

# Moderní trendy ve vstřikování polymerů

Zbyněk Uličný

---

Bakalářská práce  
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav inženýrství polymerů  
akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Zbyněk Uličný**  
Osobní číslo: **T15891**  
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Polymerní materiály a technologie**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Moderní trendy ve vstřikování polymerů**

Zásady pro vypracování:

Vypracujte literární rešerši na výše uvedené téma. Práce bude zaměřena na popis a hodnocení nejnovějších trendů ve zpracování polymerů vstřikováním, možné přínosy nových metod a potenciální budoucí aplikace.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1) Gumárenská a plastická technologie : zpracovatelské procesy, František Tomis, 1987

2) The instant expert: plastics, processing and properties, Vanessa Goodship, 2010, ISBN 978-1-906479-05-3

3) Články v impaktovaných odborných časopisech

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Jiří Kalous**

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce:

**2. ledna 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**17. května 2017**

Ve Zlíně dne 1. března 2017

doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



doc. Ing. Tomáš Sedláček, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: ULIČNÝ ZBYNĚK.....

Obor: PMT.....

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 16.5.2017.....

  
.....

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

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

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

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

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

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

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní díla:

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá technologií vstřikování, popisuje jednotlivé kroky vstřikovacího cyklu a jednotlivých částí strojního zařízení. V další kapitole je práce zaměřena na speciální způsoby, které se od konvenčního vstřikování liší v parametrech procesu, v konstrukci stroje, forem a kombinací materiálů. V poslední kapitole jsou popsány aktuální trendy ve vstřikování plastů a jejich aplikace v průmyslu.

Klíčová slova: technologie vstřikování, vstřikovací cyklus, polymer, forma

## **ABSTRACT**

This Bachelor thesis deals with injection technology, describes individual steps of injection cycle and individual parts of the machine. In the next chapter, the thesis focuses on special ways, which are different from conventional injection molding in process parameters, machine design, molds design and combination of materials. The last chapter describes actual trends in injection molding and their application in industry.

Keywords: injection technology, injection cycle, polymer, mold

Rád bych poděkoval paní doc. Ing. Dagmar Měřínské, Ph.D., vedoucí mé bakalářské práce, za odborné vedení a rady, které mi v průběhu zpracování bakalářské práce poskytovala. Také bych chtěl poděkovat své rodině za podporu a klidné zázemí po celou dobu mého studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>11</b>
1.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS – STRUČNÝ POPIS.....	11
1.1.1 Plastikace: .....	11
1.1.2 Vstřikování taveniny do formy: .....	12
1.1.3 Dotlačování taveniny: .....	12
1.1.4 Chlazení taveniny ve formě: .....	13
1.1.5 Vyjmutí vylisku z formy: .....	13
1.2 MODELOVÁNÍ.....	15
1.2.1 CAD - SolidWorks Plastics.....	15
1.2.2 Rapid Prototyping .....	16
1.3 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	16
1.3.1 Plastikační a vstřikovací jednotka: .....	17
1.3.2 Upínací jednotka: .....	17
1.3.3 Forma: .....	18
<b>2 SPECIALIZACE VE VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>20</b>
2.1 GIT – VSTŘIKOVÁNÍ S PODPOROU PLYNU .....	20
2.2 WIT - VSTŘIKOVÁNÍ S PODPOROU VODY .....	22
2.3 TECHNOLOGIE VÍCEKOMPONENTNÍHO NEBO VÍCEBAREVNÉHO VSTŘIKOVÁNÍ .....	23
2.4 TECHNOLOGIE MRAMOROVÉHO VSTŘIKOVÁNÍ .....	25
2.5 INTERVALOVÉ VSTŘIKOVÁNÍ.....	26
2.6 VSTŘIKOVÁNÍ SENDVIČŮ .....	27
2.7 RIM – REAKČNÍ VSTŘIKOVÁNÍ .....	28
2.8 MIKROVSTŘIKOVÁNÍ.....	30
2.9 PIM – VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ S PRÁŠKY .....	31
2.10 CIM - VSTŘIKOVÁNÍ S DOLISOVÁNÍM .....	32
<b>3 MODERNÍ TRENDY VE VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>33</b>
3.1 SYNFLOW VSTŘIKOVÁNÍ .....	33
3.2 IMDJ VSTŘIKOVÁNÍ .....	34
3.3 INVERZNÍ ŠNEK.....	35
3.4 ZPRACOVÁNÍ TEKUTÉHO SILIKONOVÉHO KAUCUKU .....	37
3.5 WPC – VSTŘIKOVÁNÍ DŘEVO-PLASTOVÝCH KOMPOZITŮ.....	38
3.6 VSTŘIKOVÁNÍ S NAPĚŇOVÁNÍM – MUCCELL.....	39
3.7 HOTMELT VSTŘIKOVÁNÍ.....	41
3.8 TECHNIKA ČISTÝCH PROSTOR:.....	42
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>45</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>46</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>49</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>50</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>52</b>



## ÚVOD

V historii lidstva měla každá doba název dle používaného materiálu. Současnou dobu můžeme označit za dobu plastovou. Plasty se staly naší každodenní součástí a zásadně zasahují do všech odvětví. Jak do farmacie, tak i do zpracovatelského a spotřebního průmyslu. Plasty dokázaly nahradit svými rozmanitými vlastnostmi výrobky vyrobené z kovu, dřeva, betonu aj. Jejich používání přispělo ke zlepšení v různých aplikacích. Výrobky z plastů můžeme vyrábět nepřebernou škálou. Největším problémem plastů, jako syntetických látek, je jejich recyklace a zatížení přírody.

Vstřikování je jednou z nejpoužívanějších technologií a to díky široké škále materiálů, které můžeme touto technologií zpracovávat a možnosti výroby tvarově velmi složitých polotovarů nebo koncových výrobků. Další předností této technologie jsou krátké výrobní cykly a maximální rozměrová i tvarová přesnost.

Vysoké nároky spotřebitelů na specifické vlastnosti materiálů pro různá využití vyvinuly postupem času z konvenčního vstřikování jejich specializace. Dochází ke změnám ve vstřikovacích procesech, mění se i strojní zařízení a přiváděný polymer nemusí být vždy ve formě granulátu. Tyhle specializace nám umožňují vyrábět výrobky s dutými jádry s využitím plynu nebo vody, kombinovat více druhů polymerů v jednom výrobním kroku a do jisté míry využívat i recyklovaný materiál jako jádro výrobků.

Technologie vstřikování se neustále vyvíjí a snaží se docílit co nejlepších výsledků jak z hlediska materiálových vlastností, ekonomiky, tak i vzhledu vyráběného dílu. Metoda SynFlow kontroluje tok taveniny do formy a tím zabraňuje vzhledovým vadám na vyráběném dílu. Pro automobilový průmysl, kde hraje velkou roli váha automobilu, se využívá metoda MuCell, která vyrábí lehčené a přesto pevné díly. Ve farmacii, která klade důraz na čistotu a sterilitu, se zavádí koncept techniky čistých prostor. V neposlední řadě dochází také ke kombinaci plastu s dřevem, kde se vstřikované díly uplatňují především ve stavebnictví.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je společně s vytlačováním nejpoužívanější technologií ve zpracování polymerů. V roce 1872 vyvinul z pístového stroje John Wesley Hyatt vstřikovací stroj, kterým zpracoval materiál známý jako celuloid. Koncept, z kterého vychází současné vstřikovací stroje, si v roce 1951 patentoval William H. Willert, jako vstřikovací stroj s vratným pohybem šroubu. Tento proces byl v průběhu minulého století rozšířen a zdokonalen především o hydraulický a řídicí systém. Vstřikováním zpracováváme téměř všechny druhy termoplastů a v omezené míře i některé reaktoplasty a kaučuky. [1]

Vstřikování patří mezi tvářecí technologie, která se charakterizuje zásadní změnou tvaru výchozího materiálu, při kterém za působení teploty a tlaku dochází k přemístování částic. Technologie vstřikování patří mezi diskontinuální, cyklický proces, kterým můžeme vyrábět polotovary nebo konečné výrobky nejrůznějších tvarů. Mezi výhody patří především krátké výrobní cykly a výroba tvarově složitých výrobků s dobrou tolerancí rozměrů. Oproti krátkým výrobním cyklům je nevýhodou dlouhá doba pro výrobu forem a velké investiční náklady strojních zařízení, které jsou neúměrně velké v porovnání s velikostí výrobků. Ke snížením těchto investičních nákladů a k eliminaci výrobě zmetků se předchází modelováním s použitím simulačních softwarů nebo tvorby prototypů, které odhalí potenciální nedostatky při vstřikování do forem. [2]

## 1.1 Vstřikovací cyklus – stručný popis

Cyklický proces vstřikování lze rozdělit do čtyř hlavních fází:

- plastikace materiálu
- vstřikování taveniny do formy
- dotlačování taveniny a chlazení ve formě
- vyjmutí výlisku z formy

### 1.1.1 Plastikace:

Plast v podobě granulí je nasypán do násypky, z níž je odebírán do pracovní části vstřikovacího stroje. Granulát se působením šneku hněte, homogenizuje a shromažďuje v prostoru před čelem šneku. Ohřev granulátu probíhá účinkem tepla ze stěn válce a frikčním teplem, které vzniká působením šneku na materiál. Homogenitu taveniny můžeme ovlivnit konstrukcí šneku, jeho otáčkami, teplotou taveniny a vstřikovanou dávkou.[1,3,4]

### 1.1.2 Vstřikování taveniny do formy:

Tuto fázi můžeme rozdělit na dvě části. První část je plnění formy a druhá stlačení taveniny ve formě. Jakmile je forma zcela uzavřena začne plnicí fáze, kdy je tavenina pod vysokým tlakem vstříknuta do dutiny formy axiálním posunem šneku. Pro získání výstřiku s dobrými fyzikálními a povrchovými vlastnostmi musí tavenina vtékat do formy postupně. Tímto způsobem laminárního plnění vzniká plastické jádro, které nám umožňuje stlačení taveniny ve formě. Po naplnění formy nastává druhá část a to stlačování taveniny. Tlak se ve formě prudce zvýší a vstřikovací rychlost klesne. Tuhnoucí tavenina pod vlivem tlaku získá v povrchových vrstvách větší hustotu, která vyvolá anizotropní vlastností výstřiku, které způsobí, že stavební prvky materiálu jsou orientovány určitým směrem. Pomocí řídicí nebo regulační techniky dojde včas ke snížení vstřikovací tlaku na dotlačovací tlak.[1,3,4]

### 1.1.3 Dotlačování taveniny:

Fáze dotlačování, tzv. dotlak, je technicky změna rychlosti průtoku na regulaci tlaku, které můžeme dosáhnout třemi způsoby.

- časové – dosažení zvoleného času od počátku plnění formy taveninou
- dráhové – dosažení zvoleného bodu na dráze pohybu šneku vpřed při plnění formy
- tlakové – dosažení zvolené hodnoty tlaku, který měříme:
  - a) v hydraulickém systému vstřikovacího stroje
  - b) v dutině formy co nejbliže v ústí vtoku
  - c) v kanálu horkého rozvodu

Z pohledu kvality výlisků nám dává nejlepší výsledky tlakové přepnutí, kdy tlak měříme v dutině formy v ústí vtoku.

