

Konstrukce automatizovaného brousícího centra

Bc. Radek Zavadil

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radek Zavadil**

Osobní číslo: **T14524**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce automatizovaného brousícího centra**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární studie zaměřené na téma diplomové práce
2. Návrh brousícího centra a jeho komponentů
3. Konstruktivní řešení jednotlivých komponentů
4. Vytvoření výkresové dokumentace
5. Závěry diplomové práce

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

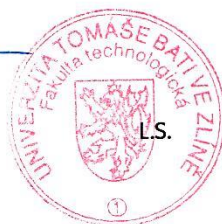
Datum zadání diplomové práce: **8. ledna 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2016**

Ve Zlíně dne 26. ledna 2016



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



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: ZAVADIL RADEK

KONSTRUKCE,
Obor: TECHNOLOGICKÝCH
ZARIŽENÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 1.5.2016.



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Práce se zabývá konstrukcí komponentů, které budou v kombinaci s automatizovaným robotem tvořit jednotné brousící centrum, které bude sloužit k broušení hokejových čepelí. Tyto čepelě jsou vyrobeny z různých typů materiálů, přičemž celek tvoří kompozit. Práce je zaměřená na řešení jednotlivých komponentů, jako jsou uchopovací zařízení připojené k robotu, podávací zařízení, brousící zařízení, podstava a celkové uspořádání komponentů v prostoru vedoucí k zefektivnění celé výroby.

Klíčová slova: broušení, uchopovač, zásobník, robot

ABSTRACT

Thesis deals with the design of components that are combined with an automated robot to generate uniform grinding center, which will serve to grinding hockey blade. These blades are made of different types of materials, the whole forms a composite. The work is focused on solving individual components, such as gripper device attached to the robot, feeding equipment, grinding equipment, base and overall arrangement of components in space to streamline the entire production.

Keywords: grinding, gripper, feeder, robot

Rád bych touto cestou poděkoval všem, kteří mi věnovali svůj čas a cenné rady při vypracování této práce.

Konkrétně patří poděkování Paní doc. Ing. Soni Rusnákové, Ph.D., za vedení, podporu a důvěru při vypracování mé práce.

Hlavní dík pak patří Panu Vladimíru Kotrlovi z firmy Willer, za projevenou důvěru a skvělou spolupráci při praktickém řešení této práce.

Neméně důležitý dík patří hlavně mé rodině, která mně po celou dobu studia podporovala jak po stránce finanční tak hlavně morální.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ROBOTIKA	12
1.1 ÚVOD DO ROBOTIKY	12
1.2 KLASIFIKACE ROBOTŮ	13
1.2.1 Rozdělení dle geometrie pracovního prostoru	14
1.3 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY	15
2 KONCOVÝ EFEKTOR	18
2.1 ROZDĚLENÍ KONCOVÝCH EFEKTORŮ	19
2.1.1 Pasivní úchopné efekty	20
2.1.2 Aktivní úchopné efekty	21
2.2 NÁVRH MECHANICKÉHO ÚCHOPNÉHO EFEKTORU	23
2.2.1 Metodika návrhu	23
2.2.2 Objekt manipulace	24
2.2.3 Úchopné síly	25
2.2.4 Bod působení úchopné síly	28
2.3 PNEUMATICKÉ PRVKY PRO PRŮMYSLOVOU AUTOMATIZACI	30
2.3.1 Mechanicky ovládané rozvaděče	30
2.3.2 Pneumaticky a elektromagneticky ovládané rozvaděče	31
2.3.3 Stavebnicové jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu	31
2.3.4 Pneumatické válce	32
3 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	35
3.1 VLASTNOSTI KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	35
3.2 ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	36
3.3 SLOŽENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	38
4 OBROBITELNOST MATERIÁLU	39
4.1 POJEM OBROBITELNOSTI MATERIÁLU	39
4.2 OBROBITELNOST KOMPOZITŮ	40
II PRAKTICKÁ ČÁST	41
5 CÍL PRÁCE	42
6 KONCOVÝ EFEKTOR	43
6.1 SPECIFIKACE DANÉ PROBLEMATIKY	43
6.2 NÁVRHY MOŽNÉHO ŘEŠENÍ	46
6.2.1 Jednotlivé návrhy	46
6.2.2 Zhodnocení a výběr optimálního návrhu	50
6.3 ŘEŠENÍ VYBRANÉHO NÁVRHU	50
6.3.1 Výpočet uchopovací síly	50
6.3.2 Výpočet minimální síly pneumatického pístu:	54
6.3.3 Výpočet skutečné uchopovací síly	56
6.3.4 Výpočet velikosti průměru lícovaného šroubu	58
6.3.5 Mechanická analýza čelisti	61
6.3.6 Mechanická analýzy základní desky	62

