



# Robotický efektor pro manipulaci s plastovým výliskem

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

B2301 Strojní inženýrství

*Studijní obor:*

Strojní inženýrství

*Autor práce:*

**Daniel Švorc, DiS.**

*Vedoucí práce:*

doc. Ing. Marcel Horák, Ph.D.

Katedra sklářských strojů a robotiky





## Zadání bakalářské práce

# Robotický efektor pro manipulaci s plastovým výliskem

*Jméno a příjmení:* Daniel Švorc, DiS.  
*Osobní číslo:* S18000320  
*Studijní program:* B2301 Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* Strojní inženýrství  
*Zadávající katedra:* Katedra sklářských strojů a robotiky  
*Akademický rok:* 2020/2021

### Zásady pro vypracování:

Výroba plastových dílů v současné době představuje systém s vysokým stupněm automatizace, který se dále rozvíjí a řada původně manuálně realizovaných manipulačních činností je s výhodou nahrazována průmyslovými roboty v kombinaci se specificky navrženými efektorů, což umožňuje zvýšit kapacitu výroby vyráběného sortimentu.

Cílem bakalářské práce je návrh konstrukce robotického efektoru pro manipulaci s plastovým výliskem v automatické výrobě, který bude zajišťovat obsluhu vstřikovacího lisu a následně automatické polohování a odložení výlisku v pracovním prostoru CNC obráběcího centra. Během řešení bakalářské práce bude postupně provedena:

- Rešerše možností nasazení průmyslových robotů v oblasti automatické obsluhy vstřikovacích lisů se zaměřením na konstrukci efektorů;
- Analýza východisek a okrajových podmínek ve výrobě platového typu výlisku;
- Na základě rešerše a provedené analýzy bude ve variantách zpracována koncepce řešení efektoru pro manipulaci s plastovým výliskem;
- Pro zvolenou koncepci řešení bude zpracován počítačový model efektoru a zpracována základní technická dokumentace formou sestavných výkresů a vybraných dílů sestavy.
- Technicko-ekonomická analýza přínosu navrženého řešení v průmyslové praxi.

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

výkresová dokumentace  
30 – 40 stran textu  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

1. NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. *Konstrukce robotů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-216-7. Učebnice vysokých škol. Technická univerzita v Liberci.
2. NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. *Efektory průmyslových robotů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-195-5. Učebnice vysokých škol. Technická univerzita v Liberci.
3. MONKMAN, Gareth J. *Robot grippers*. Weinheim: Wiley-VCH, c2007. ISBN 978-3-527-40619-7.
4. Katalogy renomovaných výrobců pohonů a efektorů (Festo, SMC, Schunk atd.).

*Vedoucí práce:*

doc. Ing. Marcel Horák, Ph.D.  
Katedra sklářských strojů a robotiky

*Datum zadání práce:*

24. listopadu 2020

*Předpokládaný termín odevzdání:*

1. července 2022

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

L.S.

doc. Ing. Vlastimil Hotař, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 24. listopadu 2020

# Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

7. června 2022

Daniel Švorc, DiS.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce obsahuje rešerši koncových efektorů průmyslových robotů obecně a koncových efektorů používaných v plastikářském průmyslu. Zabývá se základními způsoby uchopení plastových dílů pro následnou manipulaci a možnostmi nasazení průmyslových robotů pro obsluhu vstřikovacího lisu. V praktické části jsou vypracovány dva návrhy koncového efektoru pro vykonání nezbytných úkonů pro výrobu konkrétního výlisku s následným výběrem vhodné varianty na základě okrajových podmínek. V závěru praktické části je vypracována technicko-ekonomická analýza se zhodnocením návratnosti investic a úspěšnosti provedení dílčích úkonů, které robot prostřednictvím efektoru vykonává.

## **Klíčová slova**

Koncový efektor, průmyslový robot, plastový výlisek, vstřikovací lis, zálisek, chapadlo

## **Abstract**

This bachelor thesis describes a basic overview of robotic end effectors with focus on effectors used in the plastic industry. The basic types of plastic moulding parts gripping are presented, which are suitable for subsequently handling. Possibilities of using industrial robots for operating the injection moulding machine are discussed too. In the practical part, two designs of the end effector are developed to perform the necessary tasks for the production of a specific moulding with the subsequent selection of a suitable variant based on the boundary conditions analysis. At the end of the practical part, a technical and economic analysis is developed. The return on investments and the success of the partial tasks that the robot in combination with effector performs are evaluated.

## **Keywords**

End effector, industry robot, plastic moulding, plastic injection molding machine, insert, gripper

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu této práce panu doc. Ing. Marcelu Horákovi, Ph.D. za trpělivost, čas a přínosné rady.

Dále bych rád poděkoval vedení firmy Lpm s.r.o za umožnění studia na TU v Liberci a také své snoubence, rodině a přátelům za podporu po celou dobu studia.

# Obsah

1	Koncové efektory .....	12
1.1	Úchopné hlavice .....	12
1.2	Technologické hlavice .....	13
1.3	Kombinované hlavice .....	13
1.4	Kontrolní hlavice .....	13
2	Koncové efektory pro vstřikování plastů .....	14
2.1	Konstrukce .....	14
2.1.1	Modulové efektory .....	14
2.1.2	Nemodulové efektory .....	15
2.2	Aktivní úchopné hlavice .....	16
2.2.1	Aktivní podtlakové hlavice .....	16
2.2.2	Funkce .....	17
2.2.3	Silové zatížení .....	17
2.2.4	Polohový kompenzátor .....	18
2.2.5	Zdroje vakua .....	18
2.2.6	Podtlakový ejektor .....	19
2.2.7	Aktivní mechanická chapadla .....	19
2.2.8	Úchopné prvky .....	20
2.2.9	Kompenzace polohy .....	21
2.2.10	Ochrana proti kolizi .....	21
2.3	Zakládání prvků do formy .....	22
3	Možnosti nasazení robotů pro obsluhu lisu .....	23
3.1	Angulární robot .....	23

3.1.1	Robotické pracoviště s angulárním robotem - Dentec .....	23
3.1.2	Robotické pracoviště s angulárním robotem - SONO-tek.....	25
3.2	Kartézský robot.....	25
3.2.1	Robotické pracoviště s kartézským robotem - Demag .....	25
3.2.2	Robotické pracoviště s kartézským robotem – SONO-tek.....	26
3.3	Scara robot.....	27
3.3.1	Robotické pracoviště se Scara robotem - Suprak 1 .....	27
3.3.2	Robotické pracoviště se Scara robotem - Pts .....	27
4	Analýza východisek a okrajových podmínek.....	28
4.1	Vnější kryt odsávačky .....	28
4.2	Proces výroby .....	29
4.2.1	Vstřikovací cyklus.....	29
4.3	Tvar výlisku a jeho poloha ve formě .....	30
4.4	Požadovaný cyklus robotu.....	31
4.5	Robotické pracoviště .....	32
4.6	Prostorové omezení .....	33
4.6.1	Zálisky DM6 .....	34
5	Varianty úchopné hlavice.....	35
5.1	Varianta A.....	35
5.2	Varianta B.....	36
5.3	Volba varianty .....	36
6	Úchopná hlavice.....	37
6.1	Konstrukce rámu úchopné hlavice .....	37
6.2	Pevnost rámu hlavice.....	39
6.3	Přísavky .....	42
6.3.1	Dimenzování přísavek.....	42



6.3.2	Trajektorie pohybu .....	43
6.4	Pneumatické chapadlo Schunk MPG 25-plus .....	47
6.4.1	Sílové zatížení .....	47
6.4.2	Úchopné prvky .....	48
6.5	Trubice pro vkládání zálišků .....	49
6.6	Vyjmutí výlisku .....	51
6.7	Obrábění výlisku.....	51
7	Technicko-ekonomická analýza .....	53
7.1	Technický analýza .....	53
7.1.1	Zálišky .....	53
7.1.2	Obrábění .....	53
7.1.3	Čas výroby.....	54
7.1.4	Časová úspora .....	54
7.2	Ekonomická analýza.....	55
7.2.1	Pořizovací náklady .....	55
7.2.2	Náklady na výrobu s obsluhou .....	56
7.2.3	Výpočet návratnosti.....	56
7.2.4	Zhodnocení návratnosti .....	57

## Seznam zkratek

$\Delta p$	[MPa]	podtlak
$^{\circ}/s$	[-]	stupeň za sekundu
$\varphi$	[ $^{\circ}$ ]	úhel otočení
$\varphi_r$	[ $^{\circ}$ ]	úhel rozběhu
$\omega_u$	[ $s^{-1}$ ]	ustálená úhlová rychlost
$d$	[mm]	účinný průměr
$F$	[N]	síla
$F_a$	[N]	axiální síla
$F_{Md}$	[N]	setrvačná síla
$F_{rad}$	[N]	radiální síla
$F_s$	[N]	statická síla
$F_u$	[N]	úchopná síla
$F_z$	[N]	síla působící ve směru Z
$G$	[N]	gravitační síla
$J_z$	[g.mm <sup>2</sup> ]	moment setrvačnosti k Z
$k$	[-]	koeficient bezpečnosti
$n$	[ks]	počet přísavek
POM	[-]	polyoexymetylen
PR	[-]	průmyslový robot
PUR	[-]	polyuretan
$r$	[m]	poloměr
$S_u$	[mm <sup>2</sup> ]	účinný obsah přísavek
$t$	[s]	čas otáčivého pohybu
TPUR	[-]	termoplastický polyuretan

# Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi automatizace manipulace s plastovými výlisky s využitím průmyslového robotu, detailně řeší problematiku koncového efektoru - úchopné hlavice. V souladu se zadáním je rozdělena do celkem sedmi základních kapitol, ve kterých jsou postupně shrnuty výsledky provedené rešerše, prezentovány základní koncepce řešení hlavice a uveden závěr zaměřený na zhodnocení přínosu řešení předkládané bakalářské práce.

První kapitola charakterizuje s využitím dostupné literatury koncové efekty průmyslových robotů, na kterou navazuje kapitola popisující problematiku koncových efektorů využitelných v oblasti technologie vstřikování plastů. Třetí kapitola je věnována vybraným typům průmyslových robotů s uvedením popisu základních vlastností a konkrétních příkladů z reálného nasazení pro obsluhu vstřikovacích lisů.

Ve čtvrté kapitole je zpracována detailní analýza východisek a okrajových podmínek výroby konkrétního plastového dílu, která byla následně využita v páté kapitole práce, ve které je ve variantách prezentována koncepce technického řešení koncového efektoru. Na základě provedení vyhodnocení variant je v kapitole šest představen finální 3D model efektoru, což je podpořeno základními výpočty.

V poslední kapitole je pak uvedena technicko-ekonomická analýza přínosu navrženého řešení, které bylo úspěšně nasazeno v průmyslové praxi.

# 1 Koncové efekty

Koncové efekty jsou velmi důležitou součástí průmyslového robotu, bezprostředně ovlivňují kvalitu výroby a bezpečnost manipulace. Zajišťují úspěšné provedení dané operace, podle které se odvíjí jejich konstrukce. Připojení koncového efektoru k robotu je nejčastěji realizováno pomocí příruby. Výměna jednotlivých efektorů se provádí manuálně, nebo plně automaticky např. v rámci systému automatické výměny efektorů [1].

Mezi přírubu robotu a efektor je možné použití nadstavbového modulu, který slouží jako kompenzátor polohy, ochrana proti kolizi, nebo jako pohybový systém efektoru [1]. Při konstrukci je nezbytné zohlednit celkovou hmotnost, tuhost, spolehlivost prováděné operace, provozní bezpečnost a rozměry. Základní rozdělení efektorů dle vykonávané činnosti s popisem základních charakteristik je uvedeno v následujících kapitolách.

## 1.1 Úchopné hlavice

Úkolem úchopných hlavice (Obr. 1, 2) je uchopení objektu a následná manipulace. Obecně lze úchopné hlavice rozdělit, podle způsobu vyvození úchopné síly, na aktivní a pasivní. Aktivní hlavice využívají pro tvorbu úchopné síly energii, která je většinou tvořena elektrickým nebo pneumatickým pohonem. Pasivní chapadla fungují bez pohonu, například pomocí odpružených chapadel, permanentního magnetu, prismatického lůžka, pasivních podtlakových přísavek nebo s využitím gravitační síly [2].



Obr. 2 Ukázka úchopné hlavice [1]



Obr. 1 Ukázka úchopné hlavice [2]

## 1.2 Technologické hlavice

Technologické hlavice nesou nástroj, který jim umožňuje vykonávat požadovanou technologickou operaci. Nejčastějším případem je svařování (Obr. 4), které je jednou z nejčastějších operací při níž jsou roboty používány. Další možnosti technologických operací jsou dělení materiálu, obrábění materiálu a povrchové úpravy jako je broušení (Obr. 3) nebo lakování [2].



Obr. 4 Technologická hlavice - broušení [3]



Obr. 3 Technologická hlavice - svařování [4]

## 1.3 Kombinované hlavice

Kombinovaná hlavice v sobě kombinuje úchopnou hlavici s některou z dalších požadovaných funkcí [2]. V oblasti vstřikování plastů je častým případem odskřípnutí vtoku zaformovaného výlisku a následné odebrání z formy pomocí jednoho efektoru, případně nástřík separačního prostředku po vyjmutí výlisku.

## 1.4 Kontrolní hlavice

Kontrolní hlavice jsou vybaveny kamerami, 2D scannery, 3D scannery nebo sondami a používají se například pro kontrolu obrobene části, správnosti vložení dílu do formy nebo zjištění orientace a následné odebrání dílu při jeho odebrání [2].

## 2 Koncové efektory pro vstřikování plastů

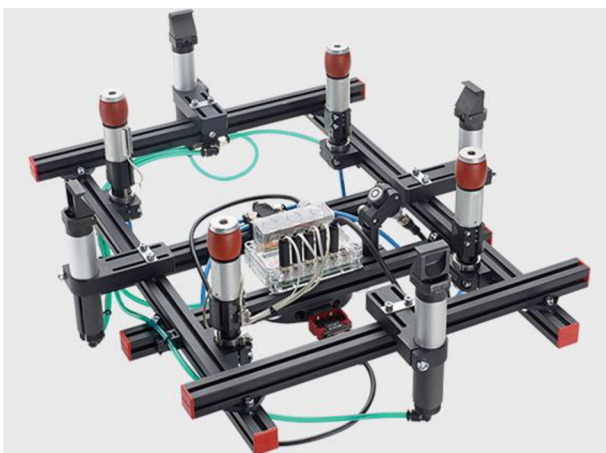
Mezi činnosti spojené se vstřikováním plastů patří mimo jiné vyjmutí vylisku z formy, zakládání prvků do formy, odstranění vtoku před vyhozením vylisku nebo nanášení separačního prostředku. Tyto opakující se činnosti je vhodné vykonávat prostřednictvím robotu.

### 2.1 Konstrukce

Při konstrukci je důležité spojit provedení požadovaného úkonu s některými omezeními. Obecně je důležité aby měl efektor, co nejnižší hmotnost a vysokou tuhost. Pro vstřikování plastů je typické také prostorové omezení. Manipulační prostor je dán maximální otevírací dráhou lisu a je omezen o tvarové a vodící prvky formy. Po uchopení může být sestava robotu, efektoru a vylisku značně rozměrná. Zejména u starších forem, které byly konstruovány pro provoz s obsluhou, může být nasazení robotu problematické. Další důležité aspekty jsou provozní spolehlivost a bezpečnost provozu [2]. Při dodržení uvedených omezení je možné ke konstrukci přistoupit dvěma základními způsoby a to jako k modulové sestavě, nebo rám efektoru konstruovat jako celistvý kus vyrobený vybranou technologií. Rám efektoru je osazen požadovanými úchopnými a technologickými prvky, které jsou nezbytné pro výrobu daného vylisku.

#### 2.1.1 Modulové efektory

Rám modulového efektoru (Obr. 5) je tvořen sestavou profilů a spojovacích prvků a je možné jej sestavit tak, aby kopíroval vnější tvar vylisku. Díky tomu tvoří podporu v horizontálním i vertikálním směru pohybu. Velkou výhodou tohoto typu efektoru je jeho tvarová flexibilita a kompatibilita jednotlivých prvků v rámci výroby. Efektor je možné snadno přizpůsobit pro více vylisků.



Obr. 5 Modulové efektor [5]

### 2.1.2 Nemodulové efektor

Rám efektoru je tvořen obrobkem, který má v sobě daná místa pro úchopné a další potřebné prvky. K výrobě je možné použít různé materiály od slitin hliníku až po technické plasty s ohledem na základní požadované vlastnosti efektoru, tedy hmotnost a pevnost. Efektor může být vyroben mimo jiné pomocí konvenční technologie jako je frézování, nekonvenční technologie například pomocí laseru (Obr. 6) nebo s využitím 3D tisku (Obr. 7). Tento typ efektoru není tak tvarově flexibilní jako modulový efektor a často je nasazen na výrobu pouze jednoho typu výlisku.



Obr. 7 Efektor – 3D tisk[6]



Obr. 6 Efektor - kovový výpalek

## 2.2 Aktivní úchopné hlavice

Při lisování plastů se ve většině případů volí aktivní způsob uchopení pomocí přísavek. Další možností je využití mechanických chapadel, které se kromě uchopení výlisku mohou využít i pro jeho přidržení. Volba a rozmístění prvků pro uchopení výlisku závisí zejména na jeho tvaru a povrchu.