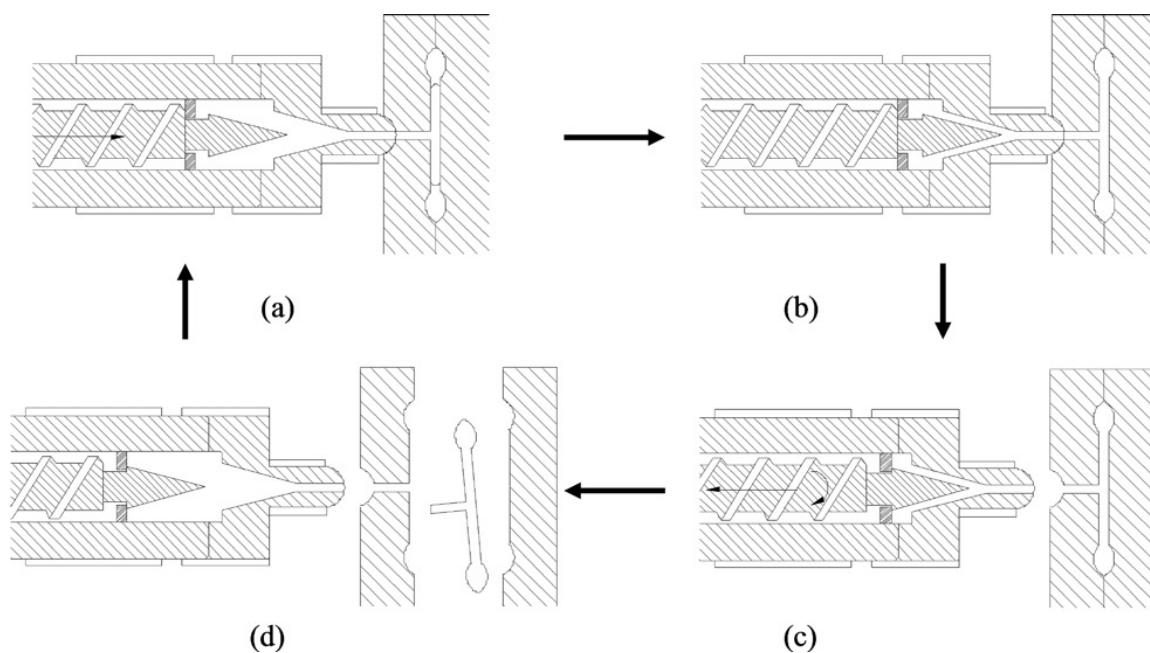
V této fázi je nahrazován úbytek materiálu, který je vyvolán smrštěním při chlazení z teploty zpracování na teplotu formy. Dotlačování je ukončeno, jakmile ztuhne vtok a uzavře se další vstup taveniny do dutiny formy. Výše dotlaku má velký vliv na vlastnosti výlisku. Příliš vysoký dotlak omezuje pohyblivost makromolekul při chlazení a způsobí deformace výlisků – pnutí, kroucení. Může také způsobit potíže při vyjmutí výlisků z formy, kvůli zbytkovému tlaku. Nízký dotlak může způsobit povrchové propadliny, vnitřní staženiny nebo mikropórovitost.[1,3,4]

#### 1.1.4 Chlazení taveniny ve formě:

Doba chlazení výstřiku určuje délku vstřikovacího cyklu. Chlazení probíhá, již od objemového naplnění dutiny formy a pokračuje s dotlačováním. Současně dochází k další plastikaci granulátu ve válci. Šnek se začne otáčet opačným směrem a jeho pracovní část je opět naplněna taveninou. Doba chlazení je ovlivněna tvarem a tloušťkou stěn, teplotou taveniny, vstřikovací rychlostí, teplotou a konstrukcí chlazení formy. Teplota formy bývá zvolena co nejnižší, ale tak aby nedošlo k narušení povrchu výstřiku nebo k velkému vnitřnímu pnutí vyvolané prudkým ochlazením.[3,4]

#### 1.1.5 Vyjmutí vylisku z formy:

Ochlazený vylisek je vyhozen mechanickým zařízením z dutiny formy. Vyhazovací zařízení je umístěno v těch částech, kde setrvá vylisek díky smrštění. V dnešní době automatizovaným procesů vzrůstá počet manipulátorů, které automaticky vyjmou vylisek z formy a položí jej na transportní pás. [3]



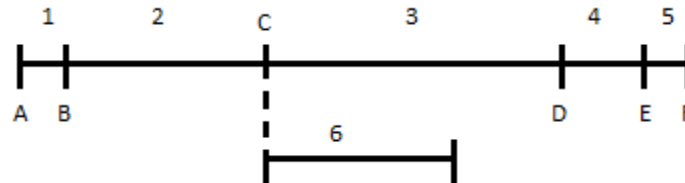
Obrázek 1. Vstřikovací cyklus: (a) vstřikování taveniny, (b) dotlačování, (c) chlazení a další plastikace, (d) otevření formy a vysunutí vylisku [1]

Celková doba cyklu může být vypočítána jako:

$$t \text{ cyklu} = t \text{ uzavření} + t \text{ vstříknutí} + t \text{ chlazení}$$

kde uzavírací a vstřikovací doba může trvat několik sekund, v závislosti na velikosti formy a stroje. Chladicí časy jsou stěžejní dobou cyklu, které závisí na maximální tloušťce dílu.

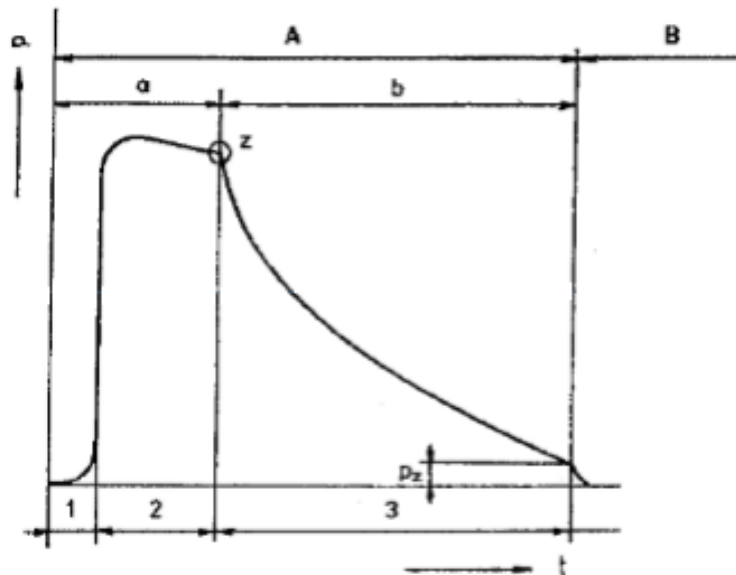
[5]



Obrázek 2. Časový průběh vstřikovacího cyklu, 1 - vstřikování, 2 - dotlak, 3 - chlazení, 4 - vyjmutí vylisku, 5 - dosednutí trysky na formu, 6 - plastikace šnekem [3]

Vstřikovací čas v intervalu A – B je velmi krátký. Čas v intervalu B – C se pohybuje v průměru mezi 10 až 20 s. Nejdélší úsek je interval C – D, čas chlazení může trvat i několik minut, v bodě C dojde k plastikaci dalšího materiálu. V intervalu D – E se otevře forma, vyjme vylisek a znovu forma uzavře. V intervalu E – F plastikační jednotka usedá na formu a může být spuštěn další vstřikovací cyklus. [12]

Další možností jak popsat vstřikovací cyklus je pomocí diagramu závislosti času na vstřikovaném tlaku v dutině formy. [6]



Obrázek 3. Časová závislost tlaku  $p$  v dutině formy při vstřikování

1 – vstřikování, 2 – dotlačování, 3 – chlazení,  $a$  – píst se pohybuje vpřed,  $b$  – píst se pohybuje vzad, A – forma je uzavřená, B – forma je otevřená,  $p_z$  – zbytkový tlak, Z – zatuhnutí vtoku [6]

## 1.2 Modelování

Ve všech odvětvích průmyslu, ve kterém se využívá procesů vstřikování, je zásadní zjištění, jak návrh jednotlivých dílů ovlivní jejich vyrobiteľnost a to ještě před zahájením výroby. Řešením potenciálních překážek při vstřikování do forem je použití simulačního softwaru nebo tvorby prototypů. [7]

### 1.2.1 CAD - SolidWorks Plastics

Uživatel může provádět virtuální testy za skutečných provozních podmínek a zkoušet své návrhy před zahájením výroby. Tím se předejde drahým změnám procesu a forem, optimalizuje se kvalita vyráběné součásti a podstatně se zkrátí doba vývoje. Software SolidWorks Plastics poskytuje určité funkce pro simulaci vstřikování do forem a identifikaci potenciálních problémů s výrobou. Pomocí softwaru můžeme zpracovávat návrhy plastových součástí i nástroje pro vstřikování do forem. Software dokáže analyzovat i složité geometrie, od velmi tenkých až po výrobky s tlustými stěnami nebo smíšenými charakteristikami. Díky přesnému předvídání možných chyb ve výrobě s pomocí simulačních funk-

cí se zefektivňuje výroba a lze virtuálně posoudit vhodnost použitých materiálů a konstrukce. Výsledkem je zejména kratší doba vývoje, předvídání a předcházení vad a tím je dosaženo vyšší kvality výrobků. [7]

### 1.2.2 Rapid Prototyping

Pod termínem Rapid Prototyping (RP) si můžeme představit vytvoření prototypu výrobku vrstveným aditivním procesem. Konečný tvar výrobku se získá seskládáním vrstev, na které je výrobek rozdělen. Prototyp je výrobek, který přebírá některé charakteristiky výrobku sériového, je však vyroben náhradní technologií. Tyto náhradní technologie bývají obvykle dražší než technologie výroby sériového dílu. Jejich předností je však rychlost, jakou dokážou prototyp vyrobit. Prototypovou výrobu lze rozdělit z několika hledisek a to z hlediska charakteru výrobku, charakteru nástroje pro výrobu a z hlediska objemu výroby.

Základním principem všech technologií je rozřezání 3D dat na rovinné vrstvy. Vrstvy mají konstantní tloušťku, která rozhoduje o přesnosti prototypu a vykreslení detailů. Mezi nejvyžívanější technologie RP patří Stereolitografie (SLA), Selective Laser Sintering (SLS), Fused Deposition Modeling (FDM) a v současnosti nejznámější a nejpřesnější 3D tisk.[8]

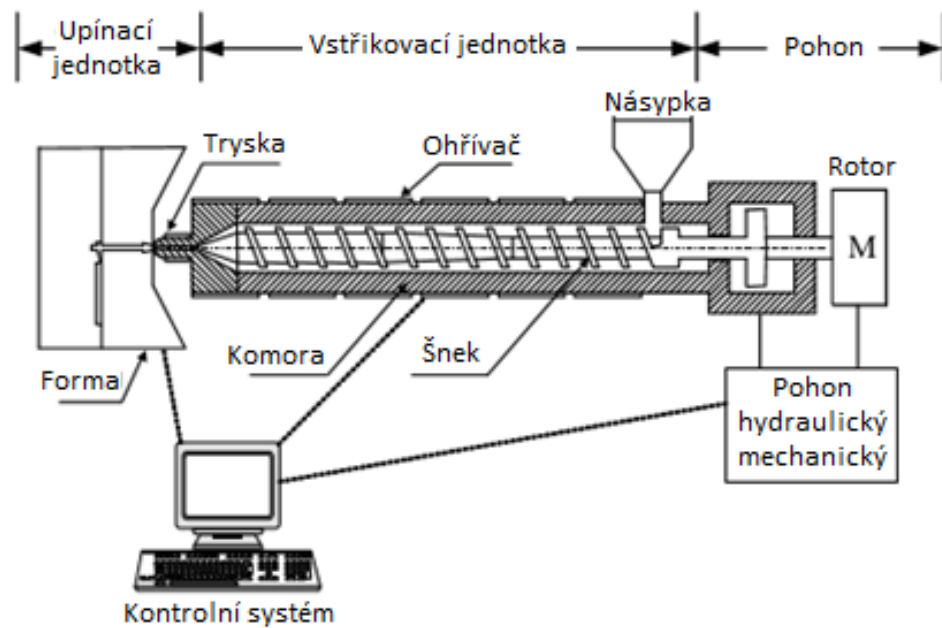
## 1.3 Vstřikovací stroj

Vstřikovací proces probíhá ve vstřikovacím stroji, který je charakterizován základními parametry. Patří sem, maximální vstřikovaný objem výstřiku v  $\text{cm}^3$  nebo g, plastikační kapacita stroje, která je schopna převést množství plastu v kg na taveninu za 1h, vstřikovací tlak a uzavírací síla. [6]

Vstřikovací stroj se skládá ze 4 základních částí: [9]

- plastikační a vstřikovací jednotka
- upínací jednotka
- forma
- kontrolní systém





Obrázek 4. Schéma vstřikovacího stroje [9]

### 1.3.1 Plastikační a vstřikovací jednotka:

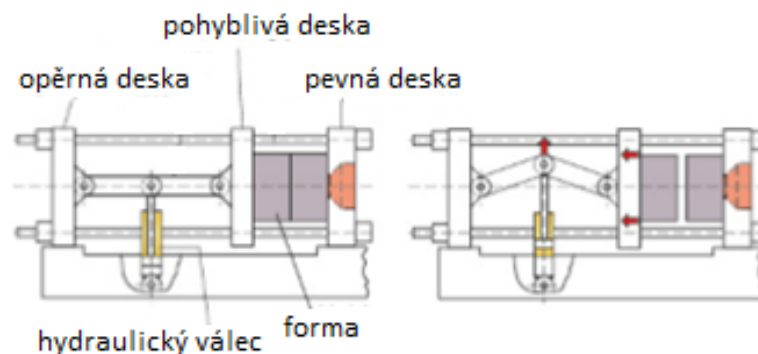
Mezi hlavní úkoly plastikační jednotky patří roztavení polymeru, akumulace taveniny do komory šneku, vstříknutí taveniny do dutiny a udržení tlaku v průběhu chlazení. Hlavními prvky plastikační jednotky jsou násypka, šnek, topení a tryska. [2]

Existují 2 druhy jednotek, starší pístová nebo modernější, v současnosti nejpoužívanější šneková plastikační jednotka. Mezi její výhody patří vysoký plastikační výkon, spolehlivá plastikace a homogenizaci roztaveného materiálu, který se nepřehřívá v tavicí komoře. Dále je tu záruka přesného dávkování materiálu a nízké ztráty tlaku během pohybu taveniny. [5]