6.4	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	64
6.4.1	Čelisti	65
6.4.2	Tlačný klín a otvírače.....	67
6.4.3	Základní desky	68
6.4.4	Příruby.....	69
6.5	ZHODNOCENÍ FUNKČNOSTI V TESTOVACÍM PROCESU	70
7	PODÁVACÍ ZÁSOBNÍK	71
7.1	SPECIFIKACE DANÉ PROBLEMATIKY	71
7.2	NÁVRH A ŘEŠENÍ	72
7.2.1	Jednotlivé návrhy	72
7.2.2	Zhodnocení a výběr optimálního návrhu	75
7.3	ŘEŠENÍ VYBRANÉHO NÁVRHU	76
7.3.1	Mechanická analýza základny.....	76
7.3.2	Kontrola hřídele a ložisek	77
7.3.3	Výpočet šroubů pro uchycení rotační části k přírubě hřídele	79
7.3.4	Výpočty posuvu	80
7.3.5	Výpočty aretace.....	81
7.4	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	83
7.4.1	Základna.....	83
7.4.2	Střed	84
7.4.3	Hlavní kolo.....	85
7.4.4	Posuv	87
7.4.5	Aretace	88
7.5	ZHODNOCENÍ STAVU	89
	ZÁVĚR	90
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	92
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	94
	SEZNAM OBRÁZKŮ	95
	SEZNAM TABULEK.....	98
	SEZNAM PŘÍLOH.....	99

ÚVOD

Firma WILLER HOCKEY EQUIPMENT vyrábí od roku 1999 dřevěné hokejové a hokejbalové čepele, s příchodem inovací a nových materiálů jsou čepele od roku 2005 vyráběny prioritně z kompozitních materiálů. Firma si jednotlivé komponenty čepele vyrábí sama. Celá výroba probíhá ručně za pomoci neautomatizovaných strojů. S nárůstem poptávky po těchto čepelích, je dalším krokem firmy zkompletovat automatizované brousící centrum, které bude mít za úkol opracovávat jednotlivé polotovary čepelí.

Úkolem této práce bude navrhnout toto brousící centrum dle požadavků firmy a zkonstruovat ho tak, aby bylo co nejefektivnější, trvanlivé, za co nejnižší cenu a z lehce dostupných prostředků. Základem tohoto centra bude antropomorfní robot od firmy FANUC. Základním požadavkem je, aby po naplnění zásobovacího zařízení polotovary čepelí, si robot sám odebral čepel pomocí uchopovacího zařízení, na brousícím zařízení ji opracoval do požadovaného tvaru a uložil na předem určené místo. Tento úkon pak cyklicky opakoval, až do vyprázdnění zásobovacího zařízení.

Teoretická část bude zaměřena na obecný úvod do problematiky na témata k jednotlivým komponentům, které budou využity v praktické části. Budou zde probrány jednotlivé metody a možnosti řešení, jejich výhody a nevýhody a obecný úvod jejich principů.

Praktická část se bude věnovat jednotlivým komponentům sestavy tohoto brousícího centra. Budou provedeny různé návrhy a možnosti řešení, které pak budou konzultovány s majitelem firmy Panem Kotrlou, a vybere se nejlepší řešení. Vybrané návrhy budou dále rozpracovány do reálných součástí na základě potřebných výpočtů a analýz, tak aby splňovaly veškeré požadavky, které na ně budou kladeny. Výsledkem této práce pak bude kompletní výkresová dokumentace, dohled na správnost výroby a jejího zadání, postup a správnost montáže zařízení a ve finále dohled při uvedení do provozu spolu s kontrolou funkčnosti.

Závěrem se provedou jednotlivá zhodnocení zaměřená na funkčnost tohoto centra, jeho finanční náklady, úsporu času a pracovních sil při výrobě čepelí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ROBOTIKA

1.1 Úvod do robotiky

Pojem robotika (pojem „robot“ pochází od K. Čapka) se odvolává na studium a použití robotů. Pojem byl nejdříve přijat Asimovem v roce 1941 v jeho krátké povídce Obtékání.

Definice podle Robotics Institute of America (RIA):

"Robot je programovatelný víceúčelový manipulátor navržený k tomu, aby pohyboval materiálem, součástkami, nástroji, nebo specializovanými zařízeními pomocí proměnných pohybů naprogramovaných pro plnění různých druhů úkolů."

Z technického hlediska, roboty jsou množiny mnohostranných zařízení, která obsahují mechanickou strukturu, senzorický systém, pohony a zdroje energie a automatický řídicí systém. První zařízení s řízením polohy byla vynalezena okolo roku 1938 pro stříkání barev. Ale první průmyslové moderní roboty byly Unimate-y vytvořené J. Engelbergerem na začátku šedesátých let. Unimation byly první roboty uvedené na trh. Engelberger byl nazván otcem robotiky. V osmdesátých letech průmysl robotů rychle rostl hlavně kvůli velkým investicím do automobilového průmyslu.[1]



Obr. 1 První průmyslový robot – Unimate[1]

Ve výzkumné oblasti první automat byl pravděpodobně stroj Grege Waltera (1940) a zvíře Johna Hopkinse. První programovatelný robot byl navržen zakladatelem Unimation Johnem Hopkinsem v roce 1954.

Teorie Denavita a Hartenberga byla vyvinuta v roce 1955 a sjednotila pokročilé kinematiky robotických manipulátorů. V roce 1959 se objevuje na trhu první obchodně vhodný robot. Robotické manipulátory byly v průmyslu použity po roce 1960 a zažily raketový růst v osmdesátých letech.

Roboty se objevily jako výsledek kombinace dvou technik: teleoperátorů (robotické zařízení řízené vzdáleně lidským činitelem: obvykle užívaný pro poskytnutí bezpečí pro operátora, jako při práci s radioaktivními materiály) a počítačového číslicového řízení obráběcích strojů (CNC). Teleoperátory byly vyvinuty během II. světové války pro práci s radioaktivním materiálem a CNC vznikly pro zvýšení přesnosti výroby nových technologických částí.

První roboty nebyly nic víc než číslicové řízení mechanických kinematických řetězců navržených pro přenos materiálu z bodu A do bodu B. Dnes komplikovanější aplikace jako je svařování, stříkání barvou a montáž vyžadují mnohem větší schopnost pohybu a citlivost. Tedy robot je multidisciplinární inženýrské zařízení. Mechanické inženýrství se zabývá návrhem mechanických komponentů, ramen, koncových efektorů a rovněž odpovídá za kinematiku, dynamiku a analýzu řízení robotů. Elektrotechnické inženýrství pracuje s akčními členy, snímači, napájecím a řídicím systémem. Programování nebo softwarové inženýrství odpovídá za logiku, inteligenci, komunikaci a vytváření sítí.[1]

1.2 Klasifikace robotů

Manipulační zařízení typu robotů mohou být klasifikována podle různých kritérií – počtu stupňů volnosti, kinematické struktury, použitých pohonů, geometrie pracovního prostoru, pohybových charakteristik, způsobu řízení, způsobu programování, aj.

Robotics Institute of America (RIA) uvažuje 3-6 klasifikačních stupňů pro roboty a Association Francaise de Robotique (AFR) kombinuje třídy 2, 3 a 4 téhož typu a rozděluje roboty do 4 typů. Japonská Asociace průmyslových robotů (Japanese Industrial Robot Association) rozděluje roboty do 6 tříd:

- **Třída 1** - Ručně ovládaná zařízení: Zařízení s více stupni volnosti ovládaná operátorem.
- **Třída 2** - Roboty s pevnou sekvencí: Zařízení vykonávající posloupnost etap úlohy v souladu s předem připraveným a fixním programem.

- **Třída 3** - Roboty s proměnnou sekvencí: Zařízení vykonávající posloupnost etap úlohy v souladu s předem připravenou, ale programovatelnou metodou.
- **Třída 4** - Play-back roboty: Lidský operátor provede úlohu ručně s vedením robota, který si zaznamenává pohyby pro pozdější přehrávání (playback). Robot opakuje stejné pohyby podle zapamatované informace
- **Třída 5** - Číslicově řízené roboty: Operátor naprogramuje robota pomocí programu pohybu (v speciálním příkazovém jazyce s příkazy pro jednotlivé pohyby. Existují však interaktivní grafické programovací prostředky, které graficky simulují na obrazovce pohyby robota, jež je možno jednoduše korigovat).
- **Třída 6** - Inteligentní roboty: Robot se schopností rozumět svému okolí a má schopnost provést úspěšně úlohu neohledně na změny okolního prostředí, ve kterém pracuje.[1]

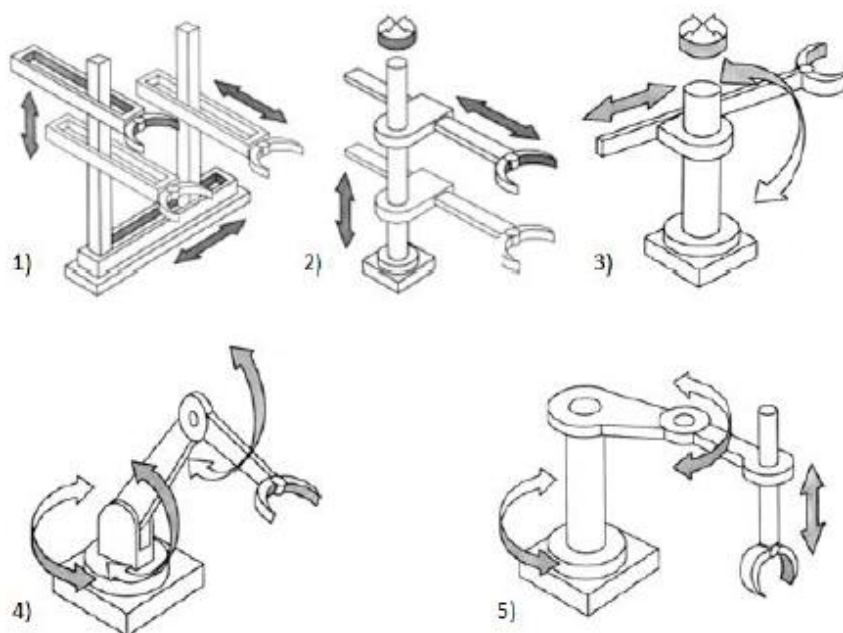


Obr. 2 Ukázka různých tříd robotů[19]

Další klasifikace může být provedena podle jiných kritérií, jako je geometrie, pracovní prostor, charakter akčních členů, řízení a aplikace.[1]

1.2.1 Rozdělení dle geometrie pracovního prostoru

- Kartézské
- Cylindrické
- Sférické
- Angulární
- Scara[2]



Obr. 3 Geometrie pracovního prostoru

1) kartézská; 2) cylindrická; 3) sférická; 4) angulární; 5) scara[2]

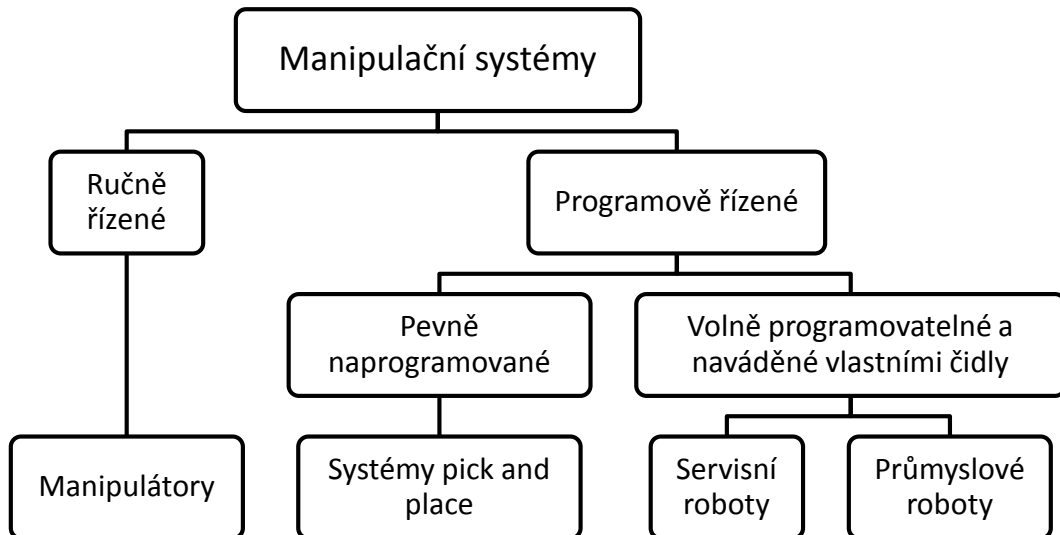
1.3 Průmyslové roboty a manipulátory

Oblasti použití průmyslových robotů a manipulátorů jsou velmi široké. Používají se při obsluze obráběcích a tvářecích strojů, u kováčích strojů a lisů, pro tlakové lití, bodové a švové svařování, stříkání, jako obsluha vstřikovacích strojů, pro montážní práce a různé manipulační operace (viz. Tab. 1).

Tab. 1 Oblast použití PRaM

Nasazení průmyslových robotů a manipulátorů	podíl
Manipulace na obráběcích strojích, paletizace	52%
bodové odporové svařování karosérií a podvozků	15%
povrchové úpravy	12%
tlakové lití kovů a plastických hmot	8%
Manipulace u tvářecích strojů	7%
Obloukové svařování pod ochrannými plyny	2%
Montážní a měřicí práce	2%
V hutích (odpichové roboty, těžké manipulační roboty)	1%
jiné práce (hlubinné dobývání, apod.)	1%

V minulé kapitole (1.2 – Klasifikace robotů) je ukázáno jakými možnými způsoby se roboty mohou rozřadit do různých skupin. Tady je základní dělení postavené na rozdílnosti řízení a programování, na kterém lze jednoduše ukázat základní typy strojů.[3]



Obr. 4 Manipulační systémy[4]

Složitější ústrojí než manipulátor má označení „průmyslový robot“ a toto označení je zejména vhodné pro zařízení řízená počítačem.

Vyznačují se zpravidla následujícími vlastnostmi:

- Autonomností chování, tj. složitou posloupností úkonů prováděnou automaticky podle určitého programu. Důležitý je případ, kdy tento program není pevný (daný konstrukcí, jako např. u klasických řídicích automatů), ale volitelný buď člověkem, nebo automaticky vlastním zařízením. Tím se liší např. od tele-operátorů, které zesilují a přenášejí na dálku pohybové příkazy přímo od člověka, jenž je nedílnou součástí ústrojí.
- Univerzálností ve smyslu "víceúčelovosti", nikoli "všemohoucnosti". Zařízení neslouží pouze k jedinému účelu, ale k více, někdy dosti rozmanitým účelům. To souvisí s možností změny programu, jež má být jednoduše a rychle proveditelná.
- Existence vazby s prostředím (vnímání). Kromě jednoduchých mechanických (dotekových) elektromagnetických čidel lze u složitějších systémů počítat i s vizuální (použitím televizní kamery) a akustickou vazbou.[3]

Definice takového ústrojí pak zní:

„Robot je automaticky nebo počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomní cílově orientované interakce s přirozeným prostředím podle instrukcí od člověka. Tato interakce spočívá ve vnímání a rozpoznávání tohoto prostředí a manipulování s předměty, popř. pohybování se v tomto prostředí.“[3]



Obr. 5 Ukázka průmyslových robotů značky FANUC[20]

V současné době se můžeme setkat s mnoha různými typy robotů lišících se svými základními parametry. Mohou to být roboty s minimální zátěží a malými zdvihy, ale i roboty s nosností několika tun a dosahem několika metrů.[3]

2 KONCOVÝ EFEKTOR

Koncový efektor je část namontovaná na poslední článek, aby prováděl požadovanou činnost robota. Nejjednodušší koncový efektor je úchopná hlavice, která je obvykle schopna pouze dvou akcí: Otevření a zavření.

Ramena a připojené zápěstí robota jsou použity především k polohování koncového efektoru a nějakého neseného nástroje. Je to koncový efektor nebo nástroj, kdo vykonává činnost. Velké úsilí výzkumu je věnováno návrhu speciálních koncových efektorů a nástrojů. Rovněž probíhá intenzivní výzkum a vývoj antropomorfních rukou. Taková ruka může být vyvinuta pro protetické využití ve výrobě. Zápěstí a koncový efektor jsou rovněž nazývány ruka, uchopovač, chapadlo, hlavice, apod.[1]

Jde především o realizaci:

- Vkládání objektů do pracovního prostoru výrobních zařízení a jejich vyjímání;
- Mezioperační manipulace;
- Technologické operace;
- Kontrolní operace;
- Speciální práce.[5]

Proto termín „chapadlo“, jako častý název pro koncový efektor není zcela přesný a je nutné jej chápat jako označení části z celkové množiny výstupních hlavic (koncových efektorů) PRaM, zajišťujících uvedené činnosti. Samotný koncový efektor může být aplikován na různě koncipovaný robot a architekturu robotu v podstatě nijak výrazně neovlivňuje.[5]

Koncové efekторы PRaM lze z konstrukčního hlediska rozdělit na hlavice:

- technologické
- manipulační (chapadla)
- kombinované
- speciální.[5]

Postupující automatizace si vynutila i další stupeň, kterým je jejich automatická výměna během pracovního procesu, ale zejména jejich adaptivita jako jeden z významných prvků

zvýšení autonomnosti a kognitivnosti, tedy zvýšení umělé inteligence robotických systémů.[5]

2.1 Rozdělení koncových efektorů

Typickou technologickou operací, která je předmětem aplikací průmyslových robotů, je elektrické svařování a nanášení ochranných materiálů a nátěrových hmot, případně technologické operace, při kterých průmyslový robot je bezprostředně účasten na dané operaci tím, že tuto operaci sám vykonává pomocí uzpůsobeného nástroje či přímo stroje (např. elektrické ruční brusky apod.).[5]

Rozdělení dle prováděné operace:

- Tavné elektrické svařování – obloukové, odporové bodové
- Stříkání ochranných a nátěrových hmot
- Obrábění obsluhou uzpůsobeného nářadí
- Montážní práce – sestavování, spojování, lepení
- Kontrolní operace
- Speciální práce



Obr. 6 Ukázka různých operací prováděna průmyslovými roboty[20]

Dělení podle charakteru styku s objekty při vyvození úchopné síly:

- Mechanické
- Magnetické
- Podtlakové

Současně lze dělit úchopné prvky na:

- Aktivní
- Pasivní

Tab. 2 Klasifikační schéma úchopných prvků

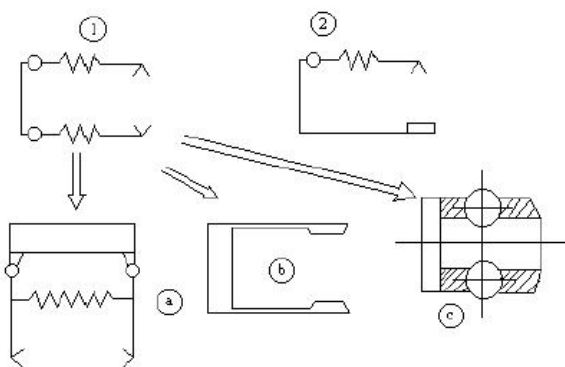
Mechanické	pasivní	pevné a stavitelné opěry
		pružné a odpružené čelisti
		speciální (suchý zip, lepidlo, aj.)
	aktivní (poháněné)	hydrotorem
		pneumotorem
		elektromotorem
elektromagnetem		
Magnetické	pasivní	s permanentními magnety
	aktivní	s elektromagnety
Podtlakové	pasivní	deformační přísavky
	aktivní	s vývěvou s ejektorem

2.1.1 Pasivní úchopné efekty

Pasivní mechanické efekty se vyznačují konstrukční jednoduchostí a používají se při manipulaci s lehčími objekty jednoduchého tvaru. Jde tedy zejména o malé příruby, kroužky, hřídele apod. Jsou sestaveny z pevných a odpružených prvků bez pohonu.[8,14]

Pro minimální rozsah struktury pasivní úchopného efektoru – tj. tedy pro efektor se dvěma úchopnými prvky – přicházejí v úvahu dvě koncepce (viz schematické uspořádání Obr. 7):

- Koncepce "1" - dva odpružené úchopné prvky (čelisti)
- Koncepce "2" - jeden pevný, jeden odpružený prvek (čelist)[3,7]



Obr. 7 Pasivní mechanické hlavice[3,7]

2.1.2 Aktivní úchopné efektory

Řešení je závislé na zvoleném druhu motoru, zejména podle charakteru pohybu – rotačního, nebo translačního a také podle druhu úchopných prvků a jejich pohybu. Třetím důležitým hlediskem je transformace pohybu, je-li nutná podle prvních dvou voleb.

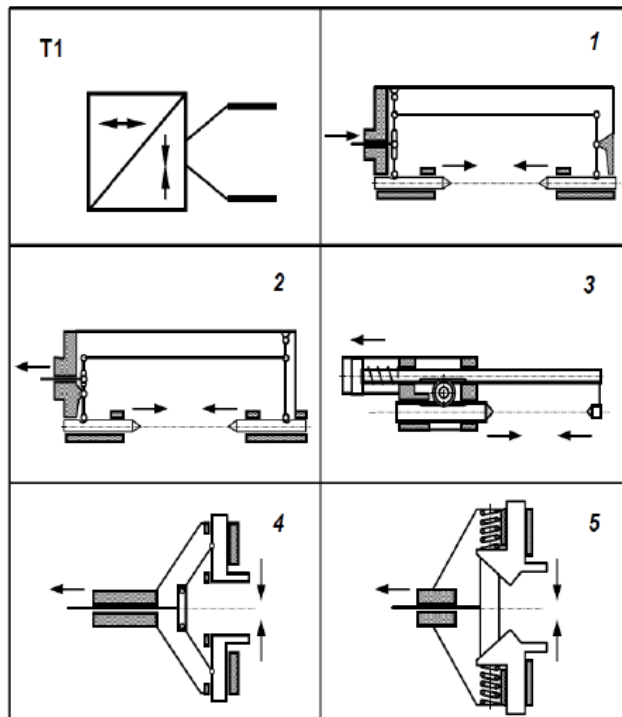
Ve zkratce se dá tedy říct, že vnitřní struktura částí efektoru s aktivním prvkem (aktivními prvky) je tvořena z těchto tří částí:

- M-motor
- U-aktivní úchopný prvek (čelist, prst)
- T-transformační blok (mechanický převod) [3,7]

Tab. 3 Typy aktivních efektorů[6]

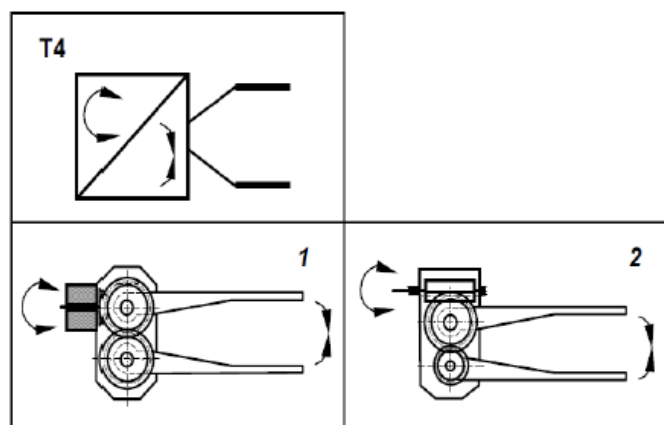
Motor	Úchopné prvky	Transformační blok	Typ MÚH
posuvný	posuvné		T1
posuvný	rotační		T2
rotační	posuvné		T3
rotační	rotační		T4

Skupina T1 využívá lineárních motorů, z nich především motory pneumatické, které pro aplikaci v MÚE poskytují mnohé výhody a jsou u průmyslových robotů nejužívanější. Na straně výhod je především snadná dostupnost stlačeného vzduchu a nenáročný přívod až do efektoru. Naopak problémem může být malý jednotkový výkon a z toho plynoucí velké rozměry motoru pokud bychom potřebