je závěrečné odformování a vyhození dílu ze strany tvárníku. Skládá se z rámu, vyhazovače, vyhazovací desky a vyhazovacích tyček. Jelikož všechny vyhazovací části, kromě vyhazovače pro vtokový systém, dosedají na zámky tvarových vložek, bylo možné použití nejjednodušších vyhazovačů, a to vyhazovacích tyček, které nedosedají na tvarové ani šikmé plochy a není potřeba jejich přesná tolerance.



Obrázek 44 - Vyhazovací systém

Temperace

Temperace vstříkovací formy byla zvolena čtyřmi chladicími kanály, které byly umístěny podle možností konstrukčního řešení vyhazovačů, aby byla dodržena vzdálenost alespoň 5-10 mm od chladicího kanálu k vrtání pro vyhazovací tyčku. Temperačním médiem byla použita voda. Standartní přípojky prototypového centra nejsou součástí 3D modelu.



Obrázek 45 - Temperace vstříkovací formy

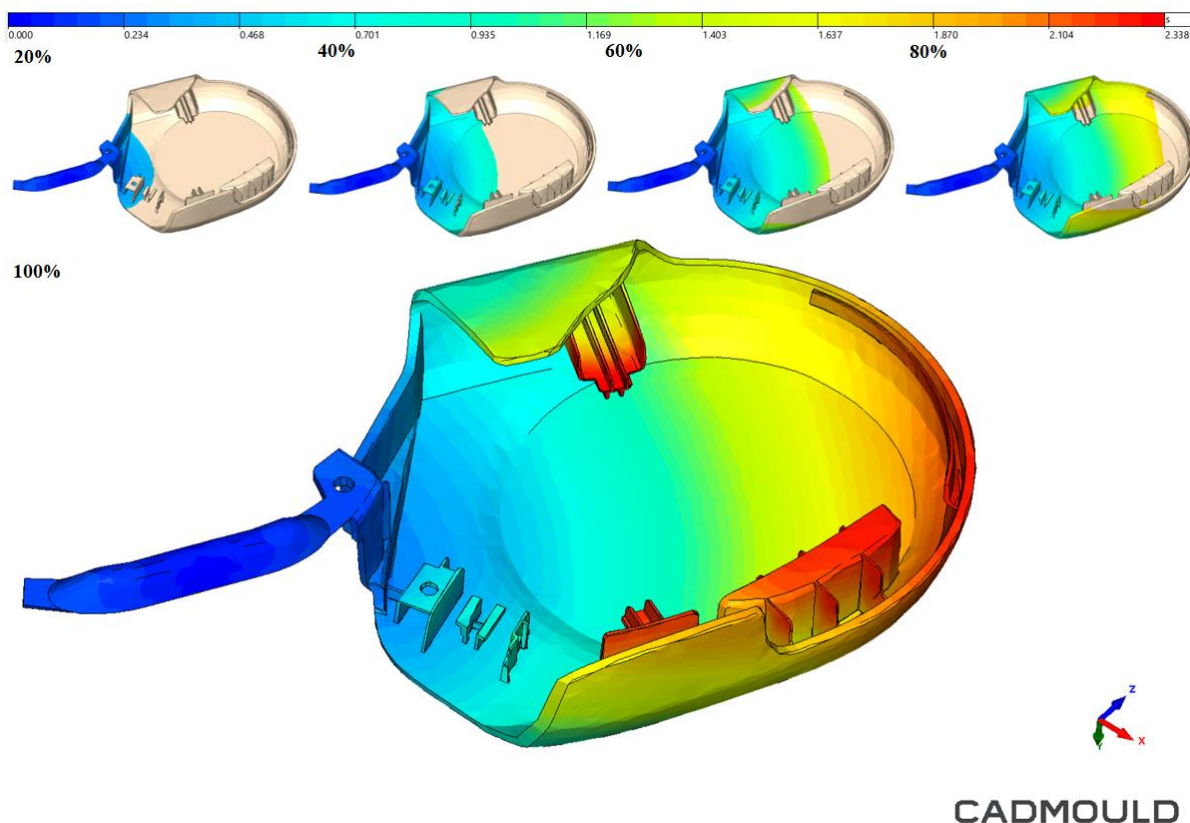
9. Analýza vstřikovacího procesu