### 1.3.2 Upínací jednotka:

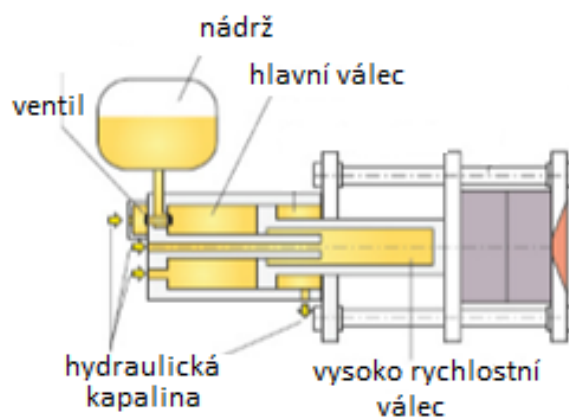
Úkolem upínací jednotky vstřikovacího stroje je otevření, uzavření formy a odolání vstřikovacímu tlaku během vstřikovacího cyklu. U vstřikovacích strojů převládají 2 druhy upínacích jednotek, můžou to být mechanické nebo hydraulické. [10]

Mechanická upínací jednotka je pro otevírání a uzavírání formy ovládána hydraulickým válcem. Maximální uzavírací síly se přenáší, když je systém plně vysunut, jakmile se blíží forma k uzavření, uzavírací síla se zvyšuje a proces se zpomalí. [10]



Obrázek 5. Mechanická upínací jednotka [10]

U hydraulické upínací jednotky je výhodou hydraulický systém, u kterého je maximální upínací síla dosažena v jakékoliv uzavírací poloze formy a to i pro různé velikosti formy bez větších úprav systémů. [10]



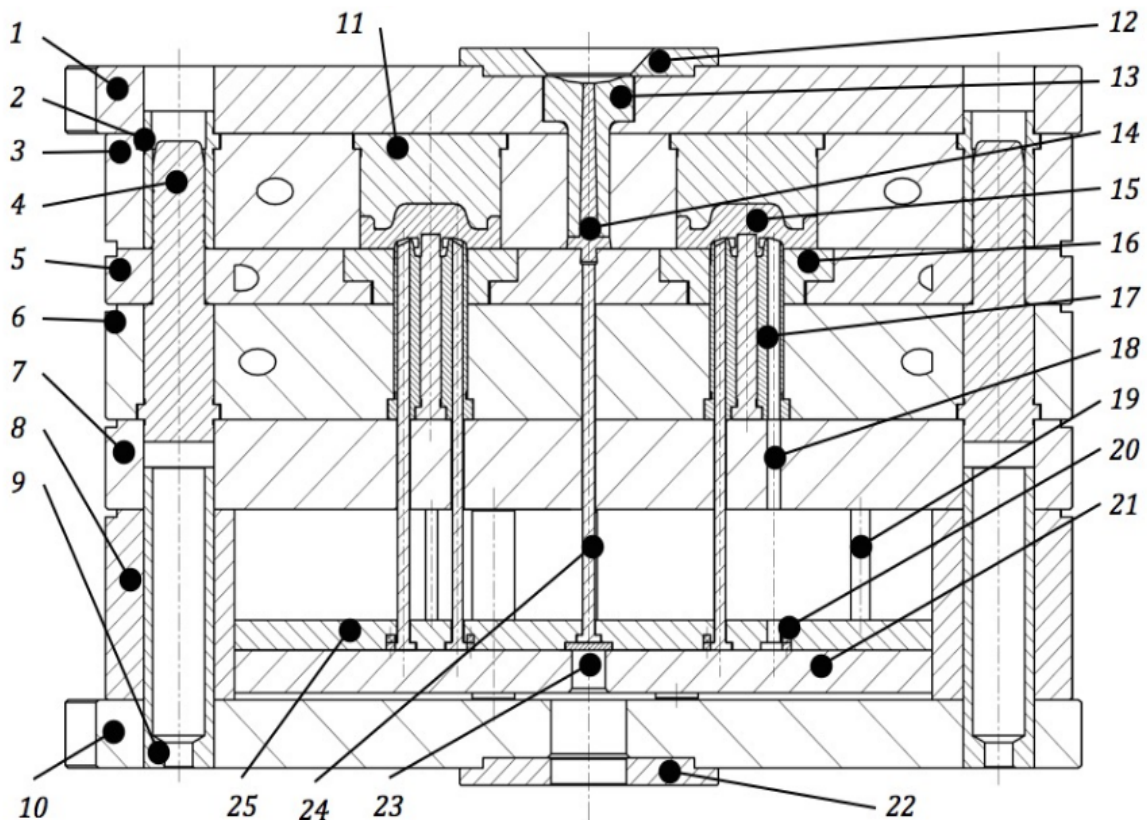
Obrázek 6. Hydraulická upínací jednotka [10]

### 1.3.3 Forma:

Ústředním bodem vstřikovacího stroje je forma. Tavenina je dopravena skrz dutinu formy, kde se ochladí, získá tvar a vysune se z ní výlisek. Konstrukční požadavky na formu jsou náročné. Forma musí odolávat vysokým tlakům, produkovat výlisky o přesných rozměrech a musí umožnit snadné vyjmutí výlisku. Volba materiálu, z kterého je forma vyrobena, závisí na druhu polymeru, na velikosti výrobku a jeho tvarové složitosti, na tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení, korozi a na finančních nákladech. [2,3]

Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi specifické a lze je rozdělit do následujících skupin:

- podle násobnosti – jednonásobné, vícenásobné
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení – dvoudeskové, třídeskové, etážové, čelist'ové a vytáčečí
- podle konstrukce vstřikovacího stroje – forma se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a forma se vstřikem do dělicí roviny [2]



Obrázek 7. Dvou desková forma. 1 – upínací deska pevné vstřikovací formy, 2 – vodící pouzdro, 3 – deska „A“, 4 – vodící sloupek, 5 – deska „C“, 6 – deska „B“, 7 – podpěrná deska, 8 – rozpěrka, 9 – centrovací pouzdro, 10 – upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 11 - jádro, 12 – střední kroužek pevné části vstřikovací formy, 13 – vtoková vložka, 14 – vtokový systém, 15 – vstřikovaný díl, 16 – vložka pro uložení jádra, 17 – jádro, 18 – vyhazovač, 19 – vracecí kolík, 20 – pojišťovací kolík, 21 – hlavní vyhazovací deska, 22 – středící kroužek pohyblivé části vstřikovací formy, 23 – závitový otvor pro připojení vyhazovacího systému, 24 – vyhazovač/ přidržovač vtokového systému, 25 – přidržovací vyhazovací deska [12]

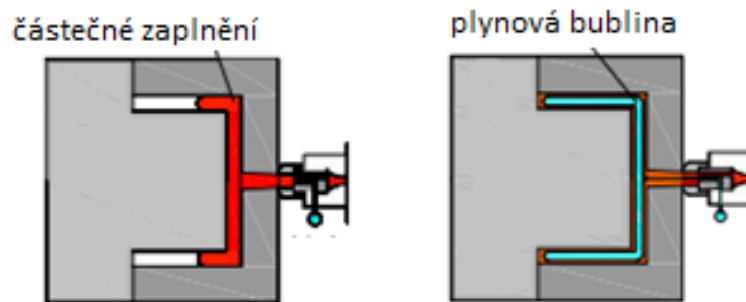
## 2 SPECIALIZACE VE VSTŘIKOVÁNÍ

Mimo klasické vstřikování existují speciální způsoby, které se liší v parametrech procesu, v konstrukci stroje, forem a kombinaci materiálů. [11]

### 2.1 GIT – vstřikování s podporou plynu

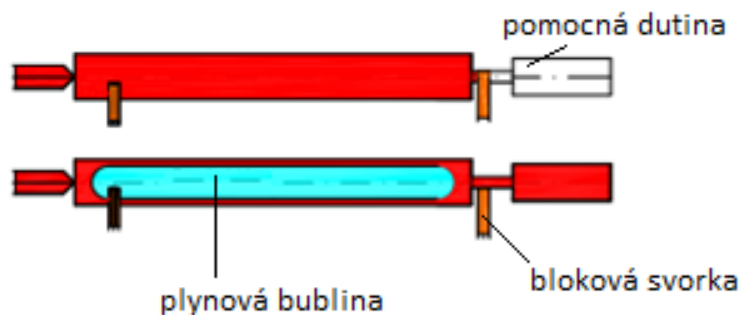
Technologie vstřikování metodou GIT nám umožňuje vyrábět díly s uzavřenými dutinami. Pro vytvoření jádra dutiny se používá inertní plyn, nejčastěji to je vysoce čistý dusík (minimální čistota 99,8 %). Vstřikovací proces GIT je podobný jako u konvenčního vstřikování, pouze plyn přebírá funkci dotlaku a je nutné kontrolovat jeho směr proudění. Protože je tlak plynu ve všech místech vytvořené dutiny stejný, velikost tlaku se oproti konvenčnímu vstřikování sníží o 40 až 80 %. Na začátku procesu je nejdříve vstříknuta tavenina a teprve potom až plyn, aby nedošlo k jeho úniku na povrch výstřiku. Vlivem rozdílné viskozity taveniny a plynu, se vytváří jiný typ proudění a je důležité kontrolovat směr pohybu. Plyn se přivádí do určitého místa v okamžiku, kdy ještě tavenina nestačila ztuhnout vlivem kontaktu se stěnou formy, anebo do míst kde se tavenina pohybuje. Na začátku cyklu se přivádí plyn o nižším tlaku, aby se nevytvořili povrchové vady. Pro dosažení přesně tvarovaného dílu, se po úplném naplnění dutiny formy začne tlak zvyšovat. Plyn můžeme přivádět pomocí trysky nebo injektoru s průměrem jehly 3 až 5 mm. U injektoru může dojít při zpětném odsávání plynu k ucpání jehly taveninou. Důležitým parametrem je tloušťka stěny výstřiku, která se dá ovlivnit dobou prodlevy mezi vstřikováním taveniny a plynu, čím delší prodleva tím tlustší stěna vylisku. Ve srovnání s konvenčním vstřikováním má vstřikování metodou GIT nižší uzavírací sílu, menší smrštění a hmotnost výrobku, doba cyklu je kratší a to vlivem zmenšení tloušťky stěny výrobku. Nevýhodou jsou vysoké konstrukční nároky na formu a tím i její cena, dále pak řízení procesu a chlazení v místech kanálek. Pro tvorbu dutiny se používají dvě možné techniky. [2,5]

- Krátký vstřik – dutina formy je jen částečně naplněna taveninou a následně je tlakem plynu dutina zcela vyplněna. Až je vylisek dostatečně rozměrově stabilní, plyn se nechá samovolně uniknout do okolí.



Obrázek 8. Metoda krátkého vstřiku [13]

- Dlouhý vstřík – forma je naplněna ze 100 % taveninou, potom je plyn vstříknut do dutiny formy a tavenina je vytlačována do pomocné dutiny, která je otevřena na začátku foukání. [10]



Obrázek 9. Metoda dlouhého vstřiku [13]

Praktické použití výrobku z GIT vstřikování může být rozděleno do 3 kategorií:

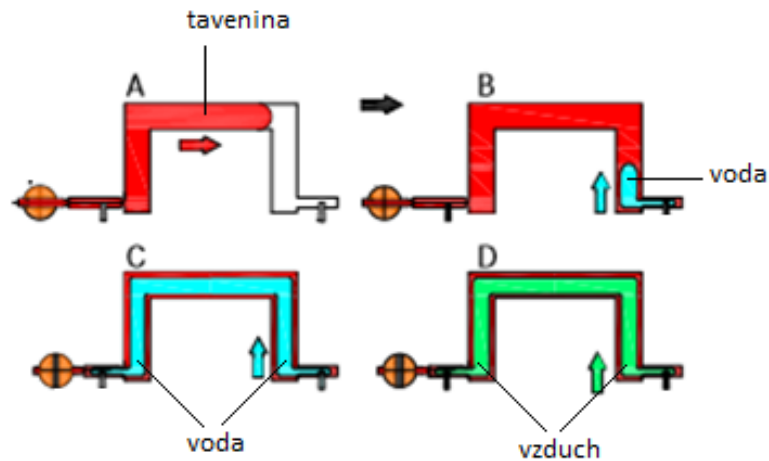
- Díly s dutým jádrem (trubky), které se používají pro snížení spotřeby materiálu. V praxi to jsou madla, opěradla židlí, sprchové hlavice a vodovodní výtoková hubice.
- Konstrukční části s vestavěnou sítí kanálů, které snižují deformaci, zvyšují pevnost a kvalitu povrchu. V praxi to jsou automobilové díly, kryty strojů, zahradní nábytek a satelitní talíře.
- Komplexní díly z různě tlustých částí, které jsou sestavené do jednoho návrhu, což snižuje výrobní náklady. V praxi to jsou dveře automobilů, televizní skříně a počítačové tiskárny [5]



Obrázek 10. Aplikace výrobků metodou GIT [2]