### 2.2.1 Aktivní podtlakové přísavky

Uchopení výlisku pomocí přísavek patří mezi velice spolehlivé a relativně levné způsoby. Jedná se o nejčastěji používaný způsob. Při konstrukci je nutné zvolit správný počet, velikost a rozmístění a to podle hmotnosti výlisku a plochy, která je k dispozici k vytvoření podtlaku. V případě zaoblených ploch je vhodné použití přísavek s vlnovcem. Přísavky se nejčastěji používají v kombinaci s výškovými nebo úhlovými kompenzátory, které jsou opatřeny spojkami pro přivedení vakua. Přísavka v kombinaci s kompenzátorem musí být schopna kopírovat tvar povrchu výlisku. Pro manipulaci s plastovým výliskem je důležitý také vhodný materiál přísavky (Tab. 1), který se volí podle teploty povrchu nebo jeho drsnosti [4]. V některých případech jsou také nežádoucí otisky od přísavky na povrchu výlisku.

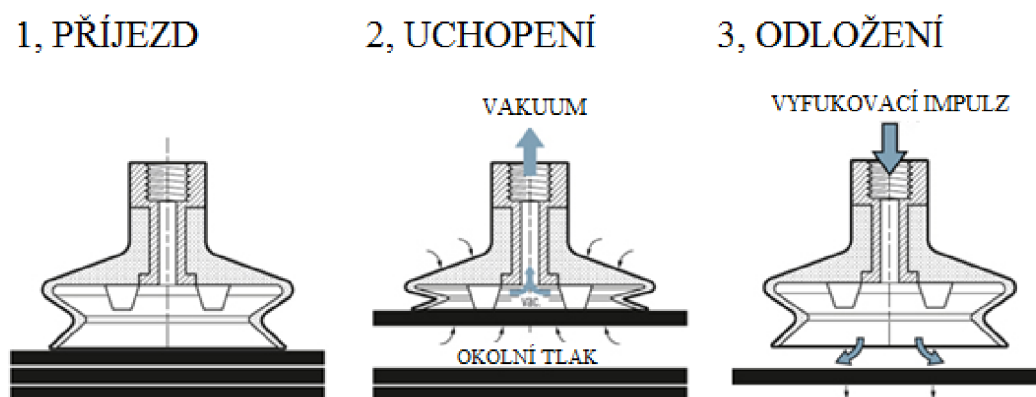
Tab. 1 Použitý materiál - vlastnosti

Vlastnosti	PU duraflex	PUR	TPU	Chloropren	Nitril	Silikon
<b>Odolnost proti opotřebení</b>	Vysoká	Vysoká	Vysoká	Vysoká	Střední	Střední
<b>Pracovní teplota</b>	0°C - 60°C	0°C - 80°C	-20°C - 80°C	-40°C - 110°C	-30°C - 90°C	-70°C - 200°C
<b>Stupeň tvrdosti</b>	až 60 Shore A	65 Shore A	81 Shore A	až 60 Shore A	50 Shore A	50 Shore A
<b>Vysoké provozní teploty</b>	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ano
<b>Nízké provozní teploty</b>	Ano	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano
<b>Hrubé nerovné povrchy</b>	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
<b>Povrch bez otisku</b>	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne



## 2.2.2 Funkce

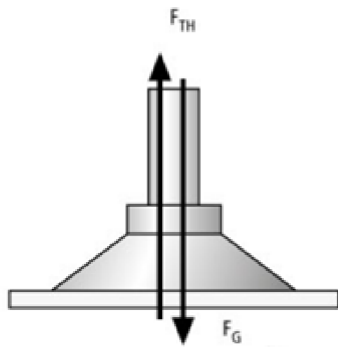
Hlavní funkcí přísavky je vytvoření podtlaku, který vzniká díky rozdílu okolního tlaku a tlaku uvnitř přísavky [2]. Díky podtlaku je možné uchopení vylisku, a jeho udržení po celou dobu manipulace. Proces manipulace lze rozdělit do tří fází (Obr. 8). V první fázi dojde k příjezdu k odebíranému kusu. Vzdálenost přísavky od povrchu závisí na tvaru vylisku respektive na jeho výšce, protože ta přímo ovlivňuje požadovanou vzdálenost vyhození pro uvolnění vylisku z formy. Ve druhé fázi dochází k přisátí a odebrání vylisku. Ve třetí fázi dochází k jeho odložení například na dopravníkový pás [3]. Aby nedošlo k nechtěnému přilnutí vylisku na přísavce je odložení doprovázeno vyfukovacím impulzem. Spolehlivost uchopení může být negativně ovlivněna špatným rozmístěním a typem přísavek, nedostatečnou silou nebo nečistotami na povrchu vylisku či přísavky.



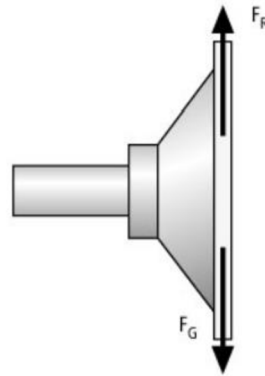
Obr. 8 Proces odebrání pomocí přísavky [7]

## 2.2.3 Silové zatížení

Pro stanovení správného počtu a velikosti přísavek je důležité posouzení působící síly a směru, ve kterém bude síla působit. Pokud je vylisek uchopen za horizontální rovinu (Obr. 9), síla působí v axiální směru a je přenášena teoretickou úchopnou silou přísavky. Pokud za vertikální rovinu (Obr. 10), je síla působící v radiálním směru přenášena třecí silou [5]. V praxi však velmi často nastává případ kombinovaného zatížení proto se při dimenzaci přísavek volí vyšší koeficient bezpečnosti. V případě nutnosti použití více přísavek se, pokud je to možné, volí jejich rozmístění symetricky k těžišti vylisku.[4]



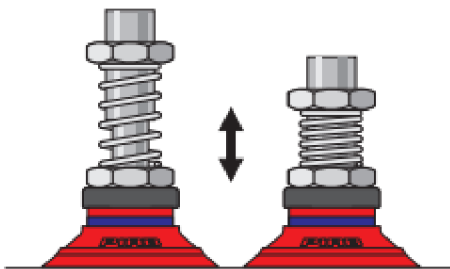
Obr. 9 Úchop - vertikální rovina [25]



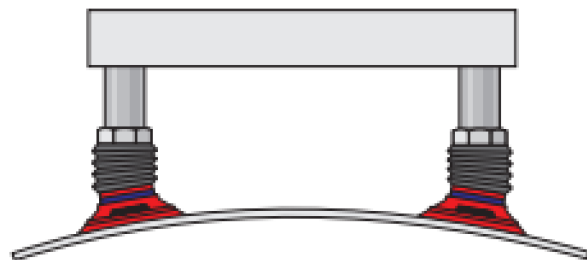
Obr. 10 Úchop – horizontální rovina [25]

## 2.2.4 Polohový kompenzátor

Polohové kompenzátory, nejčastěji ve formě odpružených adaptérů, se používají k eliminaci výškových rozdílů (Obr. 11) na ploše výlisku [4]. Při vyhození výlisku z formy může také dojít vlivem velkého smrštění k tzv. vystřelení výlisku. To má za následek uvolnění značné síly, která je polohovým kompenzátorem také eliminována. Další formou je kompenzátor s kulovým kloubem (Obr. 12), který slouží k vyrovnání orientace mezi přísavkou a výliskem.



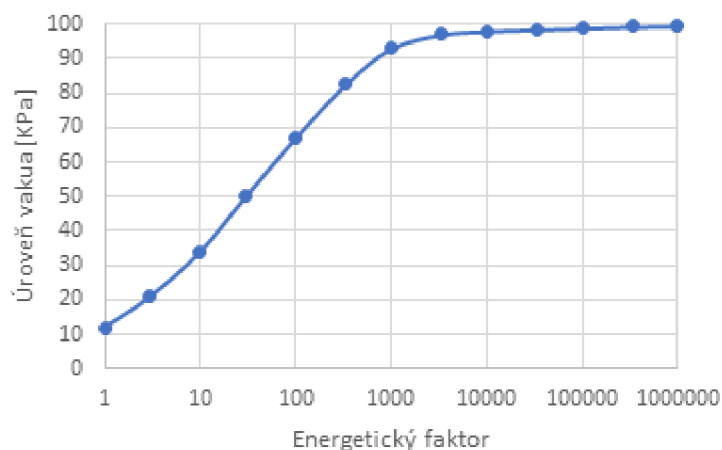
Obr. 11 Výškový kompenzátor [8]



Obr. 12 Kloubový kompenzátor [8]

## 2.2.5 Zdroje vakua

Výlisek na přísavce drží díky přitlačování okolním tlakem vzduchu, který je vyšší než tlak mezi přísavkou a povrchem výlisku. Podtlak je nejčastěji vytvořen pomocí vakuového ejektoru, který je možné ovládat přes rozhraní robotu. Příliš velká hodnota vakua v přísavkách vede k větší spotřebě energie a opotřebení přísavek. Pro automatizaci se využívá vakuum o hodnotách mezi -20 kPa až -99 kPa [4]. Při hodnotách nad -90 kPa dochází k prudkému nárůstu spotřeby energie (Obr. 13) a proto je žádoucí hodnotu vakua držet pod touto hranicí. Potřebu větší přídržné síly je výhodné řešit větším průměrem přísavky při menší hodnotě vakua [5].



Obr. 13 Spotřeba energie v závislosti na velikosti vakua [8]

## 2.2.6 Podtlakový ejektor

Podtlakové ejektory vytváří vakuum pneumaticky. Umožňují pracovat s malým objemovým průtokem s dosažitelností vakua až 85%. Velkou výhodou je malá hmotnost a snadné přivedení tlakového vzduchu [2]. Inteligentní ejektor Festo (Obr. 14) s filtrem, mimo jiné, umožňuje nastavit dobu vyfukovacího impulsu a hodnotu podtlaku, při kterém vstup robotu signalizuje dosažené vakuum [6].



Obr. 14 Ejektor Festo [9]

## 2.2.7 Aktivní mechanická chapadla

Další způsob vyvození úchopné síly je pomocí mechanických chapadel, které je možné použít pro vyjmutí vylisku, pokud je tento způsob výhodnější než vyjmutí pomocí přísavek. Pro uchopení pomocí kruhových děr se využívají měchová chapadla (Obr. 15), která úchopnou sílu vytvoří pomocí tvarové deformace. Často se také úchopná chapadla používají pro přidržení vylisku na přísavkách pro zamezení posunutí vlivem dynamických sil. Za tímto účelem se využívají tzv. pneumatické úpínky (Obr. 16). Další časté využití je vkládání předmětů do formy nebo jejich chystání na požadované místo.

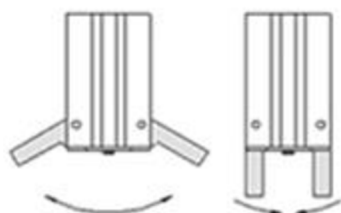


Obr. 16 Odebrání výlisku pomocí měchových chapadel [24]

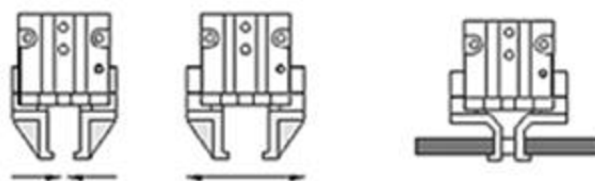


Obr. 15 Pneumatické úpínky [24]

Chapadla lze dělit podle počtu čelistí na jedno, dvou nebo tříčelist'ová. Další způsob rozdělení (Obr. 17) je podle pohybu čelistí na úhlové a paralelní, které mohou provádět vnější nebo vnitřní úchop součásti [5].



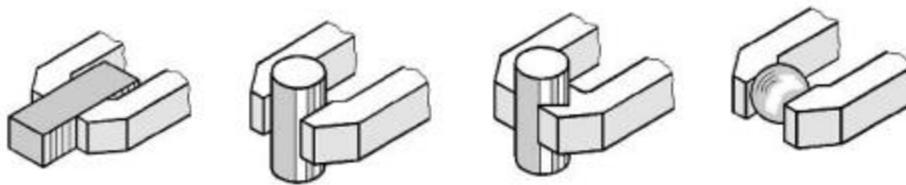
Obr. 17 Úhlové chapadlo



Paralelní chapadlo – vnější, vnitřní úchop [10]

## 2.2.8 Úchopné prvky

Kontakt s objektem manipulace je standardně tvořen dvou, tří nebo čtyřbodově pomocí úchopných prvků chapadla (Obr. 18). Ty se montují na výstupní pohyblivé členy chapadla, čelisti, a jejich konstrukce závisí na požadované operaci. Zajišťují jednoznačné uchopení a vystředění objektu. Přesnost uchopení je ovlivněna jejich konstrukcí, počtem a přesností výroby. Vhodné je použití senzoru polohy čelistí, které v provozu pomohou odhalit špatně uchopený, nebo chybějící díl [5].



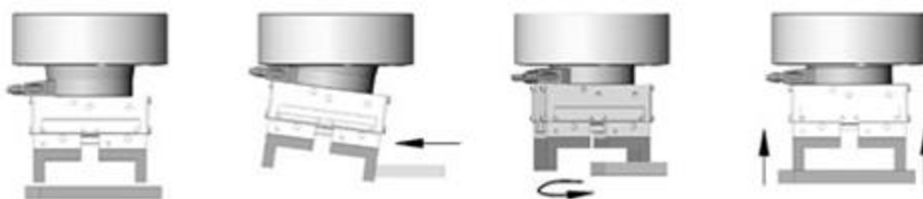
Obr. 18 Možné tvary úchopných prvků [25]

### 2.2.9 Kompenzace polohy

Kompenzátor polohy chapadla slouží k vyrovnání nepřesností mezi zálislem a místem vložení. Pro malé nepřesnosti polohy a orientace lze použít pasivní kompenzátory založené na deformaci pružných částí. Aktivní kompenzátory fungují na základě silového a momentového zatěžování. Pro větší polohové chyby je možné použít bezsilový kompenzátor [5].

### 2.2.10 Ochrana proti kolizi

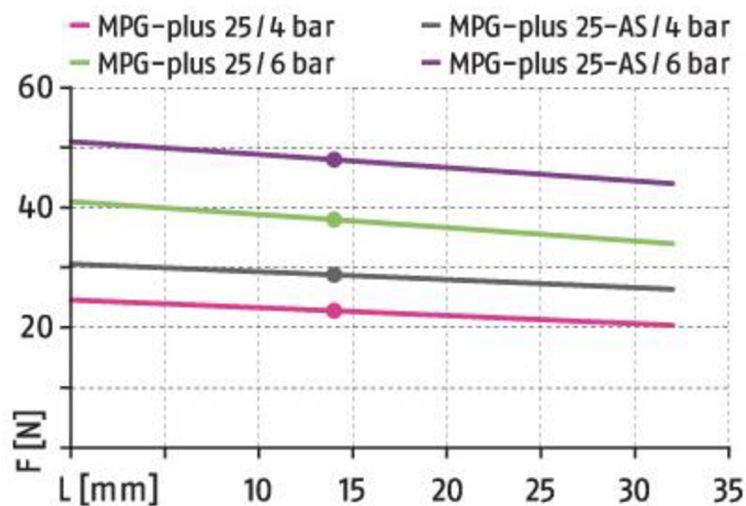
V případě kolize je potřeba co nejrychlejší přerušení pohybu pro zabránění vzniku nevratných škod na chapadle i na samotném robotu. Za tímto účelem se používají senzory kolize přimontované mezi přírubu a efektor, případně mezi efektor a chapadlo (Obr. 19 ). Mezi výhody těchto detektorů patří automatickým reset původní polohy, použitelnost pro velké množství detekovaných kolizí a vyrovnání kolize ve všech směrech [7].



Obr. 19 Ukázka systému ochrany proti kolizi [11]

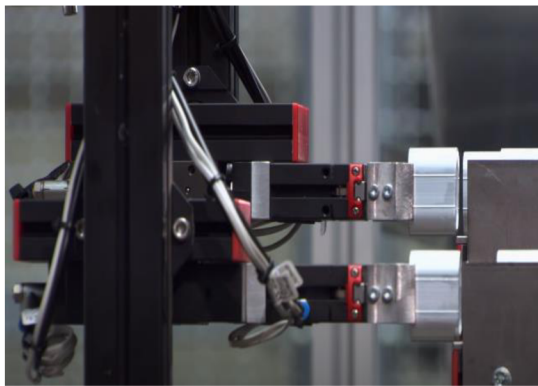
## 2.3 Zakládání prvků do formy

Vkládání potřebných prvků do formy před zahájením lisovacího cyklu je další, často se vyskytující operace, kterou roboty v oblasti vstřikování plastů vykonávají. Nejčastěji se jedná o kovové závitové vložky. Způsob uchopení vkládaného předmětu závisí hlavně na jeho tvaru a na místě vložení ve formě. Pro kovové vložky lze, pro vložení do mělkých částí dutiny formy, využít vložení pomocí chapadla (Obr. 22). Pro vkládání zálistků do hlubokých částí je využití chapadel problematické, z důvodu ztráty úchopné síly s rostoucí délkou úchopných prvků. Pro chapadla použitá v praktické části, platí následující závislost velikosti úchopné síly na délce vyložení (Obr. 20).

