

# **Analýza a optimalizace vstřikovacích parametrů za účelem zvýšení produktivity procesu.**

Bc. Ondřej Jurásek

---

Diplomová práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej Jurásek**  
Osobní číslo: **T16604**  
Studijní program: **N2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Inženýrství polymerů**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Analýza a optimalizace vstřikovacích parametrů za účelem zvýšení produktivity procesu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši se zaměřením na problematiku vstřikování plastů v automobilovém průmyslu:
  - Úvod do technologie vstřikování plastů a využití
  - Popis vstřikovacích strojů
  - Popis parametrů vstřikovacího stroje
  - Popis linky Housing použité pro experimentální část
2. Experimentální část
  - Seznámení s cílem a důvodem optimalizace linky
  - Tvorba plánu a specifikace upravovaných parametrů
    - Plán změn
    - kontrola specifikace dodavatele materiálu
  - Kontrola zadaných parametrů na základě vyhodnocení dat stroje
3. Vyhodnocení optimalizace, přínos diplomové práce a závěry

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. JOHANNABER, Friedrich. **Injection Molding Machines ? 4th edition, Munich: Hanser, 2007. ISBN 978-1-56990-418-3**
2. OSSWALD, Tim A., TURNG, Lih-Sheng, GRAMANN, Paul J. **Injection molding handbook, Munich: Hanser, 2001. ISBN 3-446-21669-3**
3. KAZMER, David. **Plastics Manufacturing Systems Engineering, Munich: Hanser, 2009. ISBN 978-3-446-42014-4**
4. ZEMAN, Lubomír. **Vstříkování plastů: teorie a praxe. 1st ed. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Ladislav Fojtí, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**2. ledna 2019**

Termín odevzdání diplomové práce:

**14. května 2019**

Ve Zlíně dne 18. února 2019

LS.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*

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

## 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 dne 4.5.2019

.....

---

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

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k 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 dílo:

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce je cílená na zvýšení efektivity vstřikovacího stroje implementovaného do výrobní linky za pomoci analýzy dat ze vstřikovacího stroje a následné optimalizace vstřikovacích parametrů stroje. V teoretické části diplomové práce jsou obsaženy základní informace ohledně procesu vstřikování plastů, zařízení pro zpracování plastů pomocí technologie vstřikování a nutných periferií pro tuto operaci. Nutností pro případnou analýzu dat je také porozumět jednotlivým parametrům, které budou vyhodnocovány, tedy základní procesní parametry vstřikovacího procesu. V praktické části práce jsou popsány jednotlivé prvky výrobní linky, stroj a vyráběný dílec, pro který je optimalizace prováděna. Dále jsou optimalizovány jednotlivé procesní parametry a je sledován jejich vliv na zvýšení produktivity výroby.

Klíčová slova: vstřikovací stroj, vstřikovací parametry, optimalizace procesu, sběr dat

## **ABSTRACT**

Thesis is focused on increasing the efficiency of the injection moulding machine implemented in the production line by data analysis obtained from the injection machine and subsequent optimization of the injection parameters on the machine. The theoretical part of this diploma thesis consists of basic information related to the plastic injection process, plastics processing equipment for the injection technology and necessary peripherals for this technology. The necessity for a possible data analysis is also an understanding of the individual parameters that will be evaluated thus basic process parameters of injection moulding technology. In the practical part of this diploma are described individual elements of production line, machine and manufactured part, for which optimization is performed. In addition, the individual process parameters are optimized and their effect on the productivity of production is monitored.

Keywords: Injection moulding machine, Injection moulding parameters, process optimizing, data collection

Poděkování:

Tímto bych velmi rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Ladislavu Fojtlovi, Ph.D. za jeho odborné vedení této diplomové práce a především podporu v podobě cenných poznatků. Dále děkuji celému technickému oddělení firmy Continental-Corporation divize Powertrain za umožnění tématu této diplomové práce a poskytnutí know-how pro tuto práci. Jmenovitě velmi děkuji panu Regis Sarrahy a paní Ing. Vladaně Bednářikové.

„Definice šílenství je dělat stejnou věc znovu a znovu a očekávat jiné výsledky.“

Albert Einstein

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ÚVOD DO TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ A VYUŽITÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ POLYMERŮ A ZÁKLADNÍ PRINCIP ZPRACOVÁNÍ .....	12
1.1.1 Termoplasty.....	12
1.1.2 Reaktoplasty .....	13
1.1.3 Kaučuky .....	13
1.2 ÚVOD DO TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ .....	14
1.2.1 Vstřikovací cyklus.....	14
1.2.2 Nastavení vstřikovacího procesu.....	15
➤ Nastavení suchého cyklu stroje.....	16
➤ Nastavení teploty.....	18
➤ Nastavení vstřikování.....	21
<b>2 VSTŘIKOVACÍ STROJE</b> .....	<b>30</b>
2.1.1 Dělení vstřikovacích strojů dle orientace polohy.....	31
2.1.2 Dělení vstřikovacích strojů dle pohonu.....	33
2.2 ZÁKLADNÍ ČÁSTI VSTŘIKOVACÍHO STROJE A JEHO PERIFERIE .....	35
2.2.1 Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje.....	35
2.2.2 Vstřikovací jednotka vstřikovacího stroje.....	38
2.2.3 Periferie vstřikovacího stroje .....	39
<b>3 VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....	<b>42</b>
3.1 VTOKOVÁ SOUSTAVA .....	42
3.2 TEMPERACE VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	45
3.3 KONSTRUKCE DĚLICÍ ROVINY A ODFORMOVÁNÍ .....	47
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>49</b>
<b>4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE</b> .....	<b>50</b>
4.1 DEFINOVÁNÍ PROBLÉMU.....	51
4.2 POPIS JEDNOTLIVÝCH VSTUPŮ A PRVKŮ VÝROBY .....	51
4.2.1 Popis výrobní linky .....	51
4.2.2 Popis dílce .....	52
4.2.3 Popis vstřikovacího stroje .....	54
4.2.4 Použitý materiál .....	55
4.2.5 Popis prvků automatizace a periferie .....	55
<b>5 MĚŘENÍ DAT Z PROCESU A JEJICH ANALÝZA</b> .....	<b>59</b>
5.1 OPTIMALIZACE SUCHÉHO CYKLU .....	61
5.2 OPTIMALIZACE PROCESNÍCH PARAMETRŮ .....	63
5.2.1 Optimalizace rychlosti dávkování.....	64
5.2.2 Optimalizace zpětného tlaku dávkování .....	65
5.2.3 Optimalizace dekomprese po dávkování .....	65
5.2.4 Implementace optimalizovaných parametrů dávkování.....	67
5.3 TESTOVÁNÍ VYROBENÝCH DÍLŮ .....	68
5.3.1 Zkouška rozměrové stability dílu.....	68
5.3.2 Zkouška zatížení konektoru v tahu .....	69



5.3.3	Řezy kritických míst výrobku .....	71
<b>ZÁVĚR</b>	.....	<b>73</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>	.....	<b>74</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b>	.....	<b>77</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	.....	<b>78</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b>	.....	<b>80</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	.....	<b>81</b>

## ÚVOD

Využití polymerních materiálů v průmyslu stále narůstá. a přicházejí stále nové aplikace. Plasty díky svým vlastnostem stále častěji nahrazují dražší nebo zpracovatelsky náročnější materiály. Uplatnění plastů můžeme nalézt v každodenním životě ať už v podobě domácího spotřebiče, hraček, dekorativních předmětů a především v automobilech. Se stále rostoucím automobilovým průmyslem nacházejí polymerní materiály stále větší uplatnění. Pokud se podíváme do minulosti, tak v 70. letech tvořily plasty přibližně 6% hmotnosti automobilu, naopak v současnosti se využití zvýšilo na přibližně 12 až 15%. Do budoucna je předpoklad, že využití stále poroste. Pro příklad plasty v automobilovém průmyslu nahrazují materiály jako jsou sklo pro použití ve světlometech, dále pak v exteriérových částech plasty nahrazují kovové části karoserie.

Pro zpracování termoplastických materiálů je u dodavatelů do automobilového průmyslu nejčastěji využívána technologie vstřikování a to zejména z důvodu efektivity, kterou nabízí proces vstřikování plastů, je možné mít výstupem již hotový požadovaný výrobek. Vstřikovat lze termoplastické materiály, ale také reaktoplastické materiály a kaučuky. V dnešním stále se rozvíjejícím automobilovém průmyslu je kladen vysoký důraz na požadovanou kvalitu a zejména na efektivitu výroby, která je spojena s důrazem na nízkou cenu výsledného výrobku.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 ÚVOD DO TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ A VYUŽITÍ

## 1.1 Základní dělení polymerů a základní princip zpracování

Jako základní dělení polymerů můžeme použít podle chování materiálu na zahřívání. Na základě tohoto dělení vzniknou tři skupiny polymerních materiálů a to termoplastické, reaktoplastické a kaučuky. Toto dělení je důležité pro následné zpracování materiálu, ale také pro užité vlastnosti výsledného výrobku. [1]

### 1.1.1 Termoplasty

Pod tuto skupinu zařazujeme ty polymerní materiály, které při vystavení teple vykazují měknutí až do následného přechodu do polymerní taveniny, které jsou následně zpracovány zpětným ochlazením, se tyto materiály následně vrací do tuhého stavu. U termoplastických materiálů tato změna vykazuje pouze změny fyzikálního charakteru, nikoliv však změnu chemickou. Tento děj je opakovatelný a teoreticky lze říci, že lze opakovat do nekonečna cyklů. Tuto vlastnost následně především využíváme při zpracování pomocí technologie vstřikování polymerní taveniny do chlazené dutiny formy. Celý děj vstřikování termoplastických materiálů zjednodušeně probíhá dopravením granulátu do násypky umístěné na vstřikovací jednotce stroje, granulát se následně dostává do plastifikačního válce, kde mu je dodáno teplo pro změnu stavu z tuhého materiálu na polymerní taveninu, která je následně řízeným procesem pod tlakem vstřikována do uzavřené dutiny formy. Forma je chlazená pomocí média na požadovanou teplotu, která zchladí taveninu zpět do tuhého stavu. Následně je forma otevřena a takto vyrobený díl je pomocí vyhazovačů ve formě vyhozen z dutiny formy. U takto vyráběných dílů je potřeba si uvědomit, při jaké teplotě budou následně díly vystaveny běžnému použití. Tato teplota je omezena do bodu kdy začne materiál opětovně měknout a ztrácí mechanické a rozměrové vlastnosti. [3,4]

### 1.1.2 Reaktoplasty

Tyto materiály mají omezenou dobu zpracování vzhledem k vystavené teplotě. Při zahřátí na teplotu zpracování a pomocí katalyzátorů se následně vytvrzují tzn. Dochází tedy k chemické reakci, kdy začínají molekuly síťovat a materiál je dále netavitelný a má vlastnosti konečného výrobku. Tento jev je následně neopakovatelný. Výhodou těchto materiálů je následná vyšší odolnost vůči teplotám, tedy vyšší tepelná stálost výrobku. Další výhody jsou vysoká chemická odolnost, vysoká tvrdost a pevnost. Jako příklad využití může být polyesterová pryskyřice plněná krátkými skelnými vlákny a použita pro výrobu reflektoru automobilového světlometu, který je vyroben z tohoto materiálu z důvodu vysoké teploty rozsvícené žárovky.[1,4,5]

Vstřikování reaktoplastických materiálů je zahájeno dopravou materiálu v kašovité formě do zásobníku vstřikovací jednotky, který je pomocí temperačních přístrojů temperovan na zpracovatelskou teplotu cca 50 °C a vstřikován do vytápěné formy (pomocí elektrických patron) na podstatně vyšší teplotu cca 180 °C. Při této teplotě dochází k chemické reakci - síťování a vytvrzení výrobku. [4,5]

### 1.1.3 Kaučuky

Podobně jako u reaktoplastů probíhá chemická změna materiálu, tedy vulkanizace za zvýšených teplot v dutině formy. Kaučukové materiály bývají zpravidla pro zpracování pomocí vstřikování předupraveny tak, aby bylo vůbec možné je zpracovat, jsou tedy doplněny o vhodnou kombinaci urychlovačů a retardérů vulkanizace. V případě vstřikování kaučuků bývá vstupní materiál dodáván ve formě pásků nebo granulátu do šnekové plastifikační jednotky, kde je zahříván na teplotu přibližně 80-100 °C a následně vstřikován do dutiny formy, která má podstatně vyšší teplotu než vstřikovaný materiál, v níž proběhne výše zmíněná vulkanizace a z formy následně je vyhozen hotový díl. [4,5]

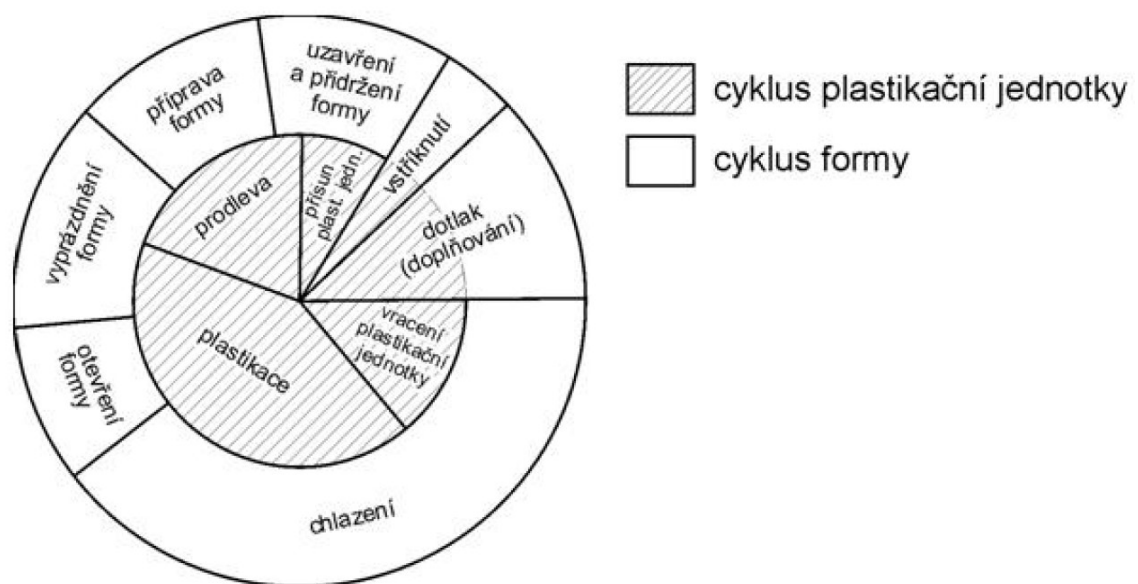
Jedním z největších odvětví využití tohoto zpracování kaučukovitých směsí pomocí vstřikování, je ve výrobě pro automobilový průmysl, a to zejména výrobky jako, různé těsnící elementy, případné tlumící části jako jsou silentbloky. [4,5]

## 1.2 Úvod do technologie vstřikování

Jak již bylo popsáno výše, je široká paleta možných materiálů pro zpracování pomocí technologie vstřikování plastů, avšak každá z těchto technologií má svá specifika. Tato práce se primárně bude věnovat vstřikování termoplastických materiálů. Níže jsou popsány parametry a jejich specifika budou vztažena pro vstřikování termoplastů, u kterých je tato technologie nejrozšířenější. [6]

### 1.2.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus (obr. 1) se dělí do dvou základních fází a to cyklus formy a pohyby stroje, který nazýváme jako tzv. suchý cyklus stroje a druhou fází, kterou je cyklus plastifikační jednotky tzv. mokrá cyklus. Tohle dělení cyklu je velmi důležité a to z pohledu případné optimalizace stroje, jelikož v případě optimalizace suchého cyklu není zásah do procesu natolik markantní a benefit může být značně vysoký, což znamená zvýšení produktivity pouze na dráhách pohybů stroje a samotného zrychlení pohybů stroje v rámci bezpečných mezí. Pokud však dojde k optimalizaci v rámci urychlení nebo zkrácení cyklu plastifikační jednotky, dochází k markantním změnám v procesu, které s velkou pravděpodobností budou mít také dopad na kvalitu výsledného výrobku. Úpravou cyklu plastifikační jednotky se rozumí zkrácení cyklu na základě například zvýšení rychlosti dávkování, zkrácení času chlazení apod. [6]



Obr. 1 Vstřikovací cyklus termoplastů [7]

Na obr .1 lze vidět, jak takovýto cyklus probíhá a je patrné, že cyklus procesu vstřikování probíhá kontinuálně ve smyčce. Po přípravných operacích, kdy se stroj připraví pro spuštění výroby, začne stroj s uzavíráním formy a následně vyvinutím požadované uzavírací síly. V průběhu tohoto kroku zároveň dochází k přisunutí plastifikační jednotky na dýzu formy a vytvoření přtlaku plastifikační jednotky. V tento moment je forma i vstřikovací jednotka připravena pro samotnou fázi vstřikování, kdy je dutina formy vysokou rychlostí vyplněna polymerní taveninou do tzv. bodu přepnutí. V tomto bodu dochází k přepnutí z dynamické fáze zaplňování formy polymerní taveninou na pomalejší dotlakovou fázi. Dotlaková fáze slouží k doplnění dutiny formy chybějící taveninou po fázi vstřikování, u které z důvodu ochladnutí vstřikovaného materiálu došlo ke smrštění. A dále slouží k vyrovnání propadlin a celého objemu dutiny formy. Zde je již samotné vstřikování výrobku hotovo, nastává však další důležitá část a to fáze chlazení. V průběhu tohoto kroku ve vstřikovací jednotce probíhá plastifikace granulátu pro další zdvih stroje. Poté je následně forma otevřena a dojde k vyhození výrobku za pomoci vyhazovačů ve formě, nebo případnému odebrání výrobku robotem, popřípadě operátorem ve výrobě. Tento cyklus se následně dokola ve smyčce opakuje. [7]

### 1.2.2 Nastavení vstřikovacího procesu

V předchozí kapitole byl popsán vstřikovací cyklus, během kterého stroj ve výrobě kontinuálně vyrábí. Jednotlivé body vstřikování budou následně podrobněji popsány v rámci posloupnosti při vytváření nového vstřikovacího programu pro lepší pochopení dané problematiky. Zde popsané nastavení bude napsáno za předpokladu, že vytváříme program na vstřikovací stroj pro formu, která na tomto lisu bude poprvé. [7]

Sled nastavení stroje je následovný:

1. Nastavení suchého cyklu stroje
  - a. Nastavení sekvence programu
  - b. Nastavení pohybů formy
  - c. Nastavení vyhazovacího ústrojí
2. Nastavení teploty
  - a. Nastavení teploty formy
  - b. Nastavení teploty plastifikačního válce
  - c. Nastavení teploty horkého rozvodu formy
3. Nastavení vstřikování
  - a. Nastavení dávkování
  - b. Nastavení vstřiku
  - c. Nastavení dotlaku
  - d. Nastavení času chlazení

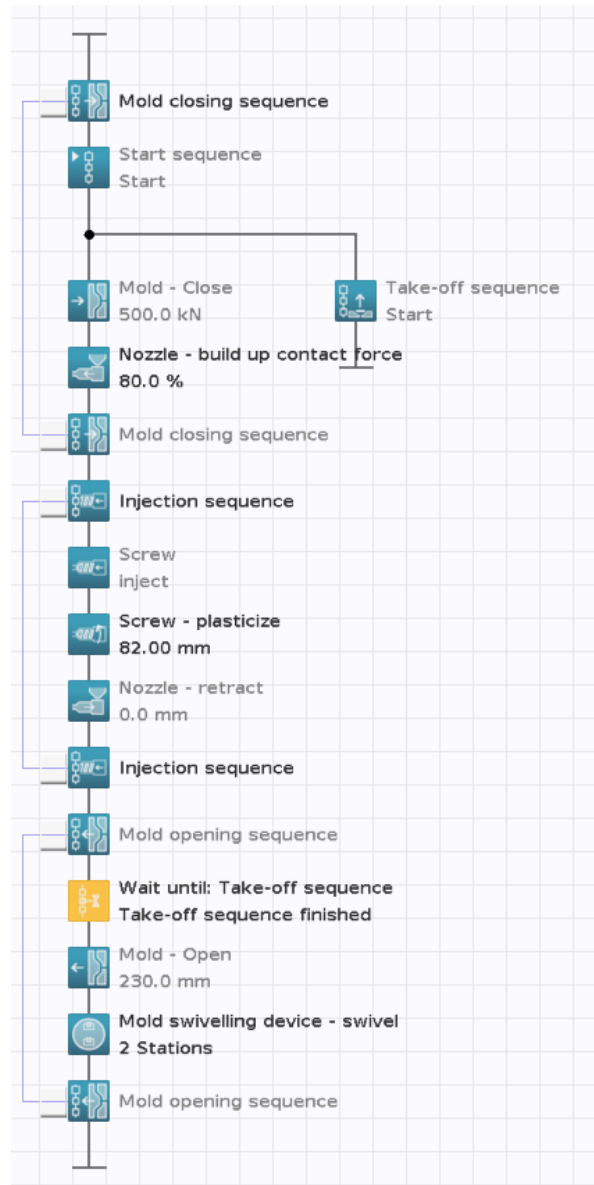
➤ ***Nastavení suchého cyklu stroje***

V kapitole vstřikovací cyklus již bylo zmíněno, že v případě suchého cyklu stroje se o pohyby vykonané strojem, jedná se tedy o naprogramování sekvence stroje, jeho drah a rychlostí. Je nutné, aby jednotlivé pohyby byly efektní, což znamená, aby byla požadovaná dráha pro pohyb dostatečná, ne však větší než potřebná. V případě naprogramování sekvence stroje to znamená poskládání požadovaných pohybů stroje a jednotlivých úkonů. [8]

- **Nastavení sekvence stroje**

Tento bod by měl být proveden jako první, a to v závislosti na technické specifika formy, na které bude prováděna výroba. Tedy posloupnost jednotlivých kroků, které budeme od stroje požadovat. Modernější stroje již nabízí si tuto posloupnost naprogramovat přesně dle uživatele, případně zakomponovat speciální požadavky, jako ofuk formy vzduchem, odsátí vzduchu z formy apod. Vzorové nastavení této posloupnosti je vyobrazeno na obr. 2.[8]