## 2.2 WIT - vstřikování s podporou vody

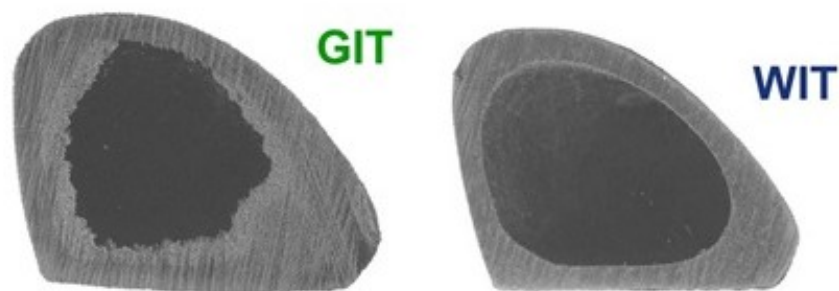
Další velmi podobnou technologií pro vytváření dutých těles je technologie WIT (water injection technology), která používá k vytvoření dutiny vodu. Technologické principy jsou podobné jako u GIT vstřikování. Voda je do taveniny vstřikována pomocí pumpy. Čelo vody působí na taveninu jako vytlačovací píst a při jejím kontaktu se vytvoří tenká membrána. Rozdílným parametrem u technologie WIT je teplota, která se může používat jen v určitém rozmezí, protože voda by se neměla během procesu odpařovat, což závisí nejen na druhu polymeru ale také na tlaku, kterým je voda do taveniny vstříknuta. Voda stejně jako plyn, přebírá funkci dotlaku. Na začátku procesu je zvolen tlak vody nižší a po úplném naplnění tvarové dutiny formy se tlak zvýší, aby se dosáhlo přesného tvaru výrobku. Přbytek taveniny je vytlačen zpět do plastikační jednotky přes sekundární dutiny. Voda je vytlačena z dílu vzduchem nebo je odsátá zpět do zásobníku a znovu použita do výrobního cyklu. Voda, oproti plynu, má větší chladicí účinek, a tak má WIT kratší dobu chlazení a tím i kratší celkovou dobu výrobního cyklu a vnitřní stěny plastových dílů mají velmi hladký povrch. Metodou WIT vyrábíme kliky, pedály pro vozidla, ramínka na oblečení, opěradla sedadel, kancelářské a sportovní vybavení. [2,13]



Obrázek 11. Princip WIT technologie, A – vyplnění dutiny, B – přívod vody, C – vytvoření dutiny vodou, D – vyfouknutí vody vzduchem [13]



Obrázek 12. Aplikace výrobků metodou WIT[2]



Obrázek 13. Rozdíl vnitřní stěny plastového dílu metodou GIT a WIT [14]

### 2.3 Technologie vícekomponentního nebo vícebarevného vstřikování

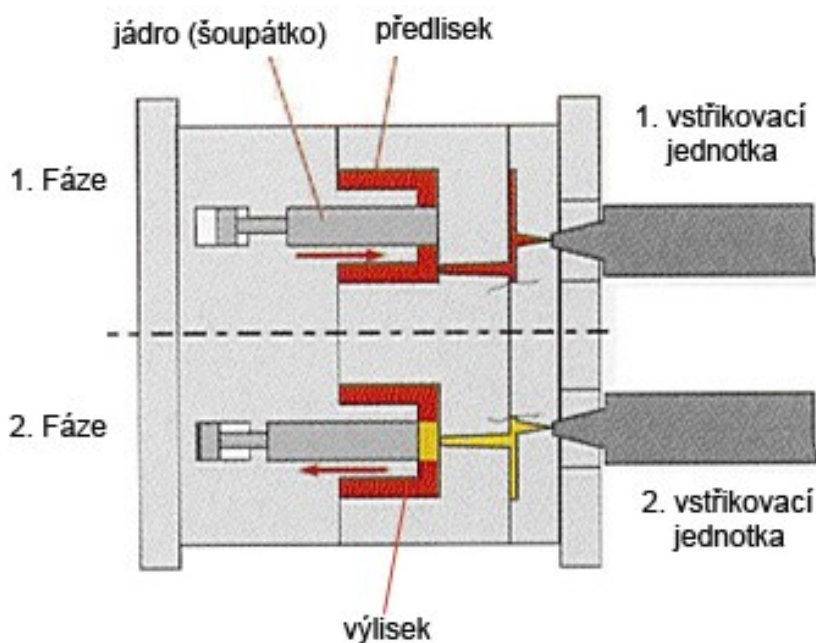
Technologie vícekomponentního nebo vícebarevného vstřikování umožňuje na jednom výlisku kombinovat dva a více materiálů nebo dvě a více barev. Technologie se vyvíjela postupně a nejdříve se vstřikovalo více barev stejného polymeru a později až více dru-



hů polymerů. Tato technologie se od klasického vstřikování liší pouze tím, že ve formě jsou připojeny dvě, tři nebo čtyři vstřikovací jednotky. Vstřikovací jednotky mají samostatně ovládané vytápění a dávkování a jejich umístění je konstrukčně odlišné podle druhu a počtu komponentů, například u dvoukomponentního vstřikování je jedna vstřikovací jednotka umístěna horizontálně a druhá vertikálně. [2]

Mezi nejdůležitější činnost u technologie vícebarevného a vícekomponentního vstřikování patří překládání výlisků z jedné pozice do druhé. Z pohledu přemísťování výlisků se mohou použít následující způsoby:

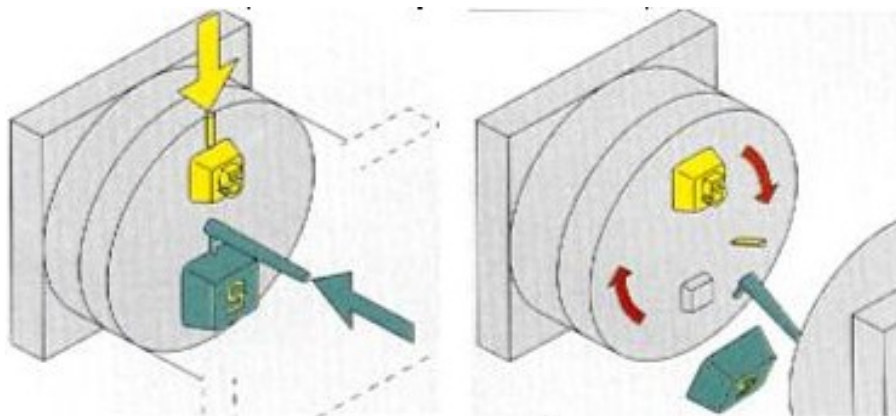
- rotace formy kolem vodorovné osy
- rotace formy kolem vertikální osy
- rotace části formy
- použití šoupátka
- použití robotu



Obrázek 14. Vícekomponentní vstřikování s použitím šoupátka [2]

Nejjednodušší je dvoukomponentní vstřikování. V prvním kroku je nastříknut první materiál nebo barva, v druhém kroku, po přemístění výrobku do druhé pozice, se vstřikuje druhý materiál nebo barva a díly se spojí.[11]





Obrázek 15. Princip dvoukomponentního vstřikování a otočení kolem vodorovné osy[2]

Technologie vícekomponentního vstřikování se využívá např. při výrobě kartáčků na zuby. Vstřikovací stroj má 5 vstřikovacích jednotek. Jedna jednotka pracuje horizontálně a čtyři jsou uspořádány svisle na společné základové desce. Tento výrobní proces umožňuje výrobu 4 barevných zubních kartáčků kombinací PP a TPE v jenom výrobním kroku. Další produktem jsou strojní klávesnice, které jsou vyrobeny kombinací termoplastu a silikonu pro vytvoření měkkého ale zároveň pevného materiálu, dále můžeme technologií vyrábět kryty na mobilní telefony, světla a sportovní vybavení.[15]

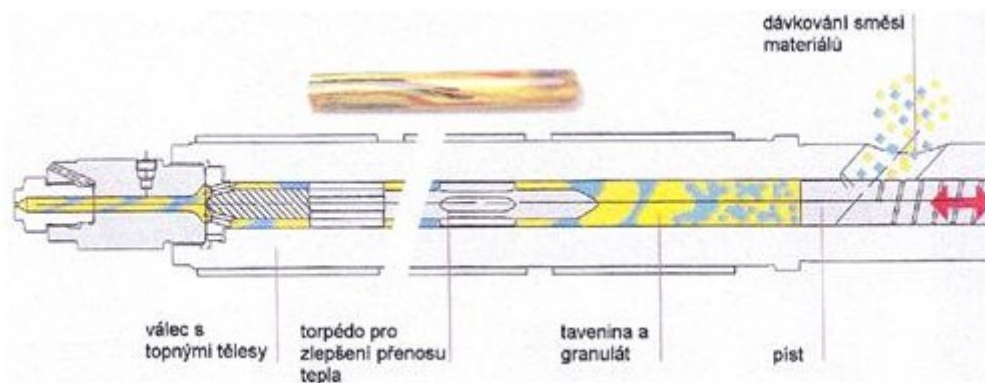


Obrázek 16. Aplikace výrobků metodou vícekomponentního vstřikování [2]

## 2.4 Technologie mramorového vstřikování

Mramorové vstřikování je další možností v technologii vícekomponentního nebo vícebarevného vstřikování. U mramorového vstřikování dochází k nerovnoměrnému míchání použitých polymerů. Nejčastěji se využívá více barev od jednoho druhu polymeru. Plastikace polymeru se provádí pomocí speciálního hnětacího členu, který má z části tvar pístu a z části šneku. V důsledku toho nedochází k tak intenzivnímu míchání a materiál je

nehomogenní, kvůli tomu se na výrobku objevují různě intenzivní barevné oblasti, které nemají ostré ohraničení jako u vícekomponentního a vícebarevného vstřikování.[2]



Obrázek 17. Konstrukce vstřikovací jednotky u mramorového vstřikování [2]

## 2.5 Intervalové vstřikování

Další možností, jak vstřikovat vícebarevné vylisky, je použití technologie intervalového vstřikování. Její princip spočívá na míchání dvou barevných odstínů ve speciální trysce před vstříknutím do dutiny formy. Na rozdíl od vícebarevného vstřikování není vstřikovací jednotka připojena do vstřikovací formy, ale ústí do míchací trysky, kde dojde ke spárování vstřikovacích jednotek. Dalším rozdílem od vícekomponentního vstřikování je rozložení barev, u intervalového nejsou jasné hranice mezi oběma odstíny a zabarvení je ovlivněno sekvenčním cyklem, tvarem vstřikovaného dílu, umístěním vtokového systému a tokovými vlastnostmi vstřikovaného materiálu. [2]

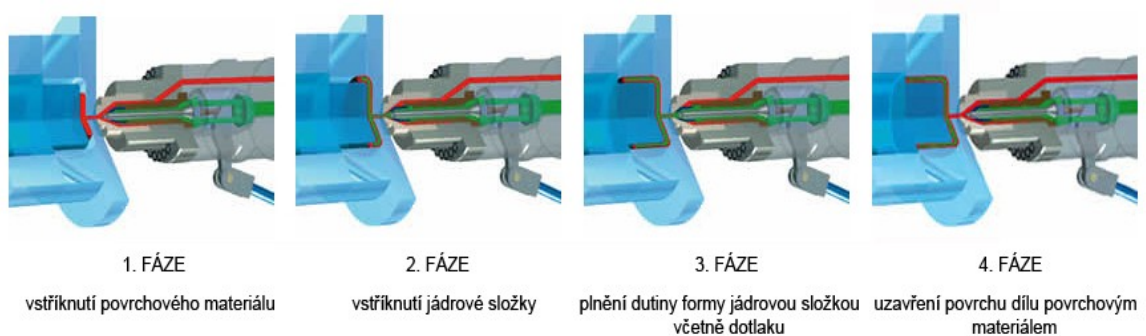


Obrázek 18. Aplikace výrobků metodou intervalového vstřikování [2]

## 2.6 Vstřikování sendvičů

Technologie vstřikování sendvičů je založena na spojování komponentů v rámci jednoho výrobku. Na rozdíl od vícekomponentního vstřikování používá stejné brány a vstřikovací systém. Materiál, který je aplikován první, tvoří povrchovou část tzv. slupku, vnitřek dílu se skládá z druhého materiálu a ten představuje jádro. Jako jádro se můžou v omezené míře použít také recyklované materiály. Tato struktura se vytvoří v důsledku laminárního proudění polymeru taveniny v dutině formy. Vrstva na povrchu přichází do styku s formou a tvoří se zamrzlá vrstva, která se už dále neposunuje. Posun nastává ve vrstvách, které ještě neztuhly, a tím dojde k vyplnění dutiny po celé ploše. Nakonec se vstříkne ještě tavenina materiálu, který tvoří slupku a tím se výrobek uzavře. Povrchový materiál nemusí být stejný jako materiál jádra, ale musí se mezi sebou navzájem mísit. Sendvičové vstřikování využívá stroje se dvěma vstřikovacími jednotkami. Proces je téměř shodný s klasickým vstřikováním, ale stěžejní proces je plnění formy, které musí být nastaveno tak, aby plnění bylo stálé a postupné. Výsledný tvar výlisku závisí na tokových vlastnostech materiálů, na geometrii výrobku a na umístění tokového systému.[2,10]

Technologie vstřikování sendvičů se využívá hlavně u výrobků, u kterých je možné použít recyklát nebo vyztužit výrobek, kombinují se mechanické vlastnosti rozdílných plastů, například jádro obsahuje skleněná vlákna a povrch je z kvalitního plastu. [2]