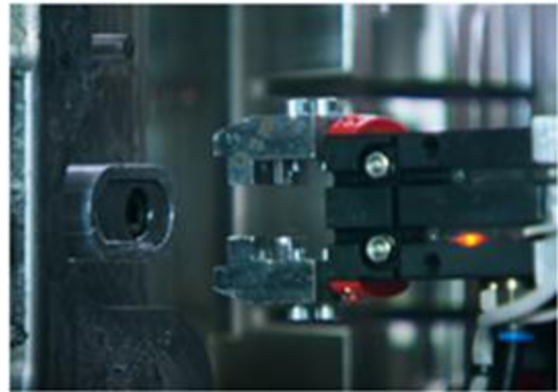


Obr. 20 Charakteristika úchopné síly v závislosti na délce úchopných prvků [12]

Uchopení a vložení neprůchozích zálistků do hlubších částí formy je možné realizovat pomocí přísavky s prodloužením. V případě průchozích závitových vložek je nutné volit způsob uchopení individuálně podle prostorového omezení například pomocí měchového chapadla, nebo podobně jako v praktické části této práce (Kap. 6.4). Pokud se do formy vkládá více předmětů a operační prostor to umožní, je žádoucí, aby došlo k vložení všech předmětů najednou.



Obr. 21 Odebírání zálisků ze zásobníku [13]



Obr. 22 Vkládání do formy [13]

### 3 Možnosti nasazení robotů pro obsluhu lisu

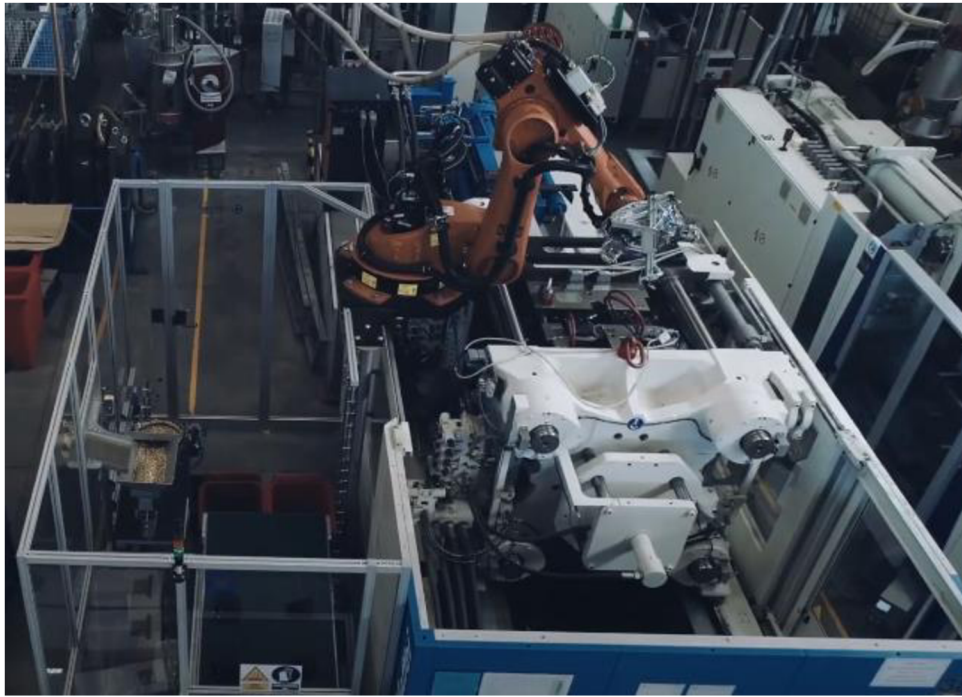
Nasazení robotů pro obsluhu vstřikovacích lisů využívá jejich přednosti jako je přesnost, opakovatelnost nebo rychlost. Nabízí snížení nákladů na výrobu díky eliminaci potřeby fyzické obsluhy, zvýšení produktivity díky zkrácení času cyklu a nepřetržitému provozu a zvýšení kvality výroby. Podle typu robotu se dají využít ke značnému množství operací od vyjímání hotových výlisků až po následné technologické operace jako je vrtání nebo frézování. S výhodou se využívá angulární, kartézský nebo Scara robot. Možnosti nasazení jsou velmi rozmanité a v následujících kapitolách jsou uvedeny některé příklady použití jednotlivých typů robotů v oblasti vstřikování plastů.

#### 3.1 Angulární robot

Polohovací ústrojí angulárního robotu je tvořené třemi případně šesti rotačními jednotkami a díky tomu nabízí všestranné využití. Disponuje velmi dobrou manévrovací schopností, která umožňuje vyhnout se překážkám [2]. Využití tohoto typu je možné i pro následné technologické operace.

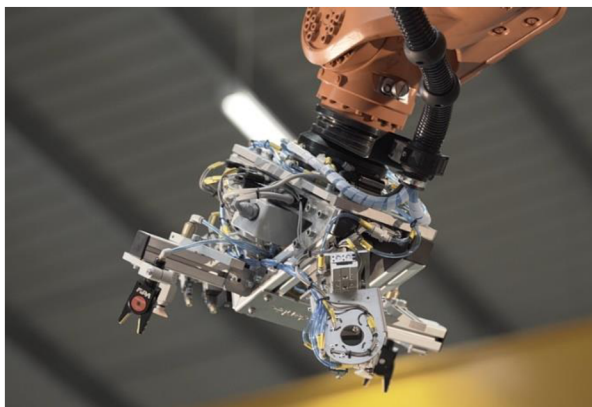
##### 3.1.1 Robotické pracoviště s angulárním robotem - Dentec

V tomto případě je robot využit k vyjmutí hotového výlisku a vložení zálisků do dvojnásobné formy. Robotické pracoviště (Obr. 23) je tvořeno robotem firmy KUKA umístěným nad formou na hranici vstřikovacího lisu, podavačem zálisků a dopravníkovým pásem.

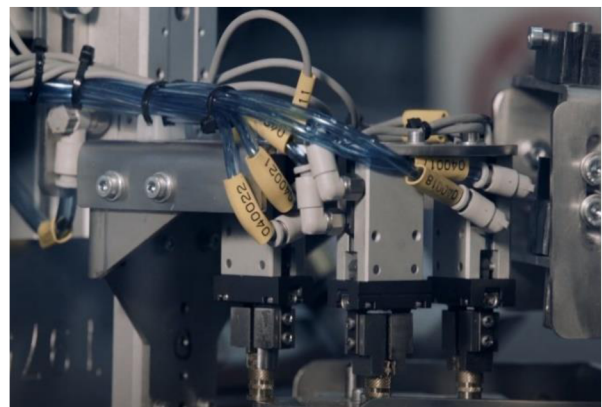


Obr. 23 Robotické pracoviště – Dentec [14]

Robot úkony vykovává prostřednictvím modulového úchopné hlavice (Obr. 25), která obsahuje úchopné prvky ve formě přísavky a úhlového pneumatického chapadla pro každý výlisek. Dále obsahuje 6 kusů paralelních chapadel (Obr. 24) pro uchopení zálisků z podavače a vložení do formy. Chapadla jsou rozmístěna na kruhové dráze po třech kusech na samostatné platformě, umožňující lineární pohyb potřebný při vkládání do formy [8].



Obr. 25 Úchopná hlavice - Dentec [14]



Obr. 24 Odebírání zálisků – Dentec [14]

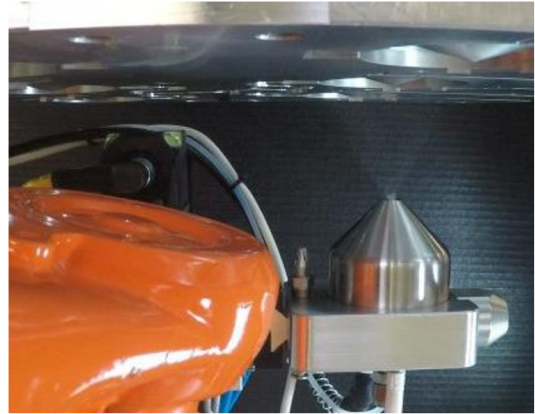


### 3.1.2 Robotické pracoviště s angulárním robotem - SONO-tek

Robot, jako obsluha vertikálního vstřikovacího lisu (Obr. 26) se čtyřnásobnou formou, je umístěn před lisem a má za úkol vyjmutí vylisku. Při každém desátém sjetí lisu má za úkol nanést separační prostředek [9]. Díky tomu je dosaženo bezproblémové odformování a vyhození vylisku, snížení času lisovacího cyklu a dosažení lepší kvality povrchu. Spotřeba separátoru je až o 70 % nižší než při nanášení obsluhou. Efektor je složen ze dvou částí. Úchopná hlavice je tvořena modulovou sestavou s přísavkou s vlnovcem pro každý kus, kvůli zaoblenému povrchu vylisku. Druhou část tvoří technologická hlavice s rozprašovací tryskou a systémem pro přívod separátoru (Obr. 27).



Obr. 27 Robotické pracoviště – SONO-tek [15]



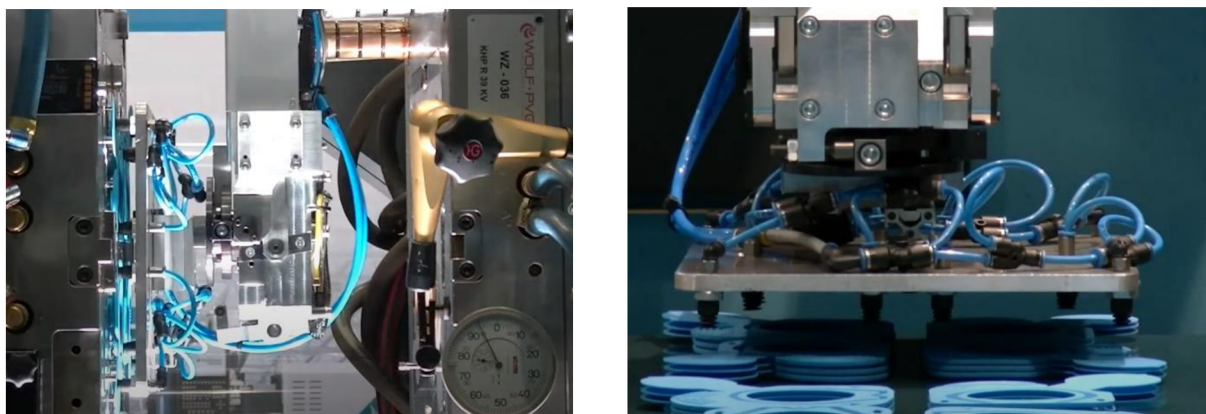
Obr. 26 Nástřik separačního prostředku [15]

## 3.2 Kartézský robot

Polohovací ústrojí tvoří tři vzájemně kolmé posuvné jednotky a je využíván zejména pro odjímání hotových vylisků z formy. Zároveň je možné vkládání připravených dílu do formy.

### 3.2.1 Robotické pracoviště s kartézským robotem - Demag

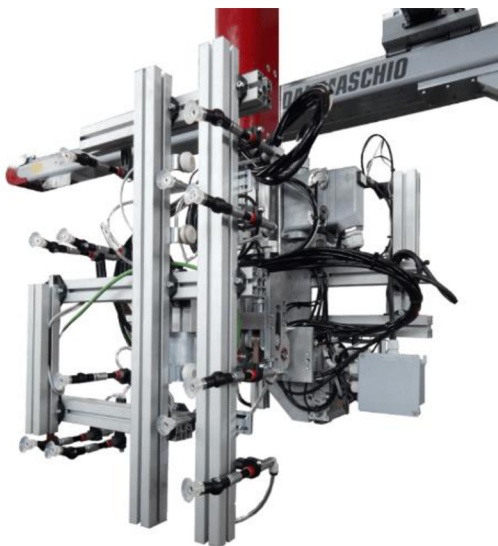
Robot je umístěn nad lisem a realizuje velmi efektivní manipulační proces s vylisky během vyjímání z formy. Celý proces vyjmutí trvá 1s a je proveden pomocí úchopné hlavice. Ta je tvořena kovovou deskou, která nese aktivní úchopné prvky ve formě přísavek (Obr. 28), prostřednictvím kterých jsou uchopeny 4 kusy rovinných vylisků [10].



Obr. 28 Robotické pracoviště Summitomo Demag [9]

### 3.2.2 Robotické pracoviště s kartézským robotem – SONO-tek

V dalším případě je robot využit k odebrání dvou výlisků z pohyblivé části formy a vložení dvou kovových zálistků do pevné části formy [9]. Potřebné prvky jsou umístěny na obou stranách efektoru (Obr. 29). První strana slouží k uchopení výlisků a obsahuje přísavky s kloubovými kompenzátory pro dosažení lepšího kopírování tvaru výlisku. Druhá strana obsahuje prvky pro uchopení zálistků. Poté výlisky robot dopraví na svařovací stanoviště.



Obr. 29 Úchopná hlavice - Sono-Tek [15]

### 3.3 Scara robot

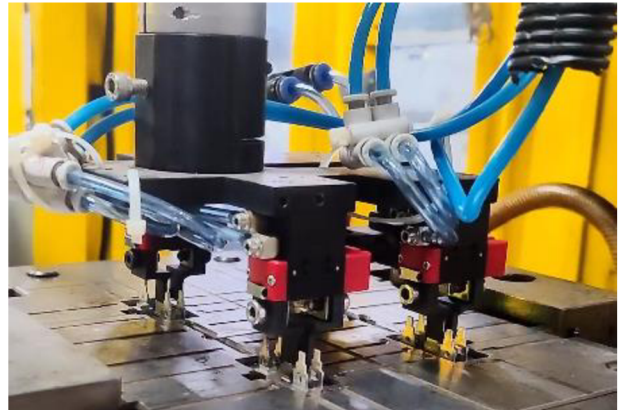
Tento typ robotu je používán zejména pro obsluhu vertikálních lisů. Je vhodný jak pro vyjímání hotových výlisků tak i pro zakládání zálisků do formy. Polohové ústrojí robotu tvoří řetězec RRT s pohyblivými osami, které jsou vzájemně kolmé a rovnoběžné [2].

#### 3.3.1 Robotické pracoviště se Scara robotem - Suprak 1

Robot je využit k obsluze vertikálního otočného vstřikovacího lisu se čtyřnásobnou formou (Obr. 30). Do dutiny formy robot vkládá 20 plechových konektorů, vždy po dvou kusech. Poté dojde k otočení lisu, kde po jeho otevření robot vyjme vtokovou soustavu a poté samotné výlisky [11]. Efektor je tvořen obrobeným plastovým polotovarem, který nese 4 kusy lineárních pneumatických chapadel (Obr. 31). Jejich umístění odpovídá pozici zakládání jednotlivých konektorů přičemž jsou využita vždy dvě chapadla.



Obr. 31 Robotické pracoviště – Suprak [16]



Obr. 30 Vkládání konektorů do formy [16]

#### 3.3.2 Robotické pracoviště se Scara robotem - Pts

Dalším příkladem využití Scara robotu pro vstřikování plastů je nachystání kovových částí, určených k zalisování, na požadované místo (Obr. 32), odkud je odebírá angulární robot a vkládá je do formy. Robot je naváděn systémem Fanuc iRvision, který umožňuje odebírání náhodně uspořádaných částí v požadované poloze pro pozdější odložení. Efektor v tomto případě tvoří přísavka na výškovém kompenzátoru [12].



Obr. 32 Příprava částí k zalisování – Pts [17]

## 4 Analýza východisek a okrajových podmínek

Následující část bakalářské práce je zaměřena na konstrukci úchopné hlavice pro automatizaci vstřikování výlisku, který tvoří hlavní vnější kryt elektrické odsávačky používané ve zdravotnictví. Vlivem pandemie byla poptávka po tomto výlisku výrazně navýšena. Zároveň se firma od poloviny roku 2020 potýkala s nedostatkem personálu pro obsluhu vstřikovacích lisů zapříčiněnou karanténními opatřeními. Úspěšné využití průmyslového robotu k výrobě by tak znamenalo nejen snížení nákladů, ale vyřešilo by i personální nedostatek.

### 4.1 Vnější kryt odsávačky

Vnější kryt spolu s čelním panelem a dnem tvoří uzavřenou konstrukci (Obr. 33). Výlisek se vyrábí z polymeru Edistir RT 441, ke kterému se přidávají aditiva, barvivo Colorbatch 7337 a nadouvadlo BM70 obě po 1%. Hmotnost výlisku je 1950 g.



Obr. 33 Finální použití výlisku [18]

## 4.2 Proces výroby

Výroba výlisku v současné době probíhá v poloautomatickém režimu. Před zahájením vstřikovacího cyklu musí obsluha lisu do formy vložit čtyři kusy mosazných závitových vložek, dále zálisků. Ty se vkládají hluboko do tvárníku formy, navíc pracovník musí po schodech vlézt přímo do prostoru otevřené formy. Po skončení chlazení musí obsluha hotový výlisek vyjmout a odložit na stůl před lisem a následně znovu vkládat zálisky. Celý tento proces před zahájením lisování je časově náročný a zabere obsluhu přibližně 55 s. Dále obsluha během lisovacího cyklu odstraní vtok a vrtá díru o průměru 18 mm na boku výlisku.