Obr. 2 sekvence vstřikovacího stroje Engel CC300

- **Nastavení pohybů formy**

Při tomto nastavení bude jako primární údaj nastavení výšky formy tj. rozměr formy v uzavřeném stavu. Tento údaj je udáván v mm. Jinými slovy se jedná o referenční údaj pro stroj, který udává, kdy je forma plně uzavřena. Moderní stroje umí tento údaj zjistit samy na základě referenčního uzavření formy. Následně můžeme nastavit dráhy při otevření formy. Standartně se používají čtyři zóny pro otevření i zavření formy. Pokud pojednáme o otevření formy, první krok bude pouze pootevření formy za velmi malé rychlosti. Následně přichází mírné zrychlení do bodu, kdy je forma stále naváděna naváděcími kolíky. Poté je možné otevřít formu maximální bezpečnou rychlostí do skoro plného otevření, což znamená do dráhy, která je minimálně nutná pro odebrání kusů operátorem nebo

robotem. Čtvrtá zóna slouží u starších strojů jako dojezdová rampa, tedy opětovné zbrzdění rychlosti otevírání před koncem maximálního otevření z důvodu bezpečnosti stroje. Novější stroje však tuto poslední zónu mají automatickou. Stejný a však opačný postup platí pro nastavení profilu uzavírání formy. [8]

Nastavení uzavírací síly stroje, je jako další krok v tomto bodě. Tu můžeme vypočítat podle vzorce:

$$F = P \times S \times n \text{ [N]} \quad (1)$$

Kde:

P – tlak uvnitř dutiny formy tento tlak je dán z tabulky použitého materiálu [bar]

S – průmětná plocha vstříkovaného dílce ve formě

n – počet kavit ve formě.[3]

- **Nastavení vyhazovacího ústrojí**

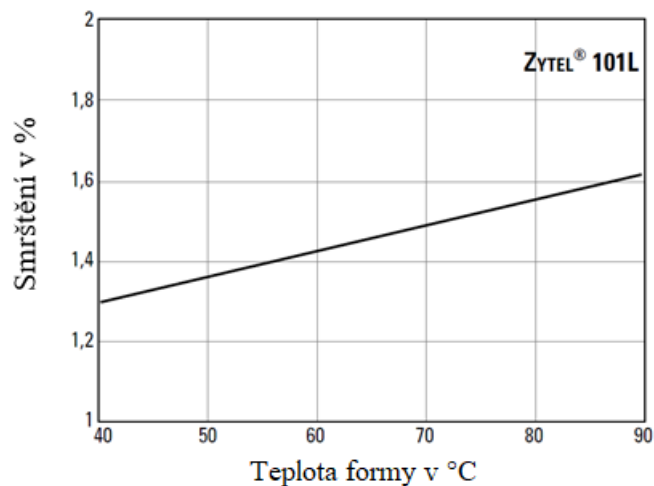
Nejdůležitějším krokem je tzv. vynulování vyhazovače, což znamená zjetí vyhazovačem na nulovou pozici, tedy do polohy maximálně možného zjetí vyhazovačů do formy. Následná je re-kalibrace stroje pro tuto polohu, nastavení jako nulovou. Následné dráhy a rychlosti jsou principiálně stejné, jako u nastavování dráhy pro uzavírání formy. Zejména však v případě složitějších tvarových výrobku a odběru robotem, je nutné brát zřetel na rychlost při vyjíždění vyhazovačů, tak aby bylo zabráněno vibracím, případně dalším možným pohybům výrobku vůči odebíracímu zařízení. [8]

➤ ***Nastavení teploty***

Jedná se o jednu z nejdůležitějších veličin procesu vstříkování plastů. Každý materiál má pro zpracování svá specifika pro požadovanou teplotu, a to pro nastavení teploty formy, teploty nastavené na válci vstříkovacího stroje, nebo horkého rozvodu formy. Tyto specifické údaje lze nalézt v podkladech dodaných dodavatelem materiálu a následně je nutné tyto parametry fyzicky kontrolovat a ověřit pomocí teploměru. [8]

- **Nastavení teploty formy**

Jedná se o důležitý parametr, z důvodu přísných požadavků na mechanické vlastnosti a rozměrovou stabilitu výrobku. Obecně platí, že zejména u semikrystalických polymerů teplota formy ovlivňuje makromolekulární strukturu polymeru, v závislosti na tom i mechanické a rozměrové vlastnosti výrobku. Dále u pohledových výrobků teplota formy ovlivňuje kvalitu povrchu výrobku a jeho specifika, jako jsou například požadavky na lesk. V zásadě platí, že pokud nastavujeme teplotu pro nový projekt, je směřované doporučení dodavatele materiálu, jelikož specifická teplota formy je pro každý materiál jiná. Na obr. 3 je patrná závislost teploty formy na smrštění materiálu polyamid 6.6. [9]

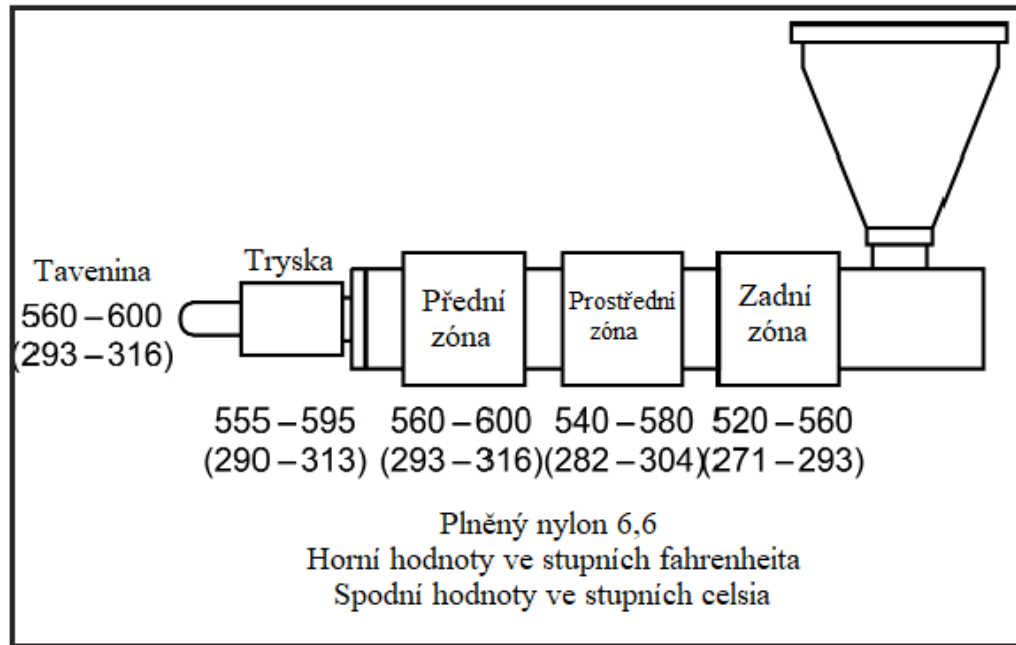


Obr. 3 Graf závislosti teploty formy na smrštění materiálu [9]

- **Nastavení teploty plastifikačního válce**

Tento bod je klíčový pro následné nastavení vstřikovacích parametrů. Jelikož nastavením správných teplot na plastifikačním válci je dosaženo požadovaného přetavení plastového granulátu do podoby polymerní taveniny, a zejména požadovaných reologických vlastností, pro vstříknutí polymerní taveniny do dutiny formy. Je opět nutné dodržet doporučené teploty výrobcem granulátu a to pro dosažení požadované viskozity polymerní taveniny a zabránění teplotní degradace polymeru, čili k trhání polymerních řetězců, nebo případnému síťování materiálu. Veličinou udanou dodavatelem granulátu je převážně teplota taveniny nikoliv nastavení jednotlivých pásem na plastifikačním válci. To znamená, že kontrola této veličiny je závislá na změření teploty taveniny za pomoci teploměru. Dále je nutné si uvědomit, že do tohoto výstupu se také promítá disipace, neboli přeměna třecí energie během

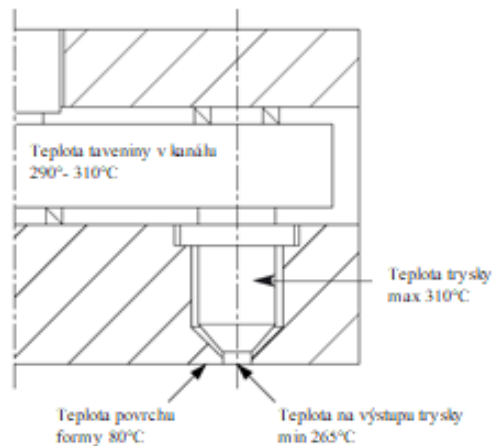
dávkování na teplo. Tedy vlivem změny rychlosti dávkování a zpětného tlaku dojde k ovlivnění teploty taveniny. Na obr. 4 je možné vidět teploty válce pro zpracování materiálu polyamid 6.6 doporučené dodavatelem materiálu. [9]



Obr. 4 Doporučení nastavení teplot plastifikačního válce polyamid 6.6. [10]

- **Nastavení teploty horkého rozvodu formy**

Horký rozvod formy, potažmo temperovaný rozvodný kanál polymerní taveniny do dutiny formy plní zejména dvě důležité úlohy. První z úloh je zachovat, co možná nejdéle polymerní taveninu nad teplotou  $T_f$ , tedy teplotou tavení tak, aby byl během dotlakové fáze vytvořen co možná nejdelší čas pro doplnění dutiny formy taveninou. Toto je zapotřebí zejména z důvodů rozměrové stálosti výrobku. Druhou úlohou horkého rozvodu formy je možnost vyrovnání plnění jednotlivých dutin formy symetricky. V případě, že se dutiny formy plní každá jinou rychlostí, lze vyrovnání zapříčinit úpravou teploty na kanálu, který se plní rychleji, tedy snížením teploty a tím vytvoření překážky vůči tečení polymerní taveniny do dutiny. Doporučení pro nastavenou teplotu horkého rozvodu udává dodavatel materiálu. Na obr. 5 lze vidět doporučenou teplotu horkého rozvodu pro materiál polyamid 6.6 [10]



Obr. 5 Doporučená teplota horkého rozvodu pro materiál polyamid 6.6 [10]

### ➤ **Nastavení vstřikování**

Při nastavování vstřikování je nutné, aby veškeré předešlé kroky byly již nastaveny a zkontrolovány, a to zejména bod nastavení teplot. Jelikož při následném nastavování rychlostí a tlaků pro vstřikování je potřebné zpracovávat polymerní taveninu s ideálně nastavenou teplotou, s čímž jsou spjaty zpracovatelské vlastnosti materiálu, jako je například viskozita polymerní taveniny. Dále se pracuje s předpokladem, že vstřikovací jednotka vstřikovacího stroje je vhodná pro konkrétní vstřikovaný dílec. Pro ověření správnosti zvolené vstřikovací jednotky obecně platí pravidlo, že objem vstřikované dávky by měl být 20 % až 80 % z maximální kapacity vstřikovací jednotky a zároveň vstřikovací tlaky, které je možná jednotka vyvinout je vyšší než požadovaná pro vstřikovaný díl. [8]

#### • **Nastavení dávkování**

Při nastavení dávkování jsou důležité čtyři parametry:

- zdvih dávkování
- rychlost dávkování
- zpětný tlak
- dekomprese

Zdvih dávkování, který je udáván v milimetrech čili dráze šneku uvnitř plastifikační jednotky po její délce, popřípadě lze tuto veličinu přepnout do jednotek  $\text{cm}^3$ , které jsou snazší v tomto případě je výpočet pro stanovení nabrané dávky. [8]

Počítáme tedy:

$$V_d = 1,25 \times V_f [\text{Cm}^3] \quad (2)$$

Kde:

$V_d$  – Objem dávky v plastifikačním válci

1,25 – Koeficient z důvodu stlačení a smrštění polymeru

$V_f$  – Objem dutiny formy včetně vtoku [8]

Ze vzorce uvedeného výše je patrné, že objem dávky v plastifikačním válci je větší, než objem vstřikovaného dílce, a to z důvodů smrštění materiálu po vstřikovací fázi a nutné následné dotlakové fáze. Zbylý materiál v plastifikační jednotce se nazývá tzv. materiálový polštář.[8]

Rychlost dávkování je u vstřikovacích strojů charakterizována jednotkou mm/s. Tento parametr je velmi důležitý, jak již bylo zmíněno v odstavci nastavení teplot plastifikačního válce, z důvodu přeměny energie v teplo čili disipace energie. Tento jev ovlivňuje následné vlastnosti materiálu, jako například viskozitu polymerní taveniny. Dále také například viskozita polymerní taveniny. Také mechanické vlastnosti jsou tímto parametrem ovlivněny, zejména při zpracování plněných polymerů, například dlouhá skelná vlákna mohou být vlivem vysoké rychlosti dávkování polámaná a výsledný výrobek ztrácí požadované mechanické vlastnosti. Speciální nároky jsou u materiálů citlivých na smykové namáhání jako je například TPE-S, kde vlivem smykového namáhání dochází k migraci aditiv z polymerní matrice. Doporučené hodnoty rychlosti dávkování je možné nalézt v podkladech dodavatele materiálu.[3,8]

Zpětný tlak dávkování znamená tlak působící v opačném směru pohybu šneku při nabírání dávky. Z procesního hlediska ovlivňuje homogenitu materiálu. Tento parametr musí být dostatečně vysoký, aby se materiál požadovaně promíchal a nevznikaly v polymerní tavenině před šnekem vzduchové kapsy. Vysoký důraz je zejména kladen, pokud je materiál barven pomocí tzv. masterbatche. V případě vysokého zpětného tlaku může docházet k lámání skelných vláken u plněných polymerních materiálů. Samozřejmě je také nutné brát v potaz, že zvýšením zpětného tlaku narůstá požadovaný relaxační čas materiálu, což může zapříčinit napjatost ve vstřikovaném dílci. Vysokým zpětným tlakem dále pak dochází k prodloužení doby dávkování. [3,8]

Dekompresi u dávkování dělíme na dva typy, a to dekompresi před dávkováním a dekompresi po dávkování. Prakticky pojem dekomprese znamená změnu pohybu šneku z rotačního na přímočarý v ose válce. To představuje nabrání vzduchové kapsy před případně po dávce a to z důvodu vytékání materiálu z vtokového kanálu, případně trysky vstříkovací jednotky. Obecně je doporučeno tuto hodnotu nastavit co nejmenší. Standardně je hodnota okolo 5 cm<sup>3</sup> dekomprese po dávkování. [3,8]

- **Nastavení vstříku**

Z technologického pohledu je tento bod jeden z nejdůležitějších, a to zejména u pohledových výrobků je rychlost vstříku klíčovým parametrem, díky kterého je možnost mnoho defektů odstranit. V případě vstříkování se jedná o dynamickou fázi kdy je, polymerní tavenina vysokou rychlostí a tlakem je vstříkována do dutiny formy a obě tyto veličiny je nutné sledovat na grafech vykreslených vstříkovacím strojem. V případě vstříkovací rychlosti sledujeme rychlost šneku v axiálním pohybu, tedy rychlost jakou materiál vyplňuje dutinu formy. Další veličinou je poté tlak, jakým působí tavenina při vyplňování dutiny. Je zřejmé, že při zvyšování rychlosti, kterou se vstříkuje materiál do dutiny formy, narůstá tlak, který v tomto směru působí v polymerní tavenině. Ovšem díky sledování vstříkovacího tlaku a rychlostí je možné diagnostikovat i případné problémy v procesu. Například pokud se plnicí kanál dutiny formy zanesou degradovaným materiálem, lze spatřit v grafu vstříkovacího tlaku značný nárůst. Stejně tak i v případě variace teploty formy je z grafu patrný nárůst tlaku, kdy v tomto případě je možno diagnostikovat jako možnou příčinu zanesený chladicí okruh formy, vlivem kterého není forma rovnoměrně chlazená. Dále je možné odhalení případné kontaminace nebo zaměnění materiálu. Vstříkovací tlak se standardně omezuje parametrem nazývaným jako maximální vstříkovací tlak. Tento parametr se používá jako kontrola procesu a zároveň jako ochrana procesu. Jelikož vstříkovací jednotka je schopna vyvinout značně vysoký tlak během vstříkování a pokud proces není kontrolován, tento vysoký tlak může poškodit tvarové části formy nebo samotnou vstříkovací jednotku. Dalším parametrem, který je výstup kombinace tlaků a rychlostí je čas vstříkování. Tento parametr se používá také jako kontrola vstříkovacího procesu, jelikož dodavatelé materiálu udávají doporučené časy pro vyplnění dutiny formy, což je vztaženo k rychlosti, jakou budeme dutinu plnit a viskozitě materiálu, tak aby celá dutina formy byla vyplněna polymerní taveninou. [3,8]

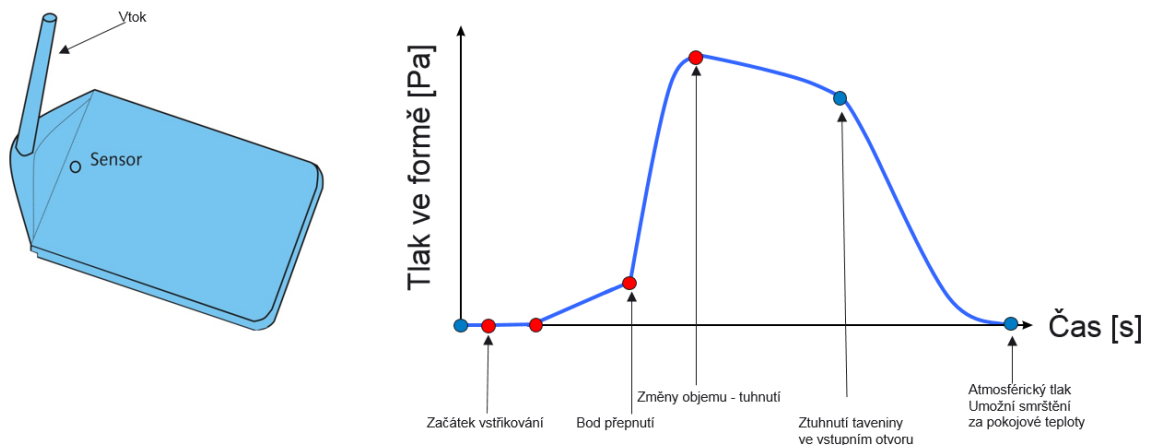
Jak již bylo zmíněno u komplexnějších dílů větších rozměrů, je možnost korigovat vstřikování také pomocí jednotlivých zón vstřikovací rychlosti. To znamená v případě vtékání ze širší štěrbin do užší je vhodné vstřikovací rychlost snížit, stejně tak pokud polymerní tavenina protéká v dutině formy přes hranu, je vhodné vstřikovací rychlost v tomto bodě snížit. V opačném případě špatně zvolená vstřikovací rychlost může zapříčinit vzhledové defekty dílce. Celkově z pohledu vstřikovacího cyklu se jedná o nejkratší časový úsek celého procesu vstřikování. [3;8]

Bod, který rozděluje vstřikovací fázi na dotlakovou fázi se jmenuje bod přepnutí. Bod přepnutí se dá řídit pomocí tří parametrů. A to pomocí dráhy vstřikování, vstřikovacího tlaku nebo dle času vstřikování. Nejčastěji používané způsoby jsou přepnutí dle dráhy a vstřikovacího tlaku.[3;8]

Bod přepnutí závislý na dráze, je defacto spojen s řízením objemu vstřikovaného množství polymerní taveniny, jelikož přepnutí v závislosti na dráze je udáváno v mm tedy dráze, na které se šnek zastaví z plně nabrané dávky. Pokud tedy je objem nabrané dávky pro příklad 80 mm a bod přepnutí 20 mm bude potom dráha šneku během vstřiku 60 mm. Prakticky takovéto nastavení probíhá pomocí tzv. postupného plnění dutiny formy, tedy pro příklad pokud je spočítaná dávka dílce 80 mm, bude prvotní bod přepnutí nastaven 40 mm, následně proběhne kontrola dílce a posunutí bodu přepnutí. Tento krok se opakuje do bodu, kdy je zaplněno 95 % - 97 % vstřikovaného dílce, v tomto bodě je správně nastavený bod přepnutí. Dalším kritériem nutným pro kontrolu je v případě více dutin formy kontrolovat, zdali se všechny dutiny zaplňují v čase synchronizovaně, pakliže je patrný rozdíl v zaplnění dutin formy, lze tyto rozdíly procesně řešit pomocí úpravy teploty trysky horkého rozvodu. Případně tyto rozdíly navádí ke kontrole, nejsou-li rozdíly ve vtocích, odvzdušnění jednotlivých dutin formy, případně různé tloušťky stěn výrobku mezi jednotlivými dutinami. [3;8]

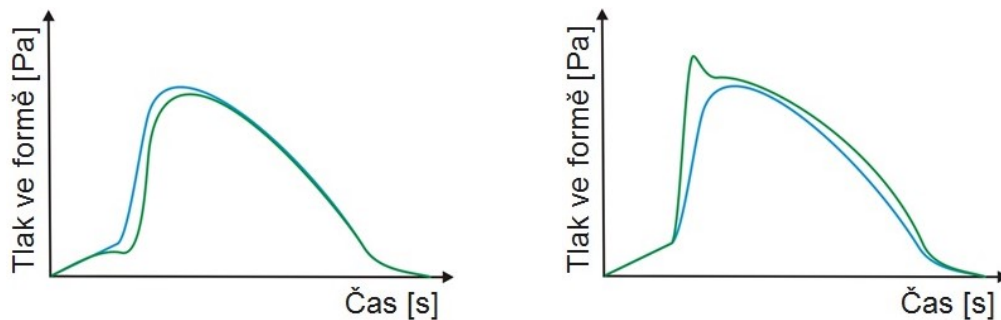
V případě nastavení bodu přepnutí dle tlaku, dělí se zde nastavení na dvě možnosti. A to nastavování dle vstřikovacího tlaku polymerní taveniny před šnekem, tedy v plastifikační jednotce, nebo pomocí senzorů přímo v dutině formy. Obecně, pokud je tlakový senzor umístěn v dutině formy, je lepší nastavit bod přepnutí na základě hodnot tlaku tohoto senzoru, jelikož v tomto případě je zaručeno stabilní plnění dílce pro každý vstřikovací cyklus a to zejména, když forma obsahuje více dutin ve formě. V případě formy, která obsahuje více dutin a bude bod přepnutí nastaven dle tlaku plastifikační jednotky, je možnost při problému horkého rozvodu, že dávka nebude stejnoměrně rozdělena. [3,8]





Obr. 6 Průběh tlaku v dutině formy sledované snímačem tlaku [11]

