

# Nasazení průmyslového robotu při vstřikování plastů

Jiří Kamas

---

Bakalářská práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

\*\*\*nascannované zadání s. 1\*\*\*

\*\*\*nascannované zadání s. 2\*\*\*

\*\*\* naskenované Prohlášení str. 1\*\*\*

\*\*\* naskenované Prohlášení str. 2\*\*\*

## **ABSTRAKT**

Hlavním tématem bakalářské práce je nasazení průmyslového robota při vstřikování plastů. Toto téma je zajímavé z důvodu vzrůstající role automatizace v širokém poli odvětví, stále častější implementací manipulátorů a průmyslových robotů ve výrobních, manipulačních, skladových, měřicích a mnoha dalších procesech. V úvodních kapitolách jsou popsány prvotní pokusy lidstva o automatizaci, od historických začátků až po dnešní úspěchy na tomto poli. Navazující kapitoly popisují možnosti automatizace v dnešní době a základní rozdělení komplexních prostředků. Samotná praktická část byla zaměřena na konkrétní projekt, řešení nasazení průmyslového robota při vstřikování plastů, snahu o zajištění snížení zmetkovitosti nahrazením lidské obsluhy průmyslovým robotem, zhodnocení výhod a nevýhod zvoleného návrhu a celkové ekonomické zhodnocení výsledné aplikace.

Klíčová slova: automatizace, průmyslový robot, manipulátor

## **ABSTRACT**

The main topic of this bachelor thesis is the use of industrial robots for injection molding. This topic is interesting because of the increasing role of automation in a wide array of industries, the increasing implementation of industrial robots and manipulators in the manufacturing, handling, storage, measurement and many other processes. The introductory chapters describe the initial attempts of mankind to automation, from the historical beginnings to the present achievements in this array. Related chapters describe the automation of today and the complex distribution of basic resources. The practical part focuses on a specific project, addressing the deployment of industrial robots for plastic injection, efforts to ensure the reduction of scrap by replacing human operators with industrial robots, advantages and disadvantages of the selected design and the overall economic evaluation of the resulting application.

Keywords: automation, industrial robot, manipulator

Velmi rád bych poděkoval mému vedoucímu práce Ing. Davidovi Sámkovi PhD. za odborné směřování práce, dále Ing. Danovi Orlovi PhD. a vedoucím pracovníkům firmy Brano Plasty Zubří a.s., za cenné informace a poskytnuté materiály.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/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 OHLÉDNUTÍ DO MINULOSTI AUTOMATIZACE</b> .....	<b>12</b>
1.1 VZDÁLENĚJŠÍ HISTORIE .....	12
1.2 MODERNÍ HISTORIE (1920 – SOUČASNOST).....	13
<b>2 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY</b> .....	<b>17</b>
2.1 CHARAKTERISTICKÉ ZNAKY JEDNOTLIVÝCH TYPŮ PRAM .....	18
Podavače.....	18
Synchronní (teleoperátory) .....	18
Programovatelné.....	18
S pevným programem.....	18
S proměnlivými programy .....	18
Kognitivní roboty .....	19
2.2 SYNCHRONNÍ MANIPULÁTORY .....	19
2.3 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY .....	19
2.3.1 Generace robotů a manipulátorů .....	20
2.3.2 Adaptivní roboty .....	21
2.3.3 Kognitivní roboty .....	21
2.3.4 Konativní roboty .....	23
2.3.5 Mobilní roboty.....	23
<b>3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ</b> .....	<b>25</b>
3.1 HISTORIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	25
3.2 ÚVOD DO SOUČASNOSTI VSTŘIKOVÁNÍ .....	26
3.3 VSTŘIKOVÁNÍ, PROCES VSTŘIKOVÁNÍ, PRINCIP .....	27
3.3.1 Termoplasty.....	28
3.3.1.1 Částečně krystalické (semikrystalické).....	29
3.3.1.2 Amorfni.....	30
3.3.2 Elastomery (termoplastické elastomery) .....	30
3.3.3 Reaktoplasty (termosety).....	31
3.4 VSTŘIKOVACÍ STROJE .....	31
3.4.1 Vstřikovací stroje s jednou vstřikovací jednotkou .....	32
3.4.2 Vstřikovací stroje se dvěma vstřikovacími jednotkami .....	34
3.4.3 Vstřikovací stroje s více vstřikovacími jednotkami .....	37
<b>4 FORMY PRO VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ</b> .....	<b>40</b>
4.1 FORMY - VÍCEKOMPONENTNÍ VSTŘIKOVÁNÍ .....	44
4.2 MATERIÁLY VHODNÉ K VÍCEKOMPONENTNÍMU VSTŘIKOVÁNÍ.....	47
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>49</b>
<b>5 PROJEKT</b> .....	<b>50</b>



5.1	PRACOVNÍŠTĚ – VSTŘIKOVACÍ STROJ 2K .....	51
5.2	PROVOZ NA POLOAUTOMAT – MANUÁLNÍ VYJÍMÁNÍ DÍLŮ.....	54
5.3	ANALÝZA PROVOZU V POLOAUTOMATICKÉM REŽIMU .....	55
<b>6</b>	<b>IMPLEMENTACE ROBOTU .....</b>	<b>57</b>
6.1	ZAKOMPOUNOVÁNÍ ROBOTU DO FUNKČNÍHO CELKU SE VSTŘIKOVACÍM STROJEM.....	59
6.2	PROVOZ V AUTOMATICKÉM REŽIMU .....	62
6.3	ANALÝZA PROVOZU NA AUTOMATICKÝ REŽIM .....	63
6.4	OPTIMALIZACE PROCESU, SLEDOVÁNÍ PROCESU Z DLOUHODOBÉHO HLEDISKA.....	67
<b>7</b>	<b>EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ NÁKLADŮ .....</b>	<b>70</b>
7.1	CELKOVÉ EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝSLEDNÉ APLIKACE.....	74
	počet vyrobených, dobrých dílů x 7,20 (cena dílu) – náklady na materiál všech vyrobených dílů včetně zmetků – náklady na práci .....	75
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>82</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>84</b>

## ÚVOD

Rostoucí tlak na výkonnost produkce, ekonomičnost a vysoké požadavky na kvalitu, zvyšují význam průmyslových automatizačních prostředků a zájem o ně ve výrobních činnostech. Při snahách o vyšší efektivitu produkce se nelze obejít bez komplexně modernizovaného a automatizovaného pracoviště. Náhrada pracovníka za automat je využitelná všude tam, kde je pracovní prostředí škodlivé, nebezpečné, práce je monotónní nebo je fyzicky namáhavá, a kde je nedostatek pracovních sil. Zpravidla při vhodné aplikaci přináší nasazení automatizačních zařízení úspory v podobě snížení nákladů za pracovní sílu, zvýšení kvality a nečíslna kvantita výroby. S úspěchem se uplatňují při činnostech vyžadující stálou bdělost, svědomitost a vysokou míru přesnosti a pečlivosti. Cílem této práce je dokumentování implementace průmyslového robotu při vstřikování plastů u konkrétního výrobku, náhrada lidské obsluhy z důvodu snížení zmetkovitosti a zvýšení efektivita výroby a zhodnocení zvoleného řešení a celkové ekonomické zhodnocení.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 OHLÉDNUTÍ DO MINULOSTI AUTOMATIZACE

Snahy lidí o zhotovení pomocníka, který by za ně dělal těžkou nebo nebezpečnou činnost, jsou velmi staré a do dnešních dob dochované v mnoha verzích a podobách. Lidé po celodenní dřině, přemýšleli a snili o tom, co by jim mohlo fyzicky náročnou nebo nebezpečnou práci usnadnit. Ve fantazii jim vystávali na mysl různé golemové, džinové plnící každé přání, létající koberce, kouzelné předměty atd. Ve skutečnosti se tyto sny začaly stávat realitou v podobě ať už velmi primitivních strojů, tak v pozdějších časech vyvinutější a složitější mechanismy, jejichž některé funkční principy se s úspěchem používají dodnes. Můžeme je nalézt v mnoha rozličných muzeích, skanzenech i soukromých sbírkách. [3]

### 1.1 Vzdálenější historie

Prvotní funkční mechanismy se objevují už před mnoha staletími. Práci lidem ulehčovaly vodní, větrné mlýny, vahadlové systémy, primitivní zdviže, v pozdější době se značným a nezastupitelným úspěchem parní stroje. Kromě pracovních systémů se lidé snažili vytvořit umělou bytost podobnou co nejvíce člověku – tzv. androidy. To se nejvíce podařilo švýcarským mistrům Pierru a Henrymu Drozům v 18. století, kdy vytvořili tři androidy, písaře, který byl schopen psát několik souvislých vět i napodobovat člověka, kreslíře malujícího psa a hráče na piáno.



Obr. 1 Automaty z 18. století [21]

Na svou dobu to bylo něco naprosto nevídaného. Stroje byly udělány včetně nejmenších detailů, kdy se jim při psaní, hře, či kreslení hýbaly oči sledující své ruce. Podobu primitivním automatům dala i zvířata, kdy lidé tvořili tzv. zooidy.



Obr. 2 Zooid z 18. století [19]

Postupem času a s množícími se problémy s roboty v podobách lidí nebo zvířat, pochopili soudobí vynálezci a tvořitelé, že mnohem jednodušší je se držet pouze funkční, pracovní části stroje a tu vylepšovat. [3]

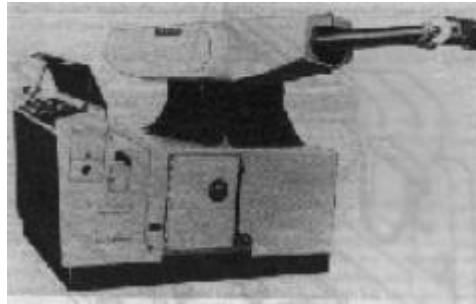
## 1.2 Moderní historie (1920 – současnost)

Robot – slovo robot se poprvé vyskytlo ve hře R.U.R. Karla Čapka a později se rozšířilo do celého světa, kde se do současnosti používá a je nejrozšířenějším českým slovem. Slovo robot vzniklo s původního slova robota, jež označovalo těžkou a namáhavou práci. Roboti té doby byli stále pouze technické zajímavosti, jejichž hlavním úkolem bylo přilákání pozornosti a obdivu většinou na výstavách. S pozdějším rozmachem techniky ve 20. století se začaly objevovat první aplikace spadající do oblasti robotiky.

V roce 1938 Claude E. Shannon položil základy principu činnosti dnešních počítačů a číslicového řízení, čímž se zasloužil o označení své osoby otcem robotiky. Robotika je věda o robotech, jejich designu, výrobě a aplikacích. Její hlavní rozdělení se dá specifikovat jako průmyslová a experimentální robotika.

V letech 1940 – 1947 bylo vyrobeno zařízení, které manipulovalo s nebezpečnými a radioaktivními materiály.

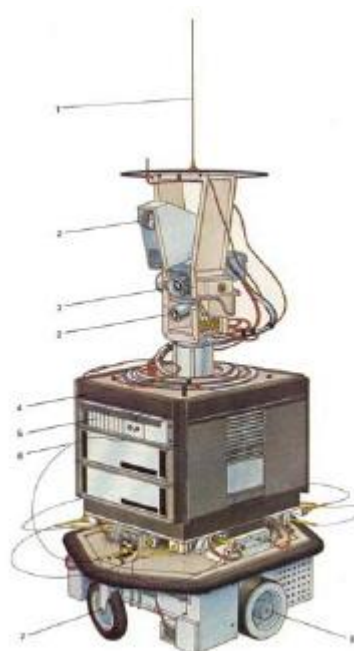
Roku 1949 je zahájen výzkum numericky řízených, obráběcích strojů. První patent týkající se přímo robotiky podal v roce 1954 George Devol. Jako vynálezce má zaregistrováno více než 40 patentů a je prezidentem Devol výzkumu. Jeho společnost Unimation jako první na světě vyrobila průmyslový robot. Tento robot byl do průmyslu nasazen v roce 1961 a jeho hlavním účelem bylo přenášení objektů z jednoho místa na druhé. Brzo po tomto úspěchu následovaly roboty na svařování a další aplikace.



Obr. 3 Průmyslový robot f.  
UNIMATION [19]

Společnost Unimation měla do konce 70. let minimum konkurence, tzn. do doby, než do robotiky vstoupilo několik velkých Japonských společností. Japonsko neuznávalo americké patentové právo a japonské patenty Unimation neměl, proto mohli vyrábět velmi podobné stroje. Japonsko si vedoucí pozici v průmyslové robotice a jejím výzkumu drží do dnešní doby.

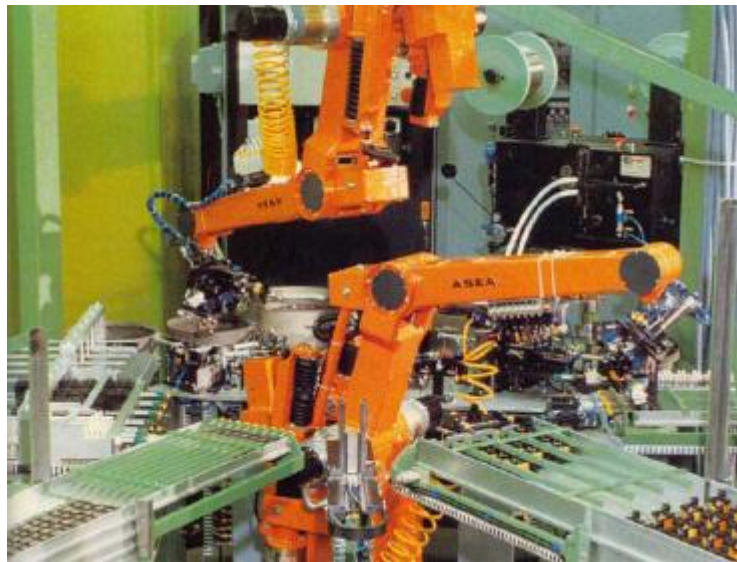
V roce 1968 vyrobili v Stanford Research Institute první mobilní robot vybavený viděním.



Obr. 4 Robor SHAKEY -  
SRI [19]

V r. 1977 dává na trh velmi zdařilé roboty evropská firma Asea.

ASEA - (*Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget*), švédská průmyslová společnost založená roku 1883 ve Stockholmu jako výrobce elektrických světel a generátorů. Po druhé světové válce jako první na světě vytvoří průmyslový diamant a v roce 1960 staví ve Švédsku 9 z 12 jaderných elektráren. V roce 1988 se společnost spojuje do holdingu se švýcarskou společností BBC – (Brown, Boveri & Cie) a vzniká nová společnost pod názvem Asea Brown Boveri, kterou známe do dnešních dnů pod zkratkou ABB a která je velmi významným producentem kvalitních průmyslových robotů.



Obr. 5 Roboti ASEA při práci [19]

Průmyslové roboty se začínají masově rozšiřovat a využívají se hlavně při svařování jak plamenem, tak i obloukem nebo bodově, při manipulaci s nebezpečnými či těžkými předměty, nanášení barev a všude tam, kde je nasazení lidské síly nemožné nebo nevhodné z hlediska bezpečí a zdraví.

V r. 1980 jsou roboty běžně vybavovány počítačovým viděním, čidly hmatu, ultrazvukovými detektory vzdálenosti, fotooptickými čidly apod.

Jako první na světě se v chirurgii objevil v roce 1983 robot ARTHROBOT v Kanadě, Vancouveru. Tento robot byl vyvinut týmem vedeným Dr. James McEvan a Geof Auchinlek ve spolupráci s ortopedickým chirurgem Dr. Brian Day.

V r. 1985 robot označený Puma 560 byl používán při biopsii mozku.

V r. 1988 robot vyvinutý na Imperial College v Londýně nazvaný Probot se využívá při operacích prostaty.

Rok 1997 je výjimečný ve vysazení robota Sojourner na Marsu, který podrobně zkoumal složení povrchu planety a se zemí bezproblémově 3 měsíce komunikoval.

V roce 2000 firma Sony vyvinula svého prvního zoida jménem AIBO a firma Honda humanoidního robota ASIMO.



Obr. 6 ASIMO f. Honda [18]



Obr. 7 AIBO f. Sony [20]

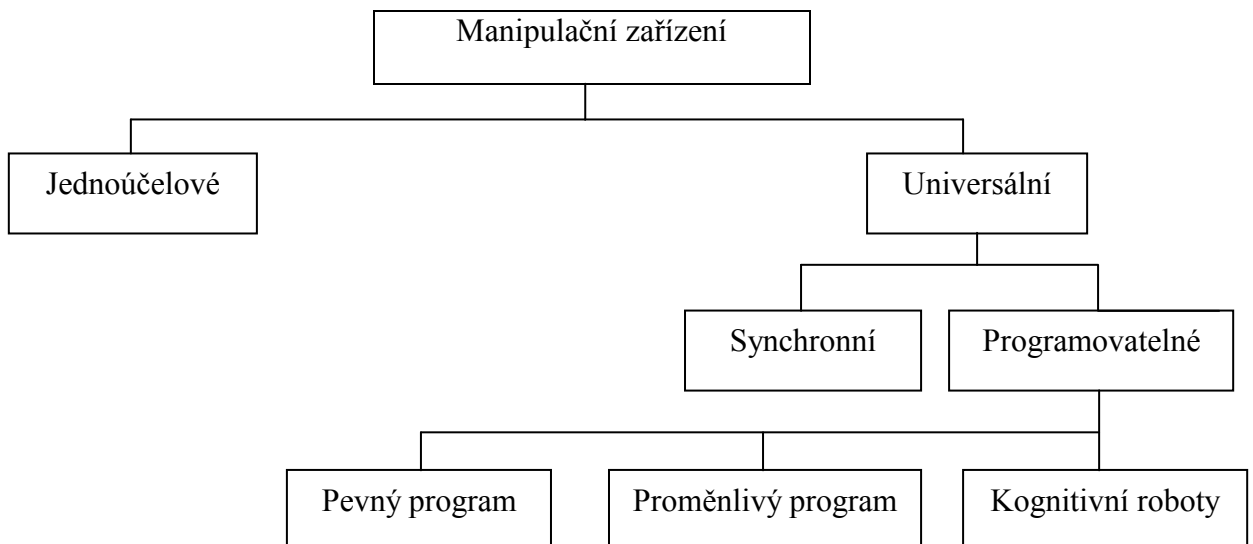
Milníků a úspěchů na poli robotiky ke konci 20. století je velmi mnoho a masivní expanzi robotů do průmyslu, vesmírnému bádání, lékařství, vděčíme mnoha více i méně známým vynálezčům, badatelům, odborníkům. Mezi ně patří i spisovatel Isaac Asimov, který dle některých zdrojů v roce 1950 definoval tři základní zákony robotiky. Nadvládu Japonska v oblasti robotiky, výroby, výzkumu a využití průmyslových automatů potvrzuje v roce 2001 ročenka OSN, která uvádí konkrétní počty nasazení průmyslových robotů, Evropa 198000, USA 90000, Japonsko 389000. [3]



## 2 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY

V průmyslové výrobě lze nalézt celou řadu výrobních zařízení či linek s určitým stupněm automatizace a mechanizace. Přesto lze stále nalézt pracoviště se značně velkým podílem manuální práce, která je často monotónní, nebezpečná a zdraví škodlivá. Tyhle všechny provozy jsou oblastí potenciálního použití průmyslových robotů a manipulátorů. Dnešní snadná dostupnost a široká paleta manipulačních zařízení vytváří optimální možnosti pro jejich nasazení a vytváření komplexních automatizovaných pracovišť. [1]

Manipulační zařízení obecně označováno jako průmyslové roboty a manipulátory (PRaM), které pro další vysvětlení a popis můžeme rozdělit podle funkce, provedení, aplikačních možností, míry autonomnosti, úrovně řízení atd., dle následujícího obrázku č. 8. [4]



Obr. 8 Rozdělení manipulačních zařízení [1]

Koncepční rozdělení PRaM lze provést do dvou základních skupin.

- **jednouúčelové PRaM** – omezené pohybové možnosti, nižší úroveň řízení, konstrukční provedení a pohon korespondující s obsluhovanými zařízeními a používanou technologií,
- **univerzální PRaM** – jsou víceúčelové s možností přizpůsobení různým technologiím.