Obr. 34 Hotový výlisek

### 4.2.1 Vstřikovací cyklus

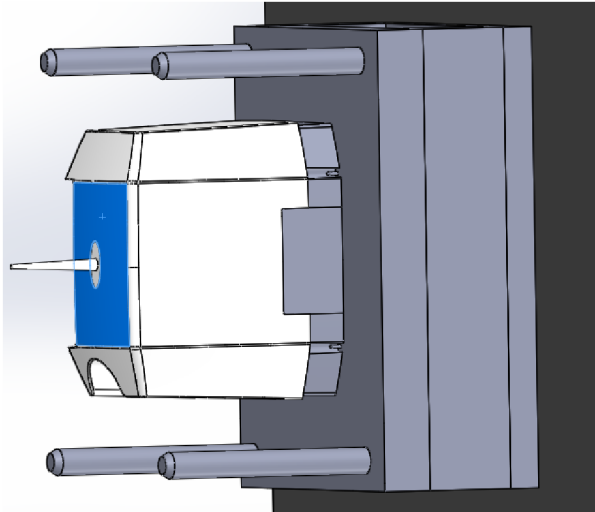
Vstřikovací cyklus vnějšího krytu elektrické odsávačky je v čase charakterizován několika operacemi, které lze shrnout následovně

- Čas otevření a zavření formy = 38 s
- Příjezd a odjezd vstřikovací jednotky = 2 s
- Vyhození výlisku, otevření zábrany = 4 s
- Čas vstřiku a dotlaku = 11 s
- Čas chlazení = 300 s
- Čas vložení vložek = cca 55 s

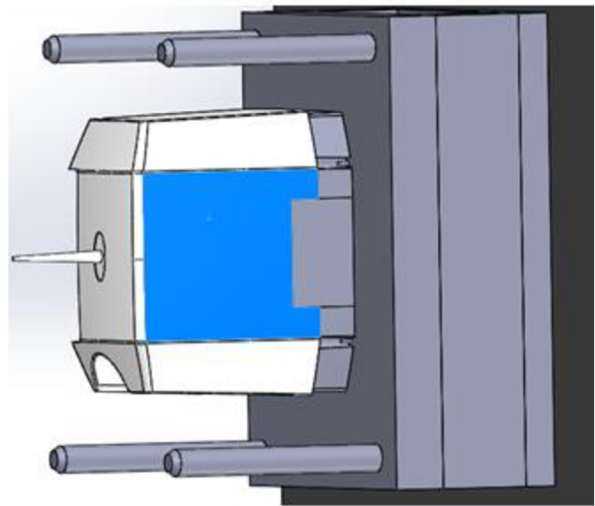
Výroba jednoho kusu s obsluhou zabere cca 410 sekund. V případě lisování s robotem umožní dlouhý čas chlazení technologické úkony na výlisku a nachystání závitových vložek z lineárního vibračního dopravníku na přípravnou desku před lisem.

### 4.3 Tvar výlisku a jeho poloha ve formě

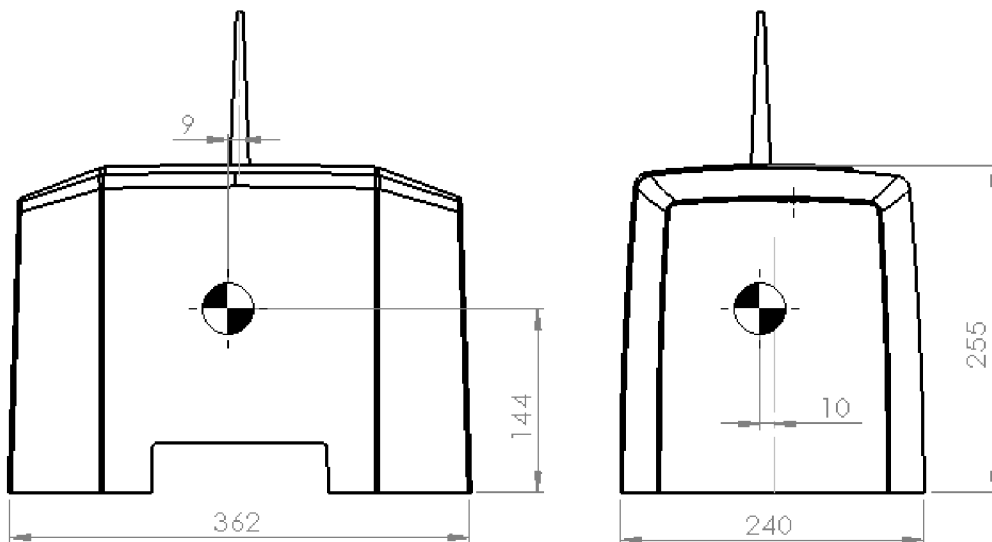
Tvar výlisku umožňuje vyjmutí pomocí přísavek dvěma způsoby. Za jeho horní část kolmou k vyhazovačům (Obr. 36), nebo za plochu, která je naproti robotu (Obr. 35). Forma umožňuje maximální vyhození pouze 50 mm, aby po vyhození nedošlo k samovolnému vypadnutí výlisku. Jedná se o starší formu konstruovanou pro poloautomatický režim.



Obr. 36 Potenciální místo uchopení – horní část



Obr. 35 Potenciální místo uchopení – boční část část



Obr. 37 Výlisek - hlavní rozměry, poloha těžiště

Tab. 2 Fyzikální vlastnosti výlisku

Fyzikální vlastnosti			
<b>Objem</b>	-	mm <sup>3</sup>	1918334
<b>Těžiště</b>	X	mm	-9
	Y		-10
	Z		144
<b>Hlavní osy setrvačnosti</b>	I <sub>X</sub>	mm	(1,00;0,04;0,00)
	I <sub>Y</sub>		(-0,04;0,93;0,36)
	I <sub>Z</sub>		(0,02;-0,36;0,93)
<b>Hlavní momenty setrvačnosti</b>	P <sub>X</sub>	g.mm <sup>2</sup>	24816963
	P <sub>Y</sub>		43187023
	P <sub>Z</sub>		44219131

#### 4.4 Požadovaný cyklus robotu

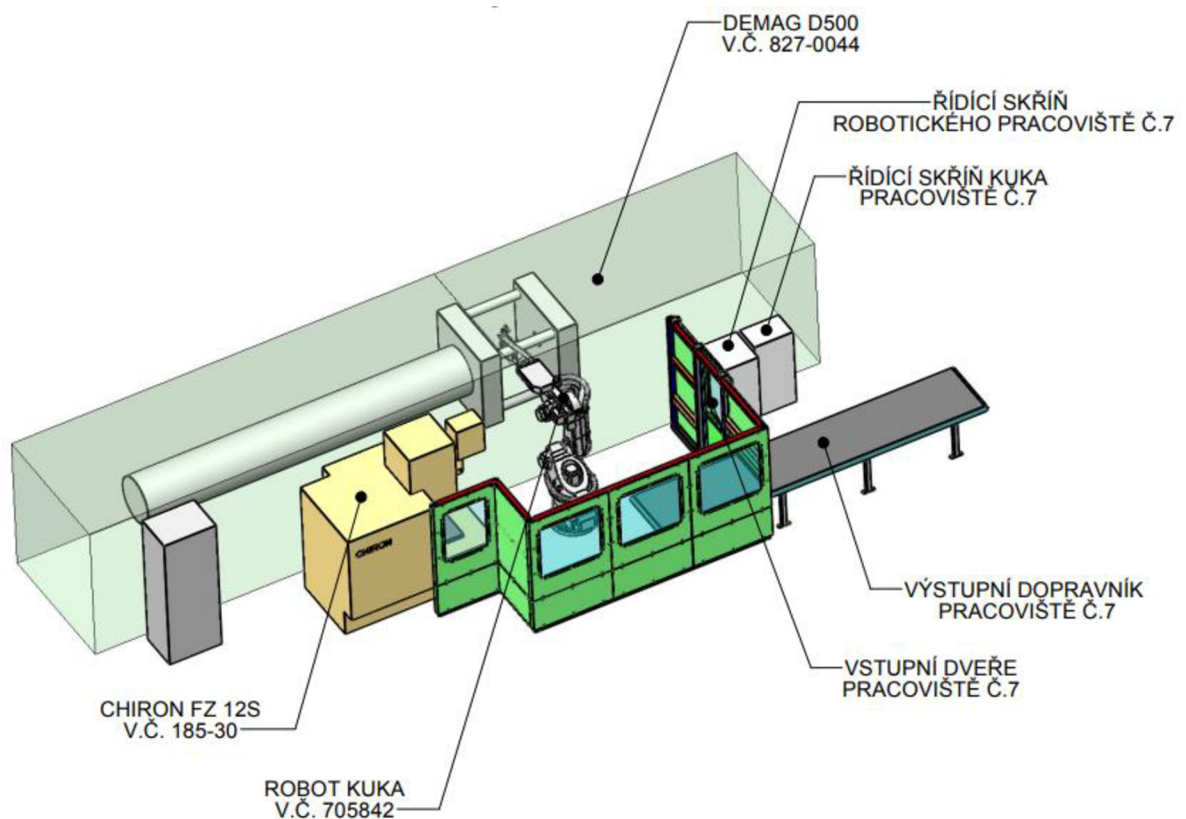
Po zahájení lisování robot pomocí mechanického chapadla připraví závitové vložky z vibračního dopravníku na přípravnou desku před lisem (Obr. 38). Po skončení chlazení dojde k vyjmutí výlisku pomocí přísavek a k následnému odložení do přípravku (Obr. 69) v pracovním prostoru frézky. Poté robot vloží zálisky z přípravné desky do formy pomocí vakuové trubice (Kap. 6.4 ). Po vložení zálisků dojde ke spuštění lisu, opětovnému převzetí výlisku, odskřípnutí vtoku, vyvrtání díry v přípravku, převzetí a přejezdu k odstranění zbytku vtoku. Po odstranění vtoku následuje odložení na dopravníkový pás. Poté robot opět chystá závitové vložky a čeká na ukončení lisovacího cyklu.



Obr. 38 Přípravná deska

## 4.5 Robotické pracoviště

K lisování výlisku se používá vstříkovací lis Demag D500. Velkou výhodou je, že firma u tohoto lisu disponuje průmyslovým robotem. Jedná se o angulární robot se šesti osami KUKA KR30 s maximální nosností 30kg. Dále je k dispozici 3-osá frézka Chiron FZ 12S, která zajistí vyvrtání díry a odstranění vtoku. Poté bude výlisek odložen na dopravníkový pás. Robot je umístěn v centru stanoviště, lis, frézka a pás jsou kolem robotu rozmístěny po 90°. Z důvodu zřízeného robotického pracoviště není jeho cena zohledněna v ekonomické analýze (Kap. 7.2)



Obr. 39 Schéma robotického pracoviště – Lpm [19]



## 4.6 Prostorové omezení

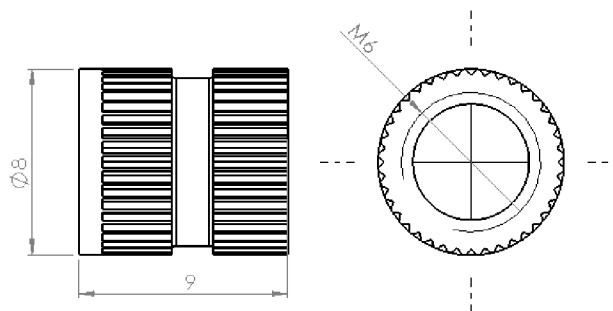
Prostorové omezení hraje při konstrukci úchopné hlavice velkou roli. V tomto konkrétním případě představuje poměrně velký problém. Kvůli tvarovému charakteru výlisku je pohyblivá část formy tvořena tvárníkem, který odebírá značnou část prostoru. Volný prostor, který je při maximálním otevření formy k dispozici, od tvárníku pohyblivé části formy k dělicí rovině pevné části formy, je 500 mm (Obr. 40). Tento prostor je určující pro rozměr, který může hlavice zabrat s odebraným výliskem včetně výškových kompenzátorů. Mezi vodícími sloupy lisu je 800 mm. Další omezení představuje pracovní prostor frézky. Hlavice musí být opatřena dodatečnými prvky jejichž rozměry a umístění se musí zohlednit při odložení do aretačního přípravku a při zafrézování vtokového kužele. Pro odhalení případné kolize robotu s okolím byl v rámci této práce vytvořen model identického pracoviště pomocí volně dostupného softwaru RoboDK.



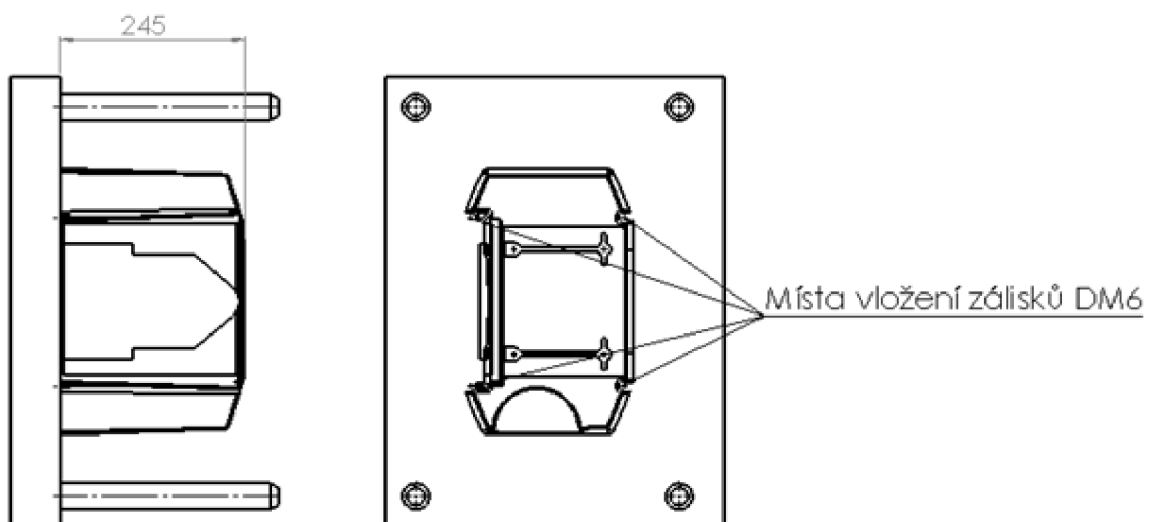
Obr. 40 Forma 1369 – maximální otevření

### 4.6.1 Zálisky DM6

Do tvárníku formy je nutné vložit průchozí zálisky DM6 (Obr. 41). Tyto zálisky se vkládají 245 mm hluboko do tvárníku formy (Obr. 42) a to představuje další omezení, se kterým je potřeba počítat. Hloubka vkládání zálisků znamená, že nebude možné použít pneumatické chapadlo a to, že jsou průchozí vylučuje použití přísavky. Závitové vložky budou do pracovního prostoru robotu dopraveny pomocí lineárního vibračního dopravníku. Výše zmíněné informace je nutné při konstrukci úchopné hlavice zohlednit. Zároveň dávají představu o tvaru a prvcích, které musí obsahovat.



Obr. 41 DM6 - hlavní rozměry



Obr. 42 Místa vložení zálisků

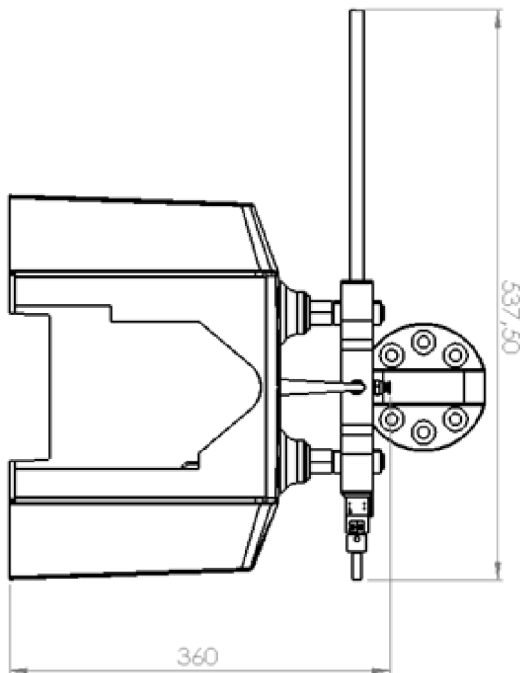
## 5 Varianty úchopné hlavice

Podle analýzy okrajových podmínek byly zpracovány dva koncepty úchopné hlavice. Zároveň se vycházelo ze zvyklostí firmy. To znamená, že pokud je to možné, efekторы a přípravky se vyrábí z plastových polotovarů v přílehlé obrobně. Z tohoto důvodu není uvažována modulová sestava. Obě varianty musí nést nezbytné úchopné prvky a potřebné příslušenství, které lze shrnout následovně.