Na obr. 6 je patrné, jak průběh tlaku taveniny ve formě probíhá. Zpoždění mezi začátkem vstřikování a nárůstem křivky na grafu je dán z důvodu prodlevy, než tavenina začne vyvíjet tlak na senzor. Následuje pozvolný nárůst tlaku z důvodu stálého zaplňování volného prostoru v dutině formy. Další prudký zlom v nárůstu tlaku je dán úplným zaplněním dutiny formy, což znamená, že těsně pod tímto bodem je ideální bod přepnutí, tedy 95 % - 97 % zaplnění dílce. Po bodu přepnutí následuje dotlaková fáze, která je dána prudkým nárůstem tlaku, což je z důvodu stále zaplněné dutiny formy, do které se dotlačí materiál pod tlakem. Jelikož během dotlakové fáze probíhá zároveň chlazení dílce, který vlivem ochlazení se smršťuje, je následný pokles tlaku v dutině do bodu, kdy dojde k zamrznutí vtoku. To znamená, že v dutině formy není vyvíjen tlak materiálem, což je v grafu znázorněno prudkým poklesem tlaku. [11]



Obr. 7 Chyby v nastavení bodu přepnutí [11]

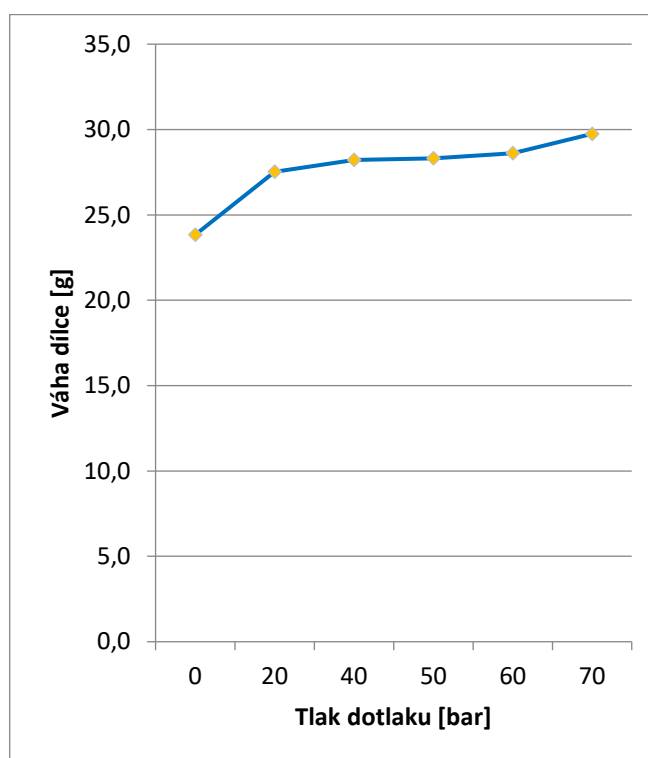
Na obr. 7 je možné vidět, jak lze rozpoznat chyby v nastaveném bodu přepnutí v závislosti na tlaku v dutině formy. Na levém grafu je znázorněn nastavený bod přepnutí příliš brzy, kdy modrá křivka na grafu vyznačuje ideální křivku a zelená křivka aktuální procesní nastavení. Propad tlaku v bodu přepnutí na dotlak značí příliš volného prostoru v dutině formy, do kterého dotlaková fáze tlačí polymerní taveninu. Takto špatně nastavený bod přepnutí, může mít za následek nedostříklý výrobek, propadliny na výrobku případně další povrchové vady. Na pravém grafu opět modrá křivka značí ideální křivku a zelená křivka je aktuální procesní křivka. V tomto případě se jedná o opačný problém a to nastavení bodu přepnutí příliš pozdě. Z grafu je patrné, že po vstřikovací fázi působí dotlak strmě do tlakového píku. To značí, že dutina formy je natolik zaplněna, že již dotlaková fáze nemá kam působit a přetlačí polymerní taveninu v dutině formy. Tento jev může mít za následek vlivem tlakové špičky kroucení dílů, vysoké vnitřní pnutí s následkem křehkosti dílu, případně přetoky v dělicí rovině vstřikovací formy. [11]

- **Nastavení dotlaku**

Dotlaková fáze udává rozměrovou stabilitu dílce a mechanické vlastnosti. Dotlak je dán dvěma veličinami a to časem, dle kterého je dáno, jak dlouho tato fáze bude působit a tlakem, jakým bude po dobu dotlakové fáze působeno. Tlakem je myšlen tlak polymerní taveniny před čelem šneku v plastifikačním válci. Z důvodu smrštění polymeru v dutině formy vlivem chladnutí polymerní taveniny je tato fáze důležitá pro doplnění chybějícího materiálu a pro odstranění vad, konkrétně propadlin. Příliš časově dlouhá a tlakově vysoká dotlaková fáze může mít za následek přetoky v dělicí rovině, vysoké vnitřní pnutí případně dodatečné praskání dílů. Naopak neefektivní dotlaková fáze může mít za následek rozměrovou a mechanickou nestálost výrobku. [11]

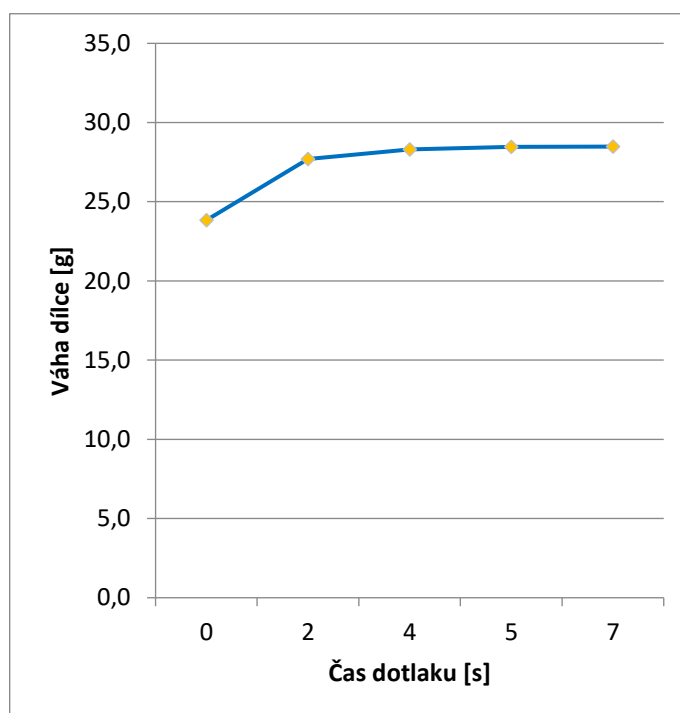
Nastavování dotlaku nejčastěji v praxi probíhá podle tzv. váhové křivky. U tohoto nastavení první veličina pro nastavení je velikost dotlaku. Procedura probíhá nastavením času na-

tolik dlouhým, aby bylo zajištěno, že v průběhu tlaku dojde k úplnému zamrznutí vtokové soustavy a vyvíjený a nastavený tlak působí po celou možnou dobu, kdy je ještě vtoková soustava stále, respektive tavenina ve vtokové soustavě plně nezatuhlá. Následně proběhne progresivní, s každým vstřikovacím cyklem zvyšování tlaku dotlaku, do doby než jsou patrné přetoky v dělicí rovině formy. Tato hodnota dotlaku je již pro nastavení procesu nevyhovující a tímto bodem také končí zkouška. Kusy se následně váží a sestavuje se váhová křivka v závislosti na váze dílce a nastavené hodnotě dotlaku. Výsledná tlaková křivka je patrná na obr. 8. [3,8]



Obr. 8 Váhová křivka v závislosti na tlaku

Dalším krokem pro dosažení efektivního dotlaku, je nastavení času pro dotlak. Jelikož v prvním kroku byl čas nastaven tak dlouhý, aby bylo naprosto zaručeno zamrznutí vtoku, v dalším bodě se tento čas hledá specificky. Je to z důvodu maximální vytiženosti výrobních strojů, aby neefektivní čas dotlaku neubíral na efektivitě stroje a příliš dlouhý čas dotlaku neměl negativní vliv na vlastnosti výrobku. Tedy z obr. 9 byl vybrán ideální tlak s ohledem na kvalitu dílce 55 bar. V následujícím nastavení je tato hodnota brána jako fixní a postupně se zvyšuje čas dotlaku, do doby, kdy bude stále efektivní, neboli z grafu bude patrné, že váhová změna dílce je žádná nebo úplně minimální. [3,8]



Obr. 9 Váhová křivka v závislosti na čase

Takovéto nastavení se hlavně používá u výrobků menších rozměrů, u větších dílů se používá progresivního nastavení profilu dotlaku. To znamená, že v první fázi, kdy je stále největší efektivita dotlaku se nastavuje vyšší hodnota dotlaku, která se postupně snižuje tak, aby bylo zaručeno maximální efektivitu dotlakové fáze. [3,8]

- **Nastavení času chlazení**

Tento bod je úzce navázán k nastavení požadované teploty samotné formy, která je temperována prostřednictvím chladicího média procházejícím z temperančních přístrojů do formy. Jako médium pro temperaci je nejčastěji použita voda nebo olej. Volba média závisí na požadavcích dodavatele materiálu na teplotu temperace formy, respektive je závislá na požadavcích daného materiálu. V závislosti na tomto faktu se nastavuje délka času pro chladicí fázi. Tedy čas, během kterého, vstřikovací stroj dávkuje materiál pro následující vstřikovací cyklus a pokud je potřebný čas chlazení. delší, stroj pouze stojí s uzavřenou formou a tento čas není efektivně využit. Proto je vyvíjen z pohledu výroby tlak na snížení tohoto času na nejmenší potřebný, čímž dojde ke zvýšení efektivity stroje. Tento čas je důležitý proto, aby byla zabezpečena rozměrová stabilita výrobku po vyhození ze vstřikovací formy. Jako příklad negativního efektu může být vnitřního pnutí dílce, které zapříčiní dodatečné zkroucení dílce, popřípadě při nedostatečném času chlazení, může dojít při vyhození vylisku k vtisknutí vyhazovačů do tvaru výrobku. Parametr čas chlazení bývá zpravidla nastavován pomocí testu, kdy na dílci je vybrán jeden snadno měřitelný rozměr a následným zvyšováním času chlazení se zjišťuje, jak se tento rozměr mění. Standardně by se rozměr měl měnit do určitého času chlazení a následně se ustálit (v tomto bodě by měl být výrobek zrelaxován), tímto ovšem není možné odstranit dodatečné smrštění výrobku. [3,8]

## 2 VSTŘIKOVACÍ STROJE

Jednou z nejvyužívanějších technologií pro zpracování plastů je technologie vstřikování plastů. Je to z důvodu, že více než 1/3 všech termoplastů je zpracovávána pomocí této technologie. Jelikož dnešní vstřikovací stroje jsou schopny zabezpečit plně automatické procesy se stabilní kvalitou výrobku, je tato technologie využívána pro tvarově složitější díly v hromadné produkci. Nedílnou součástí technologie vstřikování plastů je vstřikovací stroj. Vstřikovací stroj v dnešní době zabezpečuje všechny výrobní a kvalitativní aspekty výroby, potažmo výsledného výrobku. V současnosti je na trhu nepřehledné množství výrobců vstřikovacích strojů, však princip funkčnosti je stále stejný. Pro tuto práci byli vybráni dva výrobci vstřikovacích strojů, a to od firem Engel a Arburg. V případě firmy Engel se jedná o Rakouského výrobce vstřikovacích strojů rozšířeného po celém světě. Firma Arburg také zaujímá významné postavení v celosvětovém měřítku. Obecně lze v případě těchto dvou výrobců říci, že se jedná o nejrozšířenější výrobce pro zpracování termoplastů pomocí technologie vstřikování plastů. Základní označení velikosti vstřikovacího stroje, je dána dvěma základními parametry, tedy maximální uzavírací silou, která je udávána v tunách a velikostí vstřikovací jednotky udávanou v  $\text{cm}^3$ , čili maximální objem, který je schopna jednotka pojmout. Vstřikovací stroje dělíme dále podle specifických kritérií: [3,12]

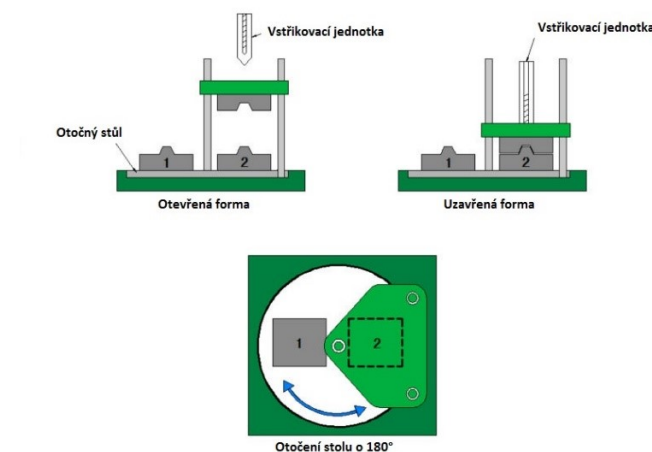
- **Orientace polohy vstřikovacího stroje:**
  - a) Vertikální
  - b) Horizontální
  - c) Kombinovaný
- **Pohon vstřikovacího stroje:**
  - a) Hydraulický
  - b) Elektrický
  - c) Hybridní

### 2.1.1 Dělení vstřikovacích strojů dle orientace polohy

V případě dělení dle polohy vstřikovacího stroje se jedná o polohu, jakou zaujímá uzavírací jednotka a vstřikovací jednotka vzhledem k podstavě. Tohle kritérium dělení je především důležité v případě specifikace vstřikovacího stroje pro konkrétní využití ve výrobním procesu. [3,12]

- **Vertikální vstřikovací stroj**

Vertikální vstřikovací stroj je koncepčně řešen, jak je patrné z názvu, ve vertikální poloze, tedy osa uzavírací jednotky je kolmá na podstavu stroje. V případě vstřikovací jednotky u menších vstřikovacích jednotek je taktéž vstřikovací jednotka ve vertikální poloze, v případě větších strojů je poté uzavírací jednotka ve vertikální poloze a vstřikovací jednotka v poloze horizontální. Toto koncepční řešení stroje je především využito tam, kde se jedná o obštrikování zálisků (kovových a polymerních insertů) polymerem. Tedy jestliže vkládáme do formy díly, které jsou v následujícím cyklu zastříknuty plastem. Jedná se pro příklad o výrobu různých měřících zařízení pro elektro průmysl, kdy jsou do formy zakládány kovové kontakty a následně pomocí plastu je vytvořeno tělo výrobku. Výše koncepční řešení má výhodu, jestliže je použit horizontální vstřikovací stroj s otočným stolem, kdy je jedna polovina formy vstřikovací a dvě spodní poloviny vyhazovací, všechny na otočném stole. Tuto koncepci je možné vidět na obrázku níže (obr. 10). V případě využití konceptu pro manuální/automatické zakládání je v tomto případě možné zajistit stabilní vstřikovací proces, jelikož ve chvíli, kdy založená polovina formy je momentálně ve vstřikovacím procesu, druhá polovina je využita pro zakládání a připravena před ukončením předchozího cyklu. [3,12]

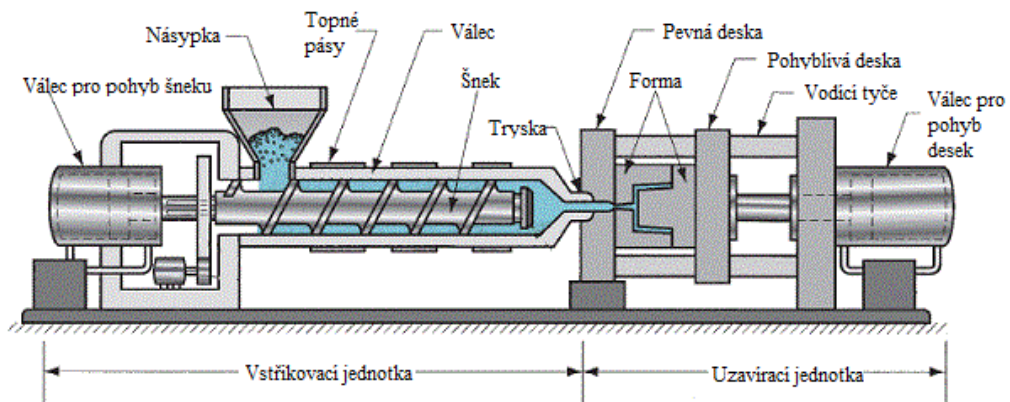


Obr. 10 Koncept vertikálního vstřikovacího stroje otočným stolem [13]

- **Horizontální vstříkovací stroje**

Tento koncept vstříkovacích strojů je v porovnání s vertikálními podstatně využívanější a rozšířenější. Jeden z důvodů je také to, že v porovnání s vertikálními jsou levnější. Konceptně jsou tedy řešeny tak, že osa uzavírací jednotky a vstříkovací jednotky je v rovnoběžné pozici s osou podstavy. Tedy upínací desky stroje jsou ve vertikální poloze, na niž je upnuta vstříkovací forma. Obecně jsou tyto vstříkovací stroje využity pro vstříkování čistě plastových výrobků tzn. bez založených komponentů. Kdy po otevření formy je vstříkovaný díl buďto odebrán pomocí manipulátoru/robotu nebo pomocí vyhazovačů vyhozen na dopravníkový pás pod vstříkovacím strojem. Tato výroba je velmi rychlá a efektivní pro velkosériovou výrobu plastových výrobků. [3,12]

Následující skica (obr. 11) zobrazuje variantu, kdy pohyb uzavírací jednotky i vstříkovací jednotky je realizován v horizontální ose.



Obr. 11 Skica horizontálního vstříkovacího stroje [14]



### 2.1.2 Dělení vstřikovacích strojů dle pohonu

Dnešní trh vstřikovacích strojů nabízí neustále inovativní řešení vstřikovacích strojů. To se následně také odráží na jejich možném pohonu, které jsou schopny nabídnout stále větší efektivitu výroby, nebo preciznost při výrobě velmi malých, případně rozměrově velmi náročných výrobků. Obecně se zvyšování nároků na vstřikovací stroje odráží na jejich pořizovací ceně. [12,15]

Základní dělení pohonu vstřikovacích strojů

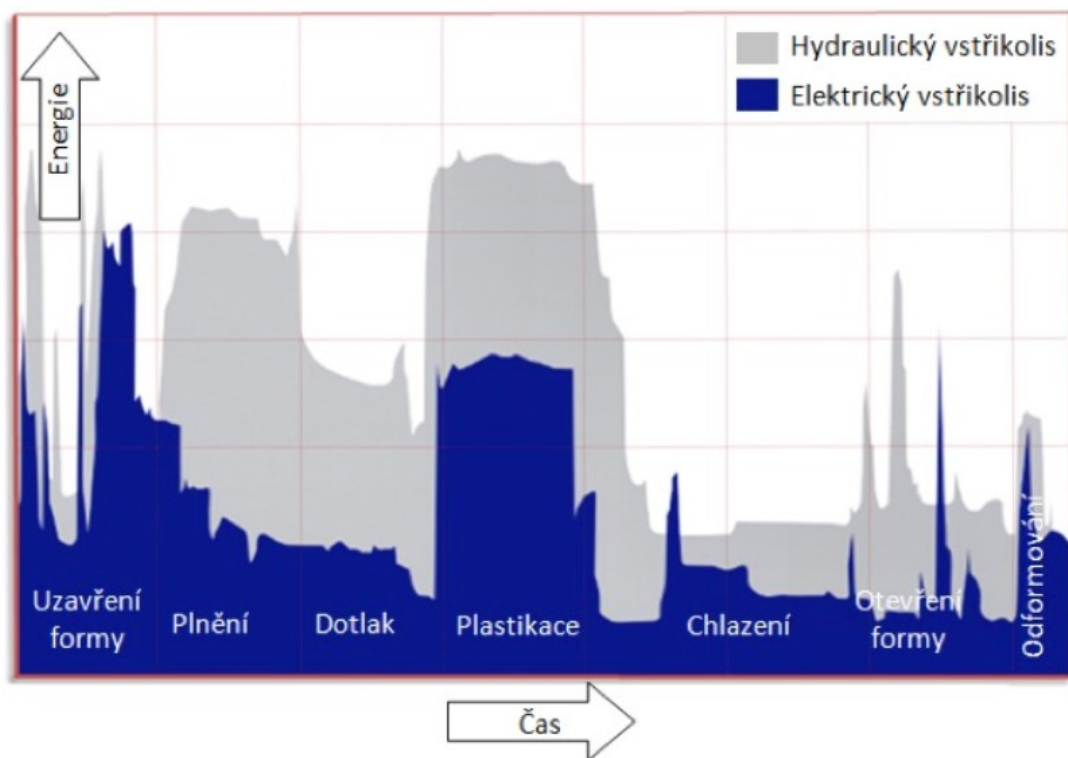
- a) Hydraulický pohon vstřikovacího stroje
- b) Elektrický pohon vstřikovacího stroje
- c) Hybridní pohon vstřikovacího stroje [12,15]

- **Hydraulický pohon vstřikovacího stroje**

Hydraulický pohon vstřikovacího stroje je nejstarší a nejrozšířenější z pohledu možných pohonů vstřikovacích strojů. U tohoto typu pohonu je využíván jako médium hydraulický olej, který je následně pomocí čerpadla využíván pro vytvoření tlaku a síly v požadovaném směru. Výhodou je zejména účinnost hydraulických čerpadel, která může být až 90%. Veškerá tato energie se využívá k pohybům stroje, a to uzavírací jednotky, ale i také vstřikovací jednotky. I přesto, že účinnost hydraulických čerpadel je poměrně vysoká, energetické nároky na tento typ pohonu jsou největší z výše uvedených pohonů. Nesporným plusem tohoto pohonu je velmi vysoká spolehlivost. Například u vstřikovacích strojů značky Arburg je směrodatné na kolik hydraulických pump je stroj koncipován, od čehož se dále odvíjí, kolik pohybů bude poté stroj schopný provádět současně. Výhodami hydraulického pohonu vstřikovacího stroje jsou tedy spolehlivost, snazší údržba a nízká pořizovací cena. Naopak nevýhoda u těchto strojů je vzhledem k nutnosti použití jako média hydraulického oleje možnost jeho prosakování, tedy případné úniky což znamená znečištění pracovního prostředí a poměrně vysoká energetická spotřeba. [12,15]