Při volbě mezi jednouúčelovými a univerzálními PRaM se však musí vycházet hlavně vhodností nasazení zvoleného PRaM z hlediska ekonomického a technologického. Ne každá

realizace automatizovaného pracoviště musí být úspěšná, proto je nutné na tyto hlediska brát zřetel už při projektování pracoviště. [1] [4]

## 2.1 Charakteristické znaky jednotlivých typů PRaM

Mimo základní členění podle koncepce, lze jednotlivé druhy PRaM specifikovat dle jejich jednotlivých charakteristických znaků, které celou skupinu dělí na další podskupiny od nejjednodušších manipulátorů (podavače), až po kognitivní roboty se schopnostmi jistého vnímání a myšlení. [4]

### **Podavače**

Jsou to nejjednodušší jednoúčelové manipulátory. Často nejlevnější a nejefektivnější řešení automatizace v jednoduchých provozech. Jejich konstrukce je zpravidla zakomponována do stroje a tvoří se strojem jeden celek. Uživatelé si je často sami samostatně pořizují nebo vyrábějí.

### **Synchronní (teleoperátory)**

Řízení provádí průběžně pracovník. Na stroji jsou nezávislé a provádějí manipulační pohyby závislé na signálech vyslaných řídicím pracovníkem. Manipulátor a operátor (řídicí pracovník) tvoří uzavřenou samostatnou regulační smyčku. Mohou být jednoúčelové i univerzální. Tato zařízení přenáší na dálku příkazy člověka. Tato možnost ovládání mechanismu na dálku se využívá mimo jiné i pro vědecké, lékařské i vojenské účely. Pomocí dálkově řízených manipulátorů se může manipulovat s nebezpečnými látkami apod.

### **Programovatelné**

Jsou řízeny samostatným programem a řídicím ústrojím. Provedením, pohonem, a funkcí jsou na obsluhovaném stroji naprosto nezávislé.

### **S pevným programem**

Během činnosti manipulačního zařízení se program nemění a je stálý, programové ústrojí je jednoduchého provedení. Tyto manipulační mechanismy nazýváme jednoduché průmyslové roboty.

### **S proměnlivými programy**

Tyto zařízení v dnešní době představují špičku konstrukčního provedení a nazýváme je průmyslovými roboty. Mají možnosti přepínání nebo volby programu, většinou podle scény, ve které se právě nacházejí. Bývají to zařízení s adaptivním řízením.

### **Kognitivní roboty**

Jsou to zařízení, roboty, vybavené možností vnímání a racionálního myšlení se samostatnou volbou cíle, disponující tzv. sociálním chováním.

(kognitivní proces = proces vnímání a racionálního myšlení).

Od ostatních manipulačních zařízení se liší hlavně úrovní řízení.

## **2.2 Synchronní manipulátory**

Synchronní manipulátory, známé i pod názvem teleoperátory, jsou manipulační zařízení, ovládané člověkem. Jejich hlavním úkolem je zesilovat síly a pohybové možnosti operátora. [4]

Dělí se na jednoúčelové a univerzální.

**Jednoúčelové** – mají velmi omezenou možnost pro použití u jiných aplikací, jiných manipulací. Mohou jimi být různé polohovače – balancéry, určené k manipulaci s a zdvihání těžkých předmětů.

**Univerzální** – jsou konstrukčně mnohem složitější. Při práci kopírují pohyby operátora, přenášejí je do pracovního prostoru a přenáší na dálku příkazy člověka. Manipulační zařízení tvoří s pracovníkem uzavřenou regulační smyčku, pracující na principu master – slave. Pro mnoho provozů stačí při současné úrovni výroby řešit automatizaci pomocí jednoduchých, jednoúčelových manipulátorů. Tyto jsou oproti univerzálním manipulátorům a robotům mnohem levnější a v podstatě lze u nich využít jejich plný potenciál. Dražší, složitější univerzální manipulátory a roboty jsou často z ekonomického hlediska méně výhodné a v praxi se jejich celkové možnosti velmi málo využívají.

## **2.3 Průmyslové roboty**

Jde o zařízení složitější než manipulátor, využívající všech schopností manipulátorů a řízené počítačem nebo vlastním integrovaným řídicím systémem.

### **Definice robotů:**

Robot je automaticky nebo počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomní cílově orientované interakce s přirozeným prostředím podle instrukcí od člověka. Tato interakce spočívá:

- a) ve vnímání a rozpoznávání tohoto prostředí,
- b) v manipulování s předměty, popř. pohybování se v tomto prostředí. [4]

### Definice průmyslových robotů:

Průmyslový robot je autonomně fungující stroj – automat, který je určen k reprodukci některých pohybových a duševních funkcí člověka a který je k tomuto účelu vybaven některými jeho schopnostmi (sluchem, zrakem, hmatem, pamětí a podobně), schopností samovýuky, samoorganizace a adaptace, tj. přizpůsobivosti k danému prostředí.

Toto definované zařízení je onou požadovanou náhradou za člověka v průmyslovém prostředí a výrobním procesu. [5]

Pro obecné porovnání vlastností průmyslového robotu s člověkem ve výrobním procesu, mohou být použity tyto kategorie:

- fyzické možnosti – síla, možnost neúnavné práce, rychlost, stabilita charakteristik, trvanlivost, spolehlivost atd.,
- funkční možnosti – univerzálnost, přizpůsobivost, manipulovatelnost, přemísťování v prostoru atd.,
- úroveň inteligence – vnímání, chápání, rozhodování, paměť, logika.

### **2.3.1 Generace robotů a manipulátorů**

Průmyslové roboty a manipulátory lze rozdělit do pěti generací:

- **nultá generace** – jsou tu zařazeny manipulátory a roboty zpravidla bez zpětné vazby, kdy všechny změny ve sledované oblasti nebo poruchy vedou k zastavení zařízení, nedovolení dalšího kroku a centrálního odpojení systému od přívodu energie, tj. zastavení zařízení a případně přivolání seřizovače nebo údržbáře,
- do **první generace** řadíme roboty a manipulátory s jednoduchou zpětnou vazbou, které jsou schopny přepínání mezi několika podprogramy, předem vytvořených člověkem a práce podle nich,
- ve **druhé generaci** jsou roboty se schopností optimalizace, tj. schopností vybírat z předem zadaných programů ten optimální, dle zadaného kritéria optimalizace,
- **třetí generaci** robotů charakterizují zařízení, které jsou schopné samostatné tvorby optimálního programu, neboť jsou schopny se učit z nabytých zkušeností. U těchto zařízení se zadává pouze cíl činnosti a způsob splnění zadaného úkolu je ponechán na inteligenci řídicího systému, který si sám vytvoří optimální program nutný ke splnění cíle,

- **čtvrtá generace** je prezentována roboty s autonomním, sociálním chováním, které se chovají podobně, jako člověk a samostatně si volí cíl práce a způsob jejího provedení.

V současné době se v běžném průmyslu nasazují roboty a manipulátory nulté a první generace a velmi zřídka roboty generace druhé. Pořizovací ceny robotů druhé generace jsou poměrně vysoké, neboť jsou bezprostředně závislé na složitosti a cenové dostupnosti senzorové techniky, potřebné k rozpoznávání a vyhodnocování pracovní činnosti robotu. [4]

### 2.3.2 Adaptivní roboty

Takzvané adaptivní nebo adaptabilní roboty se začaly uplatňovat počínaje s první generací robotů. Tyto roboty se díky vyšší inteligenci řídicího systému a zpětné vazbě dokážou přizpůsobovat změnám okolí. V reálu to znamená, že reagují na změnu sledovaných parametrů a automatickou změnou svého chování, vracejí sledované veličiny do původního, optimálního stavu. Typickými adaptivními roboty jsou například roboty pro svařování elektrickým obloukem, které dovedou sledovat svařovanou spáru a v případě jejich nepřesností opravují naprogramovaný chod hořáku, tak aby ze spáry nevybočoval. [4]

„Vzájemná interakce robotu a technologického prostředí velmi často vzniká **fyzičným** kontaktem koncového efektoru a předmětu technologické scény, kdy se uzavírá mechanická vazba kinematického řetězce robotu.

Pro adaptivitu robotu je totiž nezbytné rozpoznat, zda dotyk nastal, stanovit souřadnice bodů (lokalizaci) dotyku a charakter dotyku vyhodnocením např. velikostí reakčních sil a momentů. K tomu jsou efektorů vybaveny senzorickými zápěstími s poddajnými členy. Kromě toho jsou používány též vazby **bezdotykové** – zejména optické, ultrazvukové, indukční, laserové apod.“ [4]

### 2.3.3 Kognitivní roboty

Přívlastek „kognitivní“ (z latinského *cognitivus*, poznávací) nějaké činnosti nebo teorie, znamená, že se klade důraz na poznávací (myšlenkovou, rozumovou) stránku této činnosti, případně oproti stránce emotivní, volní, praktické atd.

Tento přívlastek je používán mimo jiné i v psychologii. Předmětem zájmu kognitivní psychologie je vytváření tzv. vnitřních obrazů (modelů) vnějšího světa, ve kterém žijeme. Neboli vnitřního obrazu chování, tj. situací, událostí, psychických procesů, myšlení člověka a

problémů, s nimiž se setkáváme za účelem lepší orientace a možnosti učinit smysluplné rozhodnutí s předstihem. Takto vytvořený *obraz světa* je důležitým činitelem ve vnitřním řízení aktivit našeho organismu. Je nejen zodpovědný za to, jak jsme schopni reagovat, ale také například zdrojem naší celkové stability či nestability. [2]

**Kognitivní robot** je kybernetický systém schopný autonomní interakce s reálným prostředím za účelem splnění stanoveného cíle. Má různou míru schopností:

- vnímat a rozpoznávat prostředí (senzorický modul),
- vytvářet a aktualizovat vnitřní reprezentaci prostředí (kognitivní modul, modul prostředí),
- řešit nepředvídané události v prostředí (dynamický model prostředí). Automaticky řešit úlohy na základě modelu prostředí a formulovaného cíle (modul řešení úloh a plánování),
- samostatně vykonávat plány činnosti v prostředí (modul realizátoru plánu, motorický modul),
- aktivně ovlivňovat prostředí manipulací s předměty (efektory),
- komunikace s ostatními činiteli působících v prostředí, včetně komunikace s člověkem (komunikační modul),
- vnímat a rozpoznávat situaci vlastní a ostatních činitelů v prostředí pro spolupráci a učení napodobováním (modul chování),
- formulovat vlastní cíle (generátor cílů). [6]

Značný kvalitativní skok od běžných, jednoduchých robotů ke kognitivním by bylo možno charakterizovat jako:

kognitivnímu robotu je zadán úkol, cíl činnosti a plán k jeho dosažení si musí řídicí systém vypracovat sám. Úkolem řídicí jednotky je vytvoření plánu k dosažení cíle a také jeho následná realizace. U kognitivních robotů se tyto dvě fáze mohou prolínat i paralelně, kdy plánování další činnosti je ovlivňováno zkušenostmi získaných předešlou činností. Robot je schopen akce i při neúplných informacích a irelevantní informace skrývá nebo úplně vynechává – zjednodušuje problém.

**Autonomnost činnosti** robotu je dána jeho samostatnou prací, nezávislou na člověku - člověk netvoří se zařízením uzavřenou smyčku, jako u teleoperátorů (master – slave).

**Požadavek cílově orientované činnosti** vylučuje zařízení, které by se chovalo zcela nesignifikačně, náhodně, chaoticky. Veškerá aktivita robotu je zaměřena na dosažení předem zadaného cíle, nejde tedy o stálé opakování úkonů, jako u běžných průmyslových robotů.

**Instrukce udílené člověkem** mají pouze symbolický tvar. Mohou to být instrukce v umělém nebo přirozeném jazyce, ale u dokonalejších systémů se může použít i mluvené řeči.

I při požadavcích na co největší autonomnost robotů, neztrácí interakce robotu s člověkem na významu a důležitosti. Člověk musí robotu vhodnou formulací a způsobem zadávat úkoly, popis situací a obecných zákonitostí prostředí a také se může robotu ptát na vlastnosti prostředí, tzn., že robot má více znalostí než člověk.

Robot by měl zase možnost klást otázky k doplnění informací, potřebných k úspěšnému řešení úlohy a splnění cíle. Také by měl informovat člověka o nečekaných problémech a okolnostech, se kterými si nedokáže sám poradit. [4]

#### 2.3.4 Konativní roboty

Konativní roboty tvoří předpokládanou nejvyšší generační řadu. Dle svého označení (z latinského conatus, snaha, úsilí, činný, volní, jednající) jsou charakterističtí samostatnou volbou cíle. V dnešní době je zatím předpoklad k vývoji těchto typů robotů, který povede k výrobě robotů se sociálním chováním, velmi podobným chování člověka. Znamená to, že řídicí systém nebude potřebovat jednotlivé zadávání cílů, ale při situování do pracovního procesu bude sám vyhodnocovat situaci a plánovat, co je potřeba v daný okamžik udělat. [4]

#### 2.3.5 Mobilní roboty

Mobilita robotů je specifickou vlastností, která se může vyskytovat u všech druhů a typů robotů a manipulátorů a je realizována podvozkem nebo jiným systémem, umožňující pohyb.

U robotů nulté a první generace se mobilita zajišťuje pouze přidáním jednoho stupně volnosti, v podobě pojezdění po pevně stanovené dráze – kolejnici, okolo obsluhovaných strojů nebo i nad nimi. Jako plně mobilní se vůbec nekonstruuje. U kognitivních robotů je situace naprosto odlišná a mobilita bývá velmi častá, neboť pohyb robota po určité pracovní ploše je nezbytný.

V těchto případech jsou roboty vybavovány tzv. lokomočním ústrojím, umožňující pohyb na větší vzdálenosti a pohyb je realizován pomocí kolového, pásového nebo kráčejičího podvozku. Podvozky kolové bývají energeticky výhodnější a jejich ovládání je jednodušší. Při změnách směru pohybu se využívá samostatných pohonů na každém hnaném kole. U pásových a kráčejičích systémů pohybu je nutno počítat s většími ztrátami třením. Velkou výhodou kráčejičího ústrojí je nasazení do prostředí s mnoha překážkami a nerovným povrchem a tam, kde nestačí ani podvozek pásový. Tento systém vyžaduje mnohem složitější řízení a řešení celé řady problému, spojených hlavně s rovnováhou a stabilitou. Lokomoční systémy pro pohyb po svislých stěnách využívají především přísavných systémů. Mobilní roboty se dělí i podle možnosti ovládání:

- ovládané na dálku,
- autonomní. [4]



### 3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Technologie vstřikování plastů, je velmi rychle se rozšiřující technologie tváření. Po naší zemi a celém světě je velmi mnoho vstřikoven plastů, ve kterých se pomocí různých modifikací vstřikovacího procesu vyrábí díly s užitnou hodnotou ve všech oborech lidské činnosti. Stále náročnější požadavky na díly vyráběné technologií vstřikováním, vedou k vývoji stále nových modifikací a aplikování moderních metod výroby.

#### 3.1 Historie vstřikování

S makromolekulárními látkami se lidská společnost setkává takřka už od nepaměti. Přestože rozvoj syntetických polymerů v podobě, jak je známe dnes, nastal až ve dvacátém století, byly některé polymery známy a používány mnohem dříve. Šlo především o ryze přírodní polymery.

Také principy plastikářské technologie vstřikování jsou mnohem starší, než se mnoho lidí domnívá. Už ve dvanáctém století se v Anglii zpracovávala rohovina a byl tam také v té době založen cech zpracovatelů tohoto materiálu. Její zpracování umožňoval poznatek, že rohovina už při 125 °C měkne a dá se docela dobře zpracovávat do požadovaného tvaru. Odtud byl pojem plasty odvozen z řeckého „plastein“, což v překladu znamená tvarovat.

Počátek historie vstřikování plastů je spojován se jménem John Wesley Hyatt, který v roce 1870 v USA se svým bratrem patentoval materiál, z něhož později vznikl celuloid. Spolu patentovali také zařízení, k jeho vstřikování. Jako výrobní obor se vstřikování plastů začalo rozšiřovat po první světové válce. V Německu roku 1921 vyvíjejí A. Eichengrün a H. Bucholtz jako první na světě komerční pístový vertikální vstřikovací stroj. Současně v témže roce je v USA založena firma B+B Metal Works, později Modern Tool and Die Co., vyrábějící formy a také s nimi úspěšně obchodovala. Později v roce 1926 německá firma Eckert und Ziegler vyvinula a prodávala první horizontální ruční vstřikovací stroj s formou upnutou na pohyblivých deskách. Československá firma Ing. Vltavský v Rakovníku roku 1929 zahajuje výrobu pístových vstřikovacích strojů. Už v roce 1930 začíná firma Ford Motor Co. montovat komponenty z plastů do osobních automobilů. Další a další vylepšení a vynálezy na tomto poli nedávají na sebe čekat. V roce 1932 je patentován elektricky vyhřívaný plastifikační válec, roku 1933 je vynalezen hydraulicky poháněný uzavírací systém a roku 1936 se zavádějí v USA do vstřikovacích strojů časové ovladače. Čtyřicá-

tá léta dvacátého století se mimo druhé světové války prezentují pokračujícím trendem vývoje technologie vstřikování. Firma D.M.E skládá formy složené s typizovaných dílů, zvaných normálie, firma BASF roku 1943 patentuje první plastifikační šnek a v roce 1950 je světu představen první horký rozvod. V roce 1956 je patentována první vstřikovací šneková jednotka, taková, jakou známe v dnešní podobě. S překotným rozvojem technologie vstřikování se rozvíjí i příbuzné a navazující obory. Jsou patentovány a zaváděny první pneumatické nasávače, sušárny pro sušení granulátů, ultrazvukové svářečky a v nástrojařství první vyjiskřovací stroj. V roce 1968 se objevují vstřikovací stroje s plně elektronickým řízením. O rok později se objevuje technologie vícekomponentního vstřikování. Roku 1979 je poprvé nasazen na nepohyblivou upínací desku vstřikovacího stroje robot. Firma Battenfeld a Nestal v roce 1983 představují první automatizované vstřikovny plastů. Firma Engel začíná v roce 1987 vyrábět bezsloupkové horizontální vstřikovací stroje. Další postupné zlepšování technologie vstřikování plastů pokračuje zaváděním kontrolních systémů, pokročilých řídicích systémů, jako Dynamic Feed apod.

Vývoj materiálů vhodných pro zpracování vstřikováním začíná roku 1868 objevením celuloidu a pokračuje vývojem a výrobou syntetických termoplastů.

1927 – acetát celulózy a PVC, 1928 - PMMA, 1930 – PS, 1935 – první systém PA 66, 1939 – SAN, 1937 – vynalezen PU, 1938 – PA6, LD-PE, 1941 – PET, 1947 – PA 11, 1948 – ABS, 1952 – HD-PE, 1953 – PP, PC, 1956 – PPO, 1958 – POM, 1965 – polysulfony, atd. [7]

### 3.2 Úvod do současnosti vstřikování

Technologie vstřikování plastů, včetně strojů a souvisejících zařízení pro její realizaci, urazila od svých prvopočátků, přes masový a prudký rozvoj hlavně v druhé polovině dvacátého století až po dnešní globální rozmach, velmi dlouhou a také velmi úspěšnou cestu. Díky širokým možnostem použití termoplastů v automobilovém, elektronickém, lékařském odvětví a v podstatě v téměř všech oblastech lidské činnosti, je technologie vstřikování plastů velice perspektivní i nadále v současnosti. [7]

### 3.3 Vstřikování, proces vstřikování, princip

Vstřikování je poměrně složitý tepelně-mechanický proces tváření, na němž se podílí materiál, ze kterého je vyroben finální výrobek, vstřikovací stroj se všemi souvisejícími součástmi, vstřikovací forma a vstřikovací cyklus. Při samotném vstřikovacím procesu se stále častěji užívají různé modifikace. Mezi tyto modifikace vstřikovacího procesu je možno zařadit:

- vícekomponentní vstřikování ve všech jeho variantách,
- vstřikování dílů se stěnami velmi malých tloušťek,
- výroba dutých a tlustostěnných dílů s využitím tlaku inertního plynu nebo vody – GIT (Gas Innendruck Technik), WIT (Wasser-injektionstechnik),
- dekorativní vstřikování a jeho modifikace,
- technologie vstřikování strukturně lehčených plastů,
- technologii MuCell (Microcellular Foam Molding),
- kaskádové vstřikování,
- vstřikování s regulací plnění dutiny formy v reálném čase – Dynamic Feed.

Prakticky u všech těchto modifikací se využívají poznatky klasického vstřikování plastů.