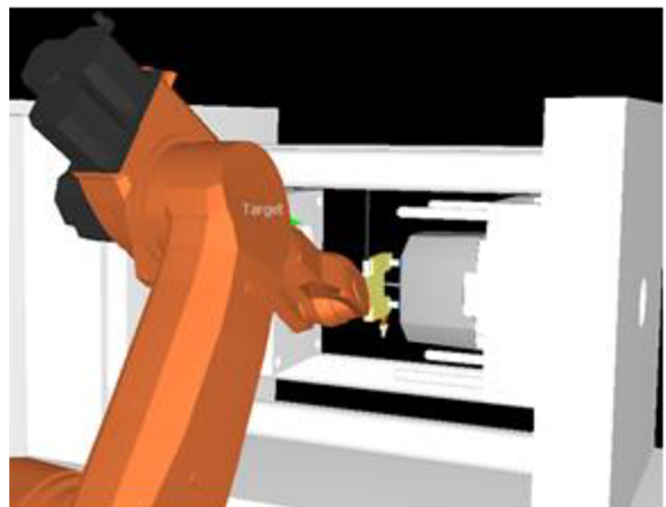
- přísavky k uchopení výlisku,
- lineární chapadlo k uchopení zálisků,
- trubice k vložení zálisků do formy.

### 5.1 Varianta A

První varianta počítá s úchopem za horní část výlisku. Úchop je realizován pomocí aktivních podtlakových přísavek, které je nutné v závislosti na zatížení vhodně dimenzovat na základě výpočtu úchopné síly. Přísavky mohou být nízké díky téměř rovnému povrchu. Koncept předběžně počítá se dvěma přísavkami. Jejich počet bude možné navýšit.



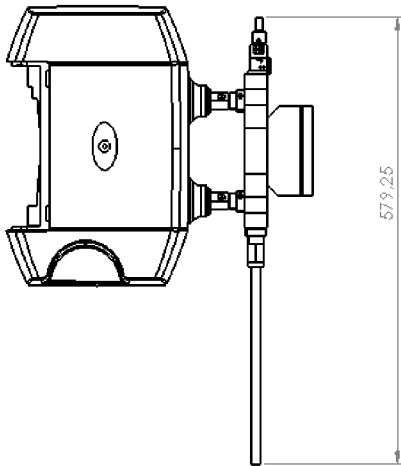
Obr. 44 Varianta A – hlavní rozměry



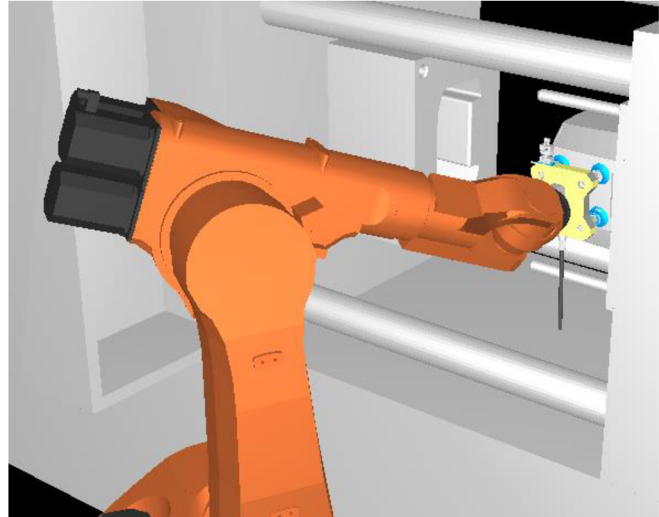
Obr. 43 Varianta A

## 5.2 Varianta B

Druhá varianta počítá s úchopem za čelní část výlisku rovněž pomocí aktivních podtlakových přísavek. Varianta předběžně počítá se čtyřmi hlubšími přísavkami kvůli mírně zaoblenému povrchu.



Obr. 45 Varianta B – hlavní rozměry



Obr. 46 Varianta B - připojení k robotu

## 5.3 Volba varianty

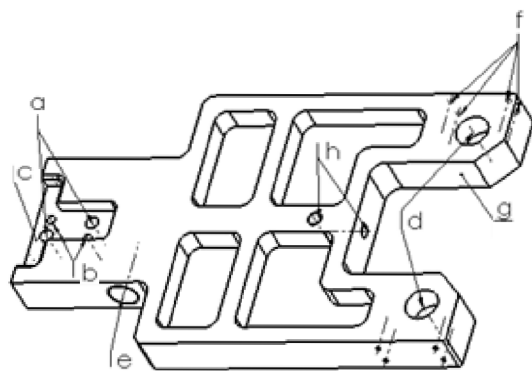
Pro výrobu úchopné hlavice byla zvolena varianta A. Hlavní důvod této volby je způsob uchopení kterou varianta nabízí. Uchopení a následné překonání třecí síly mezi výliskem a formou je realizováno pomocí teoretické úchopné síly přísavky a nehrozí při něm posunutí výlisku. Při uchopení za čelní část výlisku, se kterou počítá varianta B (Obr. 46), by mohlo dojít k posunutí na přísavkách a tím pádem k chybnému uložení do aretačního přípravku. Tento problém by vyřešil mechanický doraz, který by však zvýšil hmotnost, rozměry a náklady efektoru. Další problém by mohl vzniknout při frézování vtoku, při kterém robot výlisek drží. Varianta B by pravděpodobně potřebovala dodatečný přípravek, aby nedošlo k uvolnění výlisku vlivem sil vznikajících při vrtání. Při uchopení za horní část výlisku uvolnění nehrozí. Volba počtu a velikosti přísavek je provedena na základě výpočtu níže (Kap. 6.2).

## 6 Úchopná hlavice

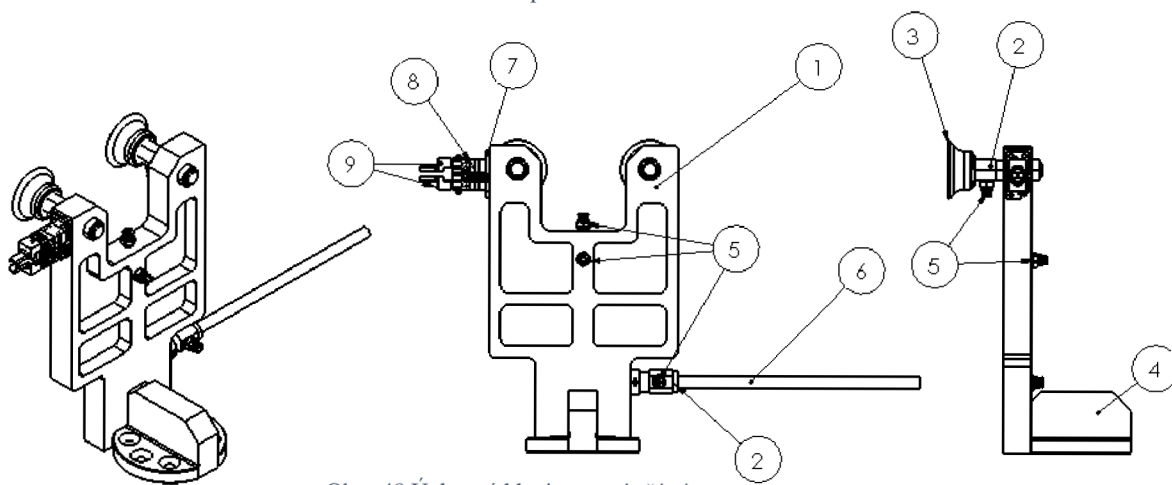
Základ konstrukce rámu hlavice vychází z prostorového omezení ve formě. Jedná se o plastový polotovár obrobený frézováním, který bude vyroben ve dvou krocích. V prvním kroku bude vyroben bez odlehčení aby bylo možné přidat přísavky v případě, že jejich síla nebude dostačující pro překonání třecí síly mezi formou a výliskem. Velikost této síly není předem jednoduché určit a zohlednit ve výpočtu. Poté budou obrobena odlehčující kapsy.

### 6.1 Konstrukce rámu úchopné hlavice

Rám hlavice (Obr. 47), který nese potřebné úchopné prvky (Tab. 3) je vyroben z polotovarů materiálu POM. Připojení k robotu je realizováno pomocí příruby, která je s rámem sešroubována dvojicí šroubů se zápusťnou hlavou M10 (a). Vycentrování zajišťují dva kolíky, pro které jsou vyvrtány průchozí díry (b) a tvarová kapsa, do které příruba zapadne (c). Rám hlavice je dále opatřen dvěma průchozími dírami (d) pro instalaci výškových kompenzátorů pro přísavky Festo a jednou závitovou dírou M22 pro kompenzátor pro trubici na záhlisky (e), která je umístěna na boku hlavice. Vzdálenost přísavky od příruby je zvolena tak, aby příruba při vyjímání výlisku nezasahovala do prostoru formy. To by mělo za následek nárůst rozměru celé sestavy na 480 mm. Na druhém boku jsou vyvrtány závitové díry M3 (f) pro platformu, které slouží k upevnění pneumatického chapadla značky Schunk, prostřednictvím kterého budou nachystány záhlisky před lis. Uchopení výlisku je provedeno tak, aby těžiště leželo přibližně v ose mezi přísavkami. Aby nedošlo k zakrytí vtoku při uchopení je v přední části rámu obrobena průchozí obdelníkové vybrání (g). To umožňuje následné zafrézování vtoku. Poslední prvek je průchozí díra (h) pro připojení zdroje proudícího vzduchu, která ústí na čele zmíněného vybrání a zajišťuje se jí ofuk pracovní plochy a výlisku před odebráním z přípravku po vrtání.



Obr. 47 Rám úchopné hlavice - obrábění



Obr. 48 Úchopná hlavice - popis částí

Tab. 3 Prvky hlavice

Číslo položky	Název	Počet ks
1	Rám úchopné hlavice	1
2	Výškový kompenzátor	3
3	Přísavka Festo	2
4	Příruba	1
5	Vzduchová rychlospojka Festo	5
6	Vakuová trubice	1
7	Platforma – chapadla	1
8	Pneumatické chapadlo Schunk	1
9	Úchopný prvek DM6	2

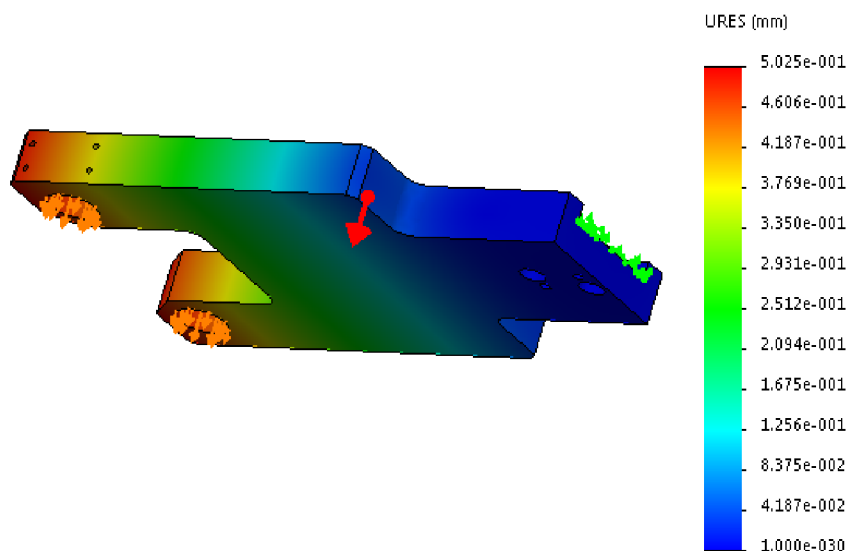
## 6.2 Pevnost rámu hlavice

Ve firmě Lpm se obvykle vyrábějí úchopné hlavice menších rozměrů o tloušťce 20 mm, obrobene frézku, ze stejného materiálu jako navrhovaný rám. Tyto hlavice jsou standardně dostatečně tuhé, nicméně kvůli větším rozměrům a plánovanému odlehčení byla zpracována stručná statická analýza. Pro analýzu byly použity mechanické vlastnosti (Tab. 4) materiálu POM z programu Solidworks doplněné o mez pevnosti ze skript [13]. Uchycení je realizováno odebráním všech stupňů volnosti prostřednictvím upnutí plochy, která je v kontaktu s přírubou robotu. Zatížení úchopné hlavice od výlisku a dalších prvků je cca 25 N. Při zohlednění zrychlení při stoupaní nad formu (Kap. 6.3.2) je výsledná hodnota zatížení na jeho konci cca 40 N. K tomu je model zatížen gravitační silou. POM je viskoelastický materiál [14], ale díky nízkému zatížení je k analýze přistoupeno jako k ideálně pružnému materiálu.

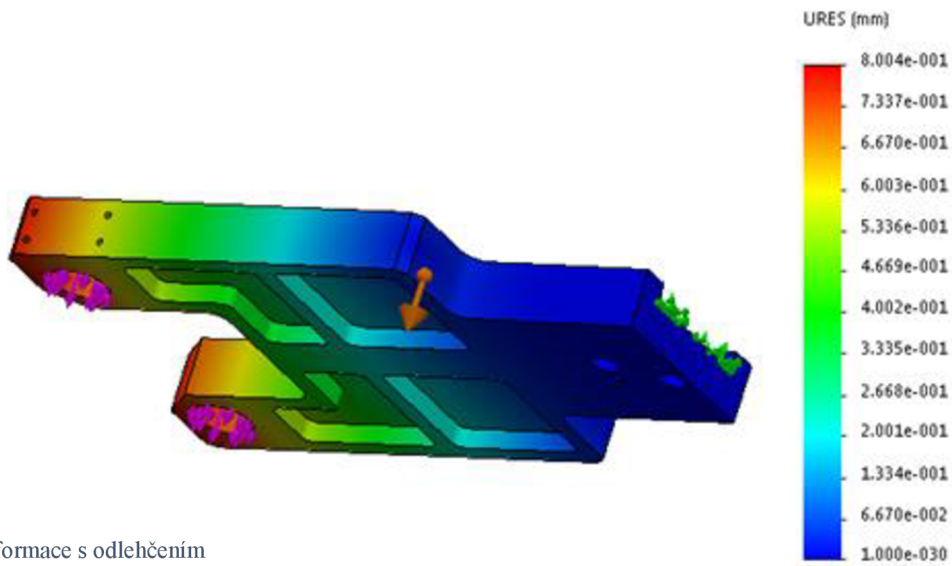
Tab. 4 Mechanické vlastnosti POM

Vlastnost	Hodnota	Jednotky
Modul pružnosti	2600	MPa
Poissonův poměr	0.3859	-
Modul pružnosti ve smyku	933	MPa
Hustota	1390	kg/m <sup>3</sup>
Pevnost v tahu	71,5	MPa
Mez kluzu	65	MPa