- **Elektrický pohon vstříkovacího stroje**

Jak již bylo zmíněno, přenosné médium hydraulického pohonu je hydraulický olej, který v případě plně elektrických strojů úplně odpadá. V případě elektrických strojů jsou hydraulická čerpadla nahrazena elektrickými servomotory řízenými frekvenčními měniči. Nevýhodou elektrických vstříkovacích strojů je jejich vysoká pořizovací cena v porovnání s hydraulickými vstříkovacími stroji, však tuto nevýhodu elektrické stroje vyvažují hned několika výhodami, a to vysokou přesností regulace procesu, dosažením kratších časů cyklu a v neposlední řadě tím, že tento typ nepoužívá oleje jako medium. Tímto odpadá možnost kontaminace pracovního prostředí, z čeho vyplývá, že tento typ strojů je vhodnější do čistých prostorů například, při vstříkování dílů pro zdravotnické účely. Také spotřeba energie v porovnání s hydraulickými lisami je podstatně nižší, tento rozdíl je možné vidět na obrázku níže (obr. 12). Nutnost dodatečné hydrauliky je závislá na složitosti koncepce vstříkovací formy, pokud forma obsahuje jádra případně jiné pohyblivé externě ovládané mechanismy, musí být lis dovybaven hydraulikou o hydraulické tahače jader. [12,15]



Obr. 12 Porovnání spotřeby energie hydraulického a elektrického vstříkovacího stroje [16]

- **Hybridní pohon vstřikovacího stroje**

V případě hybridních vstřikovacích strojů se jedná o kombinace hydraulického a elektrického vstřikovacího stroje. Provedení se u různých výrobců vstřikovacích strojů mění v kombinaci použitých pohonů. Například u vstřikovacích strojů firmy Engel je hydraulický pohon využit pro pohon uzavírací jednotky a elektrický servo pohon je využitý pro ovládání vstřikovací jednotky. Pro porovnání koncept strojů značky Arburg je naprosto opačný. Z tohoto pohledu je výhodnější koncept, který nabízí firma Engel. A to kdy z důvodu využití hydraulického pohonu na uzavírací jednotce není nutné dovybavovat uzavírací jednotku o hydraulický agregát v případě nutnosti využití hydraulických tahačů jader. Zároveň obecně na vstřikovací jednotku jsou kladeny vyšší nároky na regulaci, jelikož samotná vstřikovací fáze je z pohledu celého procesu ta nejdůležitější pro dodržení konstantních požadavků na kvalitu vyrobeného dílce. Spotřeba energie je stále nižší v porovnání s hydraulickým strojem. [12,15,16]

## **2.2 Základní části vstřikovacího stroje a jeho periferie**

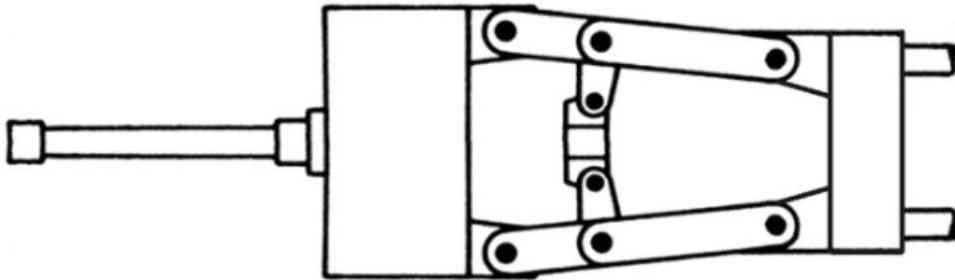
Obecně se vstřikovací stroj dělí na dvě základní části, a to vstřikovací jednotku a uzavírací jednotku. Každá z těchto základních částí musí splňovat požadavky stanovené designem konkrétního dílce a konceptem formy, kterou by měl vstřikovací stroj obsluhovat. Výběr koncepce a požadavkům odpovídajícího vstřikovacího stroje, je nejdůležitější krok z pohledu následného procesu vůbec. Pro splnění těchto požadavků je nutné veškeré veličiny řádně spočítat. [12,15,16]

### **2.2.1 Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje**

Hlavním úkolem uzavírací jednotky je zprostředkovat požadované pohyby formy a zejména udržet formu uzavřenou požadovanou uzavírací silou po celou dobu vstřikovací fáze. Dle velikosti uzavírací síly udávané v tunách je následně označována velikost vstřikovacího stroje. Výpočet uzavírací síly byl již zmíněn v kapitole nastavení uzavírací síly. Uzavírací síla je u každého lisu zprostředkována pomocí různých typů mechanismů. Uzavírací jednotka musí také zabezpečit, aby formu bylo vůbec možné na požadovaný vstřikovací stroj upevnit (tedy zabezpečit požadované upínání), popřípadě zabezpečení upínacího mechanismu pro zefektivnění požadovaného času pro výměnu formy (tedy hydraulické rychloupínací trny). To vše je možné primárně za předpokladu, že byla splněna podmínka maximálního zatížení pohyblivé i pevné desky vstřikovacího stroje. [12,15,16]

- **Kloubový mechanismus**

Kloubový mechanismus je jeden z nejpoužívanějších mechanismů u vstřikovacích lisů vůbec. Jedná se o starší typ uzavíracích jednotek avšak stále velmi efektivní. Jednou z hlavních výhod tohoto mechanismu je možné dosažení vysoké rychlosti uzavírání formy a zároveň vybudování vysoké uzavírací síly, která je vybudována tzv. zalomením kloubů. Je zde tedy menší riziko pootevření formy během vstřikovacího procesu. Kloubový mechanismus může být poháněn ať už hydraulickým nebo elektrickým pohonem. Další výhodou je relativně malá konstrukce kloubového ústrojí, mechanismus nemá vysoké požadavky z pohledu prostoru. Schéma kloubového mechanismu je možné vidět na obrázku níže (Obr. 13) [12,15,16]

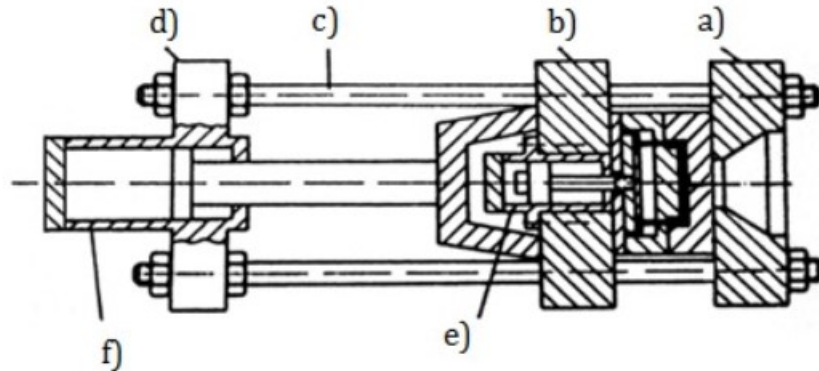


Obr. 13 Schéma čtyř kloubového mechanismu [17]

- **Hydraulický mechanismus**

Princip mechanismu spočívá ve využití hydraulického systému, který je propojen přímo s pohyblivou deskou vstřikovacího stroje (Obr. 12). Možným řešením je propojení hydraulického systému přímo skrz hydraulický válec, který je napojen na pohyblivou desku formy, nebo hydraulický systém je propojen skrz tyče napojené na pohyblivou desku. Využití tohoto principu je možné najít u vstřikovacích strojů značky Engel, označených jako bez sloupkové. Výhodou bezsloupkového vstřikovacího lisu je zvětšení prostoru pro automatizaci, tedy prostoru pro odebrání výrobků. Největší výhodou hydraulických mechanismů je opakovatelnost a dodržení nadefinovaného profilu pro pohyby vstřikovacího stroje. Pro praktické využití je uplatnění těchto výhod u rozměrově větších a těžkých vstřikovacích forem kde je kladen důraz na přesnost pohybů formy. Nevýhodou poté nastává požadavek na velký objem hydraulického oleje a to z důvodu konstrukčně objemnějších hydraulických pístů. [12,15,17]

Na obr. 14 jsou patrné jednotlivé části hydrauliky vstřikovacího stroje a) Pevná upínací deska, b) Pohyblivá upínací deska, c) Vodící tyče, d) Rám stroje, e) Hydraulický vyhadzovač, f) Hydraulický válec pro pohyb pohyblivé desky. [17]



Obr. 1414 Schéma hydraulického vstřikovacího stroje [17]

- **Kombinovaný mechanismus**

Tento mechanismus vznikl za předpokladu využití výhod obou systémů, tedy kloubového a hydraulického. Princip mechanismu spočívá v zprostředkování hlavních pohybů pohyblivé desky prostřednictvím kloubového mechanismu z důvodu vyšší rychlosti kloubového mechanismu a následného vybudování uzavírací síly dotlačením hydraulického válce a uzamčením pohyblivé desky v poloze uzavřené formy, respektive v poloze s vybudovanou uzavírací silou. Jedná se tedy o velmi efektivní a zároveň přesný mechanismus uzavírání. [12,15,17]

### 2.2.2 Vstřikovací jednotka vstřikovacího stroje

Hlavním cílem vstřikovací jednotky je zabezpečit kontinuální dodávku polymerní taveniny za požadovaných podmínek do tvarové dutiny formy. Tyto požadavky mají specifická kritéria, která je nutné dodržet v závislosti na konkrétně vybraný design dílce a zároveň zpracovávaný materiál. U procesu vstřikování plastů je doménou pro zpracování termoplastické materiály. To znamená, že požadavky na vstřikovací jednotku jsou, roztavení termoplastického granulátu na polymerní taveninu požadované viskozity a následné plnění dutiny formy požadovaným tlakem a rychlostí. Vstřikovací jednotka se skládá z hydraulického pohonu napojeného na šnek v tavicí komoře a topných pásů, které vyhřívají tavicí komoru. Teplo potřebné pro tavení polymeru je ze 70 % tvořeno vlivem tření mezi polymerem a stěnou válce, respektive tavicí komory. A poslední částí vstřikovací jednotky je tryska, která tvoří kontakt mezi plastifikační jednotkou a vstřikovací formou. Vstřikovací jednotka musí splňovat specifické požadavky pro danou formu, tedy objem, který je možný plastifikační jednotka pojmout, tento objem musí korespondovat s objemem, který zaujímá vstřikovaný dílec v dutině formy vynásobený počtem dutin ve formě, plus rozvodná vtoková soustava. V závislosti na tomto parametru je volena velikost plastifikační jednotky, respektive průměru šneku ve vstřikovací jednotce. V tomto bodě platí, že objem vstřiku, tedy součet objemu dutiny ve formě a rozvodného kanálu, by se měl pohybovat mezi 20 % - 80 % objemu, který je možný pojmout vstřikovací jednotkou. S tímto aspektem dále souvisí tzv. prodleva materiálu ve šneku, resp. Vstřikovací jednotce. Jedná se o čas, jaký materiál zůstane ve vstřikovací jednotce do doby, než je vstřiknut do dutiny formy. Pro každý materiál je tato prodleva materiálu ve šneku z pravidla jiná, jedná se o čas, který je polymerní tavenina schopná snést do doby, než začne degradovat. Tento čas pro každý materiál udává dodavatel materiálu. Dále pak musí vstřikovací jednotka splňovat požadavky na požadovaný tlak vstřiku, který je vstřikovací jednotka schopna vyvinout vzhledem k tlaku, který je požadován k zaplnění dutiny formy.

Co se týče samotného vstřikování a dopravy materiálu, je zprostředkování realizováno pomocí rotačního pohybu šneku kolem své osy a to během dávkování a zároveň axiálním pohybem šneku. Následné vstřikování probíhá rychlým axiálním pohybem šneku vpřed. [12,15,17]

### 2.2.3 Periferie vstřikovacího stroje

Pod kategorií periferie vstřikovacího stroje se řadí veškerá zařízení, potřebná pro stabilní chod procesu vstřikování plastů. Mezi hlavní periferie patří sušičky plastového granulátu a vedení materiálu do vstřikovací jednotky pro zabezpečení optimálních podmínek plastového granulátu a následné kontinuální dávkování do vstřikovacího stroje pro zajištění nepřetržité výroby vstřikovacího stroje. Dále zde řadíme temperační stanice pro zajištění konstantní požadované teploty vstřikovací formy. Modernizované výrobní podniky dnes preferují další nedílnou součást vstřikování plastů a to automatizaci/robotizaci výroby. Takto modernizovaná linka může ušetřit velké náklady na pracovníka. Však kromě urychlení taktu stroje, automatizace zapříčiní především stabilizaci procesu, respektive času cyklu. Naopak v případě, kdy se jedná o obšťik komponentů plastem a pracovník zakládá komponenty do stroje manuálně, případně je i manuálně odebírá udává nestabilní cyklus stroje, kdy stroj čeká na pracovníka a takt stroje variuje. Pro snížení nákladů na zmetkovitost se používají drtiče výrobků, kde podrcený plastový materiál je následně možné použít pro opětovné vstřikování. Poslední, ne příliš používanou periferii, bývají dávkovače barviva, respektive pigmentu pro obarvení granulátu na požadovanou barvu. [12,15,17]

Hlavní periferní zařízení tedy jsou:

- a) Sušičky granulátu,
- b) Rozvody a zařízení pro dopravu granulátu
- c) Temperační zařízení,
- d) Manipulátory a roboty
- e) Dopravníky

Další pomocné stroje a zařízení

- **Sušení a doprava granulátu**

Jak již bylo zmíněno výše, tyto periferie zabezpečují nepřetržitý přísun granulátu do vstřikovací jednotky stroje. Co se týče sušících zařízení, v provozu jsou používány dva typy sušících zařízení. Prvním je molekulární sušící zařízení a druhým kompresní membránové sušící zařízení. Obecné požadavky na způsob vysoušení si udává každý dodavatel materiálu dle typu dodaného granulátu. Požadavky obecně bývají především na dobu vysušování materiálu, což souvisí s velikostí zásobníku, ve kterém je materiál vysoušen a druhé krité-

rium je teplota, při které je materiál vysoušen. Kontrolním parametrem poté z pravidla bývá maximální hodnota vlhkosti materiálu před zpracováním, která je kontrolována odebráním vzorku ze sušícího zařízení a zkoušena v zařízení typu Aquatrac, které zjistí vlhkost a následně je možnost naměřenou hodnotu vlhkosti porovnat s materiálovým listem dodavatele. [18]

Následně je nutné zajistit dopravu vysušeného materiálu ze sušícího zařízení do násypky umístěné na vstřikovací jednotce a to pomocí externích podtlakových nasávačů. Obecně se v tomto případě volí velikost nasávače a násypky taková, aby nebylo nutné nasávat materiál v krátkých časových úsecích, což by mělo za následek zkrácení životnosti nasávače a zároveň platí požadavek na co možná nejmenší dráhu dopravy materiálu, mezi sušícím zařízením a násypkou vstřikovacího stroje. [18]

- **Temperační zařízení**

Účel temperačních zařízení spočívá v požadavku na dosažení konstantní požadované teploty formy pro vstřikování plastů. Tato teplota je pro každý typ materiálu jiná a ovlivňuje vzhledové i rozměrové aspekty výrobku. Tedy dle požadavků na teplotu temperace formy se volí vhodné médium pro přenos takovéto teploty. Obecně se volí do 100 °C jako médium voda, nad tuto teplotu už poté olej. Samozřejmě ke zvolenému médiu musí i konstrukčně odpovídat temperační zařízení a musí být pro něj vhodné. Počet temperačních zařízení pro danou formu se volí dle velikosti formy a počtu částí tak, aby bylo zabezpečeno konstantní teploty. Procesně se sledují jako hlavní parametry teplota na výstupu z temperačního zařízení a průtok temperačního média v litrech za minutu. Pro kontrolu správné funkčnosti se používají dotykové teploměry na povrchu formy. [12,15,17]



- **Automatizace/Robotizace**

Po ukončení vstřikovacího procesu je nutné zabezpečit odebrání výrobků ze vstřikovacího stroje tak, aby nedošlo k jejich poškození a zároveň byla splněna podmínka na konstantní takt stroje. Tuto podmínku není možné splnit, pokud stroj obsluhuje pracovník a odebírá dílce přímo ze vstřikovacího stroje, jelikož jeho pohyby nejsou stále stejně rychlé, což má za následek různé délky pracovních cyklů. Proto se využívá tříosých manipulátorů či šesti-osých robotů. Volba typu robota závisí na složitosti manipulačních pohybů či nadstandardních úkonech jako například oddělování vtoku od dílce stříhacím zařízením. Tříosé manipulátory jsou vhodné v případě, že se jedná o jednoduchý odběr dílce a následného odložení na dopravníkový pás. V případě zmíněných složitějších požadavků na úkony robotu se volí šestiosý robot, který je vyobrazen na obrázku níže (Obr. 15).



Obr. 15 Šestiosý robot Kuka integrovaný do řízení Engel [15]

### 3 VSTŘIKOVACÍ FORMY

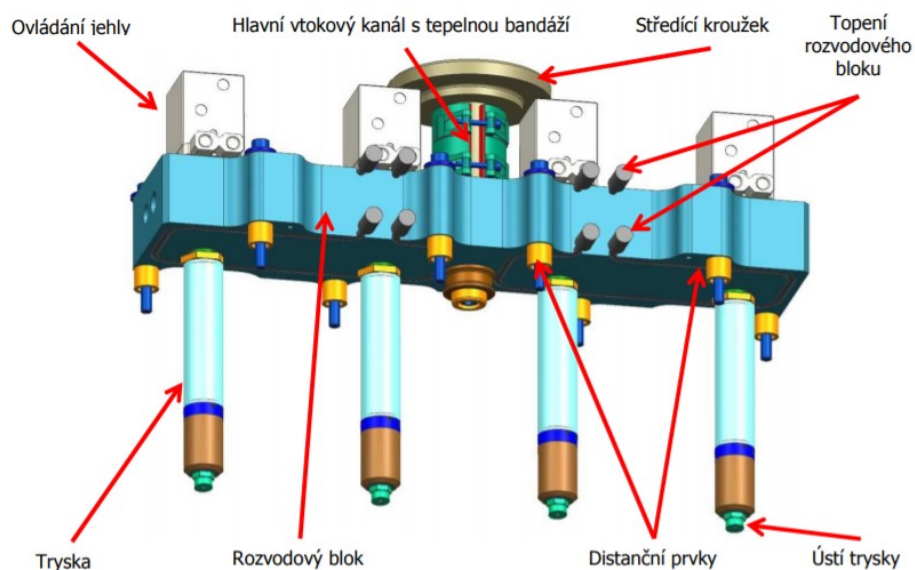
Vstřikovací formy vytvářejí souhrn součástí (vyhazovacích ústrojí, pohyblivých šoupátek a tvarů formy) nutných pro zabezpečení splnění všech požadavků výroby daného dílce procesem vstřikování. Hlavním požadavkem na vstřikovací formy je vytvoření tvarové dutiny formy, která odpovídá tvaru výsledného dílce. Takto vytvořená dutina musí odpovídat fyzikálním požadavkům na zatékavost polymeru. Tedy tloušťky stěn jednotlivých tvarových dutin formy by měly být stejné a zároveň musí respektovat smrštění polymeru, ke kterému dochází během chladnutí polymerní taveniny do tuhého stavu. K tomuto požadavku nedílně patří zajištění dopravy polymerní taveniny do dutiny formy tak, aby bylo zajištěno její celkové zaplnění. K dosažení tohoto požadavku slouží vtoková soustava. Její začátek tvoří vtoková vložka, na kterou dosedá tryska vstřikovací jednotky stroje a musí vytvořit dokonalé spojení bez jakýchkoli úniků materiálu během vstřikovací a následné dotlakové fáze. Toto spojení je realizováno pomocí rádiusu na trysce a vtokové vložce. V případě vstřikování termoplastických materiálů musí vstřikovací forma splnit stabilní udržení požadované teploty pro chlazení výrobku. Z tohoto důvodu je forma opatřena chladicími okruhy napojenými na temperační zařízení. Hlavním úkolem chlazení je, aby bylo dosaženo rovnoměrné chládnutí v celém objemu dílce, což následně zabezpečí zmenšení vnitřního pnutí v dílci a snížit možnost vzniku následných deformací dílce po jeho odformování. Samotné odformování dílce je zprostředkováno tím, že vstřikovací forma je nejčastěji složená ze dvou polovin. První polovinou je vstřikovací pevně upnutá polovina, ve které je uložen rozvodný systém polymerní taveniny a druhá polovina vyhazovací (pohyblivá část), což ovšem není podmínkou. Aby došlo ke kvalitnímu odformování dílce, musí být zajištěno dodržení úhlů ve směru odformování dílu ze vstřikovací formy. Samotné vyhazování dílce bývá zprostředkováno mechanickými vyhazovači zapuštěnými ve tvarové dutině formy, ovládanými pomocí hydrauliky vstřikovacího stroje. [19]

#### 3.1 Vtoková soustava

Vtoková soustava ve vstřikovací formě začíná vtokovým kuzelem, který je vytvořen ve vtokové vložce. Dále již polymerní tavenina proudí skrz formu pomocí rozvodných kanálů. U koncepčně starších vstřikovacích forem, popřípadě forem s velmi jednoduchým designem, je využíván tzv. studený rozvodný kanál. Jedná se tedy o kanál skrz vstřikovací formu, který není vytápěn. Tato koncepce má za následek složitější nastavení plnění dutiny formy, z důvodu nemožné regulace teploty taveniny ve formě a tím zvýšení vstřikovacího

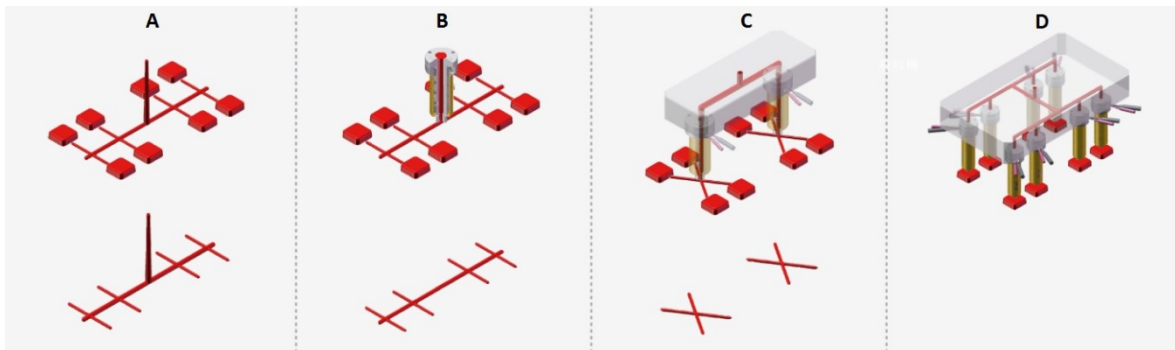
tlaku, jelikož materiál již chladne v rozvodném kanálu. V neposlední řadě z pohledu výrobních nákladů, jsou zde vysoké náklady na odpadní materiál, jelikož celá vtoková soustava je po dokončení vstřikovacího cyklu již zchlazená a vyhozená s dílcem jako odpad. Výhodou tohoto řešení je velmi jednoduché konstrukční řešení s minimálními náklady na výrobu a jednoduchá údržba. [19;20]