Analýza vstřikovacího procesu je jedním z hlavních optimalizačních nástrojů dnešní doby pro vstřikování plastů. Pomocí jejího použití lze předejít různým typům deformace výlisku (studeným spojům, nedotečení materiálu a jiné), zobrazit průběh uzavírací síly a dalších parametrů nebo zjistit doporučené hodnoty optimalizace vstřikovacího procesu.

V našem případě byla provedena analýza pomocí softwaru CADMOULD 3D-F za účelem kontroly navrženého vtoku a jeho umístění. Protože se jedná o pohledový díl, musel být vtok na žádost zákazníka umístěn do nohy výlisku, aby bylo zamezeno možnému vzniku staženiny či propadliny na pohledové ploše. V důsledku požadovaného umístění však nebylo zcela zřejmé, zda bude dutina dokonale vyplněna i v oblastech tenkých žeber.

Průběh plnění

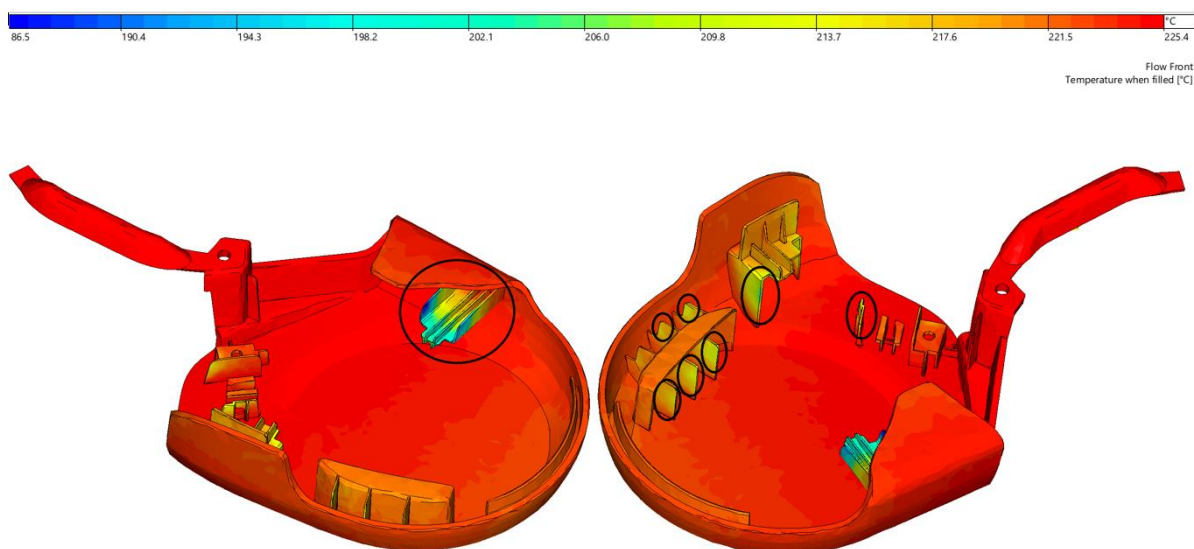
Průběh vstřikovacího cyklu rozděleného do pěti fází po dvaceti procentech plnění je zobrazen na obrázku 46. Celý cyklus trvá necelé dvě a půl sekundy a časový průběh je barevně odlišen. Začátek vstřiku je označen modrou barvou přecházející až do sytě červené, která reprezentuje oblasti plněné jako poslední.



Obrázek 46 - Průběh plnění

Teplota na čele taveniny

Teplota taveniny během celého cyklu by měla být v ideálním případě konstantní, což je v praxi téměř nedosažitelné v důsledku různé tloušťky stěny na výlisku a postupným plněním. V níže zobrazených místech dochází k poklesu na čele taveniny až na 186.5 °C (vlevo) a přibližně 193°C (vpravo). Optimální teplota taveniny během plnění je 220°C. Tento pokles teploty je způsoben především změnou tloušťky stěny žeber klipu z 3 mm (základní tloušťka výlisku) až na 0,8 mm. Aby bylo dosaženo pomalejšího chladnutí problematických míst, byly zde umístěny technologické vložky.



CADMOULD

Obrázek 47 - Teplota na čele taveniny

Uzavírací síla a plnicí tlak

Hodnoty zjištěné CADMOULD 3D-F:

- Max. plnicí tlak: 154,6 bar
- Uzavírací síla: 276,843 kN

Vstřikovací stroj disponuje maximálními hodnotami 3500kN pro uzavírací sílu a 2304 baru pro plnicí tlak. Z výsledků analýzy plnění je zřejmé, že nedošlo k využití ani deseti procent maximálního zatížení stroje, což nám zaručuje dokonalé uzavření formy po celou dobu cyklu a požadovaný průběh dotlaku.

ZÁVĚR

V první části práce je proveden základní rozbor technologie vstřikování plastů a zásad konstrukce vstřikovaného dílu a jeho formy. Cílem je porozumění specifické terminologii a seznámením s principem vstřikování. Teoretická část je rozdělena do tří hlavních kapitol. První kapitolou je vstřikování plastů, která se zabývá principem metody, základními informacemi, materiály a stroji, určenými pro zpracování plastů. Závěr je věnován speciálním technologiím vstřikovacího procesu, které spolu s materiály a přísadami tvoří hlavní oblasti vývoje a umožňují výrobu složitějších výrobků či použití speciálních materiálů. Druhá a třetí kapitola je zaměřena na návrh vstřikovaného dílu a nástroje pro jeho výrobu, tedy vstřikovací formy.

V druhé, experimentální části je zpracována prototypová vstřikovací forma pro výrobu krytu airbagu osobního automobilu z materiálu PP+T20. Konstrukce byla ovlivněna zejména tvarovou složitostí výlisku a požadavkem na vysokou kvalitu povrchu pohledové části. Konstrukce byla vytvořena v softwaru Siemens NX 12.0 s využitím normálií od firmy Meusburger. Nejprve byla provedena analýza požadovaného dílu a jeho zaformování do tvárníku a tvárnice, dle rozměrů zvoleného rámu. Z analýzy plnění, za použití předběžného návrhu vtoku, bylo zjištěno, že úpravou tloušťky žeber, zmenšením z 3 mm (základní tloušťka stěny dílu) na 0,8 mm, dochází k poklesu teploty na čele taveniny, které bylo hlavním kritériem optimalizace vstřikovací formy. V některých místech byl teplotní pokles o více než 30 °C oproti optimální teplotě taveniny během plnění (220°C), v důsledku čehož by mohlo dojít ke vzniku vad výlisku. Problematická místa dutiny formy spolu s částmi, které nebylo možné odformovat v hlavním formovacím směru, byla vyřešena zkonstruováním tvarových a technologických vložek.. Vyhazovací systém byl proveden použitím rámu s vyhazovací deskou, vyhazovacích tyček a vyhazovače vtokové soustavy. Odvzdušnění tvarové dutiny bylo zajištěno únikem vzduchu dělicí rovinou a přes vůli uložení vyhazovacích tyček v tvárníku.

Výsledkem experimentální části byl optimalizovaný a komplexní návrh vstřikovací formy krytu airbagu pro prototypovou výrobu. Dle návrhu byla vyrobena funkční vstřikovací forma s objemem výroby 5000 - 10000 kusů.