### Deformace

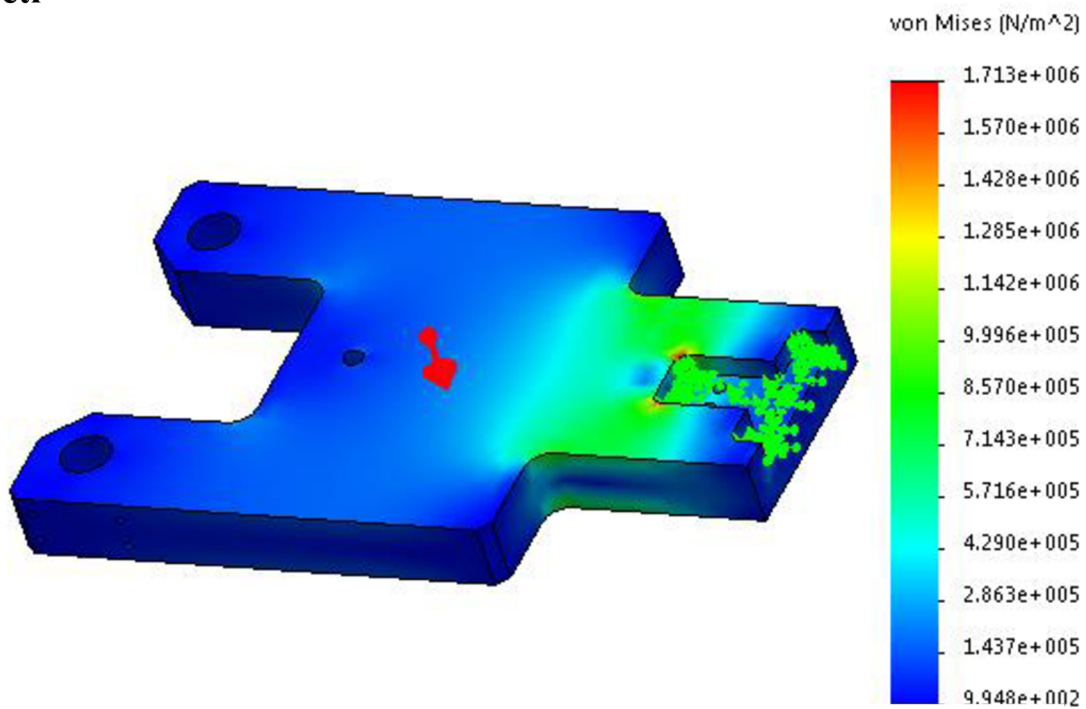


Obr. 49 Deformace-bez odlehčení



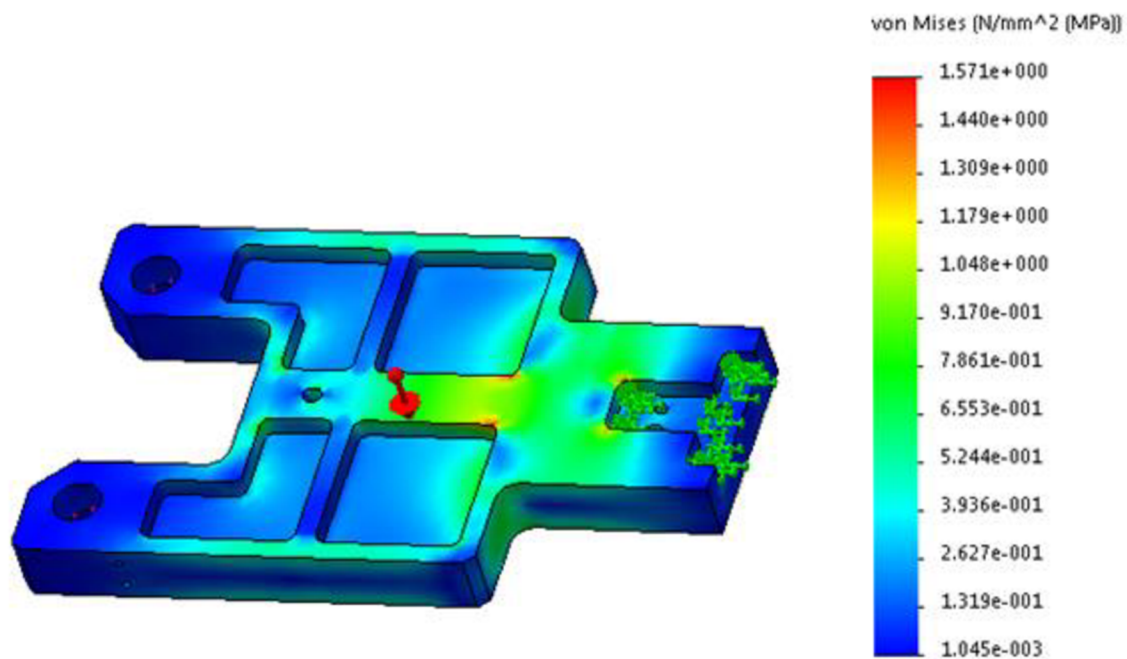
Obr. 50 Deformace s odlehčením

## Napětí



Obr. 51 Velikost napětí bez odlehčení





Obr. 52 Velikost napětí s odlehčením

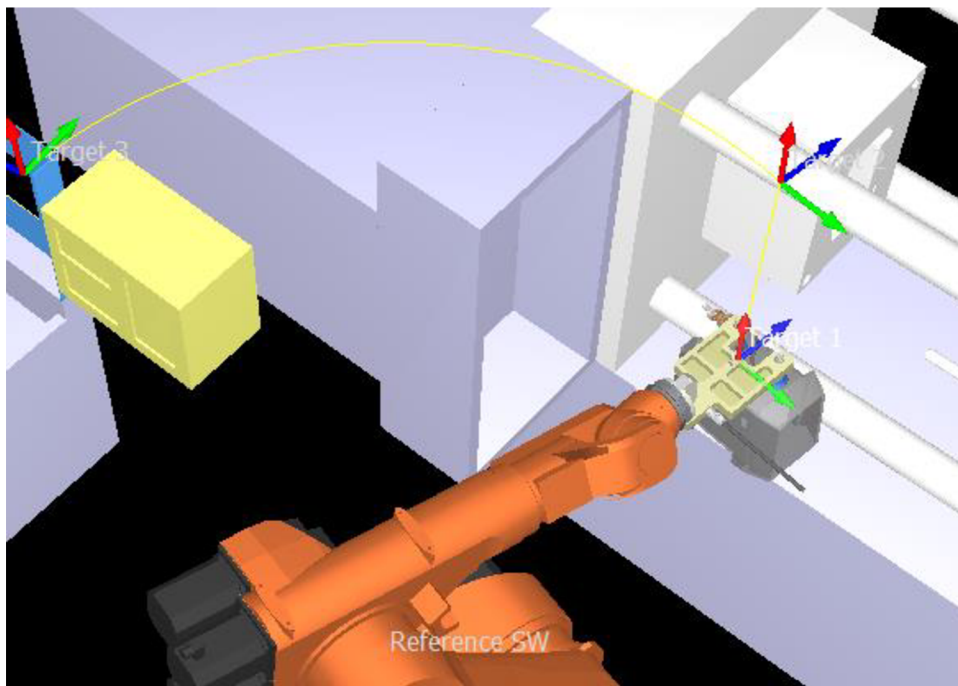
Maximální hodnota napětí při zvoleném zatížení je 1,7 MPa přičemž mez pevnosti zvoleného polymeru je 65 MPa [15]. Aby jí bylo dosaženo muselo by zatížení dosahovat 800 N. S odlehčujícími kapsami velikost napětí klesne na 1,6 MPa. Maximální deformace naroste po přidání odlehčení z 0,5 mm na 0,8 mm což nepředstavuje problém.

## 6.3 Přísavky

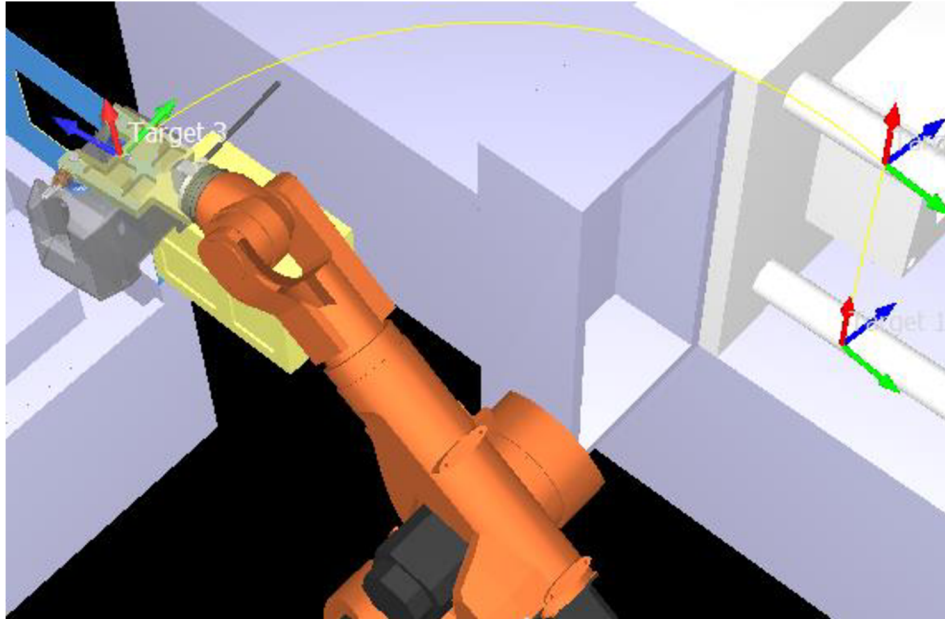
Zvolená varianta úchopné hlavice počítá s dvojicí přísavek. Jejich velikost a případné navýšení počtu se určí pomocí výpočtu působících sil.

### 6.3.1 Dimenzování přísavek

Nejnáročnější část manipulační úlohy z hlediska působících sil, je část od vyjmutí výlisku z lisu po přejetí ke stolu frézky kde je výlisek odložen. V této části jsou použity vysoké rychlosti, kvůli minimalizaci času potřebného ke vložení zálisků do formy. Dimenzace přísavek je provedena pro pohyb, který začíná před lisem po vyjmutí výlisku a skládá z lineárního odjezdu ze startovní pozice před lisem (Obr. 54) nad jeho úroveň a následného otočení kolem osy A1 na poloměru 1 m o  $105^\circ$  před frézku (Obr. 55). Vzhledem ke složitosti pohybové úlohy je zvolen vyšší koeficient bezpečnosti. Výpočet je proveden podle [5].



Obr. 54 Pohyb robotu – startovní pozice



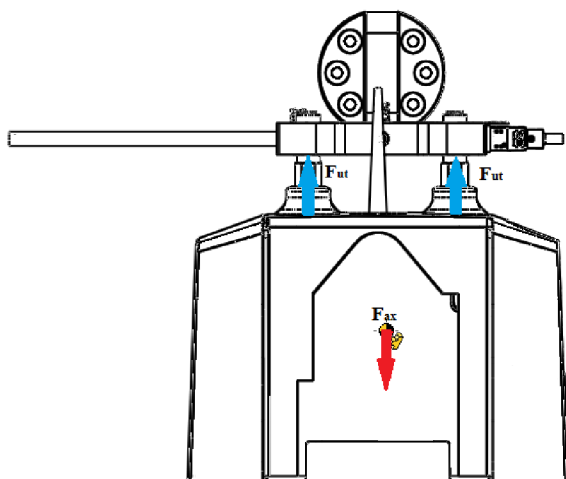
Obr. 55 Pohyb robotu – cílová pozice

### 6.3.2 Trajektorie pohybu

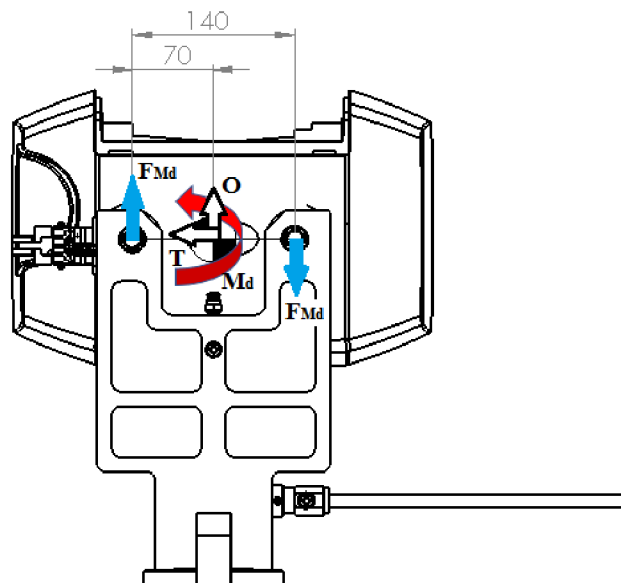
Robot zahajuje lineární pohyb v ose Z rychlostí 1,5 m/s se zrychlením 40 % z maximální hodnoty 10 m/s<sup>2</sup>. Po tomto pohybu následuje otočení kolem osy A1 rychlostí 60 % z maximální hodnoty 140 °/s se zrychlením 40 % z maximální hodnoty 1000 °/s<sup>2</sup>. Maximální hodnoty zrychlení jsou uloženy ve strojních datech robotu.

#### Vstupní hodnoty

- podtlak  $\Delta p = -0,06 \text{ MPa}$
- počet přísavek  $n = 2 \text{ ks}$
- hmotnost  $m = 1,95 \text{ kg}$
- poloměr otočení  $r = 1 \text{ m}$
- úhel otočení  $\varphi = 105^\circ$
- úhel rozběhu  $\varphi_r = 26,25^\circ$
- čas otáčivého pohybu  $t = 1,5 \text{ s}$
- koeficient bezpečnosti  $k = 3$
- koeficient tření  $\mu = 0,65 [9]$



Obr. 57 Působící síly – vertikální pohyb



Obr. 56 Působící síly – otáčivý pohyb

## Výpočet sil

Při lineárním pohybu nad lis působí na přísavky tíha vylisku dynamickou silou navýšenou o koeficient bezpečnosti (1). Při otáčení od lisu k frézce se robot rozjíždí s úhlovým zrychlením (3) a na vylisek po dosažení ustálené úhlové rychlosti (2) působí odstředivá síla (4), zrychlující síla (5) a setrvačný moment (6) Přísavky jsou podle způsobu držení vylisku staticky zatíženy radiální (8) a axiální silou (9). Činná plocha přísavek (11) je určena z potřebné úchopné síly (10), která zohledňuje kromě radiální a axiální síly také koeficient bezpečnosti a koeficient tření.

- síla - zdvih v ose Z

$$F_Z = m \cdot (g + a) \cdot k = 1,95 \cdot (9,81 + 4) \cdot 3 = 80,8 \text{ N} \quad (1)$$

- ustálená úhlová rychlost

$$\omega_u = \frac{\varphi + 2 \cdot \varphi_r}{t} = \frac{105 + 2 \cdot 26,25}{1,5} = 1,83 \text{ s}^{-1} \quad (2)$$

- úhlové zrychlení

$$\varepsilon = \frac{\omega_u^2}{2 \cdot \varphi_r} = \frac{1,83 \cdot 1,83}{2 \cdot 26,25} = 7,31 \text{ s}^{-2} \quad (3)$$

- odstředivá síla

$$O = m \cdot R \cdot \omega_u^2 = 1,95 \cdot 1,1 \cdot 1,83^2 = 6,6 \text{ N} \quad (4)$$

- zrychlující síla

$$T = m \cdot R \cdot \varepsilon = 1,95 \cdot 1,7,31 = 14,3 \text{ N} \quad (5)$$

- setrvačný moment

$$M_D = J_z \cdot \varepsilon = 0,442 \cdot 7,31 = 3,23 \text{ Nm} \quad (6)$$

- setrvačná síla

$$F_{Md} = \frac{M_d}{r} = \frac{3,23}{0,14} = 23,1 \text{ N} \quad (7)$$

- radiální síla

$$F_{rad} = \sqrt{\left(\frac{O}{n} + F_{Md}\right)^2 + \left(\frac{T}{n} + F_{Md}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{6,6}{2} + 23,1\right)^2 + \left(\frac{14,3}{2} + 23,1\right)^2} = 40,15 \text{ N} \quad (8)$$

- axiální síla

$$F_{ax} = \frac{m \cdot g}{n} = \frac{1,95 \cdot 9,81}{2} = 9,6 \text{ N} \quad (9)$$

- úchopná síla

$$F_u = k \cdot \left(F_a + \frac{F_{rad}}{\mu}\right) = 3 \cdot \left(9,6 + \frac{40,15}{0,65}\right) = 214 \text{ N} \quad (10)$$

$$F_u > F_z$$


- činná plocha přísavky

$$S_u = \frac{F_u}{\Delta p} = \frac{214}{0,06} = 3568,5 \text{ mm}^2 \quad (11)$$

- účinný průměr

$$d = \sqrt{\frac{n \cdot S_u}{\pi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3568,5}{\pi}} = 47,7 \text{ mm} \quad (12)$$

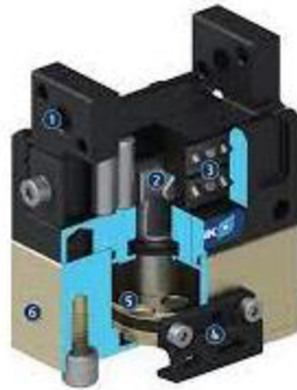
Na základě výpočtu potřebné úchopné síly (10) a účinného průměru (12) byla zvolena dvojice přísavek Festo o průměru 60 mm z polyuretanu. Přísavky jsou připojeny k rámu hlavice pomocí výškových kompenzátorů Festo z řady ESG se zdvihem 10 mm. Tyto přísavky poskytnou větší úchopnou sílu, což v případě potřeby umožní zvýšení rychlosti.

Obecné technické údaje – přísavky S/E/B/G		
tvar přísavek		Ø přísavek [mm]
		60
S – kruhové, ploché: materiál FPM, NBR, VMQ (silikon), PUR		
	připojení držáku přísavky	M10
	jmenovitá světlost [mm]	6
	přídřízná síla při jmenovitém provozním tlaku -0,7 baru [N]	166,1
	objem přísavky [cm <sup>3</sup> ]	3,953
	min. poloměr výrobku [mm]	350
	hmotnost [g]	49

Obr. 58 Parametry zvolené přísavky – Festo [20]

## 6.4 Pneumatické chapadlo Schunk MPG 25-plus

Pro odebrání zálistků z vibračního stolu bylo vybráno paralelní chapadlo Schunk MPG 25-plus (Obr. 59) a to z následujících důvodů. Chapadlo disponuje malou hmotností i konstrukčními rozměry. Zároveň se jedná o nejmenší chapadlo značky Schunk vybavené programovatelným polohovým senzorem. Ten umožní kontrolu odebrání pro více druhů zálistků. Chapadla menších řad umožňují pouze kontrolu stavu otevřené/zavřené. Celkový zdvih čelistí je 6 mm. Uzavírací síla 32 N [15] je dostačující pro všechny druhy zálistků, které se ve firmě používají. Kvůli snížení nákladů nepočítá hlavice pro chapadlo s použitím kompenzátoru polohy.



Obr. 59 Chapadla Schunk MPG 25 – řez [21]

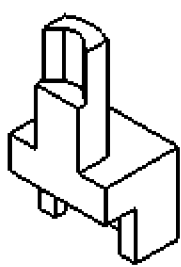
### 6.4.1 Silové zatížení

Pro dodání zálistků před lis je k dispozici dostatek času, pohyb proto může být vykonán s nízkými rychlostmi což umožňuje zanedbat dynamické síly. V případě větších sil je zpřesněný výpočet pro podobné případy uveden ve skriptech [5] v kapitole 3.3. Z orientačního výpočtu úchopné síly [5] vychází následující.