Obrázek 19. Princip vstřikování sendvičů [2]



Obrázek 20. Aplikace výrobků metodou sendvičového vstřikování. [2]

## 2.7 RIM – reakční vstřikování

Naprosto odlišnou technologii ve zpracování polymerů je RIM technologie, zkratka RIM představuje reakční vstřikování, které se liší od toho běžného tím, že nevstřikujeme taveniny polymeru, ale ve směšovací hlavě jsou smíchány dvě reagující kapaliny nízké viskozity. Kapaliny (monomery nebo oligomery) jsou připravovány odděleně a k jejich smíchání dojde, až před vstřiknutím do dutiny formy, kde proběhne chemická reakce – polymerace. Výhodou vstřikování kapalin s nízkou viskozitou, je použití nízkých tlaků pro vstřikování a pro uzavírací síly, tím pádem klesá i cena forem, které nemusí být tak robustní. Srovnání těchto parametrů s konvenčním vstřikováním je popsáno v tabulce 1. Další výhodou je rozměrová přesnost, protože u výrobku nedochází k vnitřnímu pnutí, dodatečné deformaci a k vzniku propadlin i pro rozdílné tloušťky stěn. Zařízení a formy pro reakční vstřikování jsou levnější než v případě klasického vstřikování, protože používáme nižší tlaky. Nevýhodou této technologie jsou poměrně dlouhé doby cyklů a dosažení nižší kvality povrchů pro aplikaci laků. Pro reakční vstřikování se používají materiály jako dicyklopentadien (DCPD) s obchodním názvem Telen, který je vysoce houževnatý, odolný proti vysokým teplotám a je vhodný pro výrobu extrémně velkých dílů nákladních, zemědělských a stavebních strojů. Další reakční systém má označení Nyrim, který obsahuje blokový kopolymer na bázi nylonu-6 a polyeter. Tento materiál je vysoce houževnatý, odolný vůči chemikáliím, obroušení a vysokým i nízkým teplotám. Nyrim je vhodný k výrobě tlustostěnných dílů nebo dílů s rozdílnou tloušťkou stěn. Materiál, který se také používá v RIM, je polyuretan (PU). Polyuretan vzniká reakcí více funkčních izokyanátů s polyalkoholy, vykazuje vysokou chemickou odolnost, rozměrovou stálost a relativně nízkou

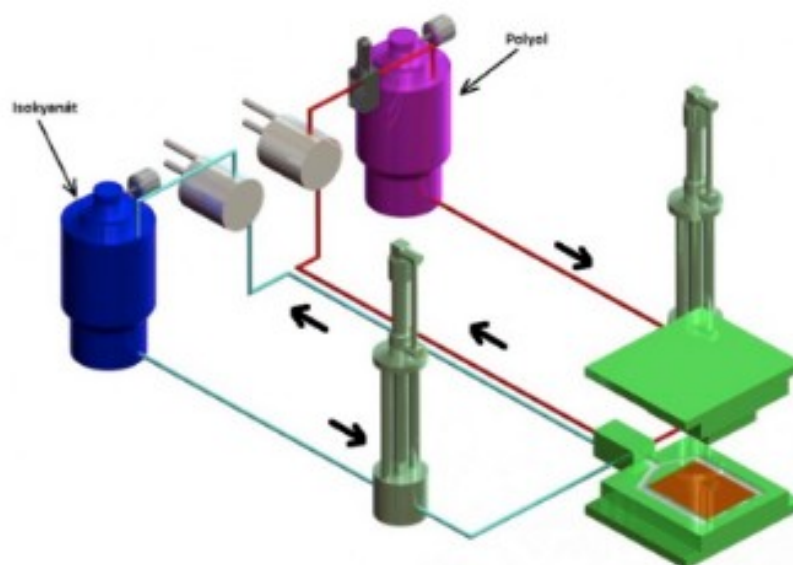
kou cenu materiálu. Blízký systém k PU je tzv. Bayflex 180/190, který navíc obsahuje polyuretan. Tento systém se využívá k výrobě tenkostěnných dílů až 1,5 mm a má především velmi krátký výrobní cyklus asi 2 minuty. Vyrobene díly odolávají vysokým teplotám, mají rozměrovou stálost a rázovou odolnost za nízkých teplot. [2,6]

RIM technologie existuje v různých variantách.

- RRIM – zesílené reakční vstřikování, které se používá k výrobě kompozitu, jsou vyztuženy krátkým, skleněným vláknem nebo vločkou, která zvyšují tuhost a rozměrovou stabilitu.
- SRIM – strukturální reakční vstřikování, které se používá k výrobě kompozitu, kde je vyztužená skleněná rohož umístěna uvnitř formy s vytvrzovací pryskyřicí.[10]

Tabulka 1. Srovnání parametrů mezi technologií RIM a klasickým vstřikováním [2]

	RIM	Vstřikování
Teplota systému [°C]	40 - 60	150 - 370
Viskozita systému [Pa * s <sup>-1</sup> ]	0,1 - 1	10 <sup>2</sup> - 10 <sup>5</sup>
Vstřikovací tlak [MPa]	10 - 20	200 - 100
Uzavírací síla [kN]	500	300 – 30000



Obrázek 21. Princip technologie reakčního vstřikování [12]





Obrázek 22. Aplikace výrobků reakčním vstřikováním [2]

## 2.8 Mikrovstřikování

Pro výrobu dílů o mikroskopických rozměrech, u kterých se kladou nejpřísnější nároky na rozměrovou přesnost, se využívá technologie mikrovstřikování. Komponenty jsou často menší než zrna granulí. Aby bylo docíleno kvalitní produkce, musí být tavenina zcela homogenní a doba setrvání taveniny ve vstřikovací jednotce odpovídajícím způsobem krátká, podle principu první dovnitř – první ven. Průtokové cesty z taveniny se udržují co možná nejkratší, aby se zabránilo zbytečným ztrátám tlaku. Hotové díly jsou spolehlivě odstraněny pomocí robotického systému. Nejdůležitější funkcí formy je spolehlivé od vzdušnění dutin a regulace teploty. Teplota stěny formy má při vstřikování velmi vysokou teplotu, což má za následek mnohem pomalejší chlazení a tvrdnutí výlisku. Standardní velikosti šneku jsou 15 a 12 mm. Šroub je navržen tak, aby byl vysoce odolný proti opotřebení, aby bylo možné zpracovávat i brusný materiál. Mikrovstřikování se používá na výrobu ozubených koleček z POM, na hodinové strojky a tzv. ferule, které umožňují spojení skleněných optických vláken a zajišťují přenos dat. U těchto výrobků je důležité dodržet toleranci rozměrů v řádech mikronů. Přesnost je zajištěna polohově regulovatelným šnekem. [16]

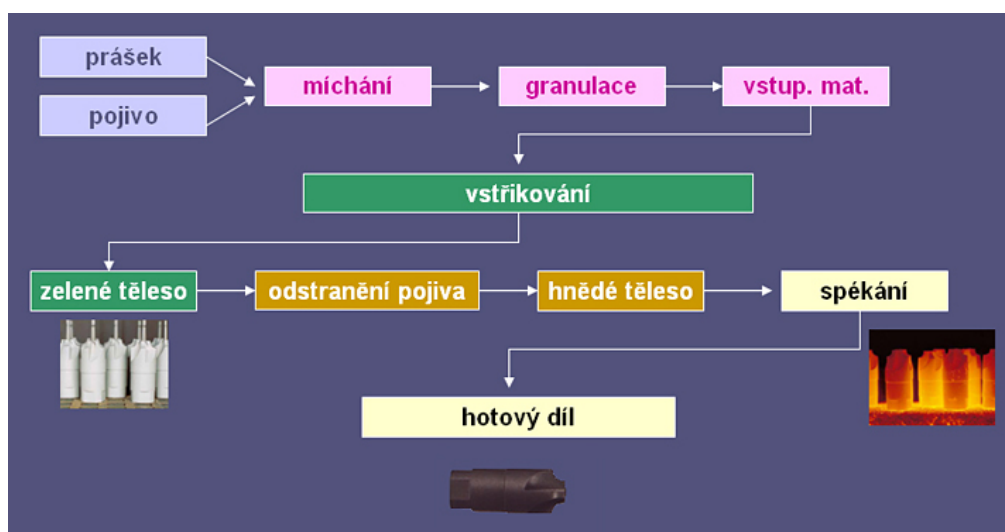


Obrázek 23. Aplikace výrobků metodou mikrovstřikování [16]

## 2.9 PIM – vstřikování plastů s prášky

PIM technologie (powder injection molding) je metoda výroby dílů pomocí jemných prášků smíchaných s vhodným polymerem, který plní funkci pojiva. Výběr práškových materiálů je rozsáhlá škála, používají se tvrdé a drahé kovy, oxidy křemíku a hliníku, ocel a keramika. V první fázi je prášek smíchán s pojivem na homogenní směs výchozího materiálu. Výchozí materiál se taví v plastikační jednotce pomocí tepla a potom je vstříknut pod vysokým tlakem do formy. Po ochlazení je pomocí robotického systému odstraněna ztvrdlá tvarovaná část tzv. zelený výrobek. Dalším krokem je odstranění pojiva z polotovaru pomocí katalytických procesů, tepelným rozkladem nebo rozpuštěním ve vodě či acetonu. Výsledkem je tzv. hnědý výrobek, který je porézní, křehký a relativně nestabilní. Následuje spékání v pecích, při kterém musí být udržován teplotní a tlakový profil. Finální výrobek se vyznačuje velkou homogenitou, vysokou hustotou materiálu, vynikajícími povrchovými vlastnostmi a minimální tolerancí. [17]

V praxi se používá vstřikování kovového prášku - MIM a keramiky CIM technologie. MIM vytváří výrobky s vysokou houževnatostí a pevností, které se používají jako rameno páky pro ovládání ventilu ve spalovacích motorech. CIM produkuje výrobky s minimální rozměrovou tolerancí, které se používají po připojení svazků optických vláken pro přenos dat. Práškovým vstřikováním se vyrábí zadní strany smartphonů, páky ve ventilech rozvodů motorů automobilů, ozubené kolo a skelet hodinek. [17]



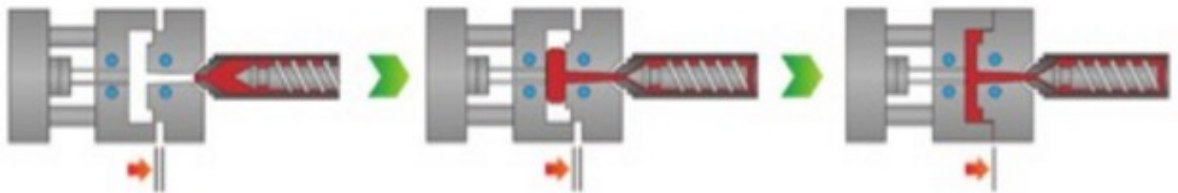
Obrázek 24. Jednotlivé fáze PIM technologie [2]



Obrázek 25. Aplikace výrobků metodou PIM [17]

## 2.10 CIM - vstřikování s dolisováním

Metoda CIM (compress injection moulding) je technologie charakterizována změnou objemu dutiny formy a fází dotlaku během probíhajícího cyklu do pootevřené vstřikovací formy. Proces je spuštěn pootevřením formy do předem stanovené pozice. Následuje vstřikování objemu taveniny a po naplnění formy se vytváří tlak v podobě uzavírací síly. Metodou CIM je dosaženo snížení smršťování a deformačních účinků. Komponenty jsou rozměrově přesné a mají nízké vnitřní pnutí, protože tlak působí na materiál v celém objemu stejně. Metoda CIM se využívá např. k výrobě CD kompakťů, čočky pro svítidla s LED diodami a řemenice. [18]



Obrázek 26. Princip CIM technologie [2]



Obrázek 27. Aplikace výrobků metodou CIM [18]



### 3 MODERNÍ TRENDY VE VSTŘIKOVÁNÍ

Tato kapitola bude zaměřena na popis a hodnocení nejnovějších trendů posledních pěti let ve zpracování polymerů vstřikováním a možné přínosy nových metod a budoucí aplikace.

#### 3.1 SynFlow vstřikování

Technologii SynFlow představila společnost Synventive Molding Solutions, která nabízí dvourychlostní sekvenční vstřikování horkými vtoky. Technologie uživatelům umožňuje optimální kontrolu nad tokem taveniny a minimalizaci povrchových vad na dílech velkých rozměrů např. automobilové nárazníky, přístrojové desky. SynFlow technologie využívá dvourychlostní jehly pro kaskádové nebo sekvenční vstřikování horkými vtoky. Rychlost jehly je na začátku procesu snížena, jehla není zcela otevřena, aby nedošlo k velkému vniknutí natlakované taveniny do dutiny formy. Následně se jehla otevře a tavenina proudí plnou rychlostí pro správné naplnění dílu. Tento dvourychlostní proces eliminuje zpomalování nebo zastavování toku čela taveniny a změny v rychlosti tečení. Tím dochází k plynulejšímu plnění dutiny, výrobky mají velkou kvalitu povrchu a výrobní proces je efektivnější. [19]

SynFlow v plastikářském průmyslu eliminuje povrchové vady, které vznikají běžným vstřikováním. Zabraňuje vadám vzniklé při změně tlaku, stopy proti vtoku při vstřikování přímo do dílu, propady po úpravách povrchu, snížení přilnavosti povrchových úprav. Výsledkem je takřka bezchybný díl, snížení výroby zmetků a celková optimalizace vstřikovacího procesu. [19]

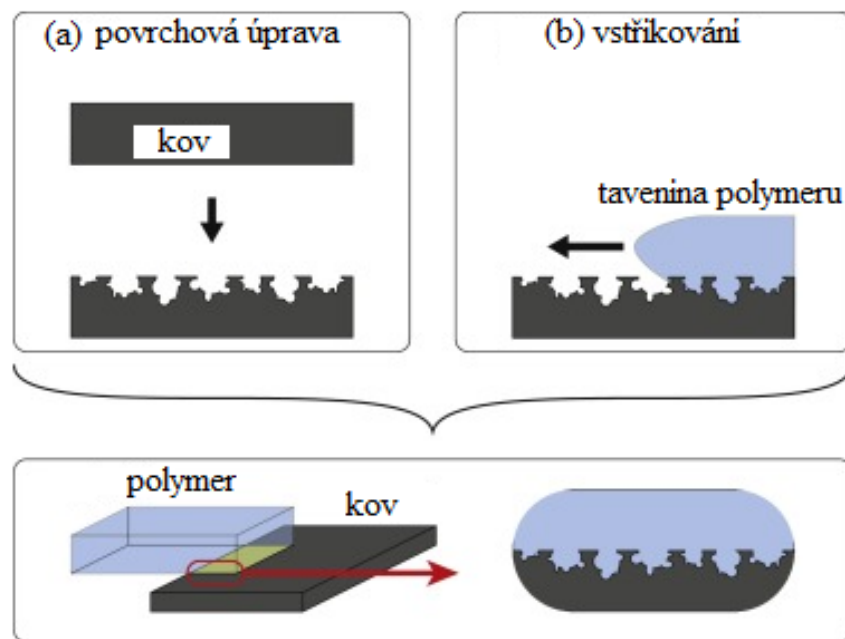


Obrázek 28. A - vzhledová váda při použití klasického vstřikování, B – stejný díl bez vad s použitím SynFlow [19]

### 3.2 IMDJ vstřikování

IMDJ (injection molded direct joining) vstřikování je proces spojování materiálu kov – plast založený na povrchové úpravě kovového nástavce vloženého do formy. Tyto rozdílné materiálové struktury jsou obvykle spojené pomocí lepidla, nebo mechanickým spojením s použitím šroubů a nýtů. Technika, která přímo spojuje kovové a plastové konstrukce bez dalších dílů, může snížit váhu, zjednodušit výrobní procesy a usnadnit navrhované omezení.[20]

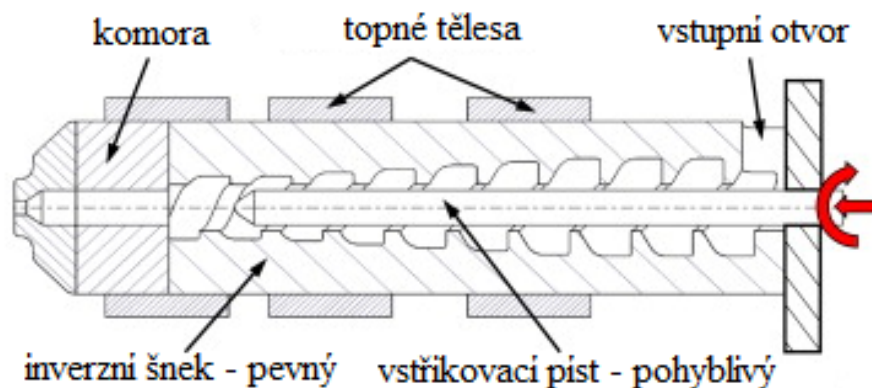
Tyto spojovací techniky lze rozdělit do dvou skupin. Jedna z nich představuje postup, kdy plastová konstrukce je tvořena předem a pak je spojena s kovovou konstrukcí tzv. samostatný typ. Pro metodu samostatných typů se tvoří spoje různými způsoby lokálního vytápění, například vytápění indukovaným laserem, použitím třecího bodové topení nebo ultrazvukové svařování. Lokální vytápění taví plast nebo kov v dotykové oblasti a báze jsou spojeny po ochlazení a vytvrzení. Tato metoda má však určité omezení týkající se materiálu a jejich tvaru a velikosti. V druhé skupině se tvarování plastické struktury a spojování zpracovávají současně tzv. in situ. Pro spojení plastu a kovu ve formě se upravuje povrch kovového dílu, například vytvoření chemického povlaku, který váže povrch plastu s kovem. Další možností je vytvoření mechanického zámku a ke spojení může dojít v povrchové nano-struktuře na kovovém dílu.[20]



Obrázek 29. Proces přímého spojování. [20]

### 3.3 Inverzní šnek

Plastové díly pro aplikace v technologii mikrovstřikování jsou stále složitější a náročnější na rozměry vylisků. Aby se dosáhlo vysoké výrobní reprodukovatelnosti při vstřikování mikro dílů, je zapotřebí přesné řízení vstřikovacího procesu. Pro ekonomickou výrobu jsou náklady na zhotovení mikročástic ovlivněny složitostí konstrukce a tím i výroba formy, minimalizováním množství taveniny pro snížení doby chlazení a tím i snížení tepelné degradace materiálu. Pro splnění požadavku zpracování malého množství taveniny byla navržena plastikace pomocí inverzního šneku, který je součástí válce pro dopravu taveniny. [21]



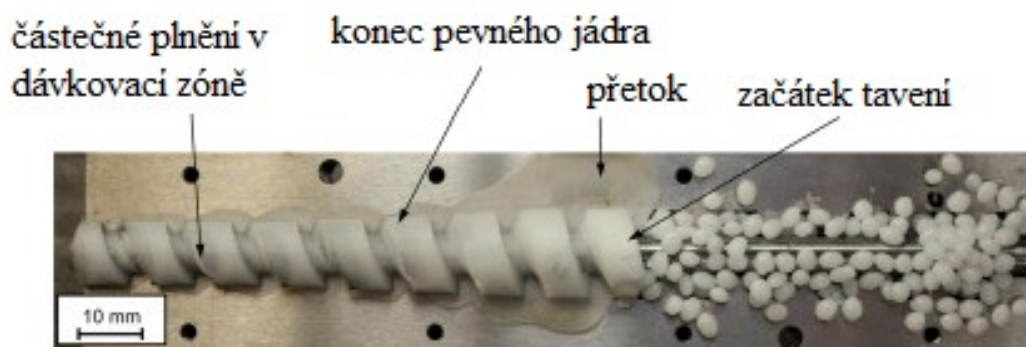
Obrázek 30. Koncepční návrh inverzního šneku. [21]

To umožňuje na jedné straně dosažení dostatečné hloubky v přívodním pásmu pro zpracování standardních granulí a na straně druhé se snižuje průměr vstřikovací pístu, který je umístěn sou ose uvnitř válce. Prostřednictvím řízeného tavení a homogenizace inverzního šneku, může být v kombinaci s vysokou přesností vstřikovacího pístu uvnitř válce drasticky snížen objem taveniny. Pro demonstraci zkušebního zařízení byla navržena zkušební zařízení různých tvarových kombinací pro válec a šnek. Teplota válce byla řízena ve čtyřech zónách, abychom simulovali podmínky spojení s výrobou. Pro experiment byla použita skořepina a testy byly provedeny s PP, POM a PMMA s různými parametry popsány v tabulce 2. [21]

Tabulka 2. Různé procesní parametry pro předběžné zkoušky [21]

Materiál	PP	POM	PMMA
Počet otáček [ $\text{min}^{-1}$ ]	15	30	60
Povrch pístu	hladký	hladký	hladký
Geometrie pístu	kulatý	šestihranný	drážkovaný

Tyto pokusy ukázaly, že homogenizace polymerní taveniny je možná pouze s drážkovými písty a při použití nízkých otáček. Ostatní pístové geometrie posunovaly pelety do jednoho z prvních kanálů před tím, než se jejich přeprava zastavila. Další vliv na dopravu a homogenizaci taveniny mají různé tvary, velikost a poměr stran pelet a materiálové vlastnosti zpracovávaných plastů. Zatímco válcovité pelety z PMMA jsou zpracovány v přívodním pásmu inverzního šroubu, měkké materiály ve tvaru čočky u POM se v inverzním šroubu taví rovnoměrněji. [21]



Obrázek 31. Tavení POM pomocí inverzního šneku umístěném v drážkovém pístu [21]

Koncept inverzního šneku je slibná alternativa do zavedení procesu mikrovstřikování, zejména kvůli dobré homogenizaci a krátké doby zdržení s kombinací opakovatelnosti výroby přesných dílů zejména pro lékařské aplikace s použitím materiálu citlivých na teplo. [21]

### 3.4 Zpracování tekutého silikonového kaučuku

Použití kapalných silikonu je výhodné tam, kde klasické a termoplastické elastomery dosáhnou svých limitů. Specifické materiálové vlastnosti kapalných silikonů se vytvoří zesíťováním. Vlastnosti silikonů zahrnují vynikající houževnatost, vysokou tepelnou odolnost až do 180 °C, pružnost při ochlazení na přibližně -50 °C, vysoké elektroizolační schopnosti, dobrou pevnost v tahu a zdravotní nezávadnost. Tekuté silikonu jsou dodávány ve dvou samostatných nádobách. Složka A obsahuje iniciační katalyzátor, složka B je síťovadlo. V dávkovacím systému se obě složky mísí pod tlakem ve směšovací jednotce vstřikovací jednotky v poměru 1:1, mohou se přimíchat i přísady, za účelem barvení nebo úpravě určitých vlastností materiálu konečného produktu.[22]

Po homogenizaci všech složek, se reakční směs materiálu přivádí pod tlakem do válcového modulu, který má regulovanou teplotu na 20 až 25 °C, aby se zabránilo předčasné vulkanizaci. Materiál je poté pomocí šneku vstříknut do horké formy o teplotě 160 až 220 °C, kde rychle ztvrdne. Vzhledem k nízké viskozitě silikonu musí být formy před vstřikováním odzdušněny, aby se zabránilo vytvářením spálených ploch a problémům s plněním a povrchem výlisku. Pro vyhození výlisku se používá individuální proud vzduchu nebo mechanický kartáč. V současné době jsou silikonové výrobky zastoupeny v technických aplikacích, zdravotnické technice a ve spotřebitelském sektoru. Rozsah použití je od konektorů, O – kroužků, trubek, elektrod, těsnění, klávesnice, dudlíků pro kojené láhve a dávkovací zařízení při balení potravin.[22]



Obrázek 32. Aplikace výrobků vstřikováním silikonu [22]

### 3.5 WPC – vstřikování dřevo-plastových kompozitů

Dřevoplastické komponenty můžeme definovat jako směs syntetických polymerů typu PE, PP a PVC v množství 30 % s přírodními produkty, zejména dřeva v podobě vláken a pilin, v množství 65 % a 5 % různých aditiv. Základní podmínkou je, aby plasty byly zpracovatelné do 200 °C, neboť při vyšších teplotách dochází k poškození dřevěných přísad obsahujících lignin a hemicelulózu. Z plastů se používá nejčastěji HD-PE s indexem toku taveniny 0,3 až 1,0 g/10 min, dále pak PP, PVC nebo bioplasty na bázi škrobu a ligninu. Hlavní složkou WPC jsou rostlinné produkty. Můžeme použít měkká i tvrdá dřeva např. smrk, jedlí, borovici, dub a jasan. Dřevěná vlákna by měla mít délku 0,5 až 3,0 mm s průměrem od 0,02 do 0,04 mm. Nejnovější trend v aplikacích jsou hydrofobizované dřevěné přísady, které zlepšují adhezi k polymeru a lze je zpracovávat až do 270 °C. Mezi aditivy se nejvíce využívá kompatibilizátor maleinanhydrid, který usnadňuje spojení hydrofilních povrchů dřev s hydrofobními plasty. Dále se přidávají barviva, UV stabilizátory, interní a externí mazadla, protiplísňové přísady tzv. biocidy a zhašedla. [24]

K výrobě WPC granulátů pro vstřikování lze využít několik zařízení, které jsou schopny upravit granulát podle požadavků. Nejjednodušší zařízení jsou hnětače, dále se využívají kónické protiběžné dvoušneky a paralelní souběžné dvoušneky. Cena granulátu pro WPC je o 20 až 30 % dražší než za čistý polymer a obsahuje všechna potřebná aditiva podle know-how výrobce. Ke snížení nákladů na výrobek se zkouší přidávat recykláž odpadů s využitím pro jádra profilů. [24]

Výrobky z dřevoplastových kompozitů jsou odolné proti vlhkosti, povětrnostním vlivům, nekorodují a nerozkládají se. Vhodným vybarvením lze docílit imitace vzhledu dřeva a výrobek se dá opracovávat obdobně jako dřevo, přičemž nevyžaduje nijak náročnou údržbu. Výrobky jsou tepelně stabilní až do 1400 °C, odolné vůči většině chemikálií, včetně olejů, aromatickým rozpouštědlům, soli a chloru z plaveckých bazénů. Statické a dynamické namáhání snášejí obdobně jako dřevo. Mají bezpečná protiskluzový povrch bez třísek a štěpů. Garantovaná životnost se pohybuje kolem 20 let a jsou snadno 100% recyklovatelné, nebo je lze využít energeticky. Výrobky z WPC se využívají jako desky na terasy nebo fasády. Jejich aplikace je ekologicky příznivější než aplikace z klasických plastů z fosilních zdrojů nebo tropických těžkých dřevin. [24]

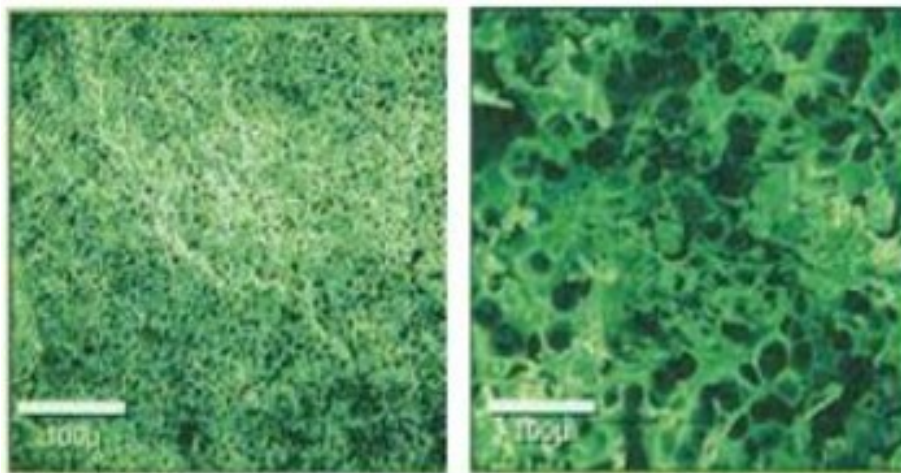
### 3.6 Vstřikování s napěňováním – MuCell

Metoda MuCell přináší velký potenciál v úspoře materiálu a hmotnosti vyráběných dílů. V úplných začátcích se ke granulátu přidávalo malé množství kypřicího prášku, který vytvořil pěnovou strukturu a tím na výrobku odstranil propadliny a snížil jeho hmotnost. Další milník ve vstřikování strukturních pěn byl s použitím chemického nadouvadla nebo fyzikálně přídatkem uhlovodíků. Principem této metody bylo vhánění nadouvadla pod vysokým tlakem přímo do závitů šneku, který taval granulát. Známým výrobkem při použití uhlovodíků, konkrétně pentanu, je polystyren pro stavebnictví, který se používá na zateplení domu. [25]

Metoda MuCell využívá k vytvoření strukturní pěny plyn, konkrétně dusíku nebo oxidu uhličitého. Plyn se aplikuje v nadkritickém stavu, do upraveného vstřikovacího stroje se speciálním vybavením. Tohoto nadkritického stavu dosáhneme při zahřátí plynu na teplotu vyšší než je jeho kritická teplota a při současném stlačení, na hodnotu tlaku vyšší než je jeho kritický tlak. Plastikační jednotka obsahuje upravený šnek, který vytváří po injekci plynu z obou složek homogenní směs. Aby nedošlo k předčasné expanzi homogenní směsi je střední část šneku vybavena zpětným ventilem, který zabraňuje expanzi ve směru k materiálovému vstupu a v přední části je pohyb homogenní směsi omezen uzavíratelnou tryskou. Důležitým faktorem je zachování tlaku nad kritickou hodnotu SFC (super critical fluid), které se dosáhne regulací polohy šneku a použitím uzavíratelné trysky. Aby byl pokles tlaku a tím i začátek napěnění posunut až k plnění formy, musí dojít k rychlému vstřiku, proto je nutné, aby měl stroj vysoký vstřikovací výkon. Rychlé vstříknutí nám usnadňuje také plny, který snižuje viskozitu taveniny. Po vstříknutí taveniny do formy se

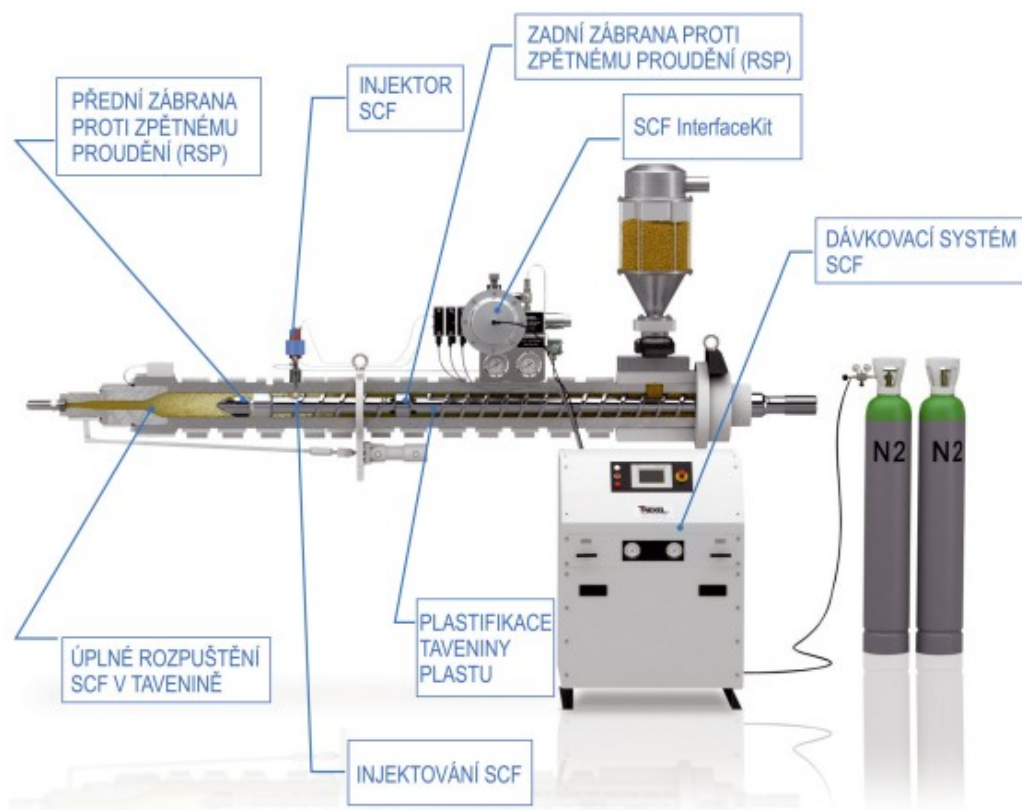


snižuje tlak a začnou vznikat bublinky plynu, které nám vytváří pěnovou strukturu. V případě metody MuCell dochází ke vzniku rovnoměrně rozložených bublinek s průměrem pod 100  $\mu\text{m}$ . Hotový výrobek obsahuje tzv. integrální pěnovou strukturu, která se skládá z napěněného jádra s nízkou hustotou, obklopené tenkou kompaktní krycí vrstvou s vysokou hustotou. Oproti konvenčnímu vstřikování má metoda MuCell několik výhod. Napětí taveniny vyrovnává smršťování na stěně nástroje a tak je možné vstřikovací proces uskutečnit při výrazně nižším dotlaku, v ideálním případě je možné tuhle fázi vstřikovacího cyklu úplně vypustit. Rovněž můžeme zvolit nižší teploty formy a taveniny. Tyhle faktory snižují uzavírací sílu o 30 až 50 % a zkracují dobu cyklu asi o 20 % a je možné snížit hmotnost v závislosti na geometrii o 10 až 20 %. Nevýhodou technologie MuCell je kvalita povrchu výrobku, na které vznikají šmouhy, vyšší náklady na strojní vybavení. Vstřikovací stroj musí obsahovat speciální šnek, přídatná zařízení pro zdroj plynu, regulátor tlaku plynu a injektory. Výrobky zhotovené metodou MuCell se využívají v automobilovém průmyslu jako olejové vany, kryty motorů nebo tělesa zámku dveří. [25]



Obrázek 33. Porovnání struktury při použití dusíku (vlevo) a klasického nadouvadla [2]

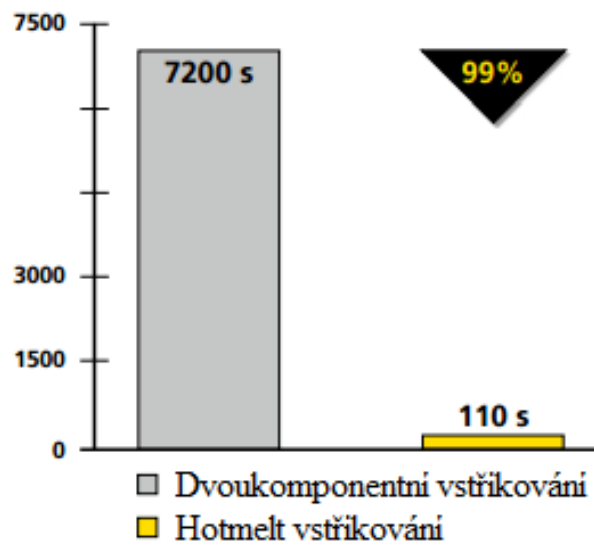




Obrázek 34. Koncept zařízení pro metodu MuCell [25]

### 3.7 Hotmelt vstřikování

V téměř každém průmyslu je důležité, aby elektronika a elektrické konektory byly chráněny před vodou a dalšími vlivy prostředí. Metoda vstřikování Hotmelt nám umožňuje uložit elektronickou součást do tzv. pouzdra, která tvoří tavné lepidlo, které vykazuje šetrnost k životnímu prostředí a vynikající vlastnosti materiálu. Tavná lepidla vykazují vynikající přilnavost, jsou odolné vůči benzínu, olejům, kyselinám nebo zásadám. Mezi další výhody patří odolnost vůči UV záření a snadné vybarvování použitím pigmentů. Vstřikovací proces je založen na principu dvoukomponentního vstřikování, který byl upraven pro proces Hotmelt, která je časově a ekonomicky méně náročná. Při vstřikování Hotmelt se používá nižší tlak, kvůli citlivým elektronickým částem. Pro dobré vlastnosti vedení tepla, se využívají hliníkové formy, což snižuje investiční náklady a také kratší výrobní cykly, které zvyšují produktivitu.



Obrázek 35. Srovnání hmotnosti vstřikovaného dílu metodou Hotmelt a dvoukomponentního vstřikování [26]



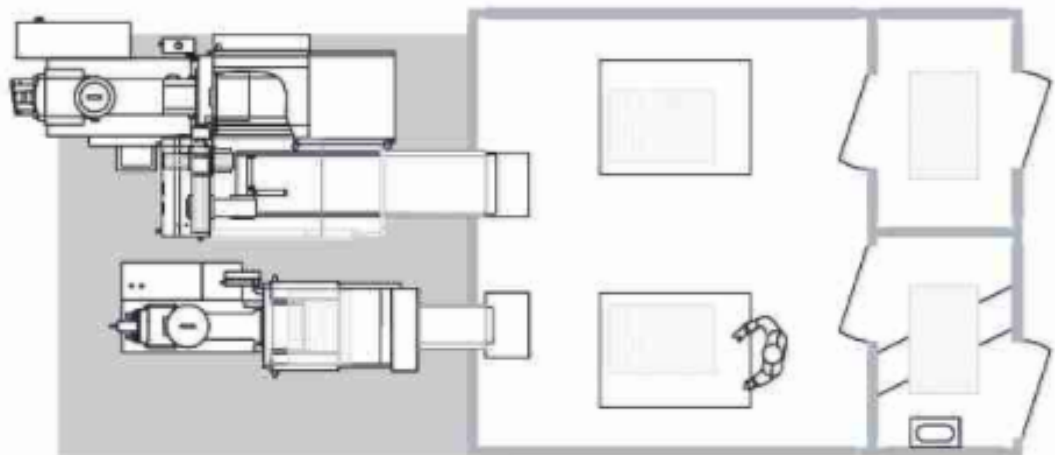
Obrázek 36. Zapouzdřená LED dioda [26]

### 3.8 Technika čistých prostor:

Plasty jakožto materiály odolné vůči chemikáliím a biologicky kompatibilní se staly základním materiálem v lékařských a technických aplikacích. Především v lékařských aplikacích podléhají výrobky přísným hygienickým podmínkám, proto byla zavedena vstřikovací technika čistých prostor, která eliminuje emise na minimum, aby bylo možné dosáhnout kontinuální a vysoce kvalitní produkce. Výlisky musí být chráněny před vzdušnou kontaminací, jako jsou prachové částice, pyl, bakterie, zbytek buněk a viry. Stroje jsou ochráněny proti oděru a poškrábání, pásový dopravník přiváděného materiálu eliminuje

vznik prachových částic a v neposlední řadě kapalinou chlazené pohony a řídicí skříně zabraňují turbulenci vzduchu a způsobují jen velmi nízkou úroveň odvodu tepla. V prostorách se dále používají ventilátory pro přefiltrování okolního vzduchu, klimatizace a integrovaný ionizační systém, který neutralizuje elektrostatické nabíjení, což výrazně snižuje počet částic na vstřikovaných dílech. [27]

Technika čistých prostor má dvě různé koncepce. V první koncepci je místnost rozdělená na dvě části, první část tzv. pracovní jsou stroje zapouzdřené, aby nedošlo ke kontaminaci a výrobní podmínky zůstaly naprosto čisté. Tyto podmínky vytvářejí ventilátory čistého vzduchu, které jsou instalované nad upínací jednotku. Dopravníkový pás, který je opatřen tunelem, přenáší části bez kontaminace do druhé části tzv. čisté, pro další zpracování. [27]



Obrázek 37. Rozdělení místnosti pro techniku čistých prostor, pracovní část (vlevo) a sterilní část [27]

Druhá koncepce zahrnuje všechny okolní i výrobní buňky do čisté místnosti. Tato koncepce je výhodná pokud se používá větší počet vstřikovacích strojů za stejných čistých podmínek. V tomto výrobním prostředí jsou stroje a robotické systémy volně, aby bylo možné používat nepřetržitě ventilátory pro cirkulaci vzduchu. Další eliminací zdroje kontaminace lze dosáhnout zhotovením upínací jednotky a formy z nerezové oceli. [27]

Hotové výrobky neobsahují přítomnost částic a choroboplodných zárodů, které jsou pro kvalitu výrobků v rámci různých odvětví rozhodující. Příkladem z praxe může být stomatologický vrták vyrobený z polyetheretherketon (PEEK), který je cenově dostupnější

než kovový a jsou určeny k jednorázovému použití v zubních ordinacích. V lékařství se využívá technika čistých prostor pro třícestný kohout pro aplikaci infuzí, pinzety a v optice pro brýlová skla. [27]



Obrázek 38. Aplikace výrobků technikou čistých prostor [27]

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo popsat trendy ve vstřikování v posledních pěti letech. Neustálý vývoj tohoto procesu je zapříčiněn vysokými nároky spotřebitelů na materiálové vlastnosti a rozsah použití. V dnešní době je možné vstřikovat téměř jakýkoliv materiál od polymerů po keramiku, kovy, dřevo a silikon. Stejně tak se modernizuje i strojní zařízení, které přispívá k automatizaci výrobního procesu.

Ve vstřikovacích procesech se hodně začal využívat plyn, jak už v technologii GIT pro výrobu předmětů s dutými jádry, tak v technologii MuCell k dosažení strukturní pěny, která tvoří jádro výrobků. Výhody těchto metod jsou především v šetření materiálu a snížení hmotnosti výrobků. Velký potenciál metody MuCell je především v automobilovém průmyslu, která snižuje hmotnost vyráběných dílů a tím i celkovou hmotnost automobilů, s kterou klesá i spotřeba paliva.

Dalším odvětvím, kde se využívá technologie vstřikování je zdravotnictví. Pro dodržování přísných hygienických podmínek se zavedla tzv. technika čistých prostor, která eliminuje emise prachových částic materiálu během výroby a zabraňuje kontaminaci výrobků, které se používají např. jako stomatologické vrtáky. Dalším materiálem, který se uplatňuje ve zdravotnictví, je silikon pro své specifické vlastnosti, které se vytvoří zesíťováním. Silikony vykazují vysokou houževnatost a tepelnou odolnost, uplatňují se např. ve výrobě dudlíků pro kojence.

V neposlední řadě dochází také k modernizaci strojního zařízení. V procesu mikrovstřikování, který klade důraz na rozměrovou přesnost, se zavádí koncept inverzního šneku. Pomocí něj dochází k lepší homogenizaci a je šetrnější pro materiály citlivé na teplo, které se využívají zejména ve zdravotnictví.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Yang, Yi, CHEN, X., Ningyun, L., Furong, G., *Injection holding process control, monitoring, and optimization*. Munich: Hanser, 2016, 397 p, ISBN 978-1-56990-592-0. Dostupné z:  
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIMPCMO09/injection-molding-process/injection-molding-process>
- [2] Katedra strojní technologie [online] dostupné z:  
[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)  
[cit. 25.02.2017]
- [3] Štěpek, J., Kuta, A., Zelinger, J., *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. Praha: STNL – Nakladatelství technické literatury, 1989, 637 s.
- [4] Zeman, L., *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN – technická literatura, 2009, 247 s., ISBN 978-80-7300-250-3
- [5] Osswald, T. A., Brinkmann E., Oberbach S., Schmachtenberg E. K., *International plastics handbook – the resource for plastics engineers* (4th Edition). Hanser Publishers, 2006. Dostupné z:  
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpIPHTRPE2/international-plastics/international-plastics>
- [6] Měřínská, D., *Inženýrské zpracování polymerů, přednášky*, přednášky, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická Zlín, 2017
- [7] CAD [online] dostupné z:  
<https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/4183-efektivni-vyvoj-plastovych-dilu-a-vstrikovacich-forem.html> [cit. 30.4.2017]
- [8] CAD [online] dostupné z:  
<https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/2316-metody-rapid-prototyping.html> [cit. 30.4.2017]
- [9] Lindsay, A. J., *Practical guide to rubber injection moulding*, Smithers Rapra Technology, 2012, ISBN 978-1-84735-707-6. Dostupné z:  
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPGRIM002/practical-guide-rubber/practical-guide-rubber>

- [10] Oswald, T. A., Menges, G., *Material Science of Polymers for Engineers* (3rd Edition). Hanser Publishers, 2012. Dostupné z:  
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMSPEE002/material-science-polymers/material-science-polymers>
- [11] Ausperger, A., *Moderní metody vstřikování*, přednáška, dostupné z:  
<http://www.spstrplz.cz/admin/files/Media/PROJEKTY-OPVK/0038/prednasky2014/ausperger.pdf> [cit 25.02.2017]
- [12] Lenfeld, P., *Technologie vstřikování*, Střední odborné učiliště Svitavy, Pardubice, 2016, ISBN 978-80-8858-74-8 dostupné z: <https://publi.cz/books/184/03.html>
- [13] Pruner, H., Nesch, W., *Understanding Injection Molds*, Hanser Publishers, 2013, ISBN 987-1-56990-527-2. Dostupné z:  
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpUIM00002/understanding-injection/understanding-injection>
- [14] Plastics. Dostupné z:  
<http://www.plastics.covestro.com/en/Engineering/Processing/Injection-molding/Gas-water-assist-molding>
- [15] Arburg, *Multicomponent injection moulding*, Německo, 2016, firemní literatura, dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/spektrum-sluzeb/vstrikovani/procesy/> [cit. 20. 03. 2017]
- [16] Arburg, *Micro injection moulding*, Německo, 2016, firemní literatura dostupné z:
- [17] Arburg, *Powder injection moulding*, Německo, 2016, firemní literatura dostupné z:  
[https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg\\_micro\\_680403\\_en\\_gb/](https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg_micro_680403_en_gb/) [cit. 20. 03. 2017]
- [18] Arburg, *Precision injection compression moulding*, Německo, 2014, firemní literatura, dostupné z:  
[www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg\\_pim\\_522785\\_en\\_gb/](http://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg_pim_522785_en_gb/) [cit. 20. 03. 2017]

- [19] Plastics. Dostupné z: <http://www.plasticportal.cz/cs/synventive-predstavuje-technologie-synflow%C2%AE-pro-dvourychlostni-sekvencni-vstrikovani-horkymi-vtoky/c/2272>  
[cit. 20. 03. 2017]
- [20] Kimura, F., Shotaro, K., Kajihara, Y., *Effects of holding conditions on injection molded direct joining using a metal with nano-structured surface*, Precision Engineering, 2016, Vol. 45, p. 203 – 208
- [21] Hopmann. CH., Fischer, T., *New plasticising process for increased precision and reduce redidence times in injection moulding of micro parts*, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2015, Vol. 9, p. 51 – 56
- [22] Arburg, *Silicone injection moulding*, Německo, 2016, firemní literatura, dostupné z:  
[www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg\\_silicone\\_526416\\_en\\_gb/#](http://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg_silicone_526416_en_gb/#) [25. 03. 2017]
- [23] Plasty a kaučuk, *Počátky WPC před 30 lety*, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2016, p. 13, ISSN 0322-7340
- [24] Plastics. Dostupné z:  
<http://www.plasticportal.cz/cs/vstrikovani-termoplastu-s-napenovanim-usporydiky-medode-mucell/c/2416> [cit. 20.03.2017]
- [25] Arburg, *Hotmelt injection moulding*, Německo, 2013, firemní literatura, dostupné z:  
[www.arburg.com/fileadmin/redaktion/sonstiges/arburg\\_hotmelt\\_injection\\_moulding\\_680869\\_en\\_gb.pdf](http://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/sonstiges/arburg_hotmelt_injection_moulding_680869_en_gb.pdf) [25. 03. 2017]
- [26] Arburg, *Clean room technology*, Německo, 2017, firemní literatura, dostupné z:  
[www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg\\_clean\\_room\\_technology\\_528993\\_en\\_gb/](http://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/mediathek/prospekte/arburg_clean_room_technology_528993_en_gb/)



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

RP	Rapid Prototyping.
SLA	Stereolitografie
SLS	Selective Laser Sintening
FDM	Fused Deposition Modeling
GIT	Gas injection technology
WIT	Water injection technology
PP	Polypropylen
TPE	Termoplastický elastomer
RIM	Reakční vstřikování
PUR	Polyuretan
POM	Polyoxymetylen
MIM	Metal injection molding
CIM	Ceramic injection molding
IMDJ	Injection molded direct joint
PMMA	Polymethylmetakrylát
COC	Cyklo olefin kopolymer
COP	Cyklo olefin polymer
WPC	Wood plactic composite
HD – PE	High density polyetylen
PVC	Polyvinylchlorid
PEEK	Polyetereterketon
DCPD	Dicyklopentadien

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Vstřikovací cyklus [1]

Obrázek 2. Časový průběh vstřikovacího cyklu [3]

Obrázek 3. Časová závislost tlaku  $p$  v dutině formy při vstřikování [6]

Obrázek 4. Schéma vstřikovacího stroje [9]

Obrázek 5. Mechanická upínací jednotka [10]

Obrázek 6. Hydraulická upínací jednotka [10]

Obrázek 7. Dvou desková forma

Obrázek 8. Metoda krátkého vstřiku [13]

Obrázek 9. Metoda dlouhého vstřiku [13]

Obrázek 10. Aplikace výrobků metodou GIT [2]

Obrázek 11. Princip WIT technologie [13]

Obrázek 12. Aplikace výrobků metodou WIT [2]

Obrázek 13. Rozdíl vnitřní stěny plastového dílu metodou GIT a WIT [14]

Obrázek 14. Vícekomponentní vstřikování s použitím šoupátka [2]

Obrázek 15. Princip dvoukomponentního vstřikování a otočení kolem vodorovné osy [2]

Obrázek 16. Aplikace výrobků metodou vícekomponentního vstřikování [2]

Obrázek 17. Konstrukce vstřikovací jednotky u mramorového vstřikování [2]

Obrázek 18. Aplikace výrobků metodou intervalového vstřikování [2]

Obrázek 19. Princip vstřikování sendvičů [2]

Obrázek 20. Aplikace výrobků metodou sendvičového vstřikování. [2]

Obrázek 21. Princip technologie reakčního vstřikování [12]

Obrázek 22. Aplikace výrobků reakčním vstřikováním [2]

Obrázek 23. Aplikace výrobků metodou microvstřikování [16]

Obrázek 24. Jednotlivé fáze PIM technologie [2]

Obrázek 25. Aplikace výrobků metodou PIM [17]

Obrázek 26. Princip CIM technologie [2]

Obrázek 27. Aplikace výrobků metodou CIM [18]

Obrázek 28. A - vzhledová váda při použití klasického vstřikování, B – stejný díl bez vad s použitím SynFlow [19]

Obrázek 29. Proces přímého spojování. [20]

Obrázek 30. Koncepční návrh inverzního šneku. [21]

Obrázek 31. Tavení POM pomocí inverzního šneku umístěném v drážkovém pístu [21]

Obrázek 32. Aplikace výrobků vstřikováním silikonu [22]

Obrázek 33. Porovnání struktury při použití dusíky (vlevo) a klasického nadouvadla [2]

Obrázek 34. Koncept zařízení pro metodu MuCell [25]

Obrázek 35. Srovnání hmotnosti vstřikovaného dílu metodou Hotmelt a dvoukomponentního vstřikování [26]

Obrázek 36. Zapouzdřená LED dioda [26]

Obrázek 37. Rozdělení místnosti pro techniku čistých prostor, pracovní část (vlevo) a sterilní část [27]

Obrázek 38. Aplikace výrobků technikou čistých prostor [27]

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Srovnání parametrů mezi technologií RIM a klasickým vstřikováním [2]

Tabulka 2. Různé procesní parametry pro předběžné zkoušky [16]