V závěru práce jsou uvedeny kontrolní body pro návrh konstrukce plastového výlisku a vstřikovací formy, vycházející ze čtyřletého působení v oblasti konstruování a vývoje.

Kontrolní body návrhu konstrukce plastového výlisku a vstřikovací formy:

- **Kontrola dílu:**
 - Odformovatelnost, podkopy
 - Tloušťka stěn, rádiusy a ostré hrany
 - Materiálový list (smrštění)

- **Kontrola rámu:**
 - Možnost upnutí do vstřikolisu
 - Rám je opatřen závity pro kotvící oka
 - Dostatečný zdvih pro vyhození výlisku
 - Délka vodících sloupků je dostatečná pro otevření nástroje

- **Kontrola odformování:**
 - Směry odformování (otevření nástroje)
 - Dělicí roviny
 - Tvarové vložky (vyhazovače, závity pro vyjmutí, fixace)
 - Vyhazovače (délka, průměr, počet, orientace)
 - Chlazení (kolize s rámem či vyhazovači, minimální odstupy)
 - Barevné označení ploch pro výrobu

- **Kontrola vtokové soustavy:**
 - Vtoková vložka, vtokový kanál, vyhazovač vtoku
 - Analýza plnění

- **Kontrola kusovníku:**
 - Pozice, rozměry, materiál, počty kusů

Seznam použité literatury

- [1] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 80-730-0026-1.
- [2] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. 2015 [cit. 2020-02-23]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
- [3] KUBÍČEK, František. *Technologie zpracování plastů*. 2018.. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
- [4] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 2015 [cit. 2020-02-23]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [5] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [6] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. 2015 [cit. 2020-02-23]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
- [7] JEŽEK, David. *ZAŘÍZENÍ NA ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ* [online]. ČVUT Fakulta strojní, Ústav procesní a zpracovatelské techniky, 2016 [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68111/F2-BP-2016-Jezek-David-Zarizeni%20pro%20zpracovani%20plastu.pdf?sequence=1>
- [8] BUREŠ, Jan. *Návrh vstřikovací formy pro výrobu dílu stavebnice*. 2016.. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, fakulta technologická. Vedoucí práce Ing. Michal Staněk Ph.D.
- [9] ŠKROBÁK, Adam. *Konstrukce vstřikovací formy*. 2008.. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, fakulta technologická. Vedoucí práce Ing. Michal Staněk Ph.D.
- [10] LENFELD, Petr. *Vstřikování plastů. Technická univerzita Liberec-Fakulta strojní-Katedra strojní technologie- Oddělení tváření kovů a plastů: Skripta technologie II.- Technologie zpracování plastů* [online]. [cit. 2020-02-23].
- [11] MIKEL, Radek. *Konstrukční návrh formy pro mikrovstřikování*. Zlín, 2013. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, fakulta technologická. Vedoucí práce Ing. Eva Hnátková.
- [12] *Základní porovnání hydraulických a plně elektrických JSW vstřikovacích strojů. TECHNICKYPORTAL.CZ* [online]. , 16 [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/plasty/zakladni-porovnani-hydraulickych-a-plne-elektrickych-jsw-vstrikovacich-stroju_46795.html