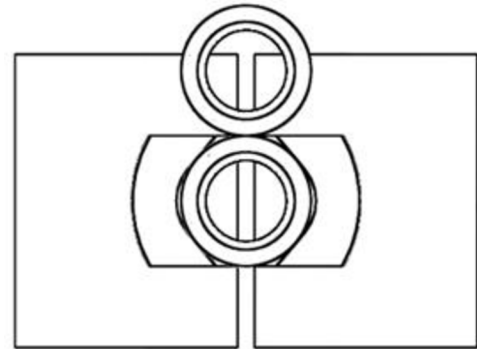
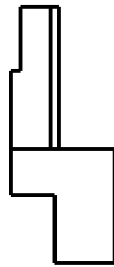
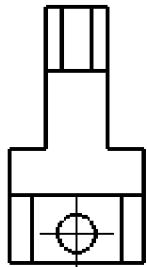
$$F_v = 3 \cdot m \cdot g = 3 \cdot 0,002 \cdot 9,81 = 0,6 \text{ N}$$

## 6.4.2 Úchopné prvky

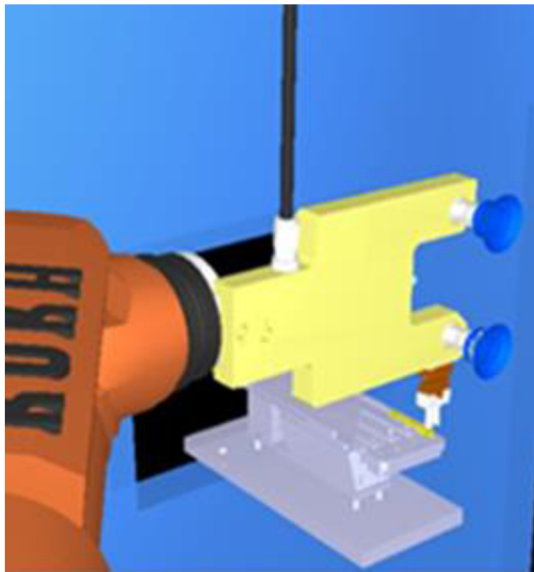
Úchopné prvky (Obr. 60) jsou konstruovány tak, aby umožnily uchopení z řady (Obr. 61) a zároveň zajistily jednoznačnou polohu, kterou zajišťuje čtyřbodový kontakt. Z možného zdvihu 6 mm chapadel je při sevření využito 3,7 mm. Vystředění úchopných prvků je dáno způsobem uchycení. Ve spodní části úchopných prvků je vyfrézována kapsa, do které zapadají čelisti se závitem M3.



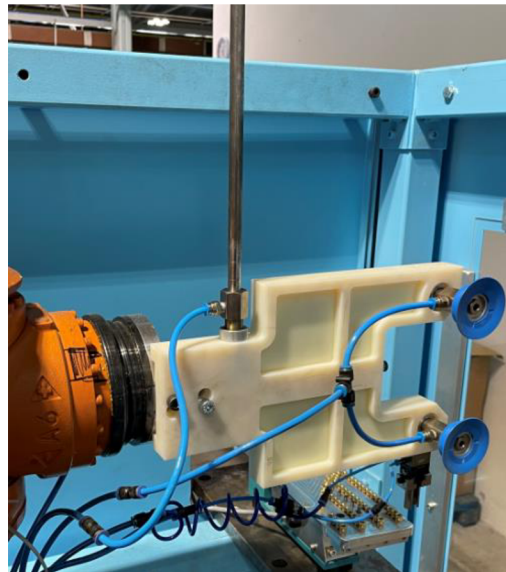
Obr. 60 DM6 úchopné prvky



Obr. 61 ÚP – odebrání z řady



Obr. 63 Odebírání zálisku ze zásobníku - RoboDK

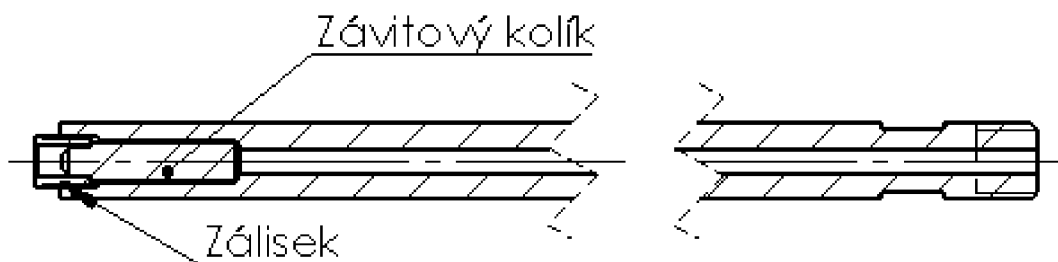


Obr. 62 Odebírání zálisku ze zásobníku - výroba



## 6.5 Trubice pro vkládání zálisků

Další součást úchopné hlavice je nástroj, prostřednictvím kterého je možné vložit průchozí zálisky do tvárníku formy 245 mm hluboko. Tento problém je řešen pomocí trubice (Obr. 64), která díky přivedenému podtlaku přisaje připravené zálisky. Konec trubice je opatřen vnitřním závitem M8, do kterého je zašroubován závitový kolík se zúženým průměrem v prvních 6 mm. Tím je vytvořena dosedací plocha pro zálisek. Do této plochy jsou po délce kolíku vyfrézovány 4 drážky o ploše přibližně  $1.25 \text{ mm}^2$ , které umožní průchod vakua. Trubice je k rámu připevněna prostřednictvím stejného výškového kompenzátoru jako přísavky pro odebrání samotného výlisku.



Obr. 64 Vakuová trubice pro zálisky

- úchopná síla

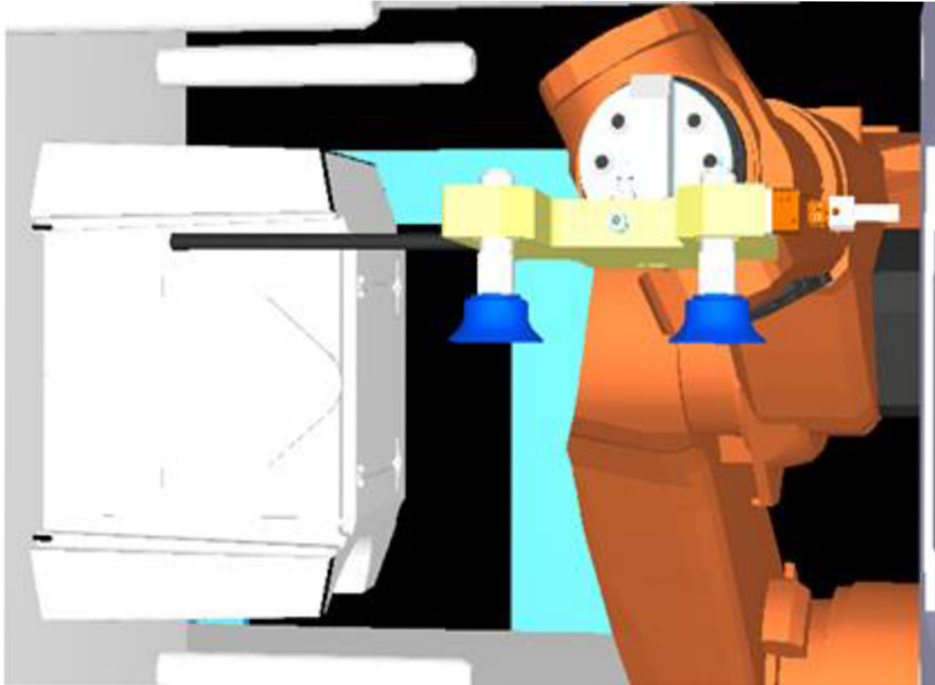
$$F_u = S \cdot \Delta p = (4 \cdot 1,25) \cdot 0,06 = 0,22 \text{ N} \quad (14)$$

- statické zatížení

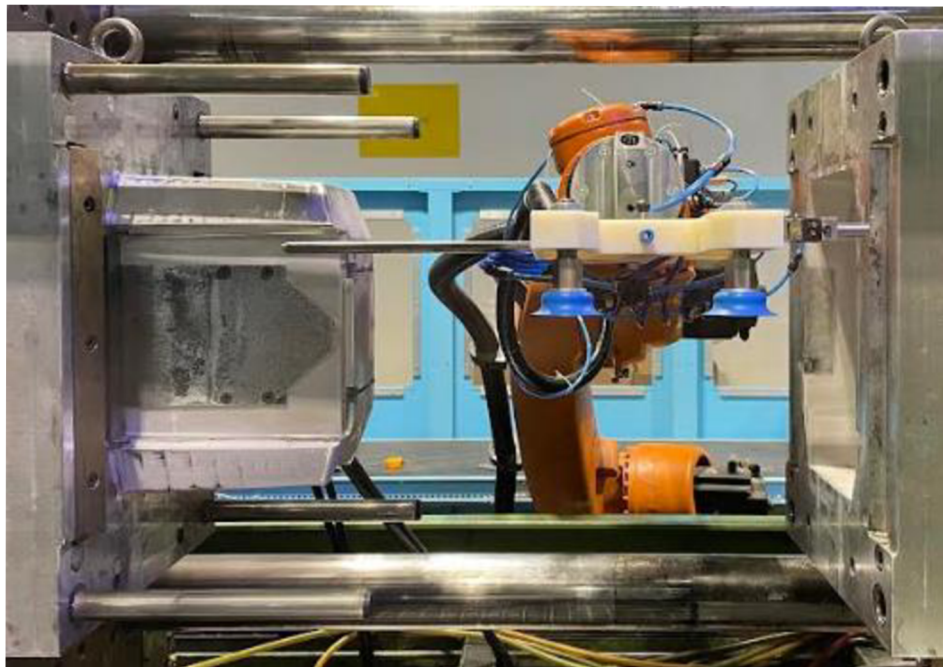
$$F = m \cdot g = 0,002 \cdot 9,81 = 0,02 \text{ N} \quad (15)$$

Teoretická úchopná (14) síla vyvozená průchozími otvory je dostatečná pro odebrání a udržení zálisku. Zároveň bylo pomocí experimentu ověřeno, že trubice udrží zálisek i při maximální odstředivé síle, kterou je robot schopen vyvinout při požadovaném pohybu. Po celou dobu je přítomnost zálisku kontrolována pomocí vakuového ejektoru Festo Ovem, jehož rozhraní umožňuje nastavení požadované hodnoty vakua a následnou kontrolu jeho dosažení. Dále je možné nastavit dobu vyfukovacího impulsu pro vložení zálisků. To probíhá ve dvou krocích. V prvním kroku dojde k nasazení zálisku na trn ve formě díky vyfukovacímu impulsu, ve druhém kroku je provedeno pojistné dotlačení pro případ neúplného nasazení zálisku.

To by mělo za následek zastříknutí závitu a tím pádem výrobu kazového kusu. Tento způsob vkládání byl v Lpm v minulosti pro podobné případy úspěšně využíván.



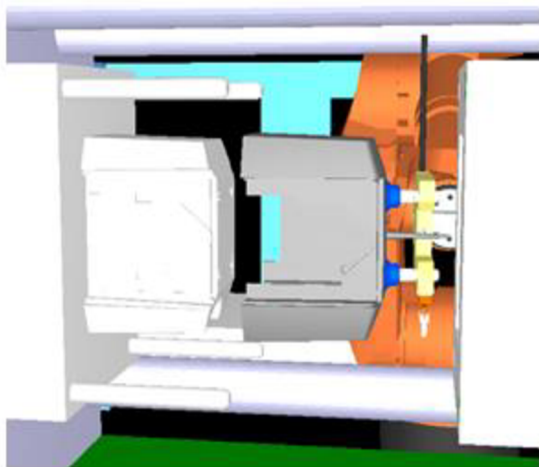
Obr. 65 Vkládání zálišků do dutiny formy - RoboDK



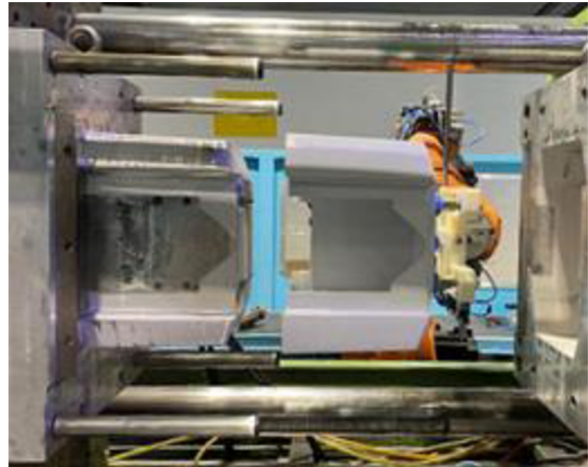
Obr. 66 Vkládání zálišků do dutiny formy - výroba

## 6.6 Vyjmutí vylisku

Jedná se o první krok manipulační úlohy robotu a poslední krok cyklu, který vykonává robot. Po úspěšném překonání tření mezi formou a vyliskem je jediný problém prostorové omezení. Celkový rozměr sestavy úchopné hlavice a vylisku je 360 mm, k dispozici je tedy dostatek prostoru pro vyjmutí z formy.



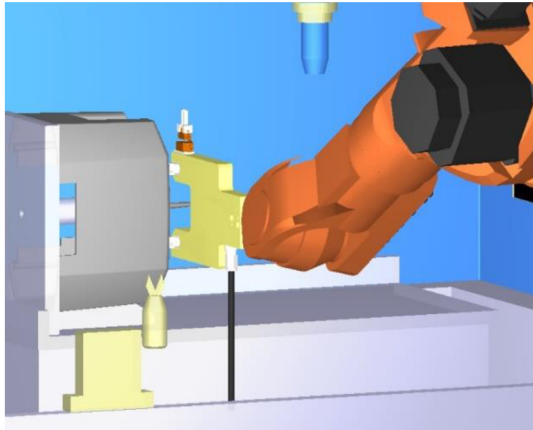
Obr. 68 Uchopení vylisku - RoboDK



Obr. 67 Uchopení vylisku - výroba

## 6.7 Obrábění vylisku

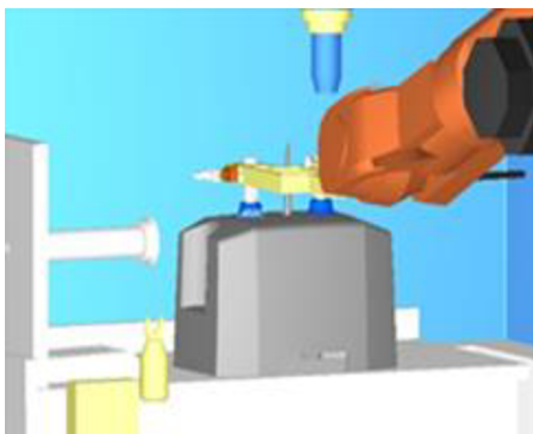
V pracovním prostoru dochází nejprve k odložení vylisku do aretačního přípravku (Obr. 69), aby bylo možné vložit zálistky do formy a po zahájení lisování zde dochází k vrtání díry a zafrézování vtoku. Tento fakt ovlivnil pozici vakuové trubice na rámu. Ta je umístěna tak, aby při odkládání do přípravku mířila směrem dolů kde je volný prostor a při přejezdu k odstranění vtoku mířila směrem od přípravku, a tím se minimalizovalo nebezpečí kolize s přípravkem. Při vrtání je vylisek odložen a probíhá bez přidržení díky použité přísavce. Odstranění vtoku probíhá za přidržení robotem (Obr. 71). Aretační přípravek bylo potřeba zkonstruovat a vyrobit nad rámec zadání této práce, aby bylo možné celý proces zautomatizovat.



Obr. 70 Vložení do aretačního přípravku - RoboDK



Obr. 69 Vložení do aretačního přípravku – výroba



Obr. 72 Zafrezování vtoku - RoboDK



Obr. 71 Zafrezování vtoku - výroba

## 7 Technicko-ekonomická analýza

### 7.1 Technický analýza

Tato kapitola je zaměřena na zhodnocení technické úspěšnosti. Hodnocení je provedeno na základě průběhu tří zakázek, které byly během roku 2021 pomocí popsaného efektoru vyrobeny. Jedná se o posouzení provedení všech úkonů, které robot vykonává. Důležitá je úspěšnost nachystání a vložení zálistků. Pokud je zálistek vložen špatně je oprava výlisku prakticky vyloučena. Stejně je to i v případě založení výlisku do přípravku. Pokud není výlisek vložen přesně vyvrtaná díra není v požadované pozici a oprava je rovněž nemožná. Další důležitý aspekt je časová náročnost výroby jednoho kusu. Analýzy jsou provedeny pro objem zakázky 4000 ks.

#### 7.1.1 Zálisky

Proces vkládání zálistků je rozdělen do dvou kroků. V prvním kroku dojde k jejich nachystání na přípravnou desku před lis během chlazení a ve druhém k jejich vložení do formy. První krok byl od první zakázky bez problému. Samotné vkládání do formy provázeli komplikace a během rozjezdu výroby byla úspěšnost vložení cca 90 %. To bylo způsobeno proměnným průměrem zálistků, který byl v určitých případech menší než trny ve formě. Po odhalení příčiny a vyřídění vadných zálistků se zmetkovitost z důvodu špatně vloženého zálistku pohybovala v řádech desetin procent.

#### 7.1.2 Obrábění

Pozice vyvrtané díry se odvíjí od správného založení výlisku do aretačního přípravku. Ta je zajištěna pomocí aretačních prvků, kterými je opatřen rám hlavice i přípravek. Během vrtání je výlisek držen plochou přísavkou Festo o průměru 80 mm. Díky vakuu je umožněna kontrola přítomnosti výlisku v pozici. Tyto prvky zajistily, že správnost pozice vrtané díry byla při provedených zakázkách 100%. Odstranění vtoku pro následné broušení probíhalo také bez problémů.

### 7.1.3 Čas výroby

Pro výrobu s obsluhou je stanovena norma 62 kusů za směnu v délce 7,5 h. Rozdíl ve výrobě pomocí robotu je v časech vyjmutí vylisku a vložení zálišků. Tyto operace robot zvládne během 75s. Celkový čas cyklu vstřikování je 351s., celkem tedy 426s. Časová úspora plyne z nepřetržitého provozu. Robot tedy vyrobí za den 203 kusů, zatímco fyzická obsluha 186 kusů.

### 7.1.4 Časová úspora

- výroba zakázky 4000 kusů s přídavkem 50 kusů - obsluha

$$OB = \frac{\text{Počet vyráběných v zakázce}}{\text{Počet kusů vyrobených za den}} = \frac{4050}{186} = 21,8 \text{ dne} \quad (16)$$

- výroba zakázky 4000 kusů s přídavkem 50 kusů - robot

$$PR = \frac{\text{Počet vyráběných v zakázce}}{\text{Počet kusů vyrobených za den}} = \frac{4050}{203} = 20 \text{ dní} \quad (17)$$

Při nahrazení obsluhy robotem činí časová úspora v ideálním případě téměř 2 dny. Ve výpočtu nejsou zahrnuty proměnné časové položky jako například prostoje, které plynou z nenávaznosti směny při lisování s obsluhou nebo prostoje, které mohou vzniknout pokud dojdou zálišky na vibračním dopravníku a robot nemůže pokračovat v programu.

## 7.2 Ekonomická analýza

V následující ekonomické analýze není zohledněna pořizovací cena robotického pracoviště ze dvou důvodů. První důvod je, že pracoviště u zmíněného lisu bylo k dispozici a druhý důvod je, že se zde pomocí robotu vyrábí značné množství jiných výlisků a výsledky by tak byly zavádějící. V tabulce níže jsou vypsány investice, které bylo třeba vynaložit na automatizaci popsaného procesu.

### 7.2.1 Pořizovací náklady

Tab. 5 Pořizovací náklady

Název položky	Počet ks	Cena
Koncový efektor + aretační přípravek	1	8500,-
Chapadla Schunk MPG-25	1	9400,-
Výškový kompenzátor Festo	3	2800,-
Přísavka Festo Ø 60 mm	2	440,-
Vakuová trubice + úchopné prvky	1	2000,-
Vakuový ventil Festo	1	14500,-
Ventil na ofuk Festo	1	2700,-
Přísavka Festo Ø80 mm	1	450,-
Lineární vibrační dopravník	1	11200,-
Tvorba programu	1 (8 hod.)	3000,-
Celkem	-	54990,-

## 7.2.2 Náklady na výrobu s obsluhou

Tab. 6 Náklady na obsluhu

Název položky	Cena – ranní směna	Cena – odpolední směna	Cena – noční směna
Průměrná hrubá mzda (162,8*140)	22800,-	23940,-	27360,-
Zdravotní pojištění (9%)	2056,-	2154,-	2463,-
Sociální pojištění (25%)	5016,-	5985,-	6840,-
Celkem	29872,-	32079,-	36663,-
Průměrné hodinové náklady na pracovníka	183,5,-	197,05,-	225,2,-
Náklady na směnu	1377,-	1448,-	1689,-
Celkem na pracovní den		4474,-	

## 7.2.3 Výpočet návratnosti

Výpočet návratnosti je proveden základním dělením pořizovacích nákladů, náklady na pracovní den s obsluhou (Tab. 6).

- návratnost v řádech dnů

$$x = \frac{\textit{náklady na automatizovanou výrobu}}{\textit{náklady na pracovní den s obsluhou}} = \frac{54990}{4474} = 12,3 \quad (18)$$

- návratnost během zakázky

$$y = \frac{\textit{návratnost (x)}}{\textit{počet dní výroby(robot)}} = \frac{12,3}{21,8} = 0,564 \quad (19)$$



#### **7.2.4 Zhodnocení návratnosti**

Jak plyne z výpočtu (19) dojde k návratnosti investice již během výroby první zakázky a to lehce za její polovinou. Objem investic je v porovnání s investicemi, které by bylo potřeba vynaložit v případě zřízení nového robotického pracoviště relativně malý. Již během první zakázky firma ušetří nahrazením obsluhy přibližně 42 500,- a s každou další zakázkou o objemu 4000 ks potom 97 500,-

## Závěr

Rešeršní část této práce byla věnována koncovým efektorům průmyslových robotů. Nejprve byly obecně popsány druhy efektorů, poté se práce detailněji věnuje koncovým efektorům používaným pro vstřikování plastů a základním způsobům uchopení ať už plastových výlisků nebo předmětů potřebných pro úspěšnou výrobu výlisku. Na závěr této části bylo vyobrazeno využití nejpoužívanějších typů robotů pro vstřikování plastů s popisem využitého efektoru.

V praktické části byly popsány okrajové podmínky, na základě kterých byla vybrána vhodná konstrukce efektoru – úchopné hlavice. Ten je dále podrobně popsán včetně všech prvků, které obsahuje. Detailně byli popsány činnosti, které robot prostřednictvím hlavice vykonává od vyjmutí a odložení výlisku, vložení přichystaných závitových zálisků přes obrábění až po opětovné chystání zálisků. Závěr praktické části je věnován technicko - ekonomické analýze. V technické analýze byla shrnuta úspěšnost dílčích činností, které ovlivňují úspěšné vyrobení každého kusu. Ekonomická analýza byla zaměřená na návratnost investice a celkovou výhodnost navrhovaného řešení v porovnání s předchozím stavem.

Hlavní přínos této práce pramení z úspěšného nasazení navrhovaného hlavice ve výrobě díky kterému bylo možné zautomatizovat proces výroby popsaného výlisku. V konečném důsledku to znamená snížení výrobního času, nákladů, zmetkovitosti a předejití případnému personálnímu nedostatku.

## Seznam obrázků

Obr. 2 Ukázka úchopné hlavice [1].....	12
Obr. 1 Ukázka úchopné hlavice [2].....	12
Obr. 3 Technologická hlavice - broušení [3].....	13
Obr. 4 Technologická hlavice - svařování [4].....	13
Obr. 5 Modulové efektory [5].....	15
Obr. 7 Efektor – 3D tiks[6].....	15
Obr. 6 Efektor - kovový výpalek.....	15
Obr. 8 Proces odebrání pomocí přísavky [7].....	17
Obr. 9 Úchop - vertikální rovina [25].....	18
Obr. 10 Úchop – horizontální rovina [25].....	18
Obr. 12 Kloubové kompenzátory [8].....	18
Obr. 11 Výškový kompenzátor [8].....	18
Obr. 13 Spotřeba energie v závislosti na velikosti vakua [8].....	19
Obr. 14 Ejektor Festo [9].....	19
Obr. 15 Odebrání vylisku pomocí měchových chapadel [24].....	20
Obr. 16 Pneumatické úpinky [24].....	20
Obr. 17 Úhlové chapadlo Paralelní chapadlo – vnější, vnitřní úchop [10].....	20
Obr. 18 Možné tvary úchopných prvků [25].....	21
Obr. 19 Ukázka systému ochrany proti kolizi [11].....	21
Obr. 20 Charakteristika úchopné síly v závislosti na délce úchopných prvků [12].....	22
Obr. 21 Odebírání zálisků ze zásobníku [13].....	23
Obr. 22 Vkládání do formy [13].....	23
Obr. 23 Robotické pracoviště – Dentec [14].....	24
Obr. 25 Odebírání zálisků - Dentec [14].....	24
Obr. 24 Úchopná hlavice – Dentec [14].....	24
Obr. 26 Robotické pracoviště – SONO-tek [15].....	25
Obr. 27 Nástřik separačního prostředku [15].....	25
Obr. 28 Robotické pracoviště Summitomo Demag [9].....	26
Obr. 29 Úchopná hlavice - Sono-Tek [15].....	26
Obr. 30 Robotické pracoviště – Suprak [16].....	27
Obr. 31 Vkládání konektorů do formy [16].....	27
Obr. 32 Příprava částí k zalisování – Pts [17].....	28
Obr. 33 Finální použití vylisku [18].....	28

Obr. 34 Hotový výlisek .....	29
Obr. 36 Potenciální místo uchopení – boční část .....	30
Obr. 35 Potenciální místo uchopení - horní část .....	30
Obr. 37 Výlisek - hlavní rozměry, poloha těžiště.....	30
Obr. 38 Přípravná deska .....	31
Obr. 39 Schéma robotického pracoviště – Lpm [19].....	32
Obr. 40 Forma 1369 – maximální otevření .....	33
Obr. 41 DM6 - hlavní rozměry.....	34
Obr. 43 Místa vložení zálsků.....	34
Obr. 45 Varianta A – připojení k robotu .....	35
Obr. 44 Varianta A – hlavní rozměry .....	35
Obr. 46 Varianta B – hlavní rozměry .....	36
Obr. 47 Varianta B - připojení k robotu .....	36
Obr. 48 Rám efektoru - obrábění.....	38
Obr. 49 Koncový efektor -popis částí.....	38
Obr. 50 Deformace-bez odlehčení.....	40
Obr. 51 Deformace s odlehčením .....	40
Obr. 52 Velikost napětí bez odlehčení .....	40
Obr. 53 Velikost napětí s odlehčením .....	41
Obr. 54 Deformace s odlehčením .....	41
Obr. 55 Pohyb robotu – startovní pozice.....	42
Obr. 56 Pohyb robotu – cílové pozice .....	43
Obr. 57 Působící síly - statické.....	44
Obr. 58 Působící síly - dynamické .....	44
Obr. 59 Parametry zvolené přísavky – Festo [20] .....	46
Obr. 60 Chapadla Schunk MPG 25 – řez [21].....	47
Obr. 62 DM6 Chapadla - odebírání zálsku z řady.....	48
Obr. 61 ÚP pro zálsky .....	48
Obr. 64 Odebírání zálsku ze zásobníku - výroba .....	48
Obr. 63 Odebírání zálsku ze zásobníku - RoboDK.....	48
Obr. 65 Vakuová trubice pro zálsky.....	49
Obr. 66 Vkládání zálsků do dutiny formy - RoboDK .....	50
Obr. 67 Vkládání zálsků do dutiny formy - výroba.....	50
Obr. 68 Uchopení výlsku - RoboDK.....	51
Obr. 69 Uchopení výlsku - výroba .....	51
Obr. 71 Vložení do aretačního přípravku - výroba.....	52
Obr. 70 Vložení do aretačního přípravku – RoboDK.....	52

Obr. 72 Zafrézování vtoku - RoboDK.....	52
Obr. 73 Zafrézování vtoku - výroba.....	52

## Seznam tabulek

Tab. 1 Použitý materiál - vlastnosti.....	16
Tab. 2 Fyzikální vlastnosti vylisku.....	31
Tab. 3 Prvky hlavice.....	38
Tab. 4 Mechanické vlastnosti POM .....	39
Tab. 5 Pořizovací náklady .....	55
Tab. 6 Náklady na obsluhu.....	56

## Seznam příloh

### Výkresová dokumentace

Příloha 1 - 2-BP-S18000320-1-01-00	Koncový efektor – sestava
Příloha 2 - 2-BP-S18000320-1-02-00	Koncový efektor – montáž
Příloha 3 - 3-BP-S18000320-1-01-01	Rám efektoru
Příloha 4 - 2-BP-S18000320-1-01-02	Platforma – chapadlo
Příloha 5 - 4-BP-S18000320-1-01-05	Trubice – zálisky
Příloha 6 - 4-BP-S18000320-1-01-06	Trubice – střed
Příloha 7 - 3-BP-S18000320-1-01-08	Příruba
Příloha 8 - 4-BP-S18000320-1-01-10	Úchopný prvek – DM6

### CD

- Video – průběh odebrání vylisku + vkládání zálisků do formy
- Video – odebrání zálisků ze zásobníku
- Video – odebrání zálisků z přípravné desky

## Seznam zdrojů

- [1] HOTAŘ, V., 2020. *Efektory a periferní zařízení robotů* [online]. Dostupné z: <http://www.ksr.tul.cz/ksr/podklady/ARS-7.Efektory-2020.pdf>
- [2] NOVOTNÝ, F., HOTAŘ, V., HORÁK, M., STARÁ, M., STARÝ, M., 2020. *Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství* [online]. Dostupné z: <https://publi.cz/download/publication/1275?online=1&lang=en/>
- [3] COVAL VACUUM TECHNOLOGY, (Nedatováno). *Vacuum handling phases* [online]. Dostupné z: <https://www.coval-inc.com/vacuum-technology/vacuum-handling-guide/suction-pad-operating-mode/>
- [4] VAKUUM technik, s.r.o., (Nedatováno). *Přísavky PIAB* [online]. Dostupné z: <https://www.vakuumtechnik.cz/download/piab/prisavky.pdf>
- [5] NOVOTNÝ, F., Horák, M. 2015. *Efektory průmyslových robotů*  
Liberec: Technická univerzita v Liberci. ISBN 978-80-7494-195-5
- [6] Festo s. r. o., 2008. *Vacuum generators for all applications* [online]. Dostupné z: [https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/17541/Poster\\_VacuumTechnology\\_en.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/17541/Poster_VacuumTechnology_en.pdf)
- [7] ATI industrial automatization, (Nedatováno). *Robotic collision sensors* [online]. Dostupné z: [https://www.atia.com/products/collision\\_sensor/collision\\_sensor\\_description.aspx/](https://www.atia.com/products/collision_sensor/collision_sensor_description.aspx/)
- [8] Dentec Sp. z o.o., (Nedatováno). *Overmoulding* [online]. Dostupné z: <https://dentec.pl/en/automation/overmoulding/>
- [9] Sono – Tek, (Nedatováno) *Injection mold release agent coating system* [online]. Dostupné z: <https://www.sono-tek.com/industry/glass-industrial/injection-mold-release/>

- [10] Sumitomo-shi-demag, 2018. *Mould open time 1s – Robot automation for best productivity* [online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ESNJ2gLOh7I>
- [11] Suprak technologies, 2021. *Scara robot with vision system for insert loading of pin terminals in automotive industries* [online]. Dostupné z: <https://supraktechnologies.com/robotic-automation/#elementor-action%3Aaction%3Dpopup%3Aopen%26settings%3DeyJpZCI6IjE1ODMiLCJ0b2dnbGUiOmZhbHNlfQ%3D%3D/>
- [12] Fanuc Czech s. r. o., 2021 *Automated plastic mold injection machine tending* [online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=yX5tHktQswY&t=9s>
- [13] Běhálek, L., 2016 *Polymery* [online] Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/09.html>
- [14] Žaneta B., (nedatováno) *Polymery* [online]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2876601/>
- [15] Schunk GmbH, (nedatováno) *Gripper for small components MPG -plus 25* [online]. Dostupné z: <https://schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0005463.PDF>

## Zdroje obrázků

- [1] <https://www.pisco.co.jp/en/product/r/r04/>
- [2] <https://www.robots.com/articles/standard-vs-customized-end-of-arm-tooling>
- [3] <https://www.ferrobotics.com/en/news/what-is-an-end-effector-and-or-end-of-arm-tool-eoat/>
- [4] <https://www.automate.org/blogs/eoat-in-robots-a-basic-overview>
- [5] <https://www.gimatic.com/cs/eoat-competence/>
- [6] <https://www.emicorp.com/products/75/Laser-Cut-Plate-EOAT/>
- [7] <https://www.coval-inc.com/vacuum-technology/vacuum-handling-guide/suction-pad-operating-mode/>
- [8] [https://www.vakuumtechnik.cz/download/piab/vakuum\\_pro\\_automatizaci\\_CZ.pdf](https://www.vakuumtechnik.cz/download/piab/vakuum_pro_automatizaci_CZ.pdf)
- [9] <https://www.festo.com/cz/cs/a/539998/?q=539998~:festoSortOrderScored>
- [10] <https://www.omega.co.uk/prodinfo/grippers.html>
- [11] <https://rad-ra.com/rad-home/collision-sensors/ultimatic-pneumatic-collision-sensors/>
- [12] <https://schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0007051.PDF>
- [13] vkládání do form
- [14] <https://dentec.pl/en/automation/overmoulding>
- [15] <https://www.sono-tek.com/industry/glass-industrial/injection-mold-release>



- [16] <https://supraktechnologies.com/robotic-automation/#elementor-action%3Aaction%3Dpopup%3Aopen%26settings%3DeyJpZCI6IjE1ODMiLCJ0b2dnbGUiOmZhbHNlfQ%3D%3D>
- [17] <https://www.youtube.com/watch?v=yX5tHktQswY>
- [18] <https://www.cheiron.eu/product-category/odsavaci-systemy>
- [19] Archiv Lpm s.r.o.
- [20] [https://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/ESG\\_CZ.PDF](https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/ESG_CZ.PDF)
- [21] <https://schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0005463.PDF>
- [22] <https://www.youtube.com/watch?v=ESNJ2gLOh7I>
- [23] <https://www.pneumatictips.com/getting-a-grip-with-pneumatic-grippers/>
- [24] <https://shop.gimatic.com/en/grippers>
- [25] <https://www.schmalz.com/en/vacuum-knowledge/the-vacuum-system-and-its-components/vacuum-suction-cups/technical-data-of-suction-cups/>