Principem vstřikovacího procesu je připravit z příslušného, předem upraveného (vysušený, smíchaný s aditivou atd.) granulátu teplotně co nehomogennější taveninu. Tuto posléze působením vstřikovacího tlaku a vstřikovací rychlosti dopravit co nejšetrněji do temperované tvarové dutiny formy. V tvarové dutině formy eliminujeme tepelnou objemovou kontrakci působením dotlakové fáze, kdy je do dutiny formy doplňován úbytek taveniny tak, aby výstřik po ochlazení a vyhození formy měl předepsané tvary a rozměry [7]

#### Vstřikovací cyklus

- Plastifikace: uzavírání nástroje (vstřikovací formy), šnek otáčením a paralelním pohybem vzad plastifikuje roztavenou hmotu a dopravuje ji směrem k trysce.
- Vstřik: vstřikovací jednotka se přisunuje k formě (ústí vtokové soustavy), šnek se posunuje dopředu a tlakem vstřikuje taveninu do formy.
- Ukončení vstřiku: po vstřiku následuje dotlak a po zatuhnutí vtoku se šnek otáčí a plastifikuje další dávku taveniny.
- Otvírání formy: po dostatečném zchlazení výstřiku v dutině, se forma otevírá a výstřik se pomocí vyhazovacího mechanismu vyhodí s formy.

Celý cyklus se cyklicky opakuje. [12]

Slovo **polymer** je řeckého původu a značí mnoho (poly) částic (mer). Polymery jsou tvořeny dlouhými řetězci molekul obsahující atomy uhlíky, vodíku, kyslíku, chlóru a mnoha jiných chemických látek. Polymery jsou za normálních teplot v tuhém stavu a za působení zvýšených teplot a jejich skupenství mění na kapalné (taveninu), což umožňuje udělovat tavenině tvar budoucího výrobku.

V technologii tváření vstřikováním se používají polymerní materiály se základním rozdělením dle chování za normálních a zvýšených teplot:

- termoplasty,
- elastomery (termoplastické elastomery),
- reaktoplasty (dříve termosety, duromery, duroplasty). [7]

### 3.3.1 Termoplasty

Termoplast je za normálních podmínek tvrdá a často i křehká makromolekulární látka. Termoplasty jsou velká skupina materiálů, které mění svůj tvar působením tepla a smykovými silami. Po ochlazení je možné je opět působením tepla převést do taveniny. Molekulové řetězce mají přímé (lineární polymery) nebo s bočními větvemi (rozvětvené polymery). Při ohřevu se uvolní soudružnost těchto řetězců a hmota se stává viskózní – v tomto stavu se tváří. Po ochlazení se opět dostanou do původního stavu. Polymerní látky, zejména lineární a málo větvené, jsou schopné částečné krystalizace, a to buď z velmi zředěných roztoků, nebo z taveniny. To znamená, že části makromolekul se spolu skládají a vytvářejí tak pravidelnou prostorovou strukturu. Skládají se do lamel, což jsou destičkovité útvary s tloušťkou asi 10 nm a plochou v řádu mikrometrů. Lamely vyrůstají na sobě tzv. dendrickým způsobem a vytvářejí větší, takřka kulové útvary zvané sférolity. U *částečně krystalických* materiálů je mezi krystalickou, uspořádanou strukturou i neuspořádaná *amorfní* struktura. Jak u amorfních, tak u částečně krystalických polymerů jsou makromolekulární řetězce i jejich části v pevném stavu vázány k sobě mezimolekulárními silami. Na jejich intenzitě jsou závislé zejména mechanické vlastnosti příslušného polymeru. Účinek působení mezimolekulárních sil je nepřímo závislý na vzájemné vzdálenosti molekul a ta je nejmenší u uspořádaných částí řetězců v krystalickém stavu. Krystalické polymery mají tedy vyšší a na teplotě méně závislé mechanické vlastnosti oproti polymerům amorfním. Krystalická fáze má vyšší hustotu než fáze amorfní.

Nově vyvinuté katalyzátory používané při výrobě polymerů - metallocenní – poněkud ovlivňují dělení termoplastů na amorfní a částečně krystalické. Metallocenní katalytický systém umožňuje např. výrobu téměř transparentního polypropylenu (93 až 96 % transparence vztaženo k etalonu materiálu PET pro výrobu nápojových lahví), jehož vlastnosti a zpracovatelnost jsou srovnatelné s částečně krystalickým PP. Na druhé straně umožňují výrobu částečně krystalického polystyrenu. Syndiotaktický polystyren se řadí mezi konstrukční termoplasty s vyšší teplotní a chemickou odolností než standardní PS (obě vlastnosti má podobné PBT). Má nízkou specifickou hmotnost, velmi dobrou rozměrovou stabilitu, není navlhavý, jeho zpracování vstřikováním je bezproblémové, ale má nevýhodu ve své relativní křehkosti.

Pro bezproblémové zpracování polymerních materiálů se nejčastěji do polymerů přidávají aditiva. Mezi ně patří:

- stabilizátory (termooxidační, UV stabilizátory),
- plastifikátory (změkčovadla),
- polymerní modifikátory,
- koncentráty lubrikantů, nukleačních činidel, antistatik,
- retardéry hoření,
- barviva, pigmenty, optická zjasňovadla,
- plniva – kompozitní materiály (částicová, vyztužující, nanoplňiva, kompozitní slitiny). [7]

### **3.3.1.1 Částečně krystalické (semikrystalické)**

Obsah krystalické fáze, velikost a rozložení jednotlivých sférolitů závisí na chemické struktuře polymeru, délce a větvení řetězce. Podle typu polymeru se obsah krystalického podílu (větší nebo menší uspořádání řetězců do formy svazků, lamel, fibril až sférolitů) pohybuje do 90 % objemu. Do skupiny částečně krystalických plastů patří např. polyolefiny (PP, PE), POM, PA, PBT, PET, PEEK atd. Mají větší smrštění než amorfní plasty (bez plniv 1 až 3,5 %), jsou obvykle neprůhledné, jejich tepelná odolnost je vysoko nad teplotou skelného přechodu ( $T_g$ ). [7]

### 3.3.1.2 Amorfní

Pokud makromolekuly nemají schopnost samovolného spořádání se při přechodu z kapalného do tuhého stavu (schopnost krystalizace) a řetězce zůstávají v nepravidelném stavu, v tzv. statistickém klubku i v tuhém stavu, tj. jsou bez pravidelné nadmolekulární struktury, nazýváme je amorfními. Všechny polymery ve stavu taveniny jsou amorfní. Mezi amorfní plasty patří PS, ABS, SAN, PMMA, PC, PES apod. Amorfní plasty jsou charakteristické menším smrštěním (0,2 až 0,8 %), jsou obvykle transparentní, použitelné do teploty skelného přechodu ( $T_g$ ). [7]

### 3.3.2 Elastomery (termoplastické elastomery)

Elastomer je makromolekulární látka, která se po podstatné deformaci malým napětím a uvolnění tohoto napětí při pokojové teplotě rychle vrací k přibližně stejným rozměrům a tvaru.

**Klasický elastomer – kaučuky**, se vytvrzováním mění na pryže. Vytvrzování kaučuků se nazývá vulkanizace a probíhá za teplot kolem 200 °C. Kaučuková směs s působením vulkanizačního činidla (významné vulkanizační činidlo je síra) vytvoří v polymerech příčné vazby, které dodávají pryžím zajímavé vlastnosti. Snesou velké tahové namáhání, díky velkým plastickým deformacím. Jsou pružné a odolné proti cyklickému namáhání. Nepropouští vodu a jsou stálé i při některých chemických reakcích. V elektronice nacházejí uplatnění díky svým izolačním vlastnostem. Z kaučuků na bázi nenasycených uhlovodíků izoprenů a butadienů se vyrábí pneumatiky, hadice, těsnění, dopravníkové pásy atd. Kaučuků se vyrábí více druhů a modifikací, mezi něž patří olejovzdorný, polychloreprenové, teplotovzdorné a styrenové, které jsou nejvýznamnější, nejpoužívanější a jejich spotřeba je 50 % z objemu výroby všech kaučuků. Vzniká z butadienu a styrenu. [11]

**Termoplastický elastomer (TPE)**, má při pokojové teplotě podobné vlastnosti, jako pryž (vulkanizovaný elastomer). Na rozdíl od pryže se ale dá, podobně jako termoplast, opakovaně zpracovávat. Ve srovnání s pryží odpadá vulkanizace při zachování analogických užitných vlastností. Jde o polymerní materiál, který obsahuje tvrdé měkké domény, charakterizované různými teplotami zeskenatění ( $T_g$ ) a tání ( $T_m$ ). Hlavní rozdíl mezi pryžemi a TPE je dán vlastnostmi uzlů sítě, které nejsou chemické jako u pryží, ale fyzikální povahy. Z hlediska zpracování jsou vlastnosti TPE výhodné, protože přechod ze zpracovatelské taveniny k pevnému, elastickému tělesu je rychlý, vratný a nastává pouhým ochlazením

taveniny. Při výrobě pryží musí kaučukové směsi k dosažení potřebných vlastností projít složitým vulkanizačním procesem. [8]

### 3.3.3 Reaktoplasty (termosety)

Reaktoplasty jsou zesíťované polymery, které vytvářejí trojrozměrnou strukturu (sítě). Zesíťování nastává až při tváření polymeru za pomoci tepla a tlaku, někdy také katalyzátoru. Po dokončení zesíťování není další tváření možné, protože při dodávání další tepelné energie není možno hmotu opět roztavit. Materiál dostává zajímavé vlastnosti, především je neroztavitelný a nerozpustný. Při stále se zvyšujícím se dodáváním tepla začne hmota hořet a degradovat. Husté příčné zesíťování nazýváme vytvrzování. Patří mezi ně pryskyřice (epoxidové, fenolické) atd. [11]

Tváření reaktoplastů a klasických elastomerů je podobné jako u termoplastů. Rozdíl je pouze v tom, že vstříkovací forma je temperována na 120 °C – 200 °C, dle druhu zpracovávaného materiálu. Po vstříknutí materiálu do dutiny formy dochází k zesíťování polymerních řetězců – vytvrzení u reaktoplastů nebo vulkanizaci u elastomerů. [12]

## 3.4 Vstříkovací stroje

Stroje určené ke vstříkování plastů do dutiny formy vyrábí velká spousta firem po celém světě. Nicméně v Evropě se s ohledem na kvalitu strojů, jejich servis, dostupnost a v neposlední řadě historii firmy, můžeme uvažovat s poměrně útlým seznamem možných dodavatelů. Jedná se hlavně o značky evropských firem Arburg, Engel, Krauss-Maffei, Demag, Battenfeld a z asijské části světa firma Mitsubishi. I když je v poslední době zjevná snaha dalších asijských - čínských firem, proniknout na tento trh a vybudovat si konkurenční schopnou pozici hlavně nízkou cenou. Snahy vstoupit na trh se vstříkovacími stroji a vybudovat si strategickou pozici na něm, je zcela rozumné a logické. Obor vstříkování plastů, včetně všech příbuzných a přímo na něj navazujících oborů zažívá obrovský rozmach a v dnešní době si v podstatě moderní člověk život bez vstříkovaných výrobků z plastů ani neumí představit. Výrobky s plastů se staly nedílnou součástí našich životů a najdeme je v téměř všech částech našich domovů, domácností, automobilů, ale i průmyslu, zdravotnictví atd. Všude, kde je to možné, nahrazují plasty kov, sklo, textil, gumu, dřevo. Oblibu si získaly pro svou poměrně dobrou tvárnost, široké použití, možnosti dodatečných úprav, oproti sklu nebo kovu nízkou hmotností apod. Díky široké paletě polymerů

s různými vlastnostmi se nám otvírají obrovské možnosti. Po přesné specifikaci kvality a vlastností konečného výrobku, výběru konkrétního polymeru, vstříknutí a po jeho vyjmutí s formy získáváme díly s požadovanou kvalitou – tvarová přesnost, barevnost, odolnost proti mechanickému namáhání na tah, tlak, krut, chemická odolnost, UV stabilizované díly, výrobky s retardéry hoření, s vynikající ohebností a mnoho dalších. Je zřejmé, že technologie vstříkování plastů nabízí opravdu široké možnosti, při konstrukci, výrobě a užití vstříkovaných výrobků. Obecně mohou být plasty tvrdší než ocel, ale i měkčí než hedvábí. Od prvních plastů vyrobených před více jak 100 lety, plasty doznaly značného rozvoje. Zatímco v roce 1949 se nevyráběl ani 1 milión tun/ročně, v dnešní době produkce dosáhla čísla 245 miliónů tun/ročně. I při těchto číslech je spotřebovaná část ropy a zemního plynu na výrobu plastů mezi 4 – 6 %. Kontinuálně s vývoji nových polymerů, jde s nimi i vývoj nových aplikací k jejich zpracování, včetně vstříkovačích strojů. Základní části všech vstříkovačích strojů tvoří rám, vstříkovací jednotka, pohonná jednotka, vyhřívaný válec, upevňovací desky k upnutí forem, vyhazovací soustava a ochranné prvky. Je zjevné, že vlivem mnoha možností při vstříkování plastů se nespokojíme pouze s jedním univerzálním typem vstříkovačích stroje, ale že jejich tvary, pohony, způsoby zpracovávání polymerů, počet vstříkovačích jednotek atd. nám nabídnou širokou paletu kombinací a tvarů strojů.

### 3.4.1 Vstříkovací stroje s jednou vstříkovací jednotkou

Nejrozšířenější a nejjednodušší koncept vstříkovačích stroje, kdy základní prvky tvoří rám stroje, vstříkovací jednotka, pohonná jednotka, vyhřívaný válec, upínací desky, vyhazovací soustava, ochranné prvky.

Vzhledem k jedné vstříkovací jednotce, se vstříkuje pouze jen jeden druh polymeru v daný okamžik. Při změně výroby nebo potřebě vyměnit materiál za jiný druh polymeru, se musí vždy striktně dbát na dodržování technologických postupů při výměnách materiálů. Komora válce se musí vždy řádně vyčistit. Zpravidla se k tomu používají různé druhy levnějších plastů PP, PE a regranuláty těchto materiálů. Nežádána změna výroby nese sebou i změnu barvy zpracovávaného materiálu, materiály mohou být plněny různými plnivými a také se mohou zpracovávat na podstatně rozličné teploty, proto je řádné vyčištění komory při změnách výroby nutno dodržovat.

**Vstříkovací jednotka** – je to v podstatě ocelový válec, na kterém jsou elektrické topné pásy a na jehož čele je instalována vstříkovací tryska. Teplota topných pásů se zpravidla



směrem k trysce zvětšuje a reguluje se automaticky zapínáním nebo vypínáním jednotlivých sektorů (pásů) topení pomocí termočlánků. Teplota na jednotlivých pásech je volitelná a profil teplotního pole válce se může měnit dle technologických nebo materiálových požadavků. Ve válci je uložen otočně i posuvně plastifikační šnek aretovaný v pouzdru. [12]

Přímočarý i rotační pohyb šneku bývá realizován přímočarým a rotačním hydromotorem, případně elektropohonem s mechanickými převody. Směrem k trysce se závit šneku mění tak, aby se dosáhlo kompresního účinku při plastifikaci (otáčení šneku) a dopravě roztaveného granulátu směrem od násypky k trysce. Otáčky šneku a protitlak šneku jsou volně měnitelné. V případě vstřikovacích strojů s hydraulickým pohonem je posuv šneku i celé vstřikovací jednotky hydraulický. Vstřikovací tlak a rychlost se regulují změnou množství a tlaku přiváděné hydraulické kapaliny. [10]

**Uzavírací jednotka** – Úkolem uzavírací jednotky je uzavírat a otevírat formu při vstřikování. Uzavírací jednotka má také za úkol zajistit dostatečnou uzavírací sílu, aby se formou tlakem vstřikované taveniny do dutiny formy samovolně neotevírala a zajistila potřebnou těsnost. Vstřikovací stroje mají nosnou konstrukci uzavírací jednotky zpravidla sloupkovou, kdy vedení pohyblivých částí zajišťují čtyři vodící sloupky. Na trhu jsou i vstřikovací stroje bezsloupkové (f. Engel). Otevření a bezpečné uzavření formy zajišťuje uzavírací ústrojí. Potřebná síla je závislá na velikosti stroje, respektive na velikosti plochy průřezů výstřiku v dělicí rovině a na velikosti vstřikovacího tlaku. Uspořádání uzavírací jednotky a tuhost uzavíracího mechanismu má rozhodující vliv na těsnost formy. Podle druhu pohonu lze rozdělit uzavírací jednotku na hydraulickou, hydraulicko – mechanickou a elektromechanickou. [10]



Obr. 9 Vstřikovací stroj Arburg [17]

Vstřikovací a uzavírací jednotky mají vůči sobě určité umístění, polohu. Nejčastější uspořádání u vstřikovacích strojů je horizontální poloha vstřikovací i uzavírací jednotky, tedy vstřikování kolmo do dělicí roviny formy. V některých případech (reologické chování taveniny, zakládání zástříků, vícekomponentní vstřikování, speciální způsoby vstřikování apod.) však může dojít k jiné vzájemné poloze. [9]

### 3.4.2 Vstřikovací stroje se dvěma vstřikovacími jednotkami

Technologie vícekomponentního vstřikování se rozvíjela postupně. Nejprve od vstřikování několika barev až po dnešní možnosti vstřikování dvou i více druhů materiálů. Mohou se vstřikovat materiály i nemísitelné a nedostatečná adheze se řeší vhodnou konstrukcí spojovaných částí. Technologie vícekomponentního vstřikování se odlišuje od klasického vstřikování pouze tím, že ke vstřikovací formě jsou přiřazeny dvě (dvoukomponentní vstřikování) nebo více (tři, čtyři, ..., vícekomponentní vstřikování) vstřikovací jednotky. [9]

Základní koncepce stavby stroje je stejná jako u stroje s jednou vstřikovací jednotkou, rozdíl je pouze v rozšíření stroje o další vstřikovací jednotku. Oproti tomu použité formy pro tuto technologii jsou rozdílné konstrukce. Charakterizují se poměrně značnou složitostí,

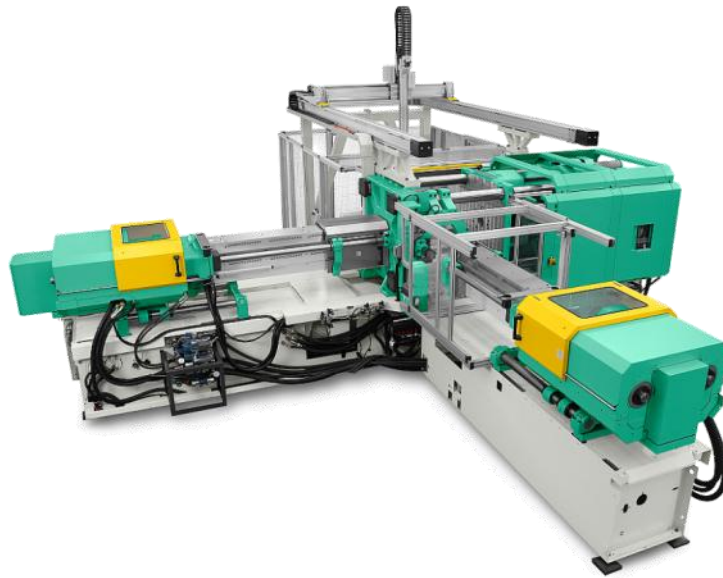
přesností a to zvláště u vstřikovacích forem s pohyblivými systémy. Objevují se požadavky na odstranění vtoku před začátkem dalšího vstřiku, na řízené posuvy apod. Tato koncepce je velmi zajímavá a stále častěji rozšířená v lisovnách plastů, které se chtějí orientovat na složitější výrobky. Přidání další vstřikovací jednotky umožňuje vstřikovat do dutiny formy dvě různé barvy materiálů nebo materiály typově odlišné, v jednom vstřikovacím cyklu. Tento způsob také podstatnou měrou šetří energie a pracovní časy stroje, potřebné u následných operací, při využití klasického vstřikování s jednou vstřikovací komorou. [15]

Nejrozšířenější a také nejsnazší formou vícekomponentního vstřikování je zpracování dvou materiálů. Dvoukomponentní stroj je mimo hlavní vstřikovací jednotku, umístěnou horizontálně přes pevnou upínací desku, vybaven ještě další vstřikovací jednotkou. [17]

Umístění druhé vstřikovací jednotky je různé a koresponduje s konstrukcí formy, umístěním stroje a typem vstřikování. Nejčastější uspořádání je, že jedna vstřikovací jednotka je horizontálně a druhá vertikálně, pozice V nebo se používá systém řazení do písmene L a také se mohou vstřikovací jednotky umísťovat nad sebe, naproti sobě pod úhlem apod. [17]



Obr. 10 Dvoukomponentní vstřikování, vstřik. jednotky ve tvaru písmena "V" [17]



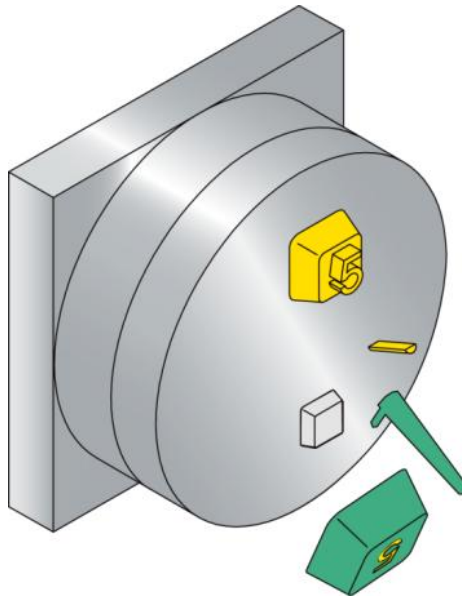
Obr. 11 Dvoukomponentní vstřikování, vstřik. jednotky ve tvaru písmena "L" [17]



Obr. 12 Dvoukomponentní vstřikování [17]

Vstříknutím materiálu přes hlavní (horizontální) vstřikovací jednotku se vyrobí předběžně vystříknutý díl. Předběžně vystříknutý díl z předcházejícího pracovního cyklu se současně zastříkává další komponentou prostřednictvím druhé vstřikovací jednotky. Po otevření formy se vtoky obou vystříknutých dílů společně s hotovým tvarovým dílem vyhodí. Předběžně vystříknutý díl zůstává ve formě. Poté se otočná deska otočí o 180° - viz kapitola 4 Formy. Předběžně vystříknutý díl se nachází v pozici pro finální vstřikování, druhá dutina

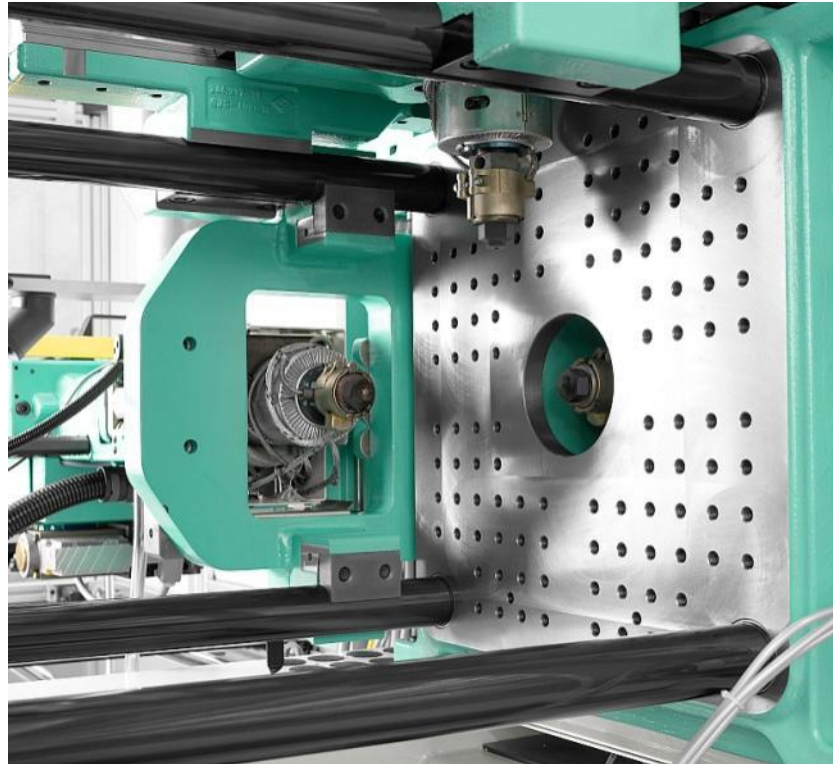
formy je opět připravena pro vstříknutí první komponenty. Po opakovaném vyhození hotového dílu a vtoků se forma otočí a po uzavření začíná nový pracovní cyklus. [17]



Obr. 13 Transfer předvstříknutého dílu do druhé pozice, vyhození hotového dílu a vtokových zbytků [17]

### 3.4.3 Vstříkovací stroje s více vstříkovacími jednotkami

U vstříkovacích strojů s více než jednou nebo dvěma vstříkovacími jednotkami, je princip využití této technologie totožný. Rozdíl je, že koordinace více vstříkovacích jednotek v pracovním cyklu a také podstatně složitější konstrukce formy klade vysoké nároky na znalost této technologie, pečlivost a správné seřízení stroje a formy, což jsou předpoklady pro bezproblémovou výrobu. Umístění jednotlivých vstříkovacích jednotek je podobné jako u dvoukomponentního vstříkovaní. Nejčastěji se využívá se řazení, kdy hlavní vstříkovací jednotka je tradičně v horizontální poloze umístěná tryskou k pevné polovině, kolmo k dělicí rovinně. Druhá vstříkovací jednotka horizontálně, tvořící z hlavní jednotkou písmeno L a třetí vertikálně.



Obr. 14 Umístění vstřikovacích jednotek pro tříkomponentní vstřikování [17]

K dispozici jsou i jiné alternativy umístění jednotek.

Při použití více než tří vstřikovacích jednotek se jednotky řadí analogicky, dle jednotlivých požadavků na výrobu dílů.



Obr. 15 Vstřikovací stroj se čtyřmi vstřikovacími jednotkami [17]

## 4 FORMY PRO VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Formy pro vstřikování plastů slouží k vytvoření podoby a tvaru vstřikovaného dílu, při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Používají se ke zpracování termoplastů, reaktoplastů, termoplastických elastomerů i kaučukovitých směsí. Řešení vstřikovacích forem vychází z technologického hlediska příslušného výrobku. Při konstrukci a výrobě formy se musí respektovat jak vlastnosti vstřikovaných materiálů, tak možnosti výrobních zařízení i dané požadavky na kvalitu výrobků a také produktivitu práce. Zpravidla je vyžadováno, aby vstřikované výrobky nepotřebovaly další zbytečné dokončovací operace. [13]

Dobrá kvalita vstřikovací formy plní požadavky:

- technické, zaručující správnou funkci formy, která musí vyrobit požadovaný počet dílů v požadované kvalitě a přesnosti. Má také splňovat podmínku snadné a bezpečné manipulace i obsluhy v pracovním cyklu,
- ekonomické, které se vyznačují nízkou výrobní cenou, snadnou a rychlou výrobou vstřikovaných dílů, při vysoké produktivitě práce,
- společensky – estetické, které umožňují vytvářet vhodné prostředí při práci. Dodržení všech bezpečnostních zásad při konstrukci, výrobě i provozu formy. [14]

Důležitým úkolem při konstruování forem všeobecně, je stanovení rozměrů a výrobních tolerancí tvarových částí formy. Pro výpočet a stanovení těchto rozměrů je rozhodující smrštění, tolerance jednotlivých rozměrů výstřiku apod.

U vstřikovacích forem se požaduje:

- vysoká přesnost a jakost funkčních ploch dutiny formy a ostatních funkčních částí,
- maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy, potřebných pro zachycení tlaků při vstřikování,
- správná funkce formy, vhodný a optimalizovaný vtokový systém, funkční vyhazování, odvzdušnění, temperování apod.,
- optimální životnost zaručená konstrukcí, použitým materiálem i výrobou. [14]

Formy pro technologii vstřikování plastů musí být složeny z těchto důležitých funkčních částí:

**Vyhazovací systém** – vstřikovací formy obsahují i rozličné mechanismy pro vyhazování výstřiků. Výrobky se při ochlazování ve formě smršťují a zůstávají na tvarových částech formy. Nejčastější způsob vyhazování výstřiků je *mechanický* princip pomocí tzv. vyhazo-



vačů - vyhazovacích kolíků, stíracích desek, stíracích kroužků apod. V řadě případů se můžou jednotlivé principy vyhazování kombinovat. Vyhazování *pneumatické*, používá se hlavně při výrobě tenkostěnných výrobků větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhození zavzdušnění, aby se nedeformovaly. *Hydraulický* systém vyhazování – bývá součástí vstřikovacího stroje a používá se především k ovládní mechanických vyhazovačů, které nahrazuje pružnějším pohybem a poměrně velkou flexibilitou. Hydraulické vyhazovače se většinou vyrábějí jako uzavřená hydraulická jednotka, která se zabuduje přímo do připraveného místa ve vstřikovací formě. S jeho pomocí se ovládají vyhazovací kolíky, stírací desky apod. [15]

**Vtokový systém** – při vstřikování zajišťuje správné vedení proudu taveniny od vstřikovacího stroje do tvarové dutiny formy. Naplnění dutiny termicky homogenní taveniny se má uskutečnit v nejkratším technologicky možném čase a s minimálními odpory. Tvar i rozměry vtoku společně s umístěním jeho ústí ovlivňují rozměry, vzhled i vlastnosti výstříku, spotřebu materiálu, náročnost opracování na začištění výstříku, energetickou náročnost výroby.

Rozdíly v celkovém uspořádání vtokového systému jsou dány především konstrukcí formy a její násobností. U vícenásobných forem má tavenina dorazit ke všem ústím vtoku za stejného tlaku a současně – vyvážené vtoky. [14]

Vtokový systém lze dělit na vtokovou soustavu *studenou* a *vyhřívanou* vtokovou soustavu.

**Studený vtokový systém** – jeho funkční řešení má zajistit, aby:

Dráha vtoku od vstřikovacího stroje do dutiny formy byla pokud možno co nejkratší bez zbytečných tlakových a časových ztrát. Dráha toku ke všem tvarovým dutinám formy byla stejně dlouhá a tím se zajistilo rovnovážného naplnění všech dutin. Průřez vtokových kanálů byl dostatečně velký, aby zaručil jistotu, že po naplnění všech dutin bude jádro taveniny ještě v plastickém stavu a tím se umožní působení dotlaku, čímž se eliminují ztráty smrštěním při ochlazování. Nebylo větvení vtokového systému pod ostrým úhlem, ale někdy právě naopak pod úhlem větším než 90 ° atd. [14]

**Vyhřívaný vtokový systém** – zaujímá v průmyslu zpracování plastů při konstrukci forem stále větší uplatnění oproti klasickým vtokovým soustavám. Má spoustu nesporných výhod, jež jsou dány neustálým vývojem těchto systémů pro nové a moderní výrobní aplikace.

Výhody oproti studeným vtokovým soustavám s vtokovým zbytkem:

- umožňují automatizaci výroby,
- podstatně zkracují výrobní cykly,
- vylučují odpad v podobě vtokového zbytku,
- snižují náklady na dokončovací operace, není potřeba odstraňovat vtokové zbytky,
- odpadá manipulace, regenerace vtokových zbytků a problémy při zpracování regenerátů.

Nevýhody se při vhodně zvolených aplikacích nevyskytují. Zvyšují se náklady na výrobu vstřikovací formy a použití vyhřívaného vtokového systému zvyšuje nároky na technickou vybavenost vstřikoven a úroveň lidí. [16]

**Temperace forem** – temperace formy je udržování teploty formy na určité, předem zvolené hodnotě. Teplota formy při vstřikování termoplastů bývá zpravidla v rozmezí 30 – 120 °C, ve speciálních případech se může tento interval rozšířit od – 5°C do + 250 °C. [10]

Optimálně navržený temperační systém umožňuje:

- zajistit optimální dobu vstřikovacího cyklu,
- dosažení kvalitních výrobků při optimální struktuře (fyzikální vlastnosti, požadavky na rozměrovou přesnost, vzhled).

Temperační systém umožňuje správnou funkci formy. Na řešení temperačního systému má vliv více faktorů, z nichž jsou to zejména:

- druh zpracovávaného materiálu,
- velikost a tvar výstřiku,
- požadavky na jakost a přesnost vstřikovaného dílu,
- druh a rozměry vtokového systému.

Doba temperování formy závisí na tloušťce a druhu vstřikovaného materiálu. Teplota povrchu dutiny formy není konstantní. V okamžiku styku horké taveniny s povrchem dutiny, teplota rychle stoupá. Potom postupně klesá při odvádění tepla temperačním médiem. Teplota povrchu dutiny formy dále klesá při otevření formy a vyhození výstřiku. Na teplotní poměry bude mít vliv samotná hmotnost formy, případně poměr její hmotnosti a hmotnosti vstříknuté taveniny.

Při konstrukci a výrobě temperačních kanálů je nutno se držet zásad:

- průřez temperačních kanálů je zpravidla kruhový, průměr bývá nejčastěji v rozmezí 6 – 20 mm. Další zvětšování kanálů je neúčinné, protože intenzita tepelné výměny

se již nezvyšuje, ale zvětšuje se množství cirkulujícího média, aby se zachovaly příslušné přestupní koeficienty,

- kanály se umísťují tak, aby médium přicházelo do nejteplejšího místa na formě, zpravidla v blízkosti vtoku a aby se teplotní rozdíl ve směru dráhy toku zmenšoval,
- tvárník i tvárnice mají být udržovány na stejné teplotě, proto systém kanálů musí být podobný v obou polovinách formy,
- délka kanálu má být co nejkratší, aby teplotní rozdíly média na vstupu a výstupu byly malé,
- tvar kanálu by neměl zbytečně zvyšovat průtokové odpory média,
- uspořádání kanálů v kruhových a hranatých deskách lze propojit v desce nebo také mimo ni hadicemi. Mohou se zhotovovat vrtáním, frézováním nebo soustružením.

[13]

Návrh a konstrukci temperačního systému a chladících okruhů poměrně značně komplikují vyhazovací prvky, členité výrobky, tenké výstupky a dlouhá jádra. Obtížně temperované části formy se vyrábí také z vysoce vodivých kovů. Hadice pro temperační médium se k formě připojují nejčastěji pomocí rychlospojek. Jako temperačního média se zpravidla nejčastěji používá voda. Pro teploty vyšší lze použít olej (až do teplot kolem 300 °C). Při požadavku na nízké teploty (-10 °C až -25 °C) se používají roztoky solí. Výjimečně lze ke chlazení použít také stlačeného vzduchu. [13]

**Odvzdušnění forem** – volba optimálního místa pro odvzdušnění ve formě je někdy jasná z tvaru výstřiku, jindy je velmi obtížně zjistitelná. Je nutno brát v potaz, jakým způsobem se plní dutina formy taveninou. Úkolem konstruktéra formy je vhodná místa pro odvzdušnění vytipovat a ve formě učinit taková opatření, aby i při nesprávném umístění odvzdušnění, bylo možno tuto konstrukční vadu napravit vhodným umístěním. Správné místo pro účinné odvzdušnění se posléze zjišťuje při zkouškách formy. [16]

Odvzdušnění tvarové dutiny je u vstřikovacích forem velmi důležité. Při poměrně rychlých časem plnění tvarové dutiny taveninou, může vlivem nedokonalého odvzdušnění docházet k neúplnému naplnění dutiny, zvyšování tlaku, tvorbě studených spojů nebo tzv. diesel efektu – pálení materiálu. Proto je nutno zajistit intenzivní odvod přebytečného vzduchu z prostoru dutiny formy, a to nejen netěsnostmi v dělicí rovině, ale i konstrukcí odvzdušňovacích kanálků. Tyto ovšem nesmějí být příčinou otřepů a přetoků na výrobku. Odvzdušnění má být zpravidla provedeno v dělicí rovině na protilehlém místě vtoku. [9]

Vysoká důležitost kvalitního a funkčního odvzdušnění se obvykle projeví až při zkoušení hotového nástroje, kdy odvzdušnění může být příčinou nekvalitního vzhledu výstřiku nebo jeho nízkých mechanických vlastností (studené spoje). Odvzdušnění lze někdy zhotovit snadno, jindy je však jeho řešení velmi obtížné a při jeho správném návrhu a konstrukci je nezbytná znalost některých zákonitostí plnění dutiny formy. [15]

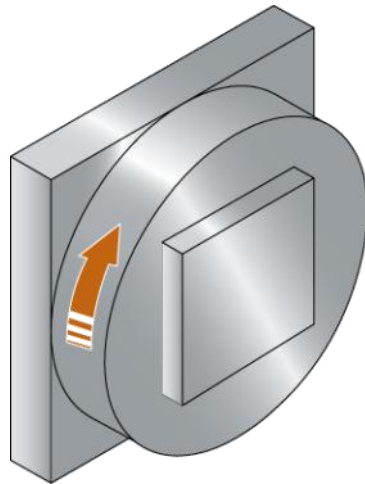
#### 4.1 Formy - vícekomponentní vstřikování

Vstřikovací formy pro vícekomponentní vstřikování se liší oproti běžným formám složitější konstrukcí, konkrétně systémem vtokové soustavy, temperačních kanálů, vyhazovacího mechanismu. Obecně platné normy a principy návrhu, konstrukce, výroby formy jsou totožné, jako u forem pro jednodušší modifikace vstřikování plastů. Složitost vstřikovacích forem se podstatně zvyšuje s počtem vstřikovaných materiálů.

Mezi další činnosti u technologie vícekomponentního vstřikování patří překládání výstřiků z jedné pozice do další pozice. Všechny procesy (vstřikování, překládání, vyhazování, atd.) jsou zajišťovány automaticky během pracovního cyklu. Z hlediska transportu (překládání) výstřiků se mohou použít následující způsoby:

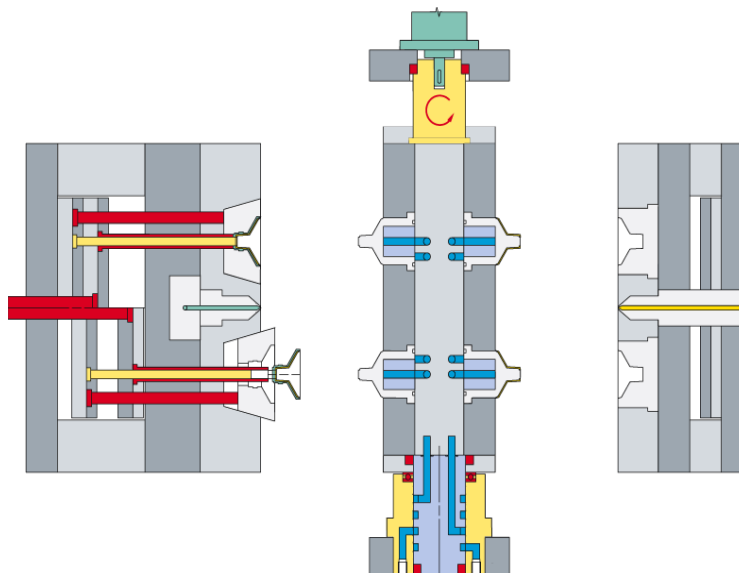
- rotace kompletní poloviny formy kolem své vodorovné osy,
- rotace kompletní poloviny formy kolem své vertikální osy,
- rotace části formy (vločky, indexové desky) kolem vodorovné osy,
- použitím šoupátka,
- použitím robotu. [9]

***Rotace kompletní poloviny formy kolem své vodorovné osy*** – je část nástroje, která se natáčí k jednotlivým vstřikovacím jednotkám. Zpravidla je touto částí celá pohyblivá půlka. Po prvním vstřiku a uplynutí chladicí doby se forma otevře, je vyhozen vtok a následuje pootočení formy spolu s výstřikem k další vstřikovací jednotce. V této poloze je přestříknutý díl znovu uzavřen do nepohyblivé části formy a je dostříknut do konečného tvaru. rotační pohyby mohou být buď alternující (u dvoukomponentního vstřikování) nebo spojitě u třípolohové technologie. [9]



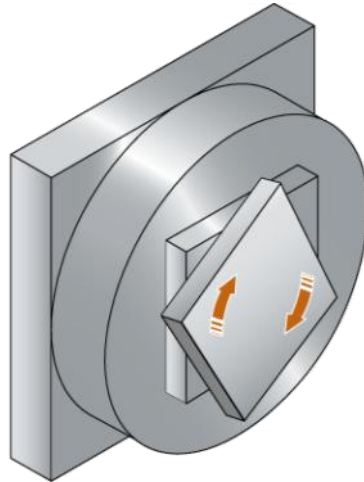
Obr. 16 Otáčení pohyblivé  
půlky formy [17]

**Rotace kolem vertikální osy** – při této rotaci dochází po otevření k otočení stolu kolem vertikální osy k druhé polovině vstřikovací formy. Jednotlivé vstřikovací jednotky vstřikují proti sobě a odděluje je jen tloušťka otočné desky (tvárník nebo tvárnice). Výhodou u tohoto způsobu otáčení, je snížení uzavíracích sil (kolem 30 až 50 %), zvláště pak u shodných objemů prvního a druhého vstřiku, protože taveniny působí tlakem proti sobě. [9]



Obr. 17 Otáčení stolu kolem vertikální osy [17]

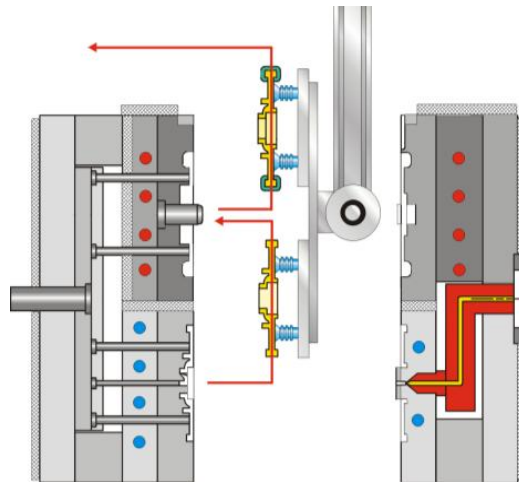
**Rotace části formy (vločky, indexové desky) kolem vodorovné osy** – je otočná pouze část pohyblivé poloviny vstřikovací formy – indexová deska. Princip a ovládání této části formy, jsou shodné s rotačně otočnou částí vstřikovací formy. [9]



Obr. 18 Rotace indexové desky [17]

**Použití šoupátka** – při použití šoupátka posuvné části formy se používá hlavně u vstřikování velkých výstřiků v kombinaci termoplastických elastomerů, pryží a tvrdých polymerních materiálů (ABS, PC, PA...) např., při výrobě těsnění. Šoupátko uzavírá nebo otevírá tu část dutiny formy, která se má (nemá) zaplnit taveninou. Technologie může být použita i pro větší počet komponentů, ale s tím také podstatně roste i konstrukční složitost formy. Nevýhodou někdy bývá delší vstřikovací cyklus, protože se v určitých případech jednotlivé komponenty vstřikují. [9]

**Použití robotu** – použití robotu je vhodné hlavně u větších výstřiků, u výstřiků, kde není možné nechat je volně padat, u kterých nevádí delší čas při jejich přemístění nebo při použití dvou strojů. Použitím robotu se podstatnou měrou automatizuje pracoviště. V současné době patří použití robotů mezi nejrozšířenější způsoby přepravy výstřiků z jedné pozice do druhé. Touto technologií se vyrábějí např. světla, ovládací prvky na palubní desce a v okolí volantu, vícebarevné aplikace, nářadí, apod. [9]



Obr. 19 Transport výstříků pomocí uchopovače robotu [17]

## 4.2 Materiály vhodné k vícekomponentnímu vstříkování

U vícekomponentního vstříkování se setkáváme s použitím různých druhů polymerů. Ne u všech vzájemných kombinací je však možná adheze. Při nedostatečné adhezi se provádí vhodná úprava geometrie dílu tak, aby došlo k zastříknutí spojovaných částí. Vhodnost vzájemného použití různých druhů materiálů v technologii vícekomponentního vstříkování přibližuje tabulka č. 1.

Použití vhodných typů materiálů velmi usnadňuje výrobu vícekomponentních dílů a celkově snižuje riziko deformací dílu při následné manipulaci a montáži. Zároveň je předpokladem pro bezproblémové a plně funkční použití výrobku. Volba optimálních typů materiálů pro spojení snižuje budoucí náklady na dodatečné úpravy formy, nutné k zajištění potřebné adheze a také snížení nákladů vlivem nižší produkce neshodných dílů.

Při nutnosti použití materiálu s omezenou soudržností, je nutno tento problém řešit vhodnou úpravou geometrie dílu a při výrobě věnovat zvýšenou pozornost kontrolou kvality vstříkovaných výrobků.

Tab. 1 Rozdělení materiálů dle vhodnosti vzájemného použití [23]

Kombinace materiálů		Termoplasty																Tvrdé - měkké spojení										
																		TPE			Elastomery							
		ABS	ASA	CA	EVA	PA 6	PA 6.6	PBT	PC	PE	PETP	PMMA	POM	PP	PPO mod.	PS	PSU	PVC - W	SAN	TPE - A	TPE - E	TPE - S	TPE - U	TPE - V	EPDM	NR/SBR	SBR	LSR
Předstřík / Vkládaná část	Termoplasty	ABS	ASA	CA	EVA	PA 6	PA 6.6	PBT	PC	PE	PETP	PMMA	POM	PP	PPO mod.	PS	PSU	PVC - W	SAN	TPE - A	TPE - E	TPE - S	TPE - U	TPE - V	EPDM	NR/SBR	SBR	LSR
	ABS																											
	ABS/PC																											
	ASA																											
	CA																											
	EVA																											
	PA 6																											
	PA 6 mod. + 25 % GF																											
	PA 6.6																											
	PA 6.6 mod. + 25 % GF																											
	PA 6.12																											
	PA 12 mod. + 25 % GF																											
	PBT																											
	PC																											
	PC/PBT																											
	PE																											
	PETP																											
	PMMA																											
	POM																											
	PP																											
	PPO mod.																											
	PPE mod.																											
	PS																											
	PSU																											
	PVC - tvrdý																											
	SAN																											
	TPE - E																											
	TPE - U																											
	Elastomery																											
	BMC																											
EPDM																												
NR																												
SBR																												
LSR																												

**Pevnost spojení materiálů:**  
 dobrá soudržnost  
 malá soudržnost  
 žádná soudržnost  
 netestováno  
O omezená soudržnost  
S zesílení sírou  
P zesílení peroxidem

Možnosti materiálové kombinace u vícekomponentního vstřikování a pevnost spojení



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 PROJEKT

Vstříkovna plastů Brano Zubří a.s. získala v srpnu roku 2010 nový projekt vstříkovaného dílu technologií dvoukomponentního vstříkování plastů. Díl má název *Zástřík těsnění bez kamery*, patří do skupiny automotive a pro zákazníka v Německu je pojmenovaný Grifftaster.



Obr. 20 Zástřík těsnění bez kamery [24]

Jedná se o madlo otevírání pátých dveří automobilu značky Audi, respektive Volkswagen a Porsche. Madlo se vyrábí ve dvou verzích. Zástřík těsnění s kamerou a bez kamery. Kamera zakomponovaná ve verzi s kamerou, umožňuje vizuální přehled dění za vozidlem při couvání. V práci byla řešena pouze verze *Zástřík těsnění bez kamery*, kterou tvoří pouze předvstříknutý nosný díl z materiálu PA 6 GF 20 a zastříknutá vnější, pohledová část z TPE tvořící těsnění a výplň dílu. Materiály byly vybrány od výrobce PolyOne Engineered Materials Europe, Bergamid B70 G20 Black (viz příloha P I) a OnFlex S KG 70 A – 3S2019 (viz příloha P II). Vstříkovací forma disponuje dvěma kavitami pro plnění první komponentou a dvěma kavitami s již předvstříknutou částí a připravenou pro plnění kom-

ponentou č. 2. Forma je konstruována pro upnutí na vstřikovací stroj vybavený otočnou, hydraulicky ovládanou deskou na pohyblivé upínací půlce.

Pro vstřikování plastů Brano Zubří a.s. byla tato technologie nová a pro její úspěšné zvládnutí bylo potřeba projít školením a také bylo podmíněno získáním zkušeností lidí znající řešení problémů, které se při této technologii vstřikování plastů vyskytují. Pro tento projekt bylo potřeba promyslet a připravit vhodné pracoviště, zvážit strategii pro ekonomicky výhodnou výrobu a zhodnotit všechna možná rizika a problémy související s výrobou dvoukomponentního dílu pro německého zákazníka.

K vybavení pracoviště vstřikovacím strojem byly osloveny firmy Arburg, Demag, Krauss – Maffei, Engel, Boy. Zaškolení technologů a seřizovačů do technologie dvoukomponentního vstřikování plastů bylo provedeno ve firmě Arburg, technologické centrum v Brně. Odborné školení v délce dvou dnů obsahovalo detailní uvedení do zásad dvoukomponentního vstřikování hlavně z hlediska technologického. Přínosem bylo zejména seznámení s možnostmi vstřikovacích strojů disponujících více než jednou vstřikovací jednotkou. Jejich vybavenost otočnými stoly, indexačními deskami, vyhazovací soustavou, počtem a umístěním hydraulických okruhů k ovládnutí tahačů jader a alternativami umístění vstřikovacích jednotek apod. Dále bylo nutné školení v oblasti použití různých a hlavně vhodných druhů materiálů, jejich vzájemná mísitelnost, adheze, snášenlivost.

Nemalým přínosem bylo i přispění cenných rad a zkušeností pracovníků firem, které dlouhodobě technologii vícekomponentního vstřikování plastů používají. Pracovníkům firmy Brano Zubří a.s. byly umožněny omezené prohlídky pracovišť vybavených vstřikovacími stroji různých světových výrobců. Rady získané přímo na pracovištích a v praxi měly velký význam a do budoucna daly pevný základ pro úspěšné zvládnutí nové aplikace.

## **5.1 Pracoviště – vstřikovací stroj 2K**

Pracoviště určené k výrobě dílu technologií dvoukomponentního vstřikování je potřeba vybavit vstřikovacím strojem. Na základě cenových a technických nabídek několika výrobců vstřikovacích strojů, byl vybrán vstřikovací stroj Arburg 570 S 2200 – 400/170.

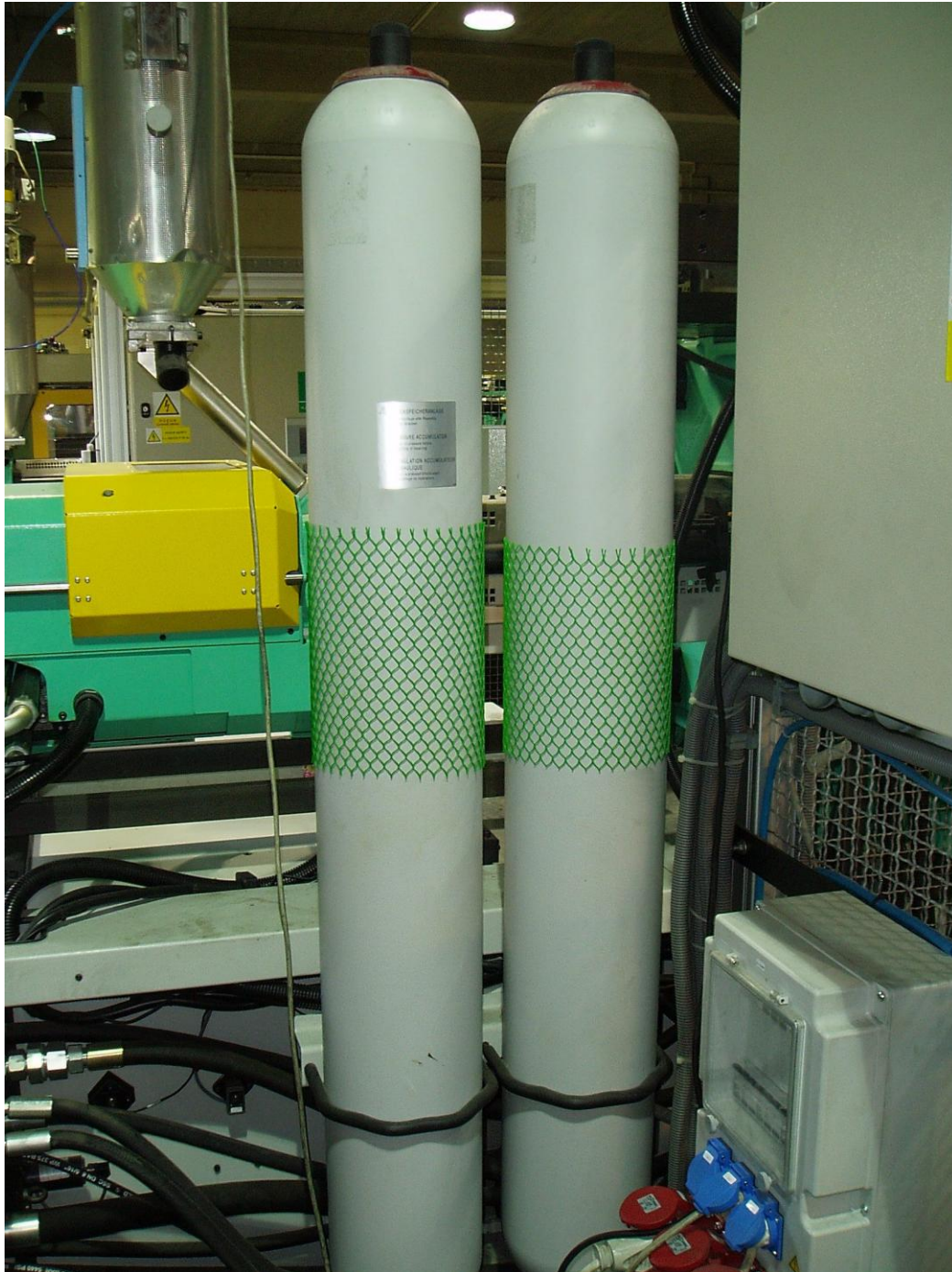


Obr. 21 Vstřikovací stroj Arburg 570 S 2200 – 400/170 pro 2K vstřikování [24]

Mezi hlavní důvody pro výběr tohoto stroje patří vybavenost vstřikovny plastů stroji této značky, rozsáhlými zkušenostmi při ovládání a seřizování strojů obsluhou a seřizovači, zkušenostmi se servisní službou f. Arburg a do budoucna teoretickou možností propojení všech vstřikovacích strojů Arburg do sítě a napojením na monitorovací systém vyvinutý touto firmou.

Vstřikovací stroj je vybaven dvěma vstřikovacemi jednotkami, otočným stolem ovládaným hydraulikou a dalšími dvěma hydraulickými okruhy, nutných pro ovládání tahačů jader ve formě. Vzhledem ke konstrukci formy pro vstřikovaný díl byl vybrán stroj s umístěním vstřikovacích jednotek – jedna horizontálně, druhá vertikálně. Stroj je schopen dosahovat maximální uzavírací síly 2200 KN. S ohledem na velikost a hmotnost vstřikovaného dílu byl pořízen stroj osazený válcem a šnekem o průměru 35 mm na jednotce horizontální. Vertikální vstřikovací jednotka nese válec a šnek s průměrem 30 mm. Jednotlivé maximální dávky materiálu u každé plastifikační komory jsou na hodnotě 154 cm<sup>3</sup> u válce s průměrem 35 mm a 85 cm<sup>3</sup> u válce s průměrem 30 mm. Vstřikovací stroj je vybaven také dvěma

zásobníky hydraulického tlaku, které umožňují pracovat s většími nároky na udržení stabilního hydraulického tlaku při vstřikovacím procesu a výrobním provozu, bez jeho výrazného poklesu, vlivem značných odběrů jednotlivých komponent stroje.



Obr. 22 Zásobníky hydraulického tlaku [24]

Další požadovaným stupněm výbavy bylo osazení stroje 24 pinovými zásuvkami pro možnost napojení kabelů k horkým rozvodům ve formě a jejich přímému ovládní z monitoru

na stroji. Bylo také nutno upravit před dodávkou stroje posuv vertikální vstřikovací jednotky nad formu, respektive délku této dráhy. Standardně dodávaná délka posuvu je 230 mm, ale vzhledem ke konstrukci formy bylo tuto dráhu potřeba zvětšit na délku minimálně 245 mm. Firma Arburg flexibilně reagovala a nestandardní požadavek ke spokojenosti vyřešila. Po dodávce stroje byl usazen na své místo, pečlivě vyvážen a napojen na všechny potřebné sítě, tzn. elektrický proud o velikosti 3 x 400 V, čištěný a kontrolovaný vodní okruh, tlakový vzduch. Pracovník firmy Arburg stroj kompletně oživil a simulovaně předvedl všechny jeho funkce a možnosti technologům a seřizovačům f. Brano. Stroj byl tímto připraven k plnému využití na svém pracovišti.

## 5.2 Provoz na poloautomat – manuální vyjímání dílů

Při provozu na poloautomatický režim je potřeba vstřikovací stroj doplnit lidskou obsluhou. Obsluhou je některá z operátorek ve firmě Brano a u stroje tráví celou pracovní směnu. Pouze při přestávce na odpočinek je střídána kolegyní.

Vstřikovací stroj provádí vstřikovací cyklus, kdy se zavírá forma, následuje vstřikování komponenty č. 1 a zároveň komponenty č. 2. Poté působí dotlak a dávkuje se materiál do plastifikačního válce, zatímco probíhá technologická doba chlazení výrobku ve formě. Po uplynutí nastavené doby chlazení se forma otevírá a otáčí pohyblivá půlka formy, upevněná na otočnou, hydraulicky ovládanou desku. Následuje vyhození vtoků a vytlačení výrobků z tvarové části formy. Ochranný kryt vstřikovacího stroje se automaticky odsune a obsluha má volný přístup do prostoru formy. Vyjme hotové díly, vytáhne vtok druhé komponenty, zkontroluje prostor dělicí roviny, zda nedošlo při vyhození vtoků komponenty č. 1 k jeho vystřelení do prostoru kleštin na pevné půlce. Při případném zavření formy s vtokem v kleštinách by došlo k vážnému poškození této části formy. Kontroluje, zda jsou vozíky ve svých koncových polohách a dělicí rovinu formy preventivně očistí pomocí tlakového vzduchu. Když je vše v pořádku, zmáčkne na ovládacím panelu stroje tlačítko pro spuštění automatického cyklu. Následuje najetí ochranného krytu do původní pozice, čímž se zamezí volnému přístupu do prostoru formy a po splnění bezpečnostních podmínek se pohyblivá půlka formy otáčí na otočné desce a vzápětí uzavírá. Následuje znovu celý vstřikovací cyklus. Operátorka vyjmuté díly během pracovního cyklu stroje kontroluje, a když je vše v pořádku, díly ukládá do připravených blistrů, případně krabic, dle platného balícího předpisu. V okamžiku, kdy obsluha zjistí vady na vyrobených dílech, je povinna volat seřiz-

zovače, který musí provést potřebný zásah do nastavení stroje tak, aby byly splněny kvalitativní požadavky vyráběného dílu. Když obsluha stroje potřebuje opustit pracoviště, je povinna nejprve zavolat za sebe plnohodnotnou náhradu, která ji u stroje vystřídá. Delší přestávky ve výrobě provádí pouze seřizovač, který stroj bezpečně a kvalifikovaně odstaví.

### 5.3 Analýza provozu v poloautomatickém režimu

Při poloautomatickém provozu je potřebná lidská obsluha u stroje. Tato obsluha musí být zaškolená na práci u vstřikovacího stroje, seznámena se všemi bezpečnostními předpisy a znát výrobek, u kterého se bude podílet na výrobě.

Při výrobě vstřikovaného dílu *Zástřík těsnění bez kamery* je požadována vysoká míra kvality. V provozu stroje na poloautomat s lidskou obsluhou lze tohoto dosáhnout z dlouhodobějšího hlediska jen velmi těžko. Aby byla dodržena kvalita výrobku a stability procesu, jsou zvýšené nároky na kázeň obsluhy. Nejdůležitější je dodržování pokud možno pravidelného cyklu, čímž se zaručují ustálené procesní podmínky. Při větších výkyvech v celkových časech cyklu se tyto podmínky mění a stroj vykazuje poměrně velké rozmezí hodnot ve vstřikovacích tlacích, materiálovém polštáři apod.

Jako největší slabinou při poloautomatickém provozu se projevíly změny v hodnotách vstřikovacího procesu, jako důsledek nemožnosti udržet stabilní cyklus. Vzhledem k nutnosti aby si obsluha chystala balící materiál, vyjímala díly ze stroje, kontrolovala, zda není v kleštinách pevné půlky formy vtok komponenty 1, vyjímala vtok druhé komponenty, kontrolovala a čistila dělicí rovinu formy a spouštěla stroj, nebylo možné dlouhodoběji zajistit pravidelné intervaly cyklu. Také je potřeba zohlednit lidský faktor, který při provozech na poloautomat hraje vždy podstatnou a důležitou roli. Jedná se zejména o udržení potřebné pozornosti po celou dobu pracovní doby, odhalení a případné odstranění vyskytnuté vady, schopnosti aktivně reagovat na vyskytnutý problém nebo alarm apod.

U výrobního procesu tohoto dílu na poloautomatický provoz se uzavřel kruh chyb. Obsluha stroje musela kontrolovat a případně odstraňovat vady na dílech, zejména přetoky druhé komponenty v místech dělicí roviny a slícování kleštin. Velmi časté a výrazné problémy způsobovalo zastříknutí jedné pozice komponentou 1 z důvodu dlouhé prodlevy materiálu ve válci, lehkého přimrznutí vtoku a také nastavení velkého rozpětí tolerancí na vstřikovacích tlacích a časech vstřiku obou vstřikovaných komponent. Odstranění těchto vad bylo podmíněno dodržováním poměrně úzkého rozpětí celkových časů cyklů. Při každém zdržení

dalšího cyklu se vady projevovaly, načež obsluha byla nucena reagovat opracováním těchto vad a následný zdvih byl opět při nestabilních vstřikovacích hodnotách.

Při každém nájezdu výroby seřizovač nastavil stroj dle optimálních podmínek pro vstřikování a také tolerance nastavených kontrol sledovaných veličin byly v nejnужnějších rozmezech. Takto nachystaný stroj byl předán obsluze, která ovšem z předešlých důvodů nebyla schopna optimálně nastavený vstřikovací proces udržet po delší dobu. Zpravidla již při prvním chystání balicích materiálů apod. se nastartoval řetězec chyb. Většinou se jednalo o překročenou toleranci, na kterou seřizovač reagoval zvýšením rozpětí tolerančního pole. To mělo za následek během následné výroby další alarmany spojené z velikostí tolerancí u vtažených veličin. Při takto nastavených velkých rozpětích tolerancí, může docházet a docházelo k častým problémům při vstřikování. Při nastavené vysoké toleranci u vstřikovacího tlaku, tento často přesahoval přípustné meze, čímž se vstřikovaný díl vyznačoval jako neshodný, zmetek. Problémem byly přetoky, zastříknutí pouze jedné pozice vlivem lehkého přimrznutí vedlejšího vtoku apod. Vzhledem k nemožnosti neustále přítomnosti seřizovače u stroje hodnoty tolerancí zvyšovány, což vedlo k dalším, výraznějším problémům, často i odstávkám výroby s ohledem na opravu formy.

Všechny tyto elementy měly výrazný vliv na poměrně vysokou zmetkovitost, která dosahovala dle interních záznamů pracoviště kvality a kontroly f. Brano a.s. hodnot 8,5 %. Takto vysoká míra zmetkovitosti a současné nízké produkce se značnými časovými nároky na seřizovače a nástrojáře, nebyla v dlouhodobějším horizontu možná. Na snížení takto vysoké zmetkovitosti vlivem seřizování vstřikovacího stroje nebo konstrukční úpravy formy nebyly žádné předpoklady. Jediným možným, ekonomicky výhodným východiskem bylo stabilizování celého výrobního a vstřikovacího procesu.



## 6 IMPLEMENTACE ROBOTU

Vzhledem k požadavkům vedení společnosti na postupnou automatizaci a modernizaci jednotlivých pracovišť bylo započato s uvažováním o zapojení robotu do problematického procesu vstřikování, respektive vyjímání výrobku *Zástřík těsnění bez kamery*. Požadavek zněl zajistit odebrání dílu z prostoru formy, včetně obou druhů vtoků, jejich separaci a následné odložení dílu do připraveného blistru. Po oslovení několika firem, které se zabývají těmito aplikacemi – rozšiřování pracovišť o robotické a jiné systémy, byla nakonec vybrána f. MMT z Jablonce nad Nisou. Vybrána byla z důvodu předchozí spolupráce a pozitivními zkušenostmi při vzniku jiného robotizovaného pracoviště ve firmě Brano a.s. Firma MMT navrhla, aby bylo stávající pracoviště rozšířeno o šestiosý robot f. Fanuc, který bude plně schopen zajistit potřebnou pohyblivost a manipulaci s dílem. S roboty japonské značky Fanuc má firma MMT bohaté zkušenosti a jejich implementace do jednotlivých pracovišť bývá zpravidla bez výraznějších problémů. Po několika konzultacích byl dohodnut následující výrobní cyklus. Robot najede do otevřené dělicí roviny, odebere vtok 1. komponenty, tento upustí dolů pod formu do krabice, odebere vtok druhé komponenty do kleští, otočí uchopovací hlavu a odebere díly. S těmito opustí prostor formy a spouští se vstřikovací cyklus. Robot upustí vtok 2. komponenty do připravené krabice a díly odloží na připravený blistr.

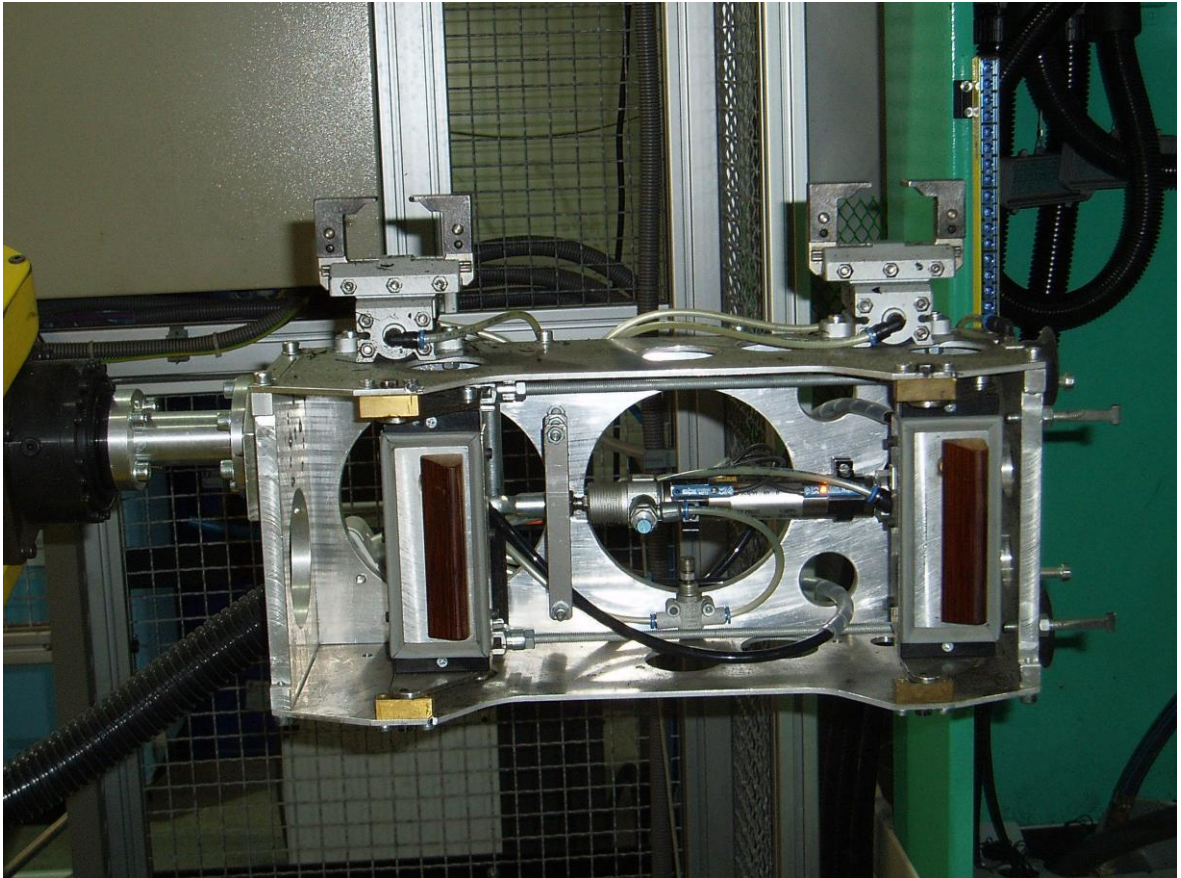
Pro možné zakomponování robotu ke stroji bylo potřeba také vyřešit zejména otázku bezpečnosti, připojení na kapacitně dostačující síť elektrického proudu a tlakového vzduchu. K zajištění bezpečnosti při provozu robotu byly využity standardně vyráběné hliníkové profily a pletivo s oky do 30 mm. Z těchto komponentů byla zhotovena ochranná klec s možností vstupu do pracovního prostoru robotu přes zajištěný, blokovaný vchod. Vše bylo sestaveno do plně spolehlivého funkčního celku s vyhovující mírou bezpečnosti.

Šestiosý robot Fanuc Robot ARC Mate 120 iB 10L japonské výroby je k ovládání jednotlivých pohybů vybaven servomotory, umožňující velmi přesné a citlivé vedení pohybů po zvolených a naprogramovaných drahách. Pro komunikaci se strojem využívá klasické komunikační rozhraní Euromap 67 přes řízení Fanuc R – 30iA a pro ovládání a programování robota slouží Fanuc iPendant A05B, ruční ovladač.



Obr. 23 Robot Fanuc Robot ARC Mate 120 iB 10L [24]

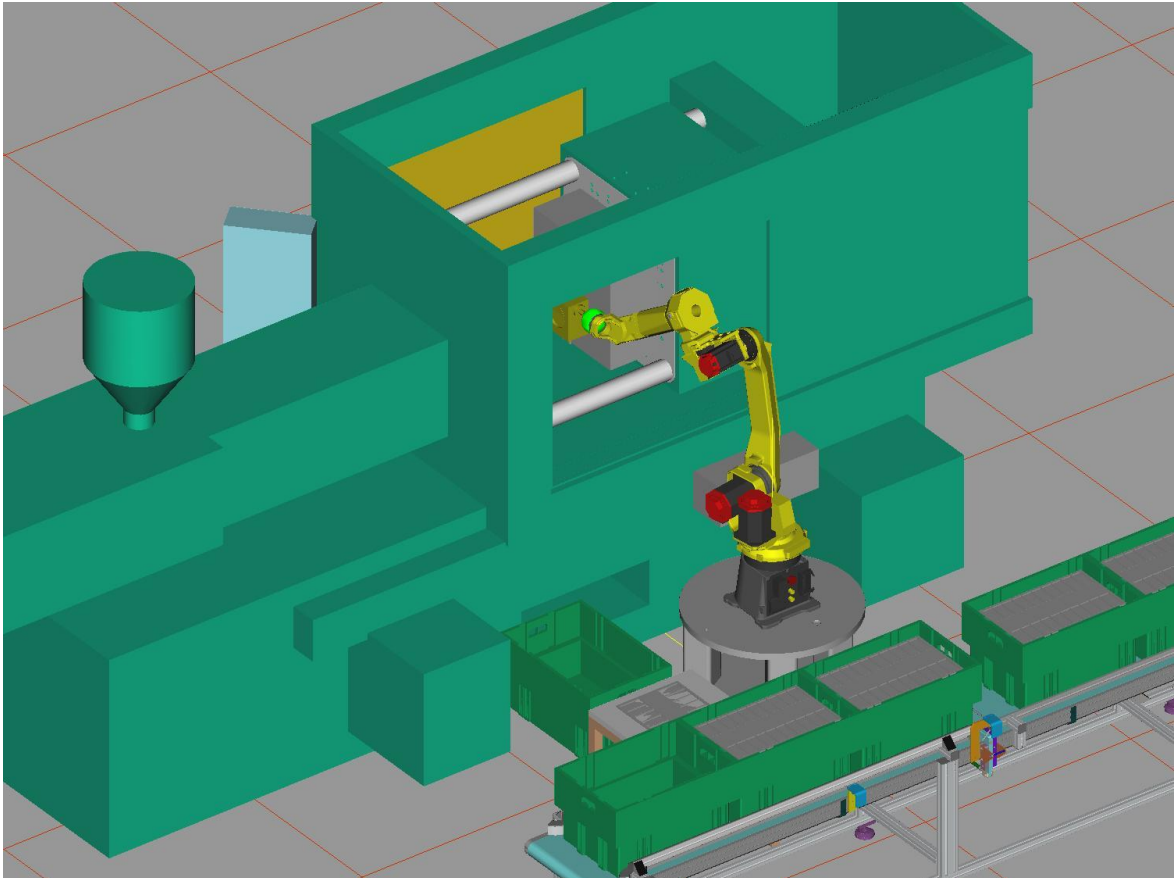
Po jednotlivých upřesněních technického charakteru bylo potřeba vyrobít a vybavit robota uchopovací hlavicí. Tato byla osazena kleštinami a tvarovými částmi, které umožňovaly spolehlivé odebrání dílu z vyhazovačů bez poškození vzhledové části dílu. K tomuto byl využit teflonový povlak odebrací části a přivedení vakua pod plochu dílu, což umožňuje jeho pevné a spolehlivé přísátí k odebrací hlavě.



Obr. 24 Uchopovací hlava [24]

### 6.1 Zakomponování robotu do funkčního celku se vstříkovacím strojem

Šestiosý robot Fanuc je ukotven do podlahy pomocí čtyř tyčí v chemické kotvě na pevné masivní základně, která zajišťuje pevnou, stabilní polohu robotu při manipulaci s dílem i rotaci kolem vlastních os při vysokých rychlostech. Jeho umístění vedle vstříkovacího stroje koresponduje s jeho použitím, tj. odebírání dílů z prostoru formy a ukládání do připravených blistrů. Při konzultacích s dodavatelskou firmou, bylo dohodnuto rozšíření využití možností robotu. Jednalo se zejména o rozšíření pracoviště robotu o dopravníkový pás.



Obr. 25 Grafický návrh pracoviště [25]

Samotné programování robotu probíhalo v úzké spolupráci technologa f. Brano, servisního pracovníka f. Arburg, programátora a techniků f. MMT. Technolog f. Brano zajišťoval procesní a technologickou správnost vstřikování dílu, pohyby stroje, formy a její otáčení, vytvoření programu pro vstřikovací proces, správné nastavení a zapojení hydraulických okruhů, kalibrování stroje a v neposlední řadě opakované postupné najíždění vstřikovacího procesu nutného k úspěšnému naprogramování robotu. Servisní technik f. Arburg zajišťoval nastavení správné komunikace přes rozhraní Euromap 67 od stroje k robotu. Programátor a technici f. MMT měli na starosti vybavit pracoviště ochrannými prvky, zapojení robotu, programování jeho drah a zajištění komunikace robotu se strojem a dopravníkovým pásem. Pás má sloužit k dopravě přepravních beden s uloženými blistry. Prázdná přepravní bedna a poté bedna s blistry najede do pracovního prostoru robotu, pomocí přísavek na konci uchopovací hlavy robot odejme jeden blister z bedny a založí ho na stůl vybavený aretačními, pneumatickými válci. Po založení se blister pomocí pneumatických válců aretuje do předepsané polohy. Robot pokračuje v programu – čeká na otevření formy a po signálu od stroje,

že je forma otevřena najíždí do dělicí roviny. Robot dává povolovací signál stroji na vyjetí vyhazovačů do naprogramované mezipolohy. Mezipoloha vyhazovačů zajišťuje, aby vtoky samovolně nevypadly s přidržovačů vtoků, a také v této poloze vyhazovačů není ještě vyhazován vstřikovaný díl. Kleštinami odebere vtok první komponenty a upustí ho do prostoru pod formou, do připravené bedny na vtoky. Najíždí do nové pozice pro odebrání vtoku druhé komponenty. Po odebrání vtoku kleštinami se v prostoru dělicí roviny otáčí o 90°. Vstřikovací stroj dostává povolovací signál od robotu na vyjetí vyhazovačů z mezipolohy do konečné pozice. V této pozici vyhazovačů je již vstřikovaný díl venku z tvarové části formy a po signálu stroje, že vyhazovače jsou v naprogramované vzdálenosti, robot přijíždí k dílům a pomocí tvarové uchopovací hlavy a vakua díl odebírá z vyhazovačů. Vstřikovací stroj dostává povolovací signál k zjetí vyhazovačů do základní pozice a robot i s díly vyjíždí z prostoru formy. Před zavřením formy stroj čeká na povolovací signál od robotu a také optické brány. Pro zdvojení bezpečnosti byl rám stroje osazen optickou bránou od f. Sick s bezpečností nejvyššího stupně 4. Optická brána je umístěna na rámu stroje mezi prostorem formy a pracovním prostorem robotu a ve své podstatě nahrazuje pevný ochranný kryt stroje. V případě, že je paprsek brány přerušen, brána nevydá povolovací signál „volno“ a znemožňuje tím uzavření formy. Tento bezpečnostní prvek byl nainstalován, jako ochrana robotu, pokud by došlo k selhání v jeho programové matici. Tím se eliminuje možnost, že by se robot mohl vyskytovat ve formě při jejím uzavírání, což by znamenalo zničení odebírací hlavy, tvarových a funkčních částí formy a pravděpodobně i poškození samotného robotu.

Po signálu robotu, že je mimo prostor formy a pokud není blokována optickou bránou, se forma uzavírá a pokračuje vstřikovací proces. Robot uchopené díly ukládá do jednotlivých pozic na blistr. Proces dále kontinuálně pokračuje až do doby, kdy je blistr naplněn díly. V tomto případě robot po uvolnění aretovaného blistru pneumatickými válci tento odebírá pomocí přísavky na konci uchopovací hlavy a přenáší jej do prázdné bedny na dopravníkovém pásu. Poté si odebere další prázdný blistr z bedny a položí jej do pozice na aretaci a čeká na signál stroje forma otevřena. Cyklus pokračuje dále, dle nastaveného programu. V každé bedně je založeno pět prázdných blistrů a do každého z nich ukládá robot celkem 16 výrobků. V každé bedně je celkem 80 kusů hotových výrobků. Po vyprázdnění bedny s prázdnými blistry a naplnění prázdné bedny plnými blistry, dává robot pokyn dopravníkovému pásu, aby posunul plnou bednu do pozice pro odebrání a zároveň vyprázdňenou bednu do pozice na plnění blistry. Současně po pásovém dopravníku přijíždí předem při-

pravená bedna s prázdnými blistry. Po odjetí plné bedny s hotovými díly je vydán krátký zvukový signál na upozornění, že je bedna zaplněna a připravena na odebrání a uložení na paletu.



Obr. 26 Bedna s blistry [24]

## 6.2 Provoz v automatickém režimu

Navržením tohoto pracoviště do plně automatizovaného celku bylo očekáváno naplnění předpokladu o zajištění spolehlivějšího a stabilnějšího vstřikovacího procesu, a levnější výroby oproti výrobě na poloautomatický provoz s manuálním vyjímáním dílů.

Po upnutí formy na vstřikovací stroj, zapojení všech potřebných částí, kalibrování stroje a vyhřátí formy a stroje na provozní teplotu a přípravě robotu je možno výrobu dílu rozjet. Příprava robotu spočívá v jeho zapnutí a kalibrování do takzvané základní polohy a současného vyprázdnění dopravníkového pásu. Zároveň se při zapnutí robota aktivují všechny bezpečnosti a ochranné prvky. Základní poloha uvede robota do pozice, která je pro něj

vždy výchozí a je tudíž bezpečná. Od této pozice vždy začíná program. Při kalibraci robot popisuje dráhy, které má naprogramované jako bezpečné. Na těchto drahách je vyloučena kolize robota nebo jeho částí s nějakou překážkou. Po kalibraci se robot uvede do statusu „provoz bez robota“, kdy je nečinný, ale připraven. V tomto stavu se aktivně nezúčastňuje vstřikovacího procesu a zároveň neblokuje svými signály pohyby stroje. To umožňuje ruční ovládání vstřikovacího stroje za současné podmínky dodržení bezpečnosti.

Rozjezd výroby v tomto režimu se provádí postupným plněním tvarové dutiny formy pouze komponentou 1, tzn. materiálem PA 6 GF 20. Po každém nastříknutí dílu a otevření formy je odsunut ochranný kryt stroje a je nutno díl vyjmout z formy ručně. Vstřikovací jednotka s komponentou 2 je nyní připravena, ale seřizovačem softwarově blokována. Při těchto postupných nástřících je nutné seřadit teploty horkých vtoků tak, aby bylo zajištěno co nejrovnoměrnější plnění obou dutin. Při naplnění celého objemu dílu komponentou 1 se do vstřikovacího cyklu zapojí i jednotka 2 s komponentou TPE. Opět je nutné postupné plnění, aby nedošlo k nechtěnému přestříknutí dílů vlivem přicpání vtokového kanálu, většího objemu materiálu ve válci při ručním nabírání apod. Při požadovaném naplnění dílu oběma druhy materiálu, je možno pustit stroj do automatického cyklu. Poslední vystříknuté díly se ručně odeberou, stroj se spustí do automatického režimu a po zavření formy se připojí robot do procesu vstřikování a vyjímání dílů. Robot najíždí ze základní polohy do výchozí a dle programu plní pokyny. Robot zakládá prázdný blistr a čeká na povolovací signál vstřikovacího stroje k zjetí do prostoru dělicí roviny formy.