- [13] *UTOCONT CONTROL SYSTEMS: CNC Systémy* [online]. b.r. [cit. 2020-03-25].
Dostupné z: <http://www.accs.cz/produkty-mitsubishi-electric/cnc-systems>
- [14] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. 2015 [cit. 2020-03-03]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [15] *Nekovové materiály* [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/5_nekovove-metrialy.pdf
- [16] *ARBURG* [online]. b.r. [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/>
- [17] Bi-material injection in a few words. *UNIMOLD ASIA LTD.* [online]. b.r. [cit. 2020-03-07].
- [18] *Myplasticsblog: Bringing In New Technologies For Making Parts Lightweight* [online]. b.r. [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: <https://myplasticsblog.wordpress.com/tag/projectile-injection-technology/>
- [19] *Technickyportal.cz: Technologie vstřikování plastů s podporou plynu (GIT)* [online]. 2019 [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/plasty/technologie-vstrikovani-plastu-s-podporou-plynu-git_46555.html
- [20] Gas Injection Moulding. *Vikas Industries* [online]. b.r. [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://vikasindus.com/gas-injection-moulding.htm>
- [21] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o, 2015. ISBN 978-80-7204-919-6.
- [22] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
- [23] HYNEK, Martin, Eduart MÜLLER a Štěpán HELLER. *PLASTOVÉ DÍLY: ZAFORMOVÁNÍ A ODFORMOVÁNÍ* [online]. b.r. [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Zaformovani_a_odformovani.pdf
- [24] JURÁSEK, Martin. *Konstrukční návrh vstřikovací formy*. 2012. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, fakulta technologická. Vedoucí práce Ing. Štěpán Šanda.
- [25] Parting line. *Plastipialtd* [online]. b.r. [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.plastopialtd.com/parting-line/>
- [26] *Draft Angle* [online]. b.r. [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: http://www.mapeng.net/templats/map/Plastic-Part-Design-Checklist/draft_angle.html

- [27] NAJVAR, PETR. *KONSTRUKCE PLASTOVÝCH DÍLŮ PŘEDNÍHO NÁRAZNÍKU SPORTOVNÍHO AUTOMOBILU*. Brno, 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. DANIEL KOUTNÝ, Ph.D.
- [28] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. a II. díl: Vstřikování termoplastů*. Brno: Uniplast, 1999.
- [29] *ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE: vstřikování plastických hmot* [online]. b.r. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf
- [30] *SIEMENS: NX* [online]. b.r. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/nx/>
- [31] *Plasty Gabriel s.r.o.: Cadmould® 3D-F a Cadmould® 3D* [online]. b.r. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <http://cadmould.cz/software/cadmould-3d-f/>
- [32] *Meusburger: NORMÁLIE PRO VÝROBU FOREM* [online]. b.r. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/produkty/vyroba-nastroju-a-forem>
- [33] *AZO Materials: Polypropylene + PP 20% Talc Filled* [online]. b.r. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=829>
- [34] *Krauss Maffei* [online]. In: . b.r. [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: https://kmg.kraussmaffei.com/en/trade-press-releases/d/new_clamping_force_range_cx_k2016.html
- [35] *Danzaplast: Krauss Maffei KM 350 - 2000 CX* [online]. b.r. [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <http://www.danzaplast.com/injection%20moulding%20machines/Krauss%20-%20Maffei%20KM%20350%20-%202000%20CX%2061614605.htm>
- [36] Best Practices in Recycled Plastics. *Global Recycling* [online]. [cit. 2020-03-04].
- [37] Scrap to recycling - Pruducts. *I Make plastics* [online]. [cit. 2020-03-04].

Seznam použitých zkratk a symbolů

%	Procento
°	Stupeň
°C	Stupeň Celsia
3D	Trojrozměrný
atd.	A tak dále
CAD	Computer aided design
CAE	Computer aided engineering
CAM	Computer aided manufacturing
F_p	Přísuvná síla
F_u	Uzavírací síla
IGES	Initial graphics exchange specification
kN	KiloNewton
ks	Kus
Max.	Maximální
Min.	Minimální
mm	Milimetr
MPa	MegaPascal
např.	Například
nm	Nanometr
Obr.	Obrázek
PP	Polypropylen
př.	Příklad
PVC	Polyvinylchlorid
Pozn.	Poznámka
R	Rádus (poloměr)
s	Sekunda
STL	Stereolitografický formát
STEP	<u>S</u> tandard for <u>e</u> xchange of <u>p</u> roduct model data
Tab.	Tabulka
T_g	Teplota skelného přechodu
T_m	Teplota tání krystalického podílu
Tzv.	Takzvaný

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Vstřikovací proces [3]	4
Obrázek 2 - Časový harmonogram vstřikovacího cyklu [4]	5
Obrázek 3 - Vstřikovací stroj [15]	6
Obrázek 4 - Pístový vstřikolis s torpédem [6]	7
Obrázek 5 - Pístový vstřikolis s plastikačním šnekem [35]	7
Obrázek 6 - Šnekový vstřikolis [4]	8
Obrázek 7 - Vstřikovací jednotka [6]	9
Obrázek 8 - Pásma šneku vstřikovacího stroje [6]	9
Obrázek 9 - Uzavírací jednotka [11]	10
Obrázek 10 - Ovládací rozhraní [13]	11
Obrázek 11 - Polymery - základní rozdělení [3]	12
Obrázek 12 - Granulace za studena [2]	16
Obrázek 13 - Granulace za tepla [2]	16
Obrázek 14 - Pásová granulace [2]	17
Obrázek 15 - Regranulát [36]	18
Obrázek 16 - Recyklát [37]	18
Obrázek 17 - Vstřikolis pro dvoukomponentní vstřikování [17]	21
Obrázek 18 - Princip dvoukomponentního či dvoubarevného vstřikování plastů [10]	21
Obrázek 19 - Proces vstřikování s podporou vody [18]	22
Obrázek 20 - Příklady dílů vyrobených technologií vstřikování s podporou plynu [20]	23
Obrázek 21 - Příklad dělicí roviny na plastovém díle [25]	25
Obrázek 22 - Zobrazení chybného a správného úkosu na příkladech [26]	25
Obrázek 23 - Chybné a správné dodržení konstantní tloušťky [4]	26
Obrázek 24 - Přechody při změně tloušťky stěny [22]	27
Obrázek 25 - Křížové žebrování [22]	28
Obrázek 26 - Uspořádání nálitků [22]	28
Obrázek 27 - Zaoblení rohů a stěn [22]	29
Obrázek 28 - Ostré hrany v dělicí rovině [22]	29
Obrázek 29 - Postup návrhu vstřikovací formy [4]	30
Obrázek 30 - Řez dutiny vstřikovací formy [23]	31
Obrázek 31 - Části studeného vtokového systému	32
Obrázek 32 - Příklady vtokového kanálu [29]	33
Obrázek 33 - Příklady ústí vtoku [29]	34
Obrázek 34 - Ukázka vyhazovacího systému [4]	37

Obrázek 35 - Doporučené provedení odvzdušňovacího kanálu [4]	38
Obrázek 36 - Vstříkovaný díl	41
Obrázek 37 - Krauss Maffei KM 350–2000 CX [34].....	42
Obrázek 38 - NX Draft Analysis	43
Obrázek 39 - Zaformování dílu	44
Obrázek 40 - Tvarové a technologické vložky	44
Obrázek 41 - Pevná strana vstříkovací formy	45
Obrázek 42 - Pohyblivá strana vstříkovací formy	46
Obrázek 43 - Vtokový systém	46
Obrázek 44 - Vyhazovací systém	47
Obrázek 45 - Temperace vstříkovací formy	47
Obrázek 46 - Průběh plnění	48
Obrázek 47 - Teplota na čele taveniny	49

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Základní druhy termoplastů a jejich charakteristika [15]	13
Tabulka 2 - Základní druhy reaktoplastů a jejich charakteristika [15].....	13
Tabulka 3 - Podmínky sušení a navlhavost plastů [14]	19
Tabulka 4 - Doporučené hodnoty velikosti úkosu [27]	26
Tabulka 5 - Doporučené hodnoty kanálů temperační soustavy [4].....	36
Tabulka 6 - Vybrané vlastnosti a doporučení PP+T20 [33]	42
Tabulka 7 - Vybrané technické parametry vstřikovacího stroje [35]	42