Modernějším konstrukčním řešením a v současné době převážně využívaným je horký rozvodný systém. Jedná se o rozvodnou soustavu vloženou do těla formy, skrz kterou proudí polymerní tavenina. Tato soustava je nahřívána a teplotně regulovaná pomocí teplotních pásů a čidel uložených na stěně jednotlivých komponent této soustavy. To v praxi znamená udržení polymerní taveniny na požadované teplotě, až do poslední chvíle před vstříknutím do dutiny formy. V současné době jsou horké rozvody zpravidla připojeny a regulovány skrz ovládání vstřikovacího stroje. Horký systém může být zakončen tzv. vstříkovaním do dílce. To znamená na konci horkého rozvodu je jehla ovládaná hydraulikou nebo pneumatikou stroje a tímto místem se nazývá vstřikovací bod. Horký rozvod s uzavíratelnou jehlou je možné vidět níže na obr. 16. Výhodou tohoto řešení je bezodpadová výroba v podobě odstranění vtoku, možnosti regulace teploty v horkém systému a v případě více násobné formy je zde možnost synchronizace plnění dutin, čehož lze dosáhnout také pomocí optimalizace časování otevírání vstřikovacích jehel. Druhým možným řešením horkého rozvodu je zakončení horkého rozvodu do studeného rozvodného kanálu. Nevýhodou horkého rozvodu v porovnání se studeným kanálem jsou vyšší pořizovací náklady a konstrukční složitost v návaznosti na složitou údržbu systému. [19,20]



Obr. 16 Horký rozvod s uzavíratelnou jehlou [27]

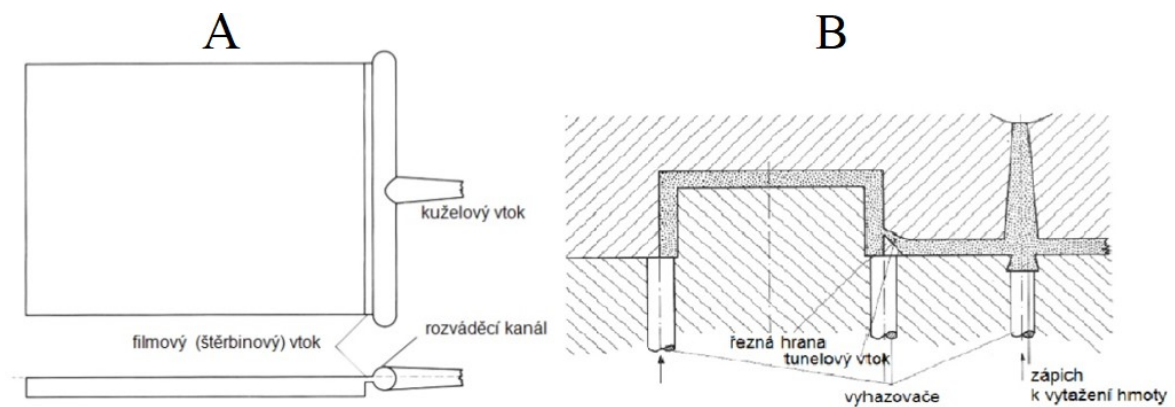
Na obrázku níže (Obr. 17) lze vidět porovnání vtokových systémů včetně jejich produkci odpadu A) Studený rozvodný kanál včetně studeného ústí vtoku, B) Temperovaný rozvodný kanál se studeným rozvodem a studeným ústím vtoku, C) Horký rozvod se studeným ústím vtoku, D) Horký rozvod se vstřikováním přímo do dílce.



Obr. 17 Vtokové systémy vstřikovací formy [19]

Obecně platí, že celý rozvodný systém materiálu ve formě by měl být symetrický. Posledním prvkem rozvodného systému polymerní taveniny do vstřikovací formy je vtokové ústí do tvarové dutiny formy. Důležitost volby správného ústí vtoku pro konkrétní vstřikovací díl je velmi vysoká, a to z pohledu geometrie ústí vtoku, kde musí splňovat podmínku na tloušťku vůči rozvodnému kanálu a vstřikovaného dílce tím, že tloušťka ústí vtoku bude menší. A to stále za splnění podmínky efektivního naplnění dílce během vstřikovací, však i dotlakové fáze, a to ještě před zamrznutím vtokového ústí. Druhý požadavek, který musí vtokové ústí splnit z pohledu kontinuity procesu je jednoduché odstranění vtokového ústí od zhotoveného dílce a jeho snadné vyjmutí z formy během fáze odebírání dílce.

Z pohledu geometrie je pravidlem dodržení vzdálenosti mezi dílcem a vtokem maximálně 2 mm. Mezi nejčastěji využívané vtokové ústí patří filmové ústí vtoku, zobrazené na Obr. 18a a dále tunelové ústí na schématu na Obr. 18b a banánové ústí vtoku. [19;21]



Obr. 18 A) Filmové a B) tunelové vtokové ústí [21]

### 3.2 Temperace vstřikovací formy

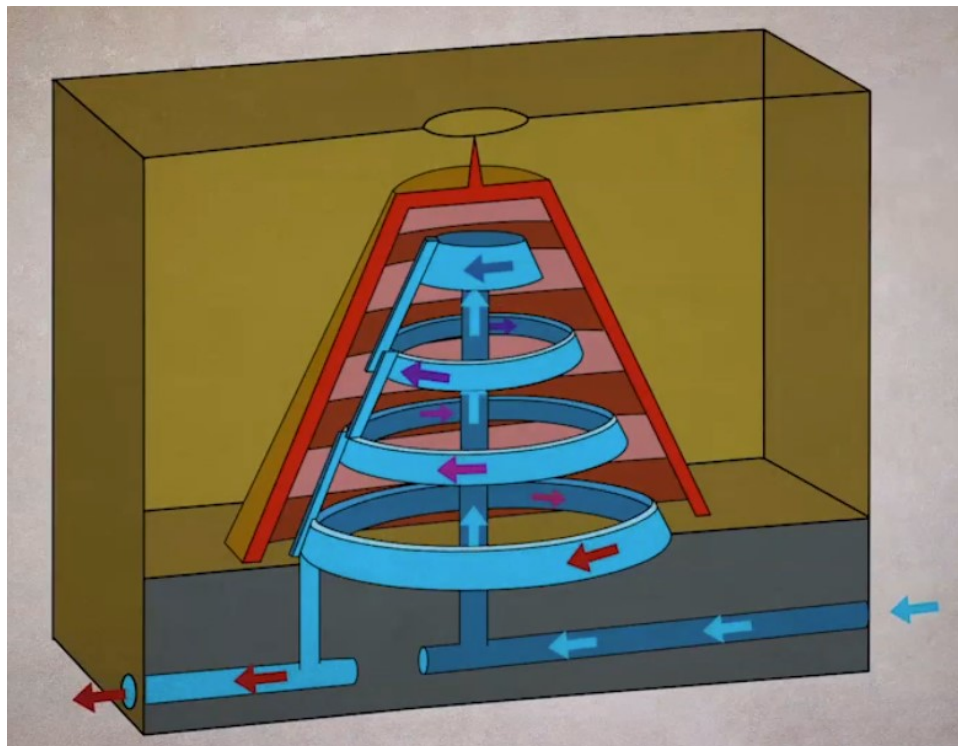
Jak již bylo zmíněno v procesní části, zajištění optimálního chlazení formy je jednou z klíčových požadavků na vstřikovací formu. Temperace formy přímo ovlivňuje řadu vlastností vyráběného dílce, jako zajištění specifikovaného povrchu dílce, kdy vlivem teploty formy na ochlazování polymerní taveniny v dutině formy se mění morfologie vstřikovaného dílce, dále pak má vliv na napětí v dílci spojené s jeho dodatečným smrštěním po vyhození ze vstřikovací formy. Z výrobního pohledu optimálním a efektivním chlazením formy je možné dosáhnout kratších časů cyklu procesu. Cílem je tedy schopnost temperačních okruhů formy vyhřát pracovní část formy na požadovanou teplotu pro zpracování konkrétního materiálu a tuto teplotu konstantně udržovat s minimálními výkyvy i během vstřikovacího procesu, kdy je za vysoké teploty vstřikována polymerní tavenina a vstřikovací proces, respektive výroba běží nepřetržitě. [22]

U jednotlivých typů materiálu se odráží proces chlazení odlišně, například u amorfních polymerů ovlivňuje chlazení zejména vnitřní pnutí a tvarovou stabilitu (například při vstřikování předních skel světlometů automobilů z polykarbonátu). U semikrystalických polymerů temperace zejména ovlivňuje stupeň krystalinity, což má u daného výrobku v praxi vliv na jeho mechanické vlastnosti. [22]

Obecně pro dosažení těchto požadavků je nutné zvolit hustou síť chladicích kanálů vytvořených ve formě s ohledem na použité medium a také na dosažení vysokých tlaků uvnitř vstřikovací dutiny. Proto je nutné dodržet minimální vzdálenost chladicích kanálů od dutiny formy. Obecně se konstrukčně tato minimální vzdálenost dimenzuje 2 mm. Při nedodržení tohoto pravidla nastává riziko prasklin tvarových částí formy vlivem cyklického namáhání tlakem, popřípadě ve spojení použití chladicího média ve formě vody může dojít ke zkorodování chladicích kanálů a úniku vody do tvarové dutiny formy. S volbou chladicího média respektive v případě využití vody je nutné dodržet kvalitu vody a dbát pozornosti na její kontaminaci vlivem, které může dojít k ucpání chladicího okruhu, což má za následek znehodnocení výroby. [22]

Při konstrukci chladících kanálů ve formě hraje zejména roli design výrobku, respektive jeho tvar. U tvarově jednoduchých dílů se volí přímé kanály vyvrtané skrz formu se vstupem a výstupem do temperační jednotky. U složitějších výrobků se poté volí pro zajištění optimálního chlazení konstrukčně složitější tvary a uspořádání. Zejména v případě dutých tvarů jako jsou kelímky a podobně se volí konstrukčně speciální přepážky v podobě klasických přepážek, spirálových přepážek nebo konstrukčně složitějšího systému spirálových přepážek vytvořených 3D tiskem kovů. Tento systém se poté nazývá CONTURA® jedná se o systém vyrobený 3D tiskem, tedy práškovou metalurgií sintrovanou laserem. Tento systém je vyobrazen níže obr. 19 [22]

Jelikož celý děj chlazení vstříkovaného dílce pracuje na principu teplotní vodivosti a to konkrétně mezi temperačním médiem, stěnou vstříkovací formy a polymerní tavenou, je jednou z dalších možných variant pro zefektivnění vstříkovacího procesu použít tvarové vložky vyrobené z teplotně vysoce vodivých slitin, jako jsou slitiny Ampco. V případě slitiny Ampco se jedná vždy o slitinu mědi. Tyto materiály jsou vlivem vysoké teplotní vodivosti schopny rychleji vyrovnat tepelnou změnu mezi vstříkovanou polymerní taveninou, stěnou z Ampco slitiny a chladícím médiem. Používají se hlavně ve vstříkovacích formách tam, kde jsou kladeny vysoké nároky na mechanické vlastnosti a zvýšené teplotní nároky. [22]



Obr. 19 Chladicí okruh vyrobený 3D tiskem [28]

### 3.3 Konstrukce dělicí roviny a odformování

Odformováním se rozumí veškerá problematika zabývající se vyjmutím dílce po ukončení vstřikovacího cyklu. K tomuto slouží správná konstrukce zaformování dílce do dutiny formy respektive určení dělicí roviny, či pohyblivých mechanismů tvořících dodatečně složité tvary ve formě a následně vyhazovací ústrojí, které dílec vyhodí z tvarové dutiny, aby její obsluha mohla odebrat. [19]

Jako dělicí rovinou formy se obecně rozumí dosedací plocha pohyblivé strany formy s pevnou stranou formy. Tato plocha musí být navržena tak, aby i po zastříknutí plastu do dutiny formy, bylo stále možné otevřít formu a vyjmout výrobek bez poškození. To znamená, že ve tvarové dutině nejsou záporné úhly proti směru vyhození dílce. Standardně se naopak počítá, že ve směru odformování je tzv. odformovací úhel zpravidla  $1^\circ$ –  $2^\circ$ , a to z důvodu snadného vyhození výrobku z formy tedy snížení potřebné síly na vyhození výrobku a zabránění poškození povrchu výrobku i povrchu vstřikovací dutiny formy. Speciálně v případě požadavků na zrcadlový lesk povrchu může při nedodržení dostatečného odformovacího úhlu vznikat poškrábání povrchu. Tento jev speciálně u pohledových dílů může zapříčinit vysokou zmetkovitost. V případě podkosů, otvorů nebo tvarově složitých výrobků se pro jejich odformování používají pohyblivé mechanismy, které tvoří tvar na výrobku, avšak jsou řízeny pomocí hydrauliky, pneumatiky nebo mechanicky pomocí šikmých kolíků. Tyto pohyblivé tvarové vložky při zavření formy dosednou na pozici tak, že vytvoří z tvarové dutiny celek, do kterého je následně zastříknuta polymerní tavenina. Před otevřením následně zajedou do rámu formy a vytvoří tak tvar, který je následně možné odformovat z dutiny formy přímo z dělicí roviny.

Následnou nutnou součástí pro možnost odformování dílce z dutiny formy je tzv. vyhazovací systém. Základní uložení vyhazovacího systému bývá na pohyblivé straně formy, k čemuž je nutné dodržet podmínku, že při otevření formy je dílec na pohyblivé straně formy fixován. [19]

Tato podmínka bývá z pravidla naplněna pomocí:

- Smrštění během chlazení,
- Použití drobných podkosů,
- Rozdílnou teplotou pohyblivé a pevné strany formy,
- Vytvořením vakua mezi dílem a povrchem dutiny formy. [19]

Při konstrukci vyhazovacího mechanismu formy musí být zajištěno, aby nedocházelo k prohýbání nebo k případnému vzniku napjatosti v dílci během vyhazování. Tohoto lze zabezpečit v případě, že rozložení vyhazovacích pinů, popřípadě jiného mechanismu pro vyhození dílce je koncipováno symetricky. V případě použití mechanismů pro vyhazování dílce z dutiny formy, se nejčastěji používá koncept mechanického vyhazování, což znamená, že forma je opatřena vyhazovacími piny zapuštěnými ve tvarové dutině formy. Vyhazovací piny jsou připojeny na vyhazovací desku, která se pohybuje pomocí síly vytvořené vstřikovacím strojem. Dále jsou používány méně konvenční vyhazovací systémy jako například vyhazování vzduchem z formy (např. vyhazování plastového kyblíku) nebo pohyblivými mechanismy vytvořenými ve vstřikovací formě a napojenými na ovládání vstřikovacího stroje. Další možností pro vyhození výrobku z dutiny je vyhazování pomocí stírací desky, tento systém představuje stírací desku, která je ovládaná tlakem vyhazovacího trnu. Stírací deska pracuje na principu vyhazování výrobku pomocí tření po celém jeho obvodu, tímto jevem je dosaženo minimálních deformací u vyrobeného dílce. Tento systém je zejména využíván u tenkostěnných výrobků, kde je vysoké riziko deformace vlivem standardního vyhazování pomocí vyhazovačů. [19]

Nejčastějšími problémy, spojenými s vyhazovacím systémem, jsou z pravidla díly s tenkou stěnou výrobku, z křehkého materiálu nebo u vysoce elastických materiálů. U tenkostěnných výrobků a křehkých materiálů je vysoké riziko zlomení výrobku pod silou vyhazovacího systému. U výrobků z elastomeru nebo elastických materiálů je poté problém s pokrivením a deformacemi přenesenými do výrobku vyhazovacím systémem. Řešením je dostatečný počet a efektivní rozmístění vyhazovacích trnů. Dále je možné odstranit možné problémy mimo zásahu do vyhazovacího systému pomocí: [19]

- Použití odformovacích přípravků,
- Leštění povrchu formy ve směru vyhození dílce,
- Snížení času chlazení,
- Snížení tlaku dotlaku,
- Snížení času dotlaku,
- Snížení síly a rychlosti vyhazovacího ústrojí. [19]

Zejména v případě použití odformovacích přípravků je potřeba dbát opatrnosti a to z důvodu ulpívání na povrchů dílce, což má dále za následek změnu požadovaného vzhledu povrchu dílce, popřípadě možnost výskytu problémů na následných operacích, jako může být lakování případně svařování dílu. [19]



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Nutnost optimalizace technologie výrobní linky vychází z požadavku zákazníka na vyšší odvolávky vyrobených kusů z výrobní linky. V souvislosti s tímto proběhla kontrola momentální kapacity výrobní linky a bylo zjištěno, že tento požadavek bez zvýšení produktivity linky není možné dosáhnout, jelikož produkce byla nižší než požadavek objemů zákazníka.

Jako nejideálnější formou naplnění požadavku zvýšení kapacity linky je systematická optimalizace stávající technologie a to zejména z důvodu minimálních nebo nulových investic za účelem požadovaného výsledků. V opačném případě, každé rozšíření výrobní technologie obnáší velké náklady na pořízení nové technologie, odladění této nově pořízené technologie a dle požadavků automobilového průmyslu je nutné kusy, vyrobené na nové technologii podrobit důkladnému testování, které také stojí velké finanční prostředky. Pod pojmem nové technologie je myšleno pořízení nových výrobních zařízení popřípadě duplikace výrobní linky, tedy nový vstřikovací stroj, nová vstřikovací forma, případně výroba vstřikovací formy s větším počtem tvarových dutin.

Z důvodu výše zmíněných požadavků byl pro řešení této diplomové práce zvolen hlavní cíl v podobě navýšení nedostatečných kapacit výrobní linky pomocí optimalizace stávající výrobní linky, bez větších zásahů do technologie. Jelikož prvořadým požadavkem je dodržení požadované kvality zákazníkem a dodávat kusy dle jeho specifikace, je krajně důležité použití kvalitativního nástroje na systematické odstraňování problémů. Pro řešení této diplomové práce bude využito nástroje DMAIC. DMAIC je vlastně zkratka pěti postupných kroků, které pro systematizaci je nutné dodržet, jedná se o:

D – Define – v překladu: Definovat

M- Measure – v překladu: Měřit

A – Analyze - v překladu: Analyzovat

I – Improve – v překladu Zlepšovat [28]

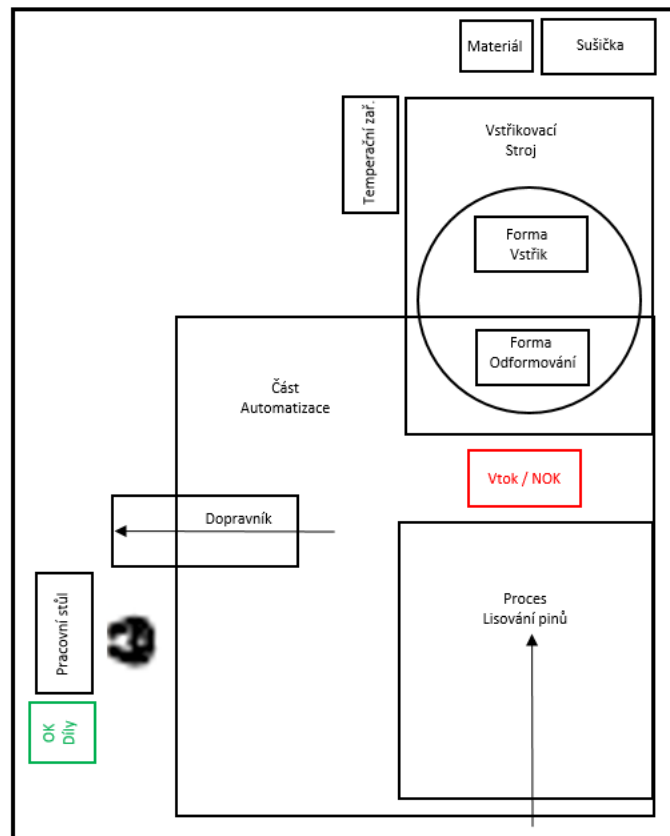
## 4.1 Definování problému

V první řadě je nutné specifikovat na co možná nejkonkrétnější problém a vyhledat v případě zvyšování kapacity tzv. úzké místo výrobního procesu. Úzké místo znamená místo, kde v rámci toku materiálu je produkce nejnižší. V případě analýzy toku materiálu tohoto konkrétního výrobku bylo zjištěno úzké místo na vstřikovací lince. Z důvodu vyhledání úzkého místa ve výrobní lince se používá metody Gemba, což znamená ověření reálného stavu výrobní linky, tedy kontrola parametrů vstřikovací výrobní linky. Na základě toho proběhlo sledování výrobního procesu a bylo zjištěno, že automatizace výrobní linky je rychlejší než vstřikovací stroj a čeká na dokončení výrobního cyklu vstřikovacího stroje. Na základě tohoto zjištění jsou následné kroky směřovány k analýze a nutnosti optimalizace vstřikovacího stroje.

## 4.2 Popis jednotlivých vstupů a prvků výroby

### 4.2.1 Popis výrobní linky

V případě této práce se jedná o výrobní linku procesu vstřikování plastů, která je rozšířená o automatizaci. Jelikož se jedná o proces tzv. obstríknutí zálisku (z anglického Overmolding) je automatizace nutná pro zakládání zálisku do vstřikovacího stroje a jeho následný odběr plastového dílu spolu s odložením na dopravníkový systém, který dopraví výsledný díl k obsluze. Ta výsledný díl zkontroluje dle specifikovaných požadavků na kvalitu výsledného výrobku. Jelikož se v případě vyráběného dílce jedná o elektronickou součástku, jsou pod pojmem automatizace obsaženy další procesy jako například lisování kontaktů. Z lisovacích zařízení jsou kontakty odebrány a zasazovány do přípravku včetně fixačních výztuží dílce a celá sestava je pomocí následného robotu založena do dutiny formy. Po tomto kroku čeká na dokončení výrobního procesu vstřikovacího stroje a robot odebírá vyrobený díl včetně vtoků, které odhazuje do bedny pro vtoky a dobré. Díly vyhodnocené na základě tolerancí vstřikovacího stroje odkládá na dopravníkový pás. Na obr. 20 lze vidět schéma složení výrobní linky. Tok materiálu je na tomto obrázku popsán pomocí šipek.

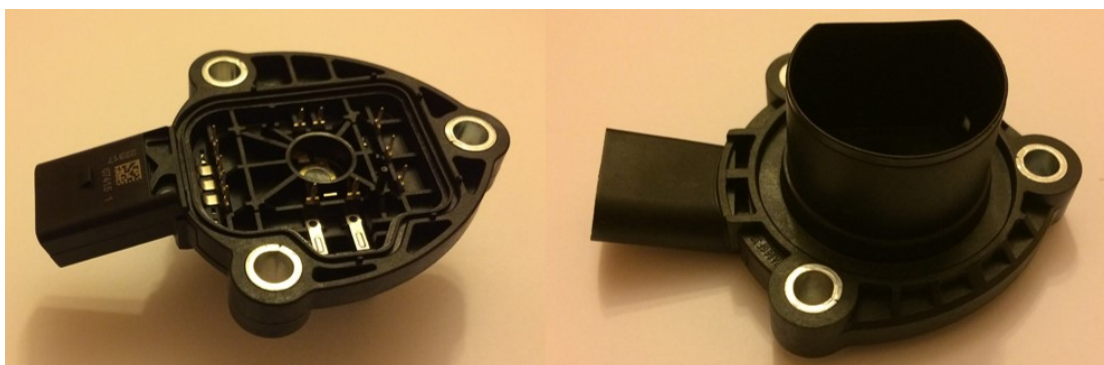


Obr. 20 Rozvržení výrobní linky

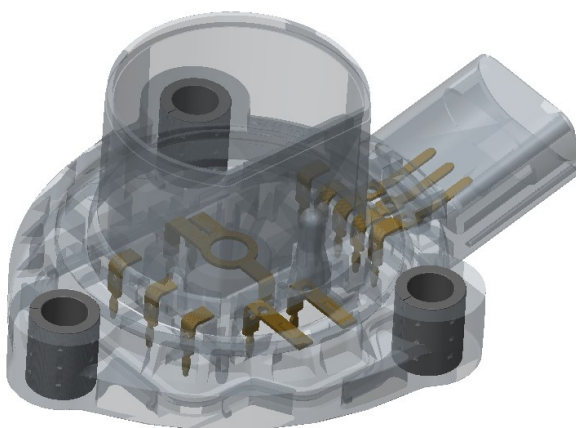
#### 4.2.2 Popis dílce

Výstupem popsané výrobní linky je pouzdro pro elektroniku snímače výšky hladiny oleje v olejové vaně spalovacího motoru. Vyrobený dílec je zobrazen na Obr. 21. Na Obr. 22 je možné vidět 3D model dílce, kde je i patrné rozmístění insertů v dílci. Inserty v dílci zastávají úlohu kontaktů a bushingů, tedy výztuže pro možnou kompletaci s olejovou vanou automobilu. Jednotlivé inserty je možné vidět na Obr.23. Bushingy jsou vyrobeny ze slitiny Fe/Zn15, tedy železa s příměsí zinku a zbylé kontakty ze slitiny CuNi3Si1Mg, tedy slitiny mědi, niklu, křemíku a hořčíku. Kompletní senzor indikuje, zdali nedošlo k úniku oleje z olejové vany nebo zdali olej z vany není spalován ve spalovacím prostoru motoru a vyzve pomocí displeje na palubní desce řidiče ke kontrole hladiny oleje. Provoz automobilu bez dostatečného množství oleje může mít fatální následky na poškození motoru. Díl má zejména funkční význam. Z toho vyplývá, že jsou na dílec kladeny vysoké požadavky na požadovanou rozměrovou přesnost a stabilitu, a to z důvodu dosažení optimálních vlastností elektro soustavy po zkompletování dílce o zbylé součásti, zejména desku plošných spojů, která je usazena na zastříknuté kontakty v dílci z důvodu dosažení celkové

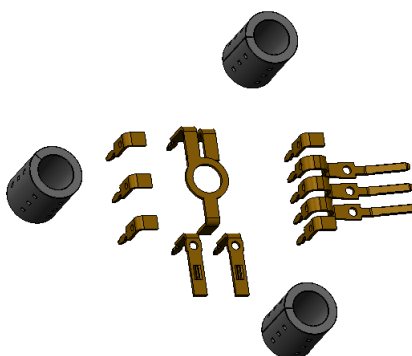
funkčnosti senzoru a napojení konektoru na protikus u zákazníka. Jako další požadavek je pak vysoká chemická odolnost speciálně vůči olejům a relativně vysokým teplotním výkyvům. Díl je pravidelně měřen s nároky na rozměrovou přesnost na setiny milimetru a testován na těsnost a teplotní šoky od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  po  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  v oleji.



Obr. 21 vyráběný dílec



Obr. 22 3D model dílce



Obr. 23 3D vizualizace insertů v dílci

### 4.2.3 Popis vstřikovacího stroje

Optimalizace probíhala na vertikálním vstřikovacím stroji značky Engel s označením Engel Insert 650V/130 Rotary, který je vyobrazen níže obr.24. Jedná se o vertikální vstřikovací stroj s otočným stolem, kde jsou uloženy dvě vyhazovací poloviny, a na pohyblivé desce stroje je upnuta vstřikovací polovina formy. Stroj tedy ve vstřikovací části vykonává vstřikovací cyklus a na druhé polovině je forma obsluhována robotem. Jedná se o odběr dílů, vyrobených v předešlém cyklu a zakládáním kontaktů pro cyklus následující. Velikost uzavírací síly vstřikovacího stroje je 130 tun, a stroj je opatřen vstřikovací jednotkou o průměru šneku 45 mm. Vstřikovací jednotka i uzavírací jednotka jsou uložena vertikálně. Ovládání vstřikovacího stroje je možné přes panel se systémem Engel CC200. Stroj je také vybaven sérií kontrol parametrů, které mají definovaně nastavené limity a stroj umí vyhodnotit na základě těchto limitů parametrů, jako je například maximální vstřikovací tlak, materiálový polštář, vstřikovací čas, zdali se jedná o dobrý či špatný kus. Následně vstřikovací stroj tuto informaci dává řízení Automatizace, ta následně dá impuls robotu, který kus vyhazuje do krabice na neshodné výrobky případně pouští dále na zpracování a kontrolu operátorem. Pro případnou vzdálenou správu a zálohování dat stroje, pro možné analýzy při odstraňování problémů či vyhodnocování stability procesu, je stroj napojen do systému Pharis, skrz který následná data pro analýzu v této práci budou sledovány.



Obr. 24 Vstřikovací stroj Engel Insert rotary [15]

#### 4.2.4 Použitý materiál

Z důvodů požadavků na výrobek popsaných v odstavci 4.2.2. byl jako materiál pro výrobek vybrán polyamid 6.6 s 30 % skelných vláken. Materiál je dodáván německou společností BASF pod označením Ultramid® A3WG6 BK. Skelná vlákna, tedy 30 % objemových mají za následek vyšší mechanické vlastnosti, například pevnost, modul a vyšší rázovou houževnatost. Materiál se vyznačuje značnou teplotní odolností a je preferován pro aplikace v elektronice. Typické použití tohoto materiálu díky jeho vysoké odolnosti vůči zvýšeným teplotám nalezneme v automobilovém průmyslu a to konkrétně v motorovém prostoru jako pouzdra elektro součástí, lopatek ventilátorů a zásobníků na vodu chladicí soustavy automobilů.[23]

#### 4.2.5 Popis prvků automatizace a periferie

Jak již bylo zmíněno dříve (kapitola 4.2.1.) Popis výrobní linky, automatizována je obsluha vstřikovacího stroje, příprava zálisků a jejich založení do vstřikovací formy. Automatizace je dodána firmou MKE a tvoří ji sled čtyř šestiosých od firmy Stäubli. Tito šesti osí roboti nesou označení TX60 ESD, maximální zatížení těchto robotů je 4,5 Kg a pokrytý dosah jedním robotem je 670 mm. Dále roboti splňují požadavky na použití v ESD prostředí, tedy v antistatickém prostředí, které je pro výrobu elektronických součástek a sestav nutné, tento robot je níže obr. 25. Jedná se o velmi důmyslný systém synchronizace pohybů a načasování jednotlivých operací, které automatizace vykonává. Aby nedošlo k případné kolizi mezi jednotlivými roboty nebo případně se vstřikovacím strojem, jsou roboti vybaveni bezpečnostními čidly a automatizace obsluhující vstřikovací část je napojena přímo do stroje Engel, který udává příkazy, kdy může vstoupit do prostoru stroje a kdy nikoliv, stejně tak vstřikovací stroj udává, zdali dle nadefinovaného nastavení je vyrobený díl neshodný (NOK) nebo dobrý (OK) a co následně s ním má být provedeno. [24]



Obr. 25 Robot Stäubli TX60 ESD [24]

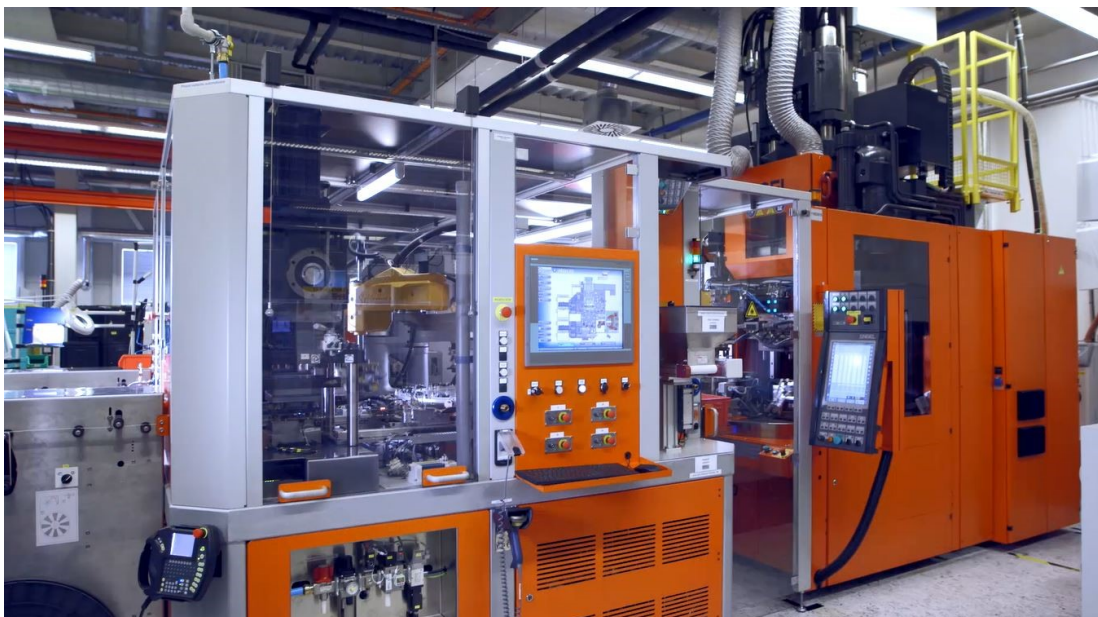
O vysoušení plastového granulátu na požadovanou toleranci dodavatele materiálu, která je 0,15% vlhkosti se stará sušící zařízení značky Piovan. Tato sušárna pracuje na principu sušení horkým vzduchem vysoušeným skrz molekulární síta. A sušení probíhá po dobu 4 hodin o teplotě 80 °C. Kontrola, zdali je materiál vysušen dle specifikace, se provádí na zařízení Aquatrack. O temperaci formy se starají tři temperační zařízení značky Piovan, které využívají jako médium pro temperaci vodu a nastavená teplota temperace formy je na 100°C. Temperační zařízení je vyobrazeno níže obr. 26.



Obr. 26 Temperační zařízení Piovan

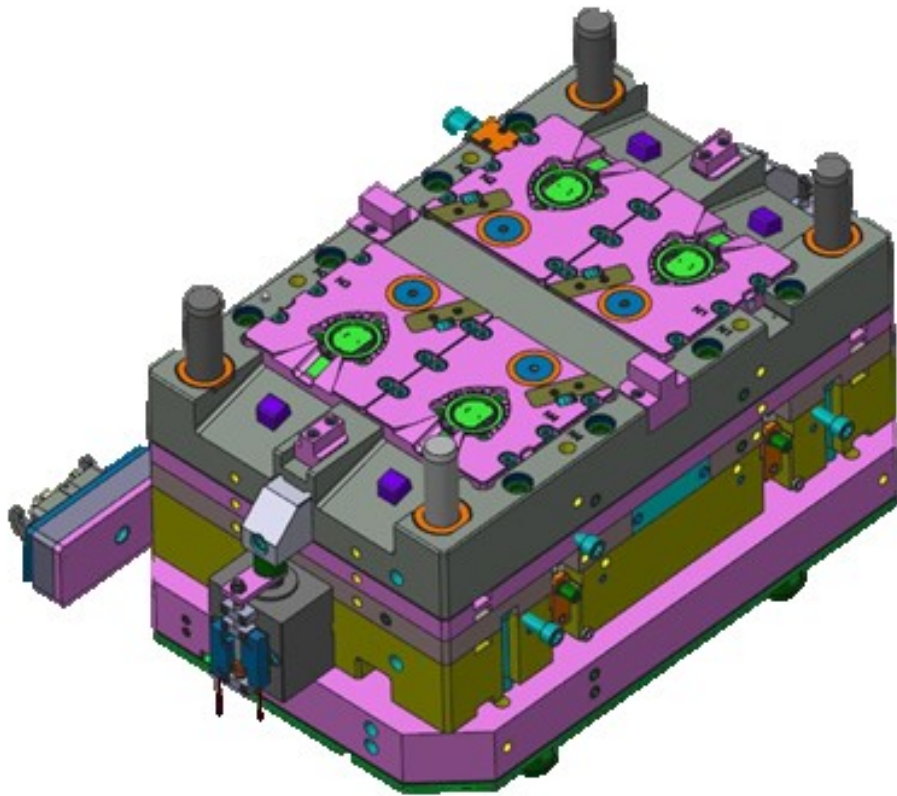
Na obrázku níže (Obr. 27) lze vidět fotku výrobní linky s označením Engel I. Tato linka je plně automatizována a je schopná vyrábět bez jakýkoliv vstupů do procesu ze strany obsluhy. Obsluha pracuje pouze jako výstupní kontrola, avšak veškeré tolerance pro vyhodnocování dílů jsou nastaveny na vstřikovacím stroji.



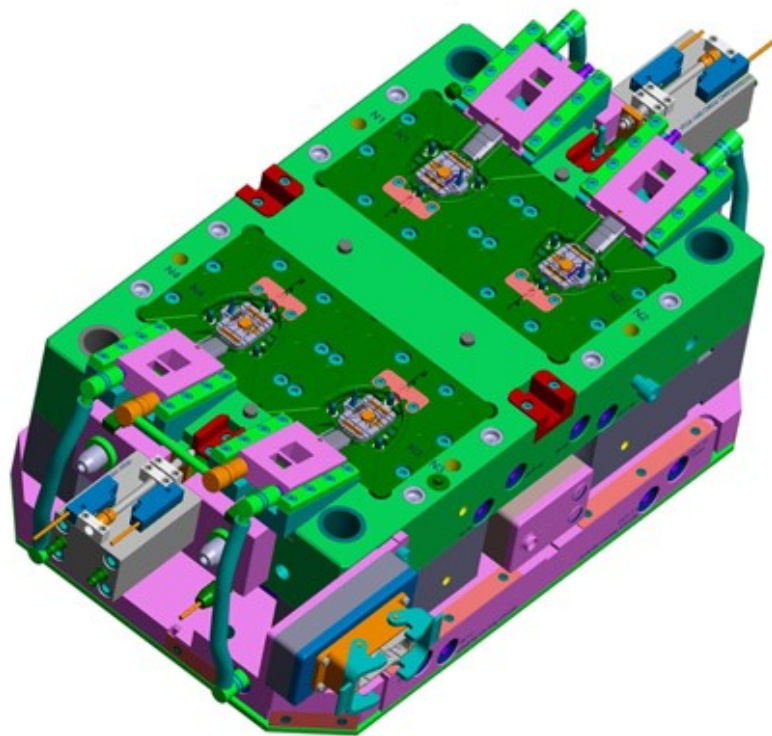


Obr. 27 Výrobní linka Engel I

V případě vstřikovací formy se jedná o formu složenou ze tří částí, které tvoří jedna vstřikovací polovina upnutá v horní části vstřikovacího stroje, na kterou přijíždí tryska vstřikovacího stroje. Vtoková soustava je tvořena horkým rozvodným kanálem opatřeného vstřikovací jehlou s následným tunelovým vtokovým systémem. Vstřikovací polovina formy je vyobrazena níže na obr. 28. Vyhazovací část formy je tvořena ze dvou polovin. Dvě poloviny vyhazovací části formy jsou použity z důvodu využití otočného stolu vstřikovacího stroje, respektive času vstřikovacího procesu na jedné polovině formy pro založení insertů automatizací pro následující vstřikovací cyklus. V případě použité formy se tedy bavíme o formě s násobností 2X4, tedy dvě vyhazovací poloviny o násobnosti čtyř kavit. Vyhazovací polovina formy je vyobrazena níže na obr. 29.



Obr. 28 3D model vstřikovací poloviny formy



Obr. 29 3D model vyhazovací poloviny formy

## 5 MĚŘENÍ DAT Z PROCESU A JEJICH ANALÝZA

Pod pojmem měření dat z procesu se rozumí sběr relevantních dat z výroby na základě, kterých je možné vyhodnotit místo, kde by k optimalizaci mělo dojít, případně na jejich základě by mělo dojít k odstranění problémů, které byly objeveny. Proto, aby ze získaných dat bylo možné stanovit případné změny v procesu, se musí data podrobit důkladné analýze a to zejména za účelem zjištění kde potenciál pro zlepšení spočívá, ale i k analýze, zdali plánované změny skrývají risk v podobě překročení doporučení specifikovaných dodavatelem materiálu pro jeho zpracování, případně vlivem na kvalitativní požadavky na finální díl jako jsou přísné rozměrové tolerance.

Vzhledem k tomu, že automatizace čeká na vstřikovací stroj a pro zvýšení produktivity linky je nutné zrychlit vstřikování, aby změny byly efektivně využity. Úkolem tedy bude nashromáždění relevantních dat ze vstřikovacího stroje ke zvýšení produktivity, tedy zkrácení času cyklu. Takovéto parametry jsou zejména takové, které jsou určeny pomocí časové jednotky (Čas chlazení, rychlosti pohybů formy, vstřikovací rychlosti, rychlosti dávkování), a pomocí analýzy nalézt jejich korelaci vzhledem k výkyvům u času celkového cyklu. V případě, že bude změna provedena v rámci optimalizace nastavení stroje, vznikne zásah do procesu, který musí být následně důkladně prověřen. Prvním krokem, kterým je vhodné se v případě optimalizace zabývat, je optimalizace suchého cyklu stroje. To znamená zrychlení pohybů stroje, případné zkrácení drah pohybů, které musí stroj udělat pro uskutečnění otevření formy případně dalších pohyblivých mechanismů.

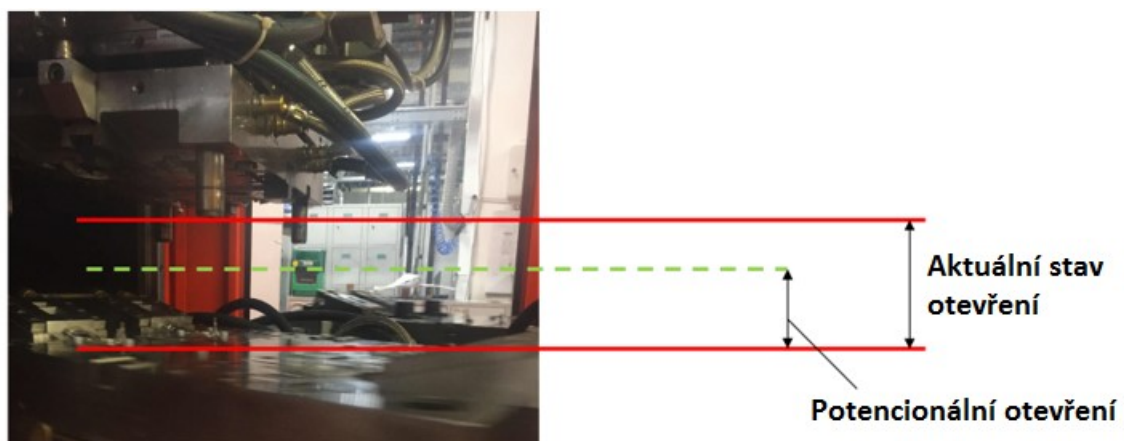
Sběr dat pro analýzu procesu probíhal pomocí rozhraní Pharis, což je výrobně informační systém, který je schopen dlouhodobě uschovávat data, což je z pohledu statistiky ideální pro možné vyhodnocení a sledování stability procesu. Sběr dat systémem Pharis je vyobrazeno na obr. 30



## 5.1 Optimalizace suchého cyklu

Pomocí detailní analýzy a sledování procesu bylo zjištěno, že v tomto kroku je potenciál pro následné zlepšení. Analýza probíhala zejména na základě sledování veškerých pohybů stroje, jako jsou zdvih otevírání formy, rychlost otevírání a zavírání formy a následného otočení stolu, na kterém jsou upnuty obě spodní poloviny formy. V jednotlivých krocích proběhlo hodnocení, zdali zavést změnu, nebo existuje možnost poškození dílů formy, případně přetížení vstřikovacího stroje s přihlédnutím na dlouhodobé využívání vstřikovacího stroje.

U optimalizace suchého cyklu se především vycházelo z vizuálních podkladů během sledování procesu a závěry byly stanoveny jak je patrné dle schéma na Obr. 31.



Obr. 31 Analýza otevření vstřikovací formy

Z této analýzy vzešel výsledek, že je možné zkrátit dráhu pro otevírání vstřikovací formy o celých 50 mm. Během analýzy profilu rychlostí pohybů pohyblivé desky (Viz. Tab. 1 a Tab. 2) bylo usouzeno, že z pohledu bezpečnosti pro vstřikovací formu je stávající profil vyhovující a nebude zde provedena změna. Následně bylo zjištěno, že otočný stůl má stále prostor ke zrychlení bez vlivů na bezpečnost jak formy, tak vstřikovacího stroje a bylo implementováno zvýšení rychlosti o 15 %/s. Změny suchého cyklu jsou vyobrazeny v následující tabulce (Tab. 3)

Tab. 1 Rychlostní profil otevírání formy

Rychlostní profil otevírání formy							
<b>Dráha</b>	193	162	95	86	14,4	0	mm
<b>Rychlost</b>	370	370	370	74,4	74,4	37	mm/s

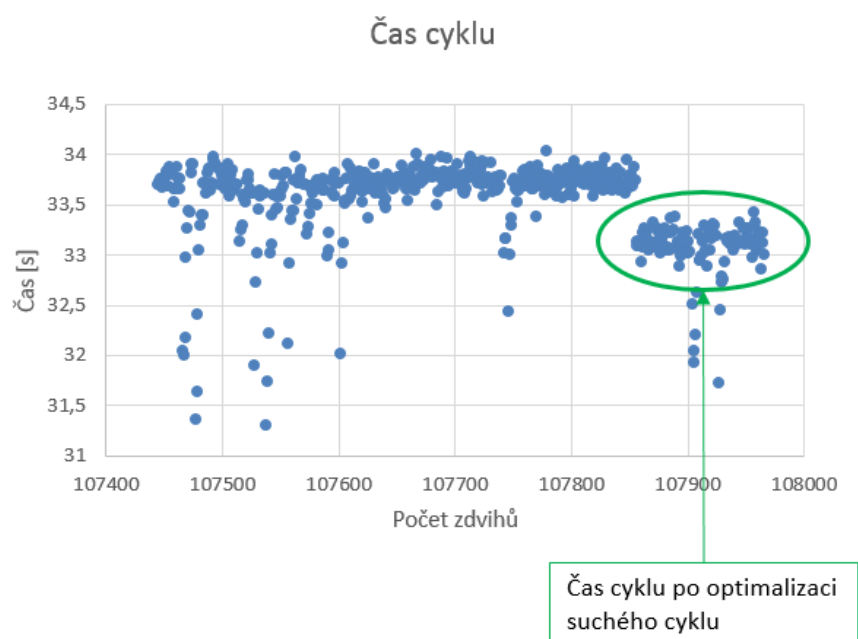
Tab. 2 Rychlostní profil uzavírání formy

Rychlostní profil uzavírání formy							
<b>Dráha</b>	193	162	133	105	90	0,2	mm
<b>Rychlost</b>	209	290	290	209	102	102	mm/s

Tab. 3 Upravené parametry suchého cyklu

Parametr	Původní hodnota	Nově nastavená hodnota
Zdvih otevření formy	215 mm	165 mm
Rychlost otočného stolu	80 °/s	95 °/s

Optimalizace suchého cyklu byla následně implementována do programu stroje a vyzkoušena ve výrobě. Zde bylo potvrzeno, že implementované parametry nemají vliv na robustnost výrobního cyklu a tedy, že nepředstavují riziko pro vstřikovací stroj nebo pro vstřikovací formu. Testem parametrů bylo také otestováno, jaká je úspora času na výrobní cyklus v porovnání s nastavením původních parametrů stroje. Toto ověření a zisk ušetřeného času je patrný z následujícího grafu (obr.32), ze kterého je patrné, že průměrný čas vstřikovacího cyklu před implementací parametrů byl 33,72 s a následný viditelný skok v grafu je implementace suchého cyklu, jehož průměr je 33,01 s, z čeho je patrný zisk 0,71 s. Tato časová úspora se může zdát jako zanedbatelná, avšak je nutné si uvědomit, že tento zisk znamená zvýšení produktivity linky o 2 % a to bez jakýkoliv zásahů do kvality dílu či parametrů, které by mohly mít vliv na jeho kvalitu či rozměry.



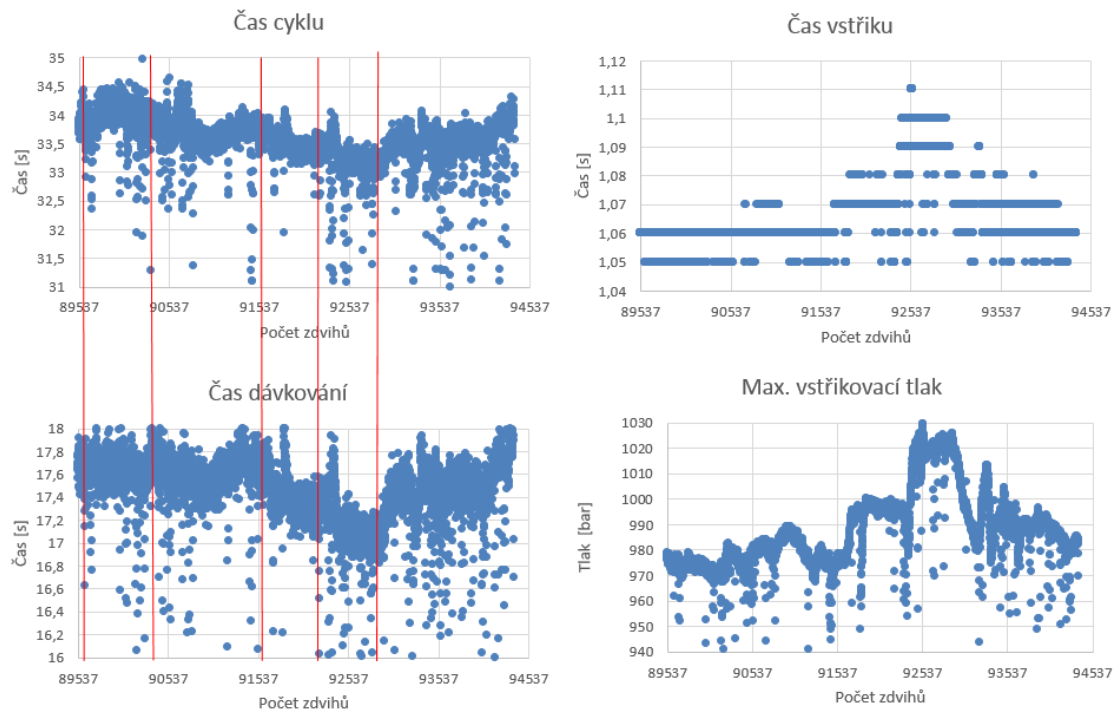
Obr. 32 Porovnání dat před a po optimalizaci suchého cyklu

## 5.2 Optimalizace procesních parametrů

Tato část optimalizace vstřikovacího stroje je již složitější, než optimalizace suchého cyklu. Jelikož musí být založena na analýze stažených procesních dat ze vstřikovacího stroje, které jsou následně podrobeny analýze pro zjištění příčiny, respektive určení parametru nebo parametrů, které tento čas v rámci možné optimalizace ovlivňují. V případě zjištěného parametru je dále nutné brát zřetel na doporučení pro zpracování materiálu určených dodavatelem materiálu.

V první kontrole analýzy času cyklu přímo na vstřikovacím stroji, bylo zjištěno, že reálný čas chlazení pro výrobek je vyšší než zadaná hodnota pro tento parametr. Z toho následně vyplývá, že jeden z úkonů, který je prováděn během ochlazující fáze prodlužuje samotný čas chlazení tak, že není zadaná hodnota pro chlazení. Jelikož se jedná o formu s horkým rozvodem a uzavíratelnou tryskou znamená to, že vstřikovací jednotka neodjíždí od formy a fáze dávkování je prováděná v čase chladicí fáze. Jedná se o jednu z možných příčin prodlužování času chlazení a tím tedy i prodlužování celkového času cyklu.

Tímto zjištěním přešlo zaměření na procesní parametry dávkování a z dat, stažených ze stroje došlo k hledání korelace mezi časem dávkovací fáze s časem cyklu vstřikovacího stroje, kterou je možné vidět na soustavě grafů (obr. 33). Na těchto grafech je možné vidět variace v čase cyklu, která koresponduje s variací s časem dávkování.



Obr. 33 Analýza dat vstřikovacího stroje

Poté co vytvořenou analýzou byla potvrzena hypotéza o korelaci dávkování na délku času chlazení, respektive na čas cyklu, bylo nutné specifikovat parametry nastavené pro dávkování stroje a ty následně podrobit analýze spojené s požadavky dodavatele materiálu.

V Tab. 4 jsou vyobrazené původní parametry a hodnoty, které byly specifikovány jako potenciální pro možnou bezpečnou změnu v závislosti na stabilitu procesu a bylo nutné podrobit analýze změn, založených na doporučení dodavatele materiálu pro jeho zpracování, a na základě toho vytvořit plán k implementaci optimalizovaných parametrů stroje.

Tab. 4 Původně nastavené parametry vstřikovacího stroje

Parametr	Nastavená hodnota
Rychlost dávkování	0,239 m/s
Zpětný tlak	67,8 bar
Dekomprese po dávkování	15 ccm

### 5.2.1 Optimalizace rychlosti dávkování

V případě rychlosti dávkování se logicky jedná o nejdůležitější parametr, neboť jde o zkrácení času potřebného pro nadávkování. Je ovšem nutné si v tomto bodu uvědomit, že se jedná o materiál plněný poměrně vysokým procentem skelných vláken (30 %) a zvýšení rychlosti dávkování má hned několik vlivů na samotný proces vstřikování. Tím prvním je,



že u takto plněného materiálu může docházet k poškození skelného vlákna, což má za následek snížení mechanických vlastností dílce. Dále, zvýšení rychlosti dávkování může ovlivnit nárůst disipace mechanické energie na teplo, což znamená, že zvýšením rychlosti dávkování může dojít ke zvýšení teploty taveniny. Dále může vlivem dávkování a rychlejšího tavení polymerního granulátu dojít k nedokonalé homogenitě polymerní taveniny. Obecně jsou zde doporučení dodavatele materiálu k tomu, aby doba dávkování tvořila 75 % - 95 % z času pro chlazení. Dodržením tohoto doporučení dojde k optimální homogenitě materiálu a předejde se výkyvům v teplotě polymerní taveniny. Následným doporučením je kontrola teploty polymerní taveniny, která může vlivem disipace vzrůst přes zpracovatelské doporučení, které je v rozmezí 280 °C až 305 °C. Na základě tohoto rozboru bylo zjištěno, že není vhodné příliš zvyšovat dávkování a bylo upraveno z původní hodnoty 0,239 m/s na novou hodnotu 0,260 m/s.

### 5.2.2 Optimalizace zpětného tlaku dávkování

V případě optimalizaci zpětného tlaku, je nutné si uvědomit, že se jedná o tlak působící proti pohybu šneku během dávkování, tedy zjednodušeně řečeno brzdí šnek ve vstřikovací jednotce, aby bylo dosaženo shodné konzistence polymerní taveniny, odstranění vzduchových kapes v tavenině a celkově k dobré homogenitě. Dále opět platí, že zvyšováním zpětného tlaku dochází k poškození skelných vláken a zvyšování tepla přeneseného do taveniny vlivem mechanické energie. Z materiálového listu je striktní doporučení dodavatelem pro dodržení zmíněných podmínek použití v rozmezí od 25 psi do 100 psi, což v převodu na hydraulický tlak stroje znamená 17,2 bar až 68,9 bar. Z těchto hodnot vyplývá, že momentálně nastavený tlak je na samotné hranici tolerance.

Pro snížení času dávkování tedy znamená, že je nutné zpětný tlak při dávkování snížit a dle výše zmíněných doporučení výrobcem materiálu je zde větší prostor pro optimalizaci. Z tohoto důvodu byl zpětný tlak upraven z původní hodnoty 67,8 bar na hodnotu 50 bar.

### 5.2.3 Optimalizace dekomprese po dávkování

Dekomprese po dávkování znamená pohyb šneku směrem od formy a tedy nabrání vzduchu před polymerní taveninu. Toho se zpravidla využívá, pokud vstřikovací jednotka odjíždí od formy, tedy v případě použití studeného kanálu. Následkem však může být variabilita v dávkování, případně oxidace polymerní taveniny a zároveň její ochlazení. V tomto případě se jedná o formu vybavenou horkým rozvodem a vstřikovací jednotka zůstává

v poloze na dosedací ploše formy, není tedy nutné použít vysokou hodnotu pro dekomprese. Doporučení výrobce materiálu říká, že dekomprese po dávkování by měla být pokud možno nejmenší možná hodnota.

Z výše uvedeného vyplynulo, že upravení nastavení dekomprese po dávkování je více než vhodné a hodnoty byly změněny z původních 15 ccm na 10 ccm.

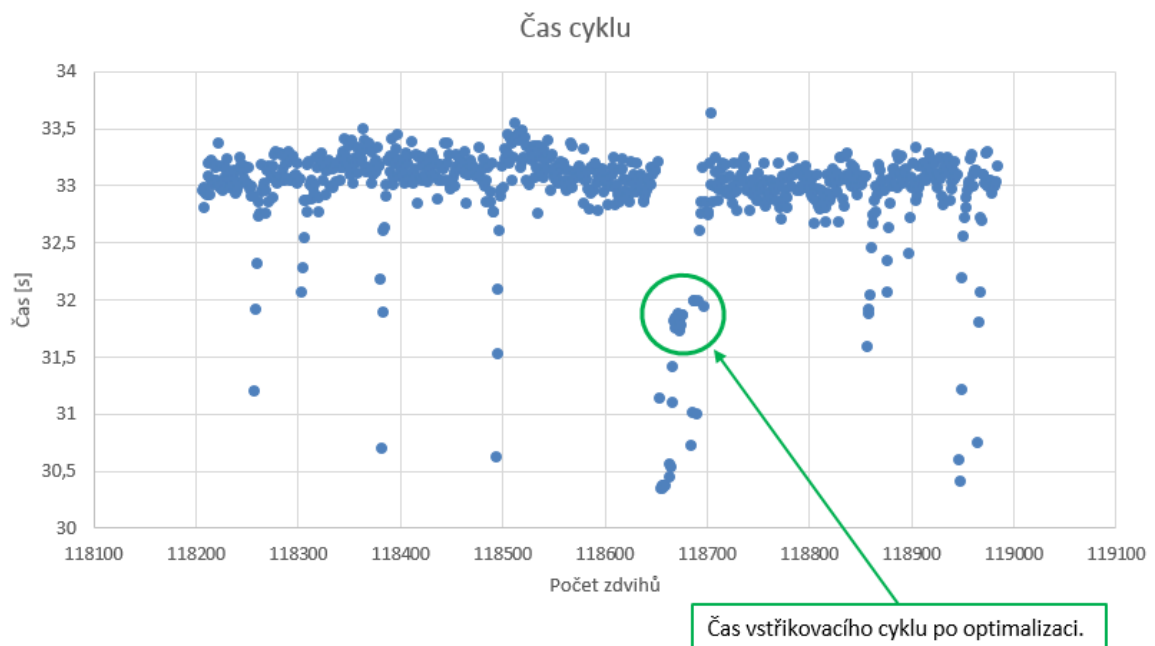
Ze zmiňovaných analýz nastavených parametrů na vstříkovacím stroji a po jejich kontrole s doporučením od výrobce materiálu byl sestaven plán změn nastavení vstříkovacího stroje, který je možný vidět v tabulce níže (Tab.5).

Tab. 5 Plán změn nastavení dávkování vstřikovacího stroje

Parametr	Původní hodnota	Nově nastavená hodnota
Rychlost dávkování	0,239 m/s	0,250 m/s
Zpětný tlak	67,8 bar	50 bar
Dekomprese po dávkování	15 ccm	10 ccm

#### 5.2.4 Implementace optimalizovaných parametrů dávkování

Následovalo testování vytipovaných parametrů pro možnost vyhodnocení jejich vlivu na čas vstřikovacího cyklu a zejména pro určení stabilního chodu stroje a kontrolu kvality vstřikovaných dílů. V případě kvality vstřikovaných dílů je nutné zajistit kontrolu vizuálních aspektů dílu a zajištění vzorků ze stejné výrobní šarže před a po změně výrobních parametrů. Takto vyčleněné vzorky zajistí minimální vliv okolních vlivů při porovnávání výsledků testů před implementací změn a po jejich implementaci. Nejprve je však nutné vytipovat zkoušky pro vyrobené vzorky pro porovnání jak mechanických vlastností, tak rozměrových stabilit. Zejména je však nutné vyhodnotit získaný benefit optimalizací versus vynaložené úsilí při testování zkušebních vzorků. V následujícím grafu (obr. 34) je možné vidět graficky znázorněný vliv implementace optimalizace nastavení dávkování vstřikovacího stroje.



Obr. 34 Porovnání dat před a po celkové optimalizaci procesu

Z výše uvedeného grafu (obr. 34) vyplývá, že po optimalizaci parametrů vstřikovacího stroje je průměrná doba vstřikovacího cyklu 31,31 s. To znamená, že v porovnání s původním průměrným časem cyklu 33,72 s vychází benefit v podobě zkrácení vstřikovacího cyklu o 2,41 s, což znamená v procentuálním vyjádření benefit v podobě zvýšení produktivity výrobní linky o 7,2 %.

### 5.3 Testování vyrobených dílů

V části zkoušení optimalizovaných výrobků se jedná zvláště o ověření a kontrolu, zdali implementace se neodrazila na kvalitativních aspektech a požadavcích na výsledný výrobek. Z toho důvodu byly vytipovány zkoušky výrobku na rozměrovou stabilitu dílce, následně trhací zkoušky zacvaknutého protikusu konektoru a podrobení dílů řezů a zkoumání tloušťky stěn kritických částí výrobku pod mikroskopem .

#### 5.3.1 Zkouška rozměrové stability dílu

Tato zkouška byla provedena na základě výkresové dokumentace dílce a dílců před a po implementaci optimalizovaných parametrů. Byly vybrány tři kusy pro každou dutinu formy před i po implementaci parametrů a tyto kusy na základě výkresové dokumentace byly změřeny na 3D měřícím zařízení Werth ScopeCheck 600/FB/Z 3D CNC viz níže obr. 35. Je nutné, aby byly odebrány vzorky z výroby následující po sobě bez větších časových mezer. Na základě tohoto testu bylo zjištěno, že optimalizace nemá vliv na rozměrovou stabilitu výsledného výrobku.



Obr. 35 3D měřící zařízení Werth ScopeCheck

### 5.3.2 Zkouška zatížení konektoru v tahu

Tato zkouška se odvíjí od požadavků zákazníka na výdrž při zacvaknutí protikus konektoru, tedy na zatížení konektoru v tahu. Jedná se tedy o klasickou zkoušku pevnosti v tahu, kdy na jedné straně je do stroje upnuto vyrobené pouzdro a na straně druhé zacvaknutý protikus konektoru. Zákazníkem specifikovaná minimální síla v tahu, potřebná k porušení spoje, je 50 N Pro tuto zkoušku byly opět vybrány 3 kusy pro každou dutinu formy před implementací parametrů a po implementaci optimalizace, kdy v následující tabulce (Tab.6) lze vidět výsledky tahové zkoušky před implementací nových parametrů a v Tab.7 po optimalizaci výrobního procesu. Zkouška zatížení v tahu probíhala na trhacím zařízení Instron 3365 viz níže obr. 36. Při pokojové teplotě 22°C a rychlosti tahu 35 mm/min.



Obr. 36 Trhací zařízení Instron 3365 [25]

Tab. 6 Naměřené hodnoty před optimalizací procesu

Označení vzorku	Datum měření	Maximální síla při přetržení (N)	Prodloužení (mm)
1	6.10.2017 13:00:54	248,3	5,1
2	6.10.2017 13:04:37	252,0	4,9
3	6.10.2017 13:09:58	244,7	4,1
4	6.10.2017 13:14:03	247,7	3,6
5	6.10.2017 13:17:12	235,8	3,7
6	6.10.2017 13:21:59	248,1	5,1
7	6.10.2017 13:24:42	234,8	4,0
8	6.10.2017 13:29:06	247,4	4,3
9	6.10.2017 13:32:47	241,2	4,3
10	6.10.2017 13:35:35	231,3	4,3
11	6.10.2017 13:39:41	242,8	3,9
12	6.10.2017 13:44:10	244,4	4,6
13	6.10.2017 13:47:05	247,5	4,5
14	6.10.2017 13:51:04	230,2	3,6
15	6.10.2017 13:56:08	241,8	3,9
16	6.10.2017 13:59:43	244,5	4,1
17	6.10.2017 14:04:34	244,9	4,4
18	6.10.2017 14:07:23	235,1	4,3
19	6.10.2017 14:09:32	241,2	3,9
20	6.10.2017 14:13:05	247,6	4,8
21	6.10.2017 14:17:25	246,1	3,1
22	6.10.2017 14:19:59	237,6	3,0
23	6.10.2017 14:26:38	228,5	3,8
24	6.10.2017 14:42:49	236,4	4,2

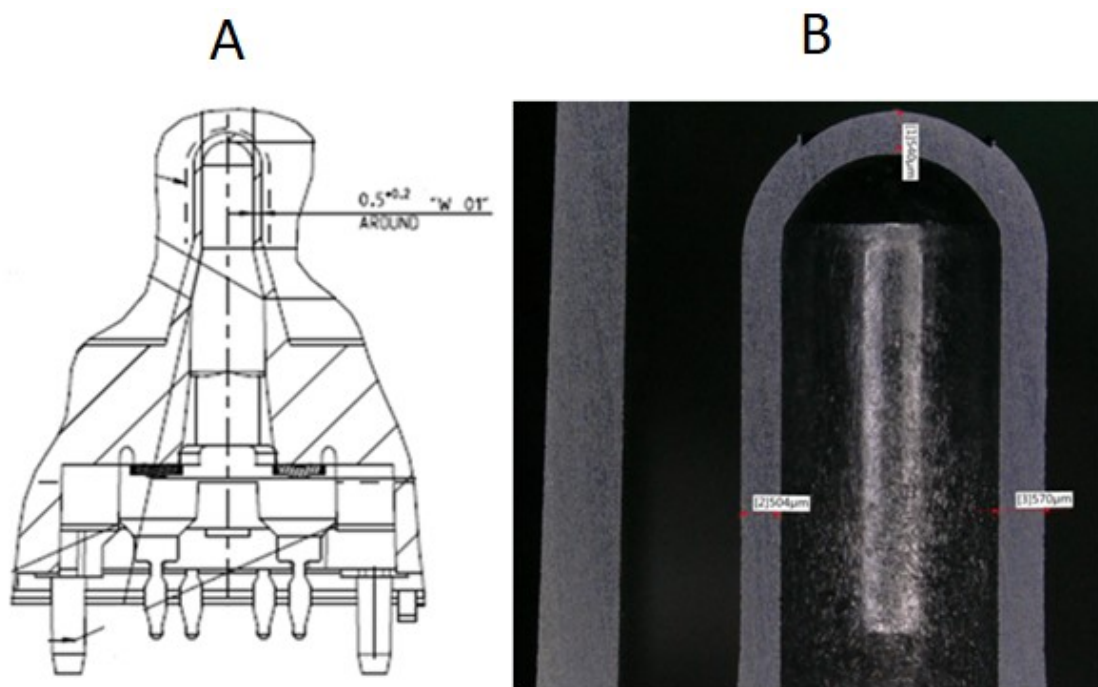
Tab. 7 Naměřené hodnoty po optimalizaci procesu

Označení vzorku	Datum měření	Maximální síla při přetržení (N)	Prodloužení (mm)
z1	9.10.2017 8:23:44	254,7	5,3
z2	9.10.2017 8:32:41	246,2	4,5
z3	9.10.2017 8:36:21	230,2	4,7
z4	9.10.2017 8:51:42	240,8	3,8
z5	9.10.2017 8:54:39	244,7	3,5
z6	9.10.2017 8:57:09	232,9	3,9
z7	9.10.2017 8:59:29	237,5	5,0
z8	9.10.2017 9:01:45	251,9	4,5
z9	9.10.2017 9:04:10	232,2	4,2
z10	9.10.2017 9:07:05	237,1	4,0
z11	9.10.2017 9:09:59	228,8	3,9
z12	9.10.2017 9:12:59	246,4	3,5
z13	9.10.2017 9:32:05	249,5	3,5
z14	9.10.2017 9:44:06	245,3	4,1
z15	9.10.2017 9:46:05	230,2	3,6
z16	9.10.2017 9:49:51	237,3	4,0
z17	9.10.2017 9:54:14	233,7	4,6
z18	9.10.2017 9:56:38	244,1	3,9
z19	9.10.2017 10:01:10	247,1	4,3
z20	9.10.2017 10:04:54	244,4	3,9
z21	9.10.2017 10:11:05	236,1	4,0
z22	9.10.2017 10:14:46	246,3	4,1
z23	9.10.2017 10:17:58	252,2	5,4
z24	9.10.2017 10:37:51	232,5	3,8

Z výše naměřených hodnot je patrné, že požadované hodnoty byly splněny a zároveň několika násobně překročeny (stejně jako u vzorků před optimalizací). Z dat je zároveň patrné, že změna parametrů neměla vliv na naměřené hodnoty tohoto testu, proto zkouška mohla být požadována za splněnou.

### 5.3.3 Řezy kritických míst výrobku

Pro tuto zkoušku bylo vybráno kritické místo výrobku, kde je tloušťka stěny 0,5 mm. Takováto tloušťka stěny, pokud má plnit zároveň definovanou funkci, se považuje za kritickou a za působení povětrnostních vlivů a dějů během používání může dojít k praskání a případnému prosakování oleje během používání dílu, což má za následek jeho vyřazení z provozu a pro automobil takovéto vyřazení může mít fatální následky. Dle výkresové dokumentace má tento rozměr hodnotu 0,5 mm s kladnou tolerancí + 0,2 mm, což je patrné na následujícím výstřižku z výkresové dokumentace na Obr. 37 a, dále vedle na Obr. 37 b lze vidět řez dílcem pod mikroskopem, kterým probíhalo také samotné měření tloušťky stěny dílce. Pro tuto zkoušku byl použit digitální mikroskop značky Keyence s označením VHX-5000, který je vybaven kamerou s rozlišením 1600 X 1200 pixelů



Obr. 37 A) Výstřižek z výkresové dokumentace, B) ukázka měření řezu

Dle vyobrazené ukázky z měření tloušťky stěny byly této zkoušce podrobeny připravené vzorky v počtu jednoho kusu na každou kavitu pro porovnání před implementací optimali-

zovaných parametrů a také ve stejném počtu kusy po implementaci parametrů a bylo provedeno porovnání naměřených dat, které je možné vidět v tabulce níže (Tab. 6).

Tab. 8 Naměřená data z řezu tloušťky v kritickém místě

Naměřené hodnoty dílce před změnou parametrů								
Číslo dutiny	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Levý bod (mm)	0,50	0,51	0,62	0,60	0,51	0,51	0,62	0,63
Vrchní bod (mm)	0,53	0,50	0,62	0,50	0,54	0,53	0,59	0,58
Pravý bod (mm)	0,55	0,58	0,50	0,51	0,62	0,59	0,52	0,50
Průměrná hodnota (mm)	0,53	0,53	0,58	0,54	0,56	0,54	0,58	0,57
Naměřené hodnoty po změně parametrů								
Číslo dutiny	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Levý bod (mm)	0,50	0,50	0,61	0,59	0,61	0,58	0,59	0,59
Vrchní bod (mm)	0,54	0,64	0,58	0,55	0,55	0,64	0,57	0,54
Pravý bod (mm)	0,57	0,59	0,52	0,52	0,61	0,57	0,50	0,53
Průměrná hodnota (mm)	0,54	0,58	0,57	0,55	0,59	0,60	0,55	0,55

Na základě naměřených dat z Tab. 8 lze říci, že požadovaných hodnot dle výkresové dokumentace bylo dosaženo. Při bližším zkoumání lze také vidět podobnost naměřených dat před a po implementaci parametrů do vstřikovacího stroje. Drobné odchylky jsou patrné pouze v řádech setin milimetru, které mohou být zanedbatelné z důvodu chyby dané metody měření. Na základě výše uvedených skutečností lze říci, že zkouška proběhla v pořádku a byla schválena.



## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo objasnit pomocí procesních charakteristik parametrů jejich význam a zásady pro nastavení v případě použití nového vstřikovacího programu. Sled jednotlivých částí vytváří průvodce a doporučení z pohledu zpracovatelského pro vstřikování plastů.

Teoretická část práce se zabývá vysvětlením všeobecné koncepce procesu vstřikování plastů. Ta zahrnuje vysvětlení základní charakteristiky zpracování jednotlivých druhů polymerů. Dále jsou v této části vysvětleny principy funkce vstřikovacího stroje, jeho možné koncepce a dělení dle použití v jednotlivých zpracovatelských procesech. Práce popisuje nutné periferie pro bezproblémový chod vstřikovacího stroje a zabezpečení stále stejné kvality vstřikovaného dílce během produkce ve výrobě. Poslední část se okrajově zabývá popisem základních částí vstřikovací formy a jejich funkcí. Celkově teoretická část má přinést úvod do problematiky, definování parametrů a pochopení principů řešených v praktické části této práce.

Praktická část této diplomové práce se zabývá řešením konkrétního problému, a to zvýšení výrobní kapacity za pomoci optimalizace procesních parametrů. V první části je vysvětlena a řešena systematizace řešení výrobního problému v automobilovém průmyslu a následně poté, po krocích je proveden rozbor samotného procesu a analýza problému. Optimalizace v této práci probíhala ve dvou krocích a výsledkem této práce bylo zkrácení výrobního taktu z 33,72 s na 31,32 s. I když získaný benefit se při prvním pohledu může zdát zanedbatelný, je nutné si uvědomit, že v tomto případě se jedná o zvýšení produktivity výrobní linky o 7,2 % a to bez vynaložení jakýkoliv finančních prostředků pouze analýzy a optimalizace. Dále je nutné si uvědomit, že výrobní linka je plně automatická a pracuje v nepřetržitém provozu a vstřikovací forma je opatřena čtyřmi dutinami, kdy celkově tvoří optimalizace benefit v nárůstu výrobní kapacity o 789 ks denně oproti původnímu nastavení.

Poslední část praktické části je věnována následným zkouškám a rozboru dílů, zdali optimalizace procesu nezanechala negativní vliv na jejich kvalitě s ohledem na mechanické, zástavbové a provozní vlastnosti, čímž bylo také ověřeno, že parametry je možné implementovat do výrobního procesu a optimalizace byla úspěšně implementována.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] V. Švorčík . *Polymery Struktura a vlastnosti polymerů* [online] dostupné z  
<[http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/polymvsauto/Struktura%20a%20vlastnosti%20polymeru%20-%20strucne\\_Svorcik.pdf](http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/polymvsauto/Struktura%20a%20vlastnosti%20polymeru%20-%20strucne_Svorcik.pdf)> [cit.2018-07-11]
- [2] JOHANNABER, Friedrich. *Injection molding machines: a user's guide. 4th ed.* Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xii, 378 s. ISBN 978-1-56990-418-3.
- [3] *Nekovové materiály* [online] dostupné z  
<[http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/5\\_nekovove-metrialy.pdf](http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/5_nekovove-metrialy.pdf)>[cit.2018-07-11]
- [4] OSSWALD, Tim A, Lih-Sheng TURNG a Paul J GRAMANN. *Injection molding handbook. 2nd ed.* Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6
- [5] SEIDL Martin *Reaktoplasty* [online] Liberec 2014 dostupné z  
<<https://publi.cz/books/180/21.html>>[cit.2018-07-11]
- [6] David O. Kazmer *Plastic Manufacturing Systems Engineering* Die Deutsche bibliothek, 2009 520 s ISBN 978-3-446-42014-4
- [7] STOKLASA, K. *Zpracovatelské inženýrství I – Základy gumárenské a plastikářské technologie*, [Skripta], 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická 2007.
- [8] Arburg *M14 podklady školení selogica* V Brně 2014
- [9] Dupont *PA Dupont molding guide* 1501115 E.I. du pont de Nemours an Company Printed in Switzerland 2015
- [10] PA BASF *Ultramid molding guide* Ultramid, Oera and Ultratough BASF Plastics 2006
- [11] Kistler *Quality molding powered by kistler* 2016
- [12] *Konstrukční provedení vstřikovacích lisů* 090108 Vyšlo v MM : 2009 / 1, 04.02.2009 v rubrice Trendy / Plasty, Strana 30
- [13] [online] Dostupné z  
<<https://sc01.alicdn.com/kf/HT1zji0FF0eXXagOFbXw/200199517/HT1zji0FF0eXXagOFbXw.jpg>>[cit.2018-07-11]

- [14] [online] Dostupné z [http://www.mechscience.com/wp-content/uploads/2015/03/clip\\_image00222.gif](http://www.mechscience.com/wp-content/uploads/2015/03/clip_image00222.gif)>[cit.2018-07-11]
- [15] *Engel injection moulding machines* [online] Dostupné z <<https://www.engelglobal.com/en/at/solutions/injection-moulding-machines>>[cit.2018-07-11]
- [16] EIDL Martin *Porovnání elektrických a hybridních a hydraulických vstřikovacích strojů* [online] Dostupné z <<https://publi.cz/books/181/11.html>>[cit.2018-07-11]
- [17] EIDL Martin *Uzavírací jednotka* [online] <<https://publi.cz/books/181/06.html>>[cit.2018-07-11]
- [18] ppkovanda *Produkty* [online] Dostupné z <<http://ppkovanda.cz/drying-and-dehumidifying>>[cit.2018-07-11]
- [19] HERBERT Rees *Mold Engineering* Hanser Publischer , Munich 2011 688 p ISBN 3-446-24659-6
- [20] Anntong *Hot runner scrap analysis* [online] Dostupné z <[https://www.anntong.com.tw/en/company\\_i\\_C03.html](https://www.anntong.com.tw/en/company_i_C03.html)>[cit.2018-07-11]
- [21] Technická univerzita v Liberci, katedra strojírenské technologie, oddělení tváření kovů a plastů,
- [22] *Měděné slitiny AMPCO a AMPCOLOY* [online] Dostupné z <http://www.mepac.cz/files/katalogy/medene-slitiny-ampco-a-ampcoloy-51-6227.pdf> [cit.2018-07-11]
- [23] BASF SE *Product Information Ultramid A3WG6* Ludwigshafen, Germany
- [24] Stäubli *A Unique 4 axis and 6 axis robot range for all applications* [online] Dostupné z < [http://pdf.medicalexpo.com/pdf/staebli-robotics/tx60-esd/113377-185999-\\_5.html](http://pdf.medicalexpo.com/pdf/staebli-robotics/tx60-esd/113377-185999-_5.html) >[cit.2018-07-11]
- [25] 3360 Series Universal Testing Systems up to 50 kN (11,250 lbf) Force Capacity Dostupné z [online] <https://www.instron.us/en-us/products/testing-systems/universal-testing-systems/electromechanical/3300/3360-dual-column> > [cit.2018-07-11]

- [26] PDQM Sixsigma a proces DMAIC [online] Dostupné z  
< <http://ww.pdqm.cz/Standards/Business-Excellence/DMAIC.html> >[cit.2018-07-11]
- [27] HYNEK doc. Ing. Martin Hynek, Ph.D., Ing. Eduard Müller, Ing. Štěpán Heller  
Horké vtoky  
Západo česká univerzita v Plzni, 2013 ISBN není 12s
- [28] Temperace vstřikovacích forem [online] Dostupné z  
<<https://publi.cz/books/179/08.html>>[cit.2018-07-11]

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

F	Síla [N].
P	Tlak [Bar]..
S	Plocha [mm <sup>2</sup> ].
n	Počet kavit formy
V <sub>d</sub>	Objem dávky v plastifikačním válci
V <sub>f</sub>	Objem dutiny formy včetně vtoku
TPE-S	Termoplastický elastomer – Styren
Fe/Zn15	Železo s povrchovou úpravou zinku
CuNi3Si1Mg	Slitina mědi niklu, křemíku a hořčíku
ESD	Elektrostatický výboj
DMAIC	Metoda Define-Measure-Analyse-Improve-Control

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Vstřikovací cyklus termoplastů .....	14
Obr. 2 sekvence vstřikovacího stroje Engel CC300 .....	17
Obr. 3 Graf závislosti teploty formy na smrštění materiálu .....	19
Obr. 4 Doporučení nastavení teplot plastifikačního válce polyamid 6.6.....	20
Obr. 5 Doporučená teplota horkého rozvodu pro materiál polyamid 6.6.....	21
Obr. 6 Průběh tlaku v dutině formy sledované snímačem tlaku .....	25
Obr. 7 Chyby v nastavení bodu přepnutí .....	26
Obr. 8 Váhová křivka v závislosti na tlaku.....	27
Obr. 9 Váhová křivka v závislosti na čase.....	28
Obr. 10 Koncept vertikálního vstřikovacího stroje otočným stolem .....	31
Obr. 11 Skica horizontálního vstřikovacího stroje .....	32
Obr. 12 Porovnání spotřeby energie hydraulického a elektrického vstřikovacího stroje .....	34
Obr. 13 Schéma čtyř kloubového mechanismu .....	36
Obr. 14 Schéma hydraulického vstřikovacího stroje .....	37
Obr. 15 Šestiosý robot Kuka integrovaný do řízení Engel .....	41
Obr. 16 Horký rozvod s uzavíratelnou jehlou.....	43
Obr. 17 Vtokové systémy vstřikovací formy.....	44
Obr. 18 A) Filmové a B) tunelové vtokové ústí .....	44
Obr. 19 Chladicí okruh vyrobený 3D tiskem.....	46
Obr. 20 Rozvržení výrobní linky .....	52
Obr. 21 vyráběný dílec.....	53
Obr. 22 3D model dílce.....	53
Obr. 23 3D vizualizace insertů v dílci .....	53
Obr. 24 Vstřikovací stroj Engel Insert rotary .....	54
Obr. 25 Robot Stäubli TX60 ESD .....	55
Obr. 26 Temperační zařízení Piovan .....	56
Obr. 27 Výrobní linka Engel I .....	57
Obr. 28 3D model vstřikovací poloviny formy.....	58
Obr. 29 3D model vyhazovací poloviny formy .....	58
Obr. 30 Vizualizace sběru dat Pharis.....	60
Obr. 31 Analýza otevření vstřikovací formy .....	61

---

Obr. 32 Porovnání dat před a po optimalizaci suchého cyklu .....	62
Obr. 33 Analýza dat vstřikovacího stroje .....	64
Obr. 34 Porovnání dat před a po celkové optimalizaci procesu .....	67
Obr. 35 3D měřicí zařízení Werth ScopeCheck .....	68
Obr. 36 Trhací zařízení Instron 3365 .....	69
Obr. 37 A) Výstřížek z výkresové dokumentace, B) ukázka měření řezu.....	71

**SEZNAM TABULEK**


Tab. 1 Rychlostní profil otevírání formy .....	61
Tab. 2 Rychlostní profil uzavírání formy .....	62
Tab. 3 Upravené parametry suchého cyklu .....	62
Tab. 4 Původně nastavené parametry vstřikovacího stroje.....	64
Tab. 5 Plán změn nastavení dávkování vstřikovacího stroje .....	67
Tab. 6 Naměřené hodnoty před optimalizací procesu .....	70
Tab. 7 Naměřené hodnoty po optimalizaci procesu .....	70
Tab. 8 Naměřená data z řezu tloušťky v kritickém místě .....	72



## SEZNAM PŘÍLOH

[1] Materiálový list Ultramid®\_A3WG6

# PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST ULTRAMID®\_A3WG6

Product Information	Ultramid®	 We create chemistry
	A3WG6	
02/2017	PA66-GF30	

## Product description

Glass fibre reinforced and heat aging resistance injection moulding grade for machinery components and housings of high stiffness and dimensional stability such as lamp socket housings, cooling fans, insulating profile for aluminium window frames, and different automotive powertrain parts. A3EG6 is the preferred grade for producing electrically insulating parts.

## Physical form and storage

The product is supplied dry and ready to use in moisture-proof packaging. The material is in the form of cylindrical or flat pellets. Its bulk density is about 0,7 g/cm<sup>3</sup>. Standard packs are the special 25 kg bag and the 1000 kg bulk container (octagonal IBC-intermediate bulk container made from corrugated board with a liner bag). Subject to agreement other forms of packaging and shipment in tankers by road or rail are also possible. All containers are tightly sealed and should be opened only immediately prior to processing. To ensure that the perfectly dry material delivered cannot absorb moisture from the air the containers must be stored in dry rooms and always carefully sealed again after some of the material has been withdrawn. Ultramid® can be stored for a longer period of time in dry, well vented rooms without any change to properties. After longer storage times (> 3 months for IBC or > 2 years for bags) or if material from previously opened containers is used, drying is recommended to remove absorbed moisture. Containers stored in cold rooms should be allowed to equalise to normal temperature so that no condensation forms on the pellets.

## Product safety

In case processing is done under conditions as recommended (cf. processing data sheet) melts are thermally stable and do not generate hazards by molecular degradation or the evolution of gases and vapors. Like all thermoplastic polymers the product decomposes on exposure to excessive thermal load, e.g. when it is overheated or as a result of cleaning by burning off. Further information is available from the safety data sheet.

## Note

The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests; neither do these data imply any guarantee of certain properties, nor the suitability of the product for a specific purpose. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights etc. given herein may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the product. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed. In order to check the availability of products please contact us or our sales agency.

# Ultramid® A3WG6



## Product Information

Typical values for uncoloured product at 23 °C <sup>1)</sup>	Test method	Unit	Values <sup>2)</sup>
<b>Properties</b>			
Polymer abbreviation	-	-	PA66-GF30
Density	ISO 1183	kg/m <sup>3</sup>	1360
Viscosity number (0.5% in 96 % H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	ISO 307, 1157, 1628	cm <sup>3</sup> /g	145
Moisture absorption, equilibrium 23°C/50% r.h.	similar to ISO 62	%	1.50 - 1.90
Water absorption, saturation in water at 23°C	similar to ISO 62	%	5.2 - 5.8
<b>Processing</b>			
Melting temperature, DSC	ISO 11357-1/-3	°C	260
MVR 275 °C/5 kg	ISO 1133	cm <sup>3</sup> /10min	30
Melt temperature, injection moulding/extrusion	-	°C	280 - 300
Mould temperature, injection moulding	-	°C	80 - 90
Moulding shrinkage, constrained <sup>3)</sup>	-	%	0.49
Moulding shrinkage (parallel)	ISO 294-4	%	0.38
Moulding shrinkage (normal)	ISO 294-4	%	0.93
<b>Flammability</b>			
UL 94 rating at 1,6 mm thickness	IEC 60695-11-10	class	HB
Automotive materials (Thickness >= 1mm) <sup>4)</sup>	FMVSS 302	-	+
<b>Mechanical properties</b>			<b>dry / cond.</b>
Tensile modulus	ISO 527-1/-2	MPa	10000 / 7200
Stress at break	ISO 527-1/-2	MPa	190 / 130
Strain at break	ISO 527-1/-2	%	3 / 5
Tensile creep modulus, 1000 h, strain <= 0.5%, 23°C	ISO 899-1	MPa	+ / 5300
Flexural modulus	ISO 178	MPa	8600 / 6500
Flexural strength	ISO 178	MPa	280 / 210
Charpy unnotched impact strength (23°C)	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	85 / 100
Charpy unnotched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	70 / -
Charpy notched impact strength (23°C)	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	13 / 22
Charpy notched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	10 / -
Izod notched impact strength (23°C)	ISO 180/A	kJ/m <sup>2</sup>	11.5 / 15.5
<b>Thermal properties</b>			
HDT A (1.80 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	250
HDT B (0.45 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	250
Max. service temperature (short cycle operation) <sup>5)</sup>	-	°C	240
Temperature index at 50% loss of tensile strength after 5000 h	IEC 60216	°C	175
Temperature index at 50% loss of tensile strength after 20000 h	IEC 60216	°C	145
Coefficient of linear thermal expansion, longitudinal (23-80)°C	ISO 11359-1/-2	E-6/K	30
Coefficient of linear thermal expansion, transverse (23-80)°C	ISO 11359-1/-2	E-6/K	75 - 85
Thermal conductivity	DIN 52612-1	W/(m K)	0.35
Specific heat capacity	-	J/(kg K)	1500
<b>Electrical properties</b>			<b>dry / cond.</b>
Relative permittivity (1 MHz)	IEC 60250	-	3.5 / 5.6
Dissipation factor (1 MHz)	IEC 60250	E-4	140 / 3000
Volume resistivity	IEC 60093	Ohm*m	1E13 / 1E10
Surface resistivity	IEC 60093	Ohm	+ / 1E10
Comparative tracking Index, CTI, test liquid A	IEC 60112	-	450

### Footnotes

- 1) If product name or properties don't state otherwise.
- 2) The asterisk symbol \* signifies inapplicable properties.
- 3) Test box with central gating, dimensions of base (107\*47\*1,5) mm, processing conditions: TM = 290°C, TW = 80°C
- 4) + = passed.
- 5) Empirical values determined on articles repeatedly subjected to the temperature concerned for several hours at a time over a period of several years. Provide Proper design and processing according to our recommendations.

BASF SE

67056 Ludwigshafen, Germany