### 6.3 Analýza provozu na automatický režim

Pro analýzu provozu na automatický režim bylo potřeba získat a zpracovat data. Jedná se zejména o data procesní, výstupy ze stroje, statistika apod. Základním požadavkem při automatizování pracoviště na výrobu dílu bylo snížení zmetkovitosti, stabilizování cyklu a procesních parametrů.

Procesní parametry se použitím robotu pro vyjímání dílu značně ustálily, což mělo podstatný vliv na kvalitu výrobků. Jednotlivé parametry se vymezily na pravidelných hodnotách s minimálními odchylkami od referenčních hodnot. Tímto se mohly snížit tolerance všech sledovaných kritérií na nejnutnější rozmezí. Snížení tolerancí velmi prospělo kvalitě vstřikovacího procesu, jelikož se mohly odhalit a odfiltrout nežádoucí anomálie, jako zvýšení vstřikovacího tlaku, změna bodu přepnutí na dotlak, odchylky v časech vstřiku, výrazné

výkyvy hodnot materiálového polštáře apod. Každá z těchto veličin, pokud nevykazuje ustálené hodnoty a pohybuje se ve velkém rozmezí, znamená, že vstřikovací proces není optimální, přičemž hrozí produkování neshodných dílů, zmetků. To může poukazovat jak na nevhodně zvolené a nastavené vstřikovací parametry, tak na chyby v konstrukci formy, ale také i možnou poruchu stroje nebo jeho části. Velký vliv má opotřebení namáhaných dílů vstřikovacího stroje, zejména plastifikační komora, šnek, případně zpětný uzávěr a špička šneku. Všechny sledované hodnoty nastavené na stroji přibližuje obrázek č. 20.

název programu=ZastrikTesRobot

5686 chybí uvolnění vyhazovače vpřed

ARBURG

114.97 cm<sup>3</sup> 11.61 cm<sup>3</sup> 1709 bar 40.13 s

**parametry kontroly pro kvalitu 1**

doba cyklu	ano	40.13	3.00	40.10	s				
objem při přepnutí	ano	11.70	0.10	11.70	ano	13.800	0.100	13.800	cm <sup>3</sup>
maximální vstřikovací tlak	ano	1709	50	1705	ano	689	30	690	bar
přepínací vstřikovací tlak	ano	975	30	970	ano	689	30	680	bar
vstřikovací čas	ano	1.70	0.10	1.70	ano	4.49	0.10	4.43	s
materiálový polštář	ano	11.61	0.30	11.61	ano	13.741	0.300	13.780	cm <sup>3</sup>
čas dávkování	ano	2.22	3.00	2.21	ano	6.10	3.00	5.95	s

doba cyklu, tolerance  
t4013 [ 0.01 - 999.90 ] = 3.00

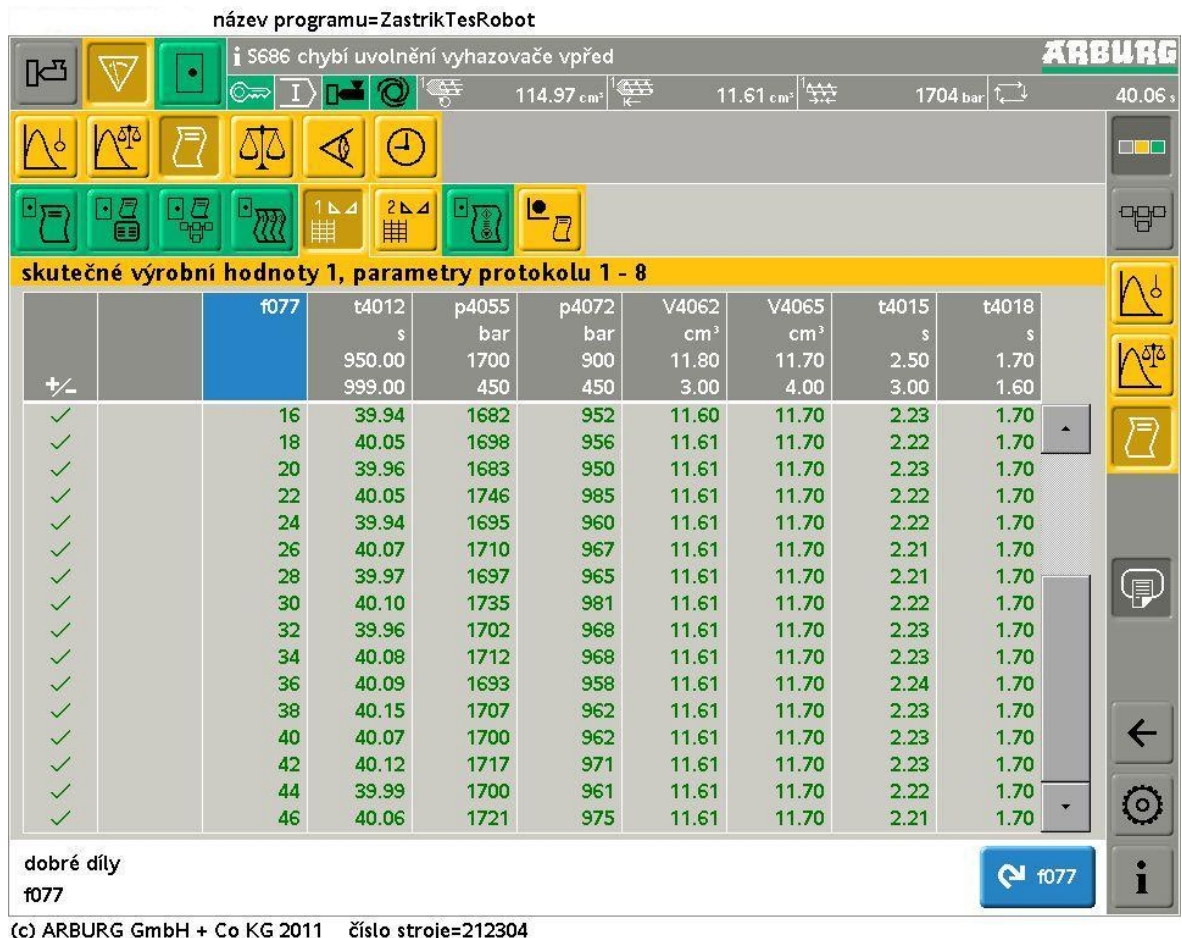
(c) ARBURG GmbH + Co KG 2011 číslo stroje=212304

Obr. 27 Kontrola parametrů

Je z něj patrné nastavení tolerancí na velmi nízké a přísné hodnoty, které znamenají optimálně nastavený stabilní vstřikovací proces. Pro snadnější porovnání jednotlivých veličin, je zobrazená tabulka pro obě vstřikovací jednotky. Nastavení tolerančních pásem u maximálního vstřikovacího tlaku a tlaku při přepnutí na dotlak na hodnoty 30, respektive 50 bar, je u této aplikace a optimalizovaném, vstřikovacím procesu úplně dostačující. Žádná sle-



dovaná veličina během vstřikování nepřesahuje povolené limity a většinou se drží uprostřed tolerančního pole s minimálními výkyvy. Data prokazující zvýšenou míru stability vstřikovacího procesu nám poskytuje statistika stroje s navolenými veličinami, které se mají do této statistiky zaznamenávat, znázorněno na obr 21 pro vstřikovací jednotku č. 1 a obr 22, pro vstřikovací jednotku č. 2.



Obr. 28 Hodnoty vstřikovací jednotky č. 1

Při porovnávání zobrazených hodnot je zřejmé, že během 16 zdvihů stroje po sobě následujících, nedochází při vstřikování k výraznějším odchylkám od jednotlivých cyklů. První sloupec zobrazuje celkový počet dobrých dílů. Sloupec 2 zobrazuje celkové časy každého jednoho zdvihu. Z něj je zřejmé, že při použití robotu k vyjímání dílů z formy se celkový čas cyklu pohybuje v rozmezí 0,21 s, tj. + - 0,52 % od středního času cyklu. Ve sloupci 3 je maximální dosažený vstřikovací tlak v barech. Jeho hranice se u sledovaných zdvihů pohybuje v rozmezí 64 bar, + - 1,87 % od střední hodnoty maximálního vstřikovacího tlaku.

Čtvrtý sloupec obsahuje hodnoty tlaku při přepnutí vstřikování na dotlak. Mezi jeho maximum a minimum je rozdíl 35 bar, což je  $\pm 1,8\%$  od střední hodnoty tlaku při přepnutí na dotlak. Sloupec č. 5 zobrazuje hodnoty materiálového polštáře, u něhož je zřejmá naprostá stabilita. Tento údaj nám může poskytovat cenné informace o stavu plastifikační komory, šneku, špičky šneku a zpětného uzávěru. U sloupce č. 6 je bod přepnutí na dotlak. Sloupec 7 ukazuje čas dávkování první vstřikovací jednotky a sloupec č. 8 předkládá data o času vstřiku do dutiny formy.

název programu=ZastrikTesRobot

olejový filtr znečištěn (doporučená výměna)

114.96 cm<sup>3</sup> 0.00 cm<sup>3</sup> 0 bar 40.06 s

**skutečné výrobní hodnoty 2, parametry protokolu 9 - 16**

	f077	t4012 s	p4155 bar	p4172 bar	V4162 cm <sup>3</sup>	V4165 cm <sup>3</sup>	t4035 s	t4038 s
		950.00	660	660	14.600	13.800	8.00	4.30
		999.00	200	200	3.000	0.400	8.00	2.00
✓	16	39.94	692	691	13.744	13.800	6.42	4.43
✓	18	40.05	711	684	13.783	13.800	5.95	4.48
✓	20	39.96	695	695	13.744	13.800	6.03	4.43
✓	22	40.05	710	688	13.783	13.800	6.02	4.49
✓	24	39.94	691	690	13.741	13.800	6.14	4.43
✓	26	40.07	710	687	13.783	13.800	5.95	4.49
✓	28	39.97	687	687	13.747	13.800	5.95	4.43
✓	30	40.10	711	687	13.786	13.800	5.97	4.49
✓	32	39.96	689	689	13.744	13.800	6.17	4.43
✓	34	40.08	710	682	13.783	13.800	6.18	4.48
✓	36	40.09	688	687	13.747	13.800	6.35	4.43
✓	38	40.15	710	682	13.783	13.800	6.25	4.47
✓	40	40.07	691	691	13.747	13.800	6.09	4.43
✓	42	40.12	711	687	13.786	13.800	5.95	4.49
✓	44	39.99	701	700	13.741	13.800	6.02	4.43
✓	46	40.06	710	690	13.786	13.800	6.15	4.49

dobré díly  
f077

(c) ARBURG GmbH + Co KG 2011 číslo stroje=212304

Obr. 29 Hodnoty vstřikovací jednotky č. 2

U vstřikovací jednotky 2, je posloupnost jednotlivých sloupců totožná, jako u vstřikovací jednotky č. 1. Sloupce se statistickými údaji posupně zobrazují počet dobrých dílů, celkový čas cyklu, maximální vstřikovací tlak v barech, tlak v barech při přepnutí na dotlak, materiálový polštář, bod přepnutí na dotlak, čas dávkování a čas vstřikování do dutiny formy. Při porovnávání jednotlivých hodnot u těchto sledovaných 16 cyklů zjistíme, že podobně jako

u vstřikovací jednotky č. 1, nedochází k výraznějším odchylkám od nastavených parametrů. Všechny sledované veličiny se drží uprostřed poměrně malého tolerančního pole. Počet dílů a celkový čas cyklu je stejný, jako u předchozí statistiky. Maximální vstřikovací tlak vykazuje odchylky v rozmezí 24 barů, tlak při přepnutí v rozmezí 18 barů. Materiálový polštář je v tomto případě také naprosto stabilní a výkyvy v rozmezí setin cm<sup>3</sup> je zcela zanedbatelný. Čas dávkování a čas vstřiku vykazuje drobné odchylky způsobené druhem zpracovávaného materiálu a nutností pomalejšího vstřiku do dutiny formy.

Všeobecně zakomponování robotizovaného pracoviště ke vstřikovacímu stroji přineslo výrazné zlepšení podmínek pro kvalitní dvoukomponentní vstřikování. Podstatnou měrou se snížila zmetkovitost na ekonomicky velmi přijatelnou hodnotu 0,8 %, se současným, poměrně masivním zvýšením produkce dílů s požadovanou kvalitou. Zvýšení produkce bylo dosaženo sledováním výrobního děje a jeho následného zefektivnění, při zachování vysoké kvality vyráběných dílů.

#### **6.4 Optimalizace procesu, sledování procesu z dlouhodobého hlediska**

Při provozu automatizovaného pracoviště pro výrobu dílu *Zástrík těsnění bez kamery* bylo potřeba upravit a optimalizovat celou řadu hodnot a parametrů. Byly to hodnoty pro vstřikovací proces a také hodnoty v programu robotu. U robotu bylo potřeba v delším časovém úseku vysledovat chyby v drahách a tyto následně optimalizovat. Robot prováděl najíždění do jednotlivých pozic ne zcela plynule a některé pohyby byly zbytečné, což znamenalo znatelné prodloužení cyklu. Po úpravách programu, napřímení špatně volených drah pohybu, vypuštěním nadbytečných kroků, se podařilo cyklus těmito úpravami zrychlit o 1,8 vteřiny. Navíc byl do programu přidán nový pokyn. Na základě zmáčknutí tlačítka na vnějším ovládacím panelu, robot hned další zdvih dává do pozice pro odebrání dílů. Tato možnost byla přidána z důvodu možnosti kontroly a odebrání vzorků i při probíhajícím procesu vstřikování. Pro dodatečné naistalování tlačítka a návazně naprogramování komunikace mezi robotem a vnějším ovládacím panelem byl povolán technik f. MMT.



Obr. 30 Pozice místa pro odběr vzorků [24]

Zásahy do programu robotu dělal zaškolený technolog f. Brano a.s., který má k těmto úkolům pověření doložené certifikátem společnosti Fanuc. Složitější operace byly telefonicky konzultovány s pracovníky a následně úspěšně aplikovány do programu robotu. Bylo testováno zrychlení pohybů robotu až na hodnotu 100% jeho výkonu. Z testů vyplynulo, že z dlouhodobého hlediska není zcela výhodné, aby robot využíval 100% svého výkonu. Zkrácení prostojů, kdy se robot pohyboval s uchopovací hlavou v prostoru dělicí roviny formy, bylo vykoupeno nespolehlivým zakládáním blistrů a manipulací s nimi. Nastával zvýšený počet alarmů robotu z důvodu špatného uchopení blistru vlivem vysoké rychlosti pohybu. Tento vysoký počet alarmů vyvážil zrychlení cyklu. Proto byla rychlost robotu nastavena na standardních a doporučených hodnotách 70 – 80% výkonu, čímž se proces zefektivnil, počet alarmů opět klesl na přijatelnou mez a navíc se tímto snížením zatěžování servomotorů prodloužila jejich životnost.

U optimalizování vstřikovacího procesu bylo zapotřebí pokud možno co nejvíce zkrátit čas cyklu, při zachování stejných kvalitativních podmínek pro výrobu dílu. Zkrácení času cyklu

bylo dosaženo zrychlením pohybů stroje, respektive otevírání a zavírání formy, zkrácením doby chlazení na technologicky optimální hodnotu a úpravou jednotlivých kroků v programu stroje s ohledem na robota. Po ustálení vstřikovacích parametrů stroj vykazuje stabilní hodnoty a po kvalitativní stránce jsou díly dlouhodobě bez výraznějších změn a výskytu vad spojených s technologií vstřikování. Po všech zásazích k optimalizaci výrobního procesu byl celkový čas celého cyklu při použití robotu zkrácen o 5,5 s. To znamená, že z původních průměrných časů cyklu 45,6 s., jsme byli schopni pomocí racionalizace celého vstřikovacího a výrobního procesu se dostat na pravidelnou průměrnou hodnotu 40 s tj. o 12,1 % kratší cyklus.

## 7 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ NÁKLADŮ

Vzhledem k době trvání výroby v poloautomatickém režimu, bylo možné sledovat statistiku provozu pouze po dobu 90 dní. U provozu na automatický režim je tato statistika dostupnější pro delší časový interval. U celkového porovnání jednotlivých provozů bylo použito sledování v průběhu jednoho dne, tj. za 24 hodin a poté dostatečně vypovídající čas, tj. 30 dní. Vzájemné porovnání sledovaných hodnot po dobu 24 hodin a 30 dní přibližuje následující tabulka.

Tab. 2 Porovnání jednotlivých druhů provzů za 24 hod., 30 dní [27]

Provoz	Čas vstřikovacího procesu (s)	Čas manipulace v prostoru formy (s)	Celkový průměrný čas cyklu (s)	Počet vyrobených dílů za 24 hodin (ks)	Počet vyrobených dílů za 30 dní (ks)
poloautomat	30,6	15,0	45,6	3789	113670
Automat bez optimalizace	30,6	14,5	45,1	3831	114930
Automat po optimalizaci	27,3	12,7	40,0	4320	129600

Jak je vidět v tabulce č. 2 porovnání jednotlivých typů provozů, optimalizace robotizovaného pracoviště a zkrácení výrobního cyklu o pět vteřin mělo velmi pozitivní vliv na ekonomické hodnocení výroby tohoto dílu. Pro srovnání obrátů za vyrobené díly je brán v úvahu průměrný čas cyklu při poloautomatickém provozu tzn. 45,6 s. Automatický provoz s robotem bez optimalizace výrobního procesu vykazoval hodnoty času cyklu 45,1 s. Automatický provoz s robotem po optimalizaci celého výrobního procesu je stabilizován na hodnotě 40 s. Bližší informace o celkových cenách dílů podává následující tabulka, kde se bere v úvahu, že forma je dvounásobná, cena dílu 7,20 Kč / ks, nepřetržitý provoz ve všech režimech tj. 24 hodin denně, 7 dní v týdnu, produkce beze zmetků.

Tab. 3 Celková finanční statistika v jednotlivých režimech provozu za období 24 hod. a 30 dní [27]

Provoz	Čas cyklu (s)	Počet dílů za 24 hodin (ks)	Počet dílů za 30 dní (ks)	Cena dílu (Kč)	Celková cena za vyrobené díly - 24 hod. (Kč)	Celková cena za vyrobené díly - 30 dní (Kč)
Poloautomat	45,6	3789	113670	7,20	27280,80	818424,-
Automat bez optimalizace	45,1	3831	114930	7,20	27583,20	827496,-
Automat po optimalizaci	40,0	4320	129600	7,20	31104,-	933120,-

Z tabulky č. 3 je patrné výrazné zvýšení možného obrátu za vyrobené díly vlivem zkrácení času cyklu a to i v kratším časovém období. Nejvýznamnější rozdíl je dle očekávání v provozních režimech na poloautomat s lidskou obsluhou a plně optimalizovaným a stabilním režimem na automatický cyklus.

Další důležitý ukazatel vlivu automatizace provozu je zmetkovitost. Obzvláště u tohoto dílu byl vliv automatizace a následné stabilizace výrobního procesu velmi zřetelný. Stabilizováním bylo dosaženo významného snížení zmetkovitosti dříve kvalitativně problémového dílu na ekonomicky přijatelnou úroveň. Vstřikování za ustálených procesních podmínek byl základním předpokladem úspěšné výroby dílu a zvládnutí technologie dvoukomponentního vstřikování. Vliv automatizace na snížení zmetkovitosti přibližuje následující jednoduchá tabulka.

Tab. 4 Vliv automatizace na zmetkovitost [27]

Provoz	Počet vyrobených dílů za 30 dní (ks)	Zmetkovitost (%)	Počet zmetků (ks)	Cena dílu (Kč)	Celkové náklady za zmetky (Kč)
Poloautomat	113670	8,5	9662	7,20	69566,40
Automat po opti- malizaci	129600	0,8	1037	7,20	7466,40

Z tabulky č. 4 je evidentní pozitivní vliv automatizace na snížení zmetkovitosti. Nejvíce patrný je rozdíl mezi jednotlivými režimy provozu při kalkulování nákladů na produkování neshodných dílů za delší časový úsek, zde 30 dní.

Při provozu na poloautomatický cyklus je celková cena za vyrobené díly 818424,- Kč a celkové náklady na zmetkovitost při hodnotě 8,5 %, dosahují 69566,40 Kč. Tímto se celková cena za vyrobené díly snížila na 748857,60 Kč.

Provoz na plně automatický, stabilní cyklus vykazuje hodnotu zmetkovitosti 0,8 %. Jedná se hlavně o nájezdové díly, vznikající vlivem přerušení cyklu alarmem robota například při špatném uchopení blistru, náhlého poklesu tlaku vzduchu vlivem havárie apod. Dále vyšší zmetkovitosti při tomto typu provozu ovlivňuje čas, za jaký je seřizovač schopen přerušit výrobu opět rozjet. Při krátkém (do 1 minuty) rozjezdu se opětovný náběh výroby zpravidla obejde bez produkce zmetků. Při delší odstávce se prodlužují časy náběhu výroby a tím i kontinuálně roste počet vyrobených nájezdových kusů, kvalitativně neshodných dílů – zmetků. Uvažovaná celková cena za vyrobené díly 933120,- Kč se vlivem zmetkovitosti v hodnotě 7466,40 Kč snižuje na 925653,60 Kč.

Dalším významným aspektem ovlivňující zmetkovitost a tím i ekonomické ukazatele pro hodnocení výroby je výskyt alarmů. Četnost jejich výskytu přímo ovlivňuje produkci i s ohledem na druh a závažnost alarmu. Při analýze alarmových hlášení stroje byl patrný vliv automatizování pracoviště na jejich výskyt. Před dodatečným vybavením vstřikovacího stroje robotizovaným pracovištěm byla četnost výskytu alarmů mnohem vyšší. Jednalo se zejména o alarmy přímo souvisejících s nepravidelností výrobního cyklu. U obsluhy byly kladeny vysoké nároky na pracovní kázeň, striktní dodržování normovaného času cyklu a značnou pozornost při vyjímání dílů a kontrole dělicí roviny formy. Obsluha nebyla schopna ani při značném úsilí tento přísný režim v pracovní době dlouhodoběji dodržet, čímž následně docházelo k nepravidelnostem v časech cyklu a celkové nestabilitě procesních podmínek vstřikování. S ohledem na již tak nízkou ekonomickou hodnotu produkce v tomto pracovním režimu nebyla eventualita nasazení dvou operátorek možná. Seřizováním a nastavením vstřikovacího stroje bylo možné tyto výkyvy a nestabilitu ovlivnit pouze nepatrně bez znatelného dlouhodobějšího úspěchu. Zprovozněním robotizovaného pracoviště byly tyto potíže téměř absolutně odstraněny a alarmy se zpravidla vyskytovaly pouze při náhodných problémech, zejména uchopování blistru robotem, špatném založení blistru, při nevhodném odhození vtoku 2. komponenty robotem apod.



Při každém provozu je nutná údržba formy. Při poloautomatickém cyklu obsluha každý zdvih kontrolovala dělicí rovinu, zda při vyhození vtoků tento nezůstal vklíněn v kleštinách, zda jsou vozíky ve svých koncových polohách a celý prostor dělicí roviny pravidelně foukala tlakových vzduchem. Řádné mazání formy a její údržbu zajišťoval seřizovač, dle předepsaných intervalů, po každých 24 hodinách provozu. Každá operace navíc obsluhou v prostoru formy přímo ovlivňovala čas cyklu, stabilitu výrobního procesu, výskyt alarmů, produkci zmetků a tím i ekonomickou výhodnost výroby. V plně automatizovaném cyklu bylo zvýšené čištění dělicí roviny formy foukáním tlakových vzduchem nemožné. Proto byl předepsán nový protokol údržby formy, zahrnující rychlou kontrolu dělicí roviny, mazání vodících šikmých kolíků, kleštin apod. teflonovou pastou. Tento interval pravidelných kontrol a údržby byl zkrácen na konec každé pracovní směny seřizovačů tj. po každých 12-ti hodinách. Tato údržba probíhala vždy v časovém úseku 1 minuty a na zmetkovitost a stabilitu procesu neměla žádný významnější vliv. Kontrola umístění vozíků v dělicí rovině a přítomnosti vtoků v kleštinách byla v automatickém provozu irelevantní. Důvodem bylo odebírání vtoků robotem a přesné a citlivé odnímání dílů z tvarové části formy.

Časy nutné k rozjezdu, případně ukončení výroby se v jednotlivých provezech podstatně nelišily a byly velmi podobné. Ovlivňujícím faktorem úspěšné produkce byla následná činnost a provoz v individuálních typech provozů.

Tento projekt měl od začátku smluvně ošetřené počty produkovaných dílů. S ohledem na počáteční neznalost nové technologie vstřikování, byly tyto počty sniženy. Postupně se časem dle smluv obchodníků pravidelně zvyšovaly, společně s původními předpoklady úspěšného zvládnutí této technologie vstřikování. Dodávky požadovaných zvýšených množství dílů bylo vlivem nestabilního procesu velmi těžké plnit. Po automatizování pracoviště a zvládnutí ustálení procesních podmínek vstřikování se výrobní kapacita stroje a formy zvýšila na očekávaných 98 - 100 %. V těchto kapacitních časech nebyla zahrnuta údržba vstřikovacího stroje, formy a časy nutné na nahození, případně shození formy. Forma v plně automatizovaném a procesně ustáleném provozu je schopna produkce kvalitativně shodných dílů v požadovaných počtech.

Nevýhodou u vícekomponentního vstřikování je zpravidla nemožnost použití neshodných dílů k recyklaci drcením a opětovným zpracováním na shodný díl. Toho se dá využít pouze v případech, že se jedná např. o nájezdové díly, které ještě nejsou zastříknuté další komponentou. Zpravidla jsou díly, až na pár výjimek, tvarově složitější a vzájemná adheze použi-

tých materiálů bývá na vysoké úrovni, která neumožňuje oddělení spojených částí beze zbytku.

### **7.1 Celkové ekonomické zhodnocení výsledné aplikace**

Pro celkové ekonomické zhodnocení výsledné aplikace bylo nutno porovnat jednotlivé náklady na oba druhy provozu – poloautomatický, automatický. A také komplexní přínos zvolené aplikace a její další možný rozvoj do budoucna.

Poloautomatický provoz – výrobní činnost, kdy úzce spolupracují stroj a lidská obsluha. Při vyčíslení nákladů na tento provoz je nutné počítat náklady na hodinový provoz vstřikovacího stroje a náklady na personál, obsluhu stroje. Pro zjednodušení byly vynechány vedlejší náklady spojené s provozem vstřikovacího stroje, jeho údržbou apod.

Dle normovaných sazeb f. Brano a.s. je hodinová sazba práce člověka 140,- Kč. Za jednu hodinu provozu vstřikovacího stroje velikosti stroje Arburg 570 S 2200 – 400/170 je účtováno 600,- Kč. Celkově jedna hodina práce vstřikovacího stroje s lidskou obsluhou vyjde na 740,- Kč.

Automatický provoz – režim, kdy výroba požadovaných dílů probíhá automaticky, bez nutnosti zásahu člověka do výrobních procesů. Lidské zásahy se omezují maximálně na udržování tohoto provozu, případně seřízení vstřikovacích parametrů při výskytu vad apod. Pro vyčíslení nákladů tohoto výrobního režimu je nutné znát pořizovací náklady na dodatečné robotizování pracoviště a hodinu práce vstřikovacího stroje dané velikosti. Pro zjednodušení výpočtu byly vynechány vedlejší náklady, které jsou pro potřebu porovnání těchto druhů provozů z ekonomického hlediska velmi podobné a proto je možné, je zanedbat.

Pořizovací cena robotizovaného pracoviště, včetně práce montážních techniků, programátorů, následných placených servisních zásahů byla 1710900,- Kč. Reálný časový předpoklad využití robotu pouze na tento projekt je v délce pěti roků, tj. 60 měsíců. Při rozpočítání pořizovacích nákladů robotu a automatizování pracoviště na celkový předpokládaný časový interval plného využití robotu, se dostáváme na hodnotu cca 28500,- Kč / měsíc, tj. 950,- Kč / den, tj. 39,58 Kč / hodinu. Po započítání pořizovacích a provozních nákladů na činnost robotu byla stanovena cena za hodinu práce robotu se vstřikovacím strojem na 700,- Kč / hodinu.

Tab. 5 Ekonomické porovnání provozů za 24 hodin [27]

PROVOZ	Náklady na 1 hodinu práce (Kč)	Náklady za 24 hodin práce (Kč)	Počet dobrých dílů. (ks)	Cena dílů po odečtení NOK* dílů. (Kč)	Materiálové náklady na 1 díl (Kč / ks)	Mat. náklady na výrobu. (Kč)	Obrat za 24 hodin
Poloautomat	740,-	17760,-	3467	24962,40	2,57	9738,80	-2536,40
Automat	700,-	16800,-	4285	30855,-	2,57	11102,40	2952,60

\*NOK – No OK, kvalitativně neshodný díl

Z tabulky č. 5 jasně vyplývá při srovnání dvou různých provozů, že ekonomicky výhodnější a správné bylo pořízení průmyslového robotu a automatizování pracoviště, oproti produkci v poloautomatickém cyklu. Za 24 hodin se čistý obrat pohyboval u poloautomatu – **2536,40 Kč**. Automatizované pracoviště vykazovalo denní zisk **2952,60 Kč**.

Čisté denní obraty byly vypočítány:

***počet vyrobených, dobrých dílů x 7,20 (cena dílu) – náklady na materiál všech vyrobených dílů včetně zmetků – náklady na práci***

Zatímco výroba na poloautomat musela být firmou dotována, při plně automatickém provozu se zisk pohyboval kolem 2950,- Kč denně. V případě umořování pořizovacích nákladů pouze ziskem z tohoto provozu, byla by návratnost na pořízení pracoviště za 1,57 roku. Samozřejmě návratnost 1,57 roku by byla pouze v ideálním, v praxi se nevyskytující případě, kdy by pracoviště produkovalo dobré díly v neměnném počtu po celou dobu a nepřetržitě. Reálná doba návratnosti se v tomto případě pohybuje v rozmezí 2,5 – 3 roky a zahrnuje odstávky stroje, robotu, údržbu pracoviště, náhodné havárie apod.

Při chystání a jednání o tomto projektu byly smluvně ošetřeny dodávky dílů v předem odhadovaných počtech 80000 – 100000 kusů měsíčně což by při 100 % nasazení pracoviště a potencionálně možné výrobě 128562 dobrých dílů měsíčně, odpovídalo 78 % vytíženosti.

Při eventuálním ukončení projektu po pěti letech, je možné robotizované pracoviště využívat pro ostatní běžné výrobní aplikace. Po osazení robotu vhodnými přípravky, uchopovači apod., naprogramování je využitelnost robotu téměř neomezená. Předpokládaná životnost robotu několikanásobně přesahuje celkovou plánovanou dobu trvání projektu, na který byl původně pořízen. Při využití robotu u vstřikování plastů, lze dosahovat dalších výrazných výrobních úspor. Pracoviště lze do budoucna doplňovat o další periferní zařízení, jako op-

tickou kontrolu, kontrolu pomocí indukčních snímačů atd. Vzhledem k velkému rozsahu pohybu robotu s dílem uvnitř svého pracovního prostoru se rozšiřování pracoviště o další periferie přímo nabízí.

Volbou automatizování pracoviště původně značně problémového a ztrátového projektu, bylo dosaženo výrazné ekonomičnosti výroby, snížení zmetkovitosti, úspor seřizovacích časů, zvýšení denní produkce dílů a pravidelných dodávek dílů zákazníkovi v požadovaných počtech a kvalitě. Další devízou je možnost využití robotu a jeho flexibility pro další výrobní aplikace v současné době i do budoucna. Nasazení robotických a automatizačních zařízení ve vhodně volených aplikacích přináší mnohé výhody a úspory jak ekonomické, tak i zdravotní a případně i estetické.

## ZÁVĚR

Úvodní část bakalářské práce se zabývá historií i současným stavem v oboru automatizace. Je v ní sledován vývoj automatizačních prostředků od primitivních pomocníků, až po dnešní moderní, vysoce sofistikované automatizované celky. Pokračuje k základnímu a stručnému popisu průmyslových robotů a manipulátorů, jejich rozdělení a charakteristice. Část nazvaná „technologie vstřikování plastů“ seznamuje s historií i současností v oboru technologie vstřikování plastů. Stručně vysvětluje základní princip technologie tváření plastů, modifikace při vstřikování, člení polymery do základního rozdělení a zabývá se popisem vstřikovacích strojů, včetně alternativních uskupení více vstřikovacích jednotek, při využití technologie vícekomponentního vstřikování. Závěr teoretické části je věnován vstřikovacím formám, popisu jejich částí a možnostmi využití při dvou a vícekomponentnímu vstřikování.

V praktické části bakalářské práce se zaměřuji na konkrétní projekt Zástřík těsnění bez kamery. Jedná se o projekt dvoukomponentního vstřikování plastů a výrobě dílu v oblasti automotive, pro který bylo nutné vytvořit vhodné pracoviště. Zvolená výroba v poloautomatickém režimu se později ukázala jako značně nevhodná a ekonomicky ztrátová. Kapitola 5.3 se věnuje konkrétním problémům, jejich charakterizování a analýze provozu. Po následném rozhodnutí o automatizování pracoviště robotem bylo započato s implementací robotu. V dalších kapitolách je popisováno začlenění robotu ke vstřikovacímu stroji, včetně jejich vzájemné komunikace a činnosti. Také je popsán automatický cyklus s následujícím rozbořením tohoto provozu. Analýzou automatického režimu provozu byl potvrzen předpoklad výrazného zlepšení a zefektivnění výroby vlivem značného stabilizování vstřikovacího procesu. Následné porovnání obou typů provozů vyšlo jednoznačně ve prospěch automatizace, díky zvýšení produkce dílů a současné snížení zmetkovitosti. Ekonomické zhodnocení přineslo konkrétní výsledky, které směřují k předpokládané návratnosti investice na pořízení pracoviště do tří let.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] MAŇAS, M. *Základy robotiky*. Vysoké učení technické v Brně: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 99 s. Skripta. Vysoké učení technické v Brně. ISBN 80-214-0279-2.
- [2] Kognitivní psychologie. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2011-03-04]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Kognitivni\\_psychologie](http://cs.wikipedia.org/wiki/Kognitivni_psychologie)>.
- [3] ŠOLC, F.; ŽALUD, L. *Robotika* [online]. Brno : [s.n.], 2002-10-01 [cit. 2011-03-09]. Dostupné z WWW: <[http://matescb.skvorsmalt.cz/robotika\\_kybernetika/VUT\\_Brno\\_Robotika.pdf](http://matescb.skvorsmalt.cz/robotika_kybernetika/VUT_Brno_Robotika.pdf)>
- [4] RUMÍŠEK, P. *Automatizace : roboty a manipulátory*. Brno, 2003. 31 s. Oborová práce. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [5] KOLÍBAL, Z. Minulost a budoucnost robotů. *Automa* [online]. 2009, 5, [cit. 2011-03-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39014.pdf>>.
- [6] HLAVÁČ, V. *Kognitivní robotika* [online]. 2011 [cit. 2011-03-09]. [Http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/Public/TeachingLectures/KognitivniRobotika.pdf](http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/Public/TeachingLectures/KognitivniRobotika.pdf). Dostupné z WWW: <<http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/Public/TeachingLectures/KognitivniRobotika.pdf>>.
- [7] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů*. Praha : Nakladatelství BEN - technická literatura, Věšínova 5, Praha 10, 2009. 248 s. Dostupné z WWW: <<http://shop.ben.cz/cz/141034-vstrikovani-plastu.aspx>>. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [8] Termoplastické elastomery-moderní polymerní materiály. *Chemické listy* [online]. 1997, 01, [cit. 2011-04-01]. Dostupný z WWW: <[http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1997\\_01\\_23-29.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1997_01_23-29.pdf)>. ISSN 1213-7103.
- [9] LENFELD, P. *Www.ksp.tul.cz* [online]. 2005 [cit. 2011-03-01]. Katedra tváření kovů a plastů. Dostupné z WWW: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/05.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/05.htm)>

- [10] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II., Brno: VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X.
- [11] Reaktoplast. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , last modified on 12. 4. 2011 [cit. 2011-03-01]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Reaktoplast>>
- [12] KUCHÝ, M., KOLOUCH, J., PAŇÁK, R. Strojírenská technologie 2 – 1. Díl, Polotovary a jejich technologičnost, 1. Vydání Praha: SCIENTIA, 1999. 316 s. ISBN 80-7183-117-4.
- [13] TOMIS, F., HELŠTÝN, J. Formy a přípravky, Brno: VUT, 1985. 278 s.
- [14] BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů. 2. opr. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 133 s.
- [15] BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů. 1. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [16] ŘEHULKA, Z. Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů, 3 vydání, SEKURKON Brno: 2004. 203 s. ISBN 80-86604-11-X
- [17] *Www.arburg.com* [online]. 2010 [cit. 2011-04-01]. Arburg-oblast stahování. Dostupné z WWW: <[http://www.arburg.com/com/common/download/Web\\_680660\\_CZ.pdf](http://www.arburg.com/com/common/download/Web_680660_CZ.pdf)>
- [18] *Www.robotprideday.com* [online]. 2008 [cit. 2011-03-20]. Robot pride day- the official site. Dostupné z WWW: <<http://www.robotprideday.com/wp-content/uploads/2010/08/asimo.jpg>>
- [19] CHURÝ, L. *Programujte.com* [online]. 2006 [cit. 2011-04-06]. Robotika I-robotika, historie, roboti. Dostupné z WWW: <<http://programujte.com/?akce=clanek&cl=2006022101-robotika-i>>
- [20] *Www.listscrunch.com* [online]. 2007 [cit. 2011-04-01]. Listscrunch. Dostupné z WWW: <<http://www.listscrunch.com/wp-content/uploads/2010/09/aibo.jpg>>

- [21] File:Automates-Jaquet-Droz-p1030472.jpg. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2011-06-01]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Automates-Jaquet-Droz-p1030472.jpg>>.
- [22] *Www.arburg.com* [online]. 2010 [cit. 2011-03-20]. Arburg-oblast stahování. Dostupné z WWW:  
[http://www.arburg.com/com/common/download/Web\\_528390\\_CZ.pdf](http://www.arburg.com/com/common/download/Web_528390_CZ.pdf)
- [23] *Www.engelglobal.com* [online]. 2009 [cit. 2011-01-10]. Engel- technické plasty. Dostupné z WWW:  
<[http://www.engelglobal.com/engel\\_web/global/de/1122.htm](http://www.engelglobal.com/engel_web/global/de/1122.htm)>
- [24] archiv interní fotodokumentace f. Brano a.s.
- [25] interní zdroje f. Brano a.s.



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

- PRaM Průmyslové roboty a manipulátory.
- GIT (Gas Innendruck Technik) - výroba dutých a tlustostěnných dílů s využitím tlaku inertního plynu.
- WIT (Wasser-injektionstechnik) – vstřikování dutých a tlustostěnných dílů s využitím tlaku vody.
- MuCell (Microcellular Foam Molding) – mikrobuněčné pěnové tvarování. Vstřikování stlačených neaktivních plynů, jako je dusík a oxid uhličitý do roztaveného termoplastu v plastifikační části válce.
- $T_g$  Teplota skelného přechodu.
- $T_m$  Teplota tání.
- NOK No OK – kvalitativně neshodný díl



**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Rozdělení materiálů dle vhodnosti vzájemného použití [23] .....	48
Tab. 2 Porovnání jednotlivých druhů provzů za 24 hod., 30 dní [27] .....	70
Tab. 3 Celková finanční statistika v jednotlivých režimech provozu za období 24 hod. a 30 dní [27] .....	71
Tab. 4 Vliv automatizace na zmetkovitost [27] .....	71
Tab. 5 Ekonomické porovnání provozů za 24 hodin [27] .....	75

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: 3D model dílu Zástřík těsnění bez kamery

Příloha P II: 3S2019Materiálový list BERGAMID B 70 G20

Příloha P III: Materiálový list ONFLEX S KG 70 A – 3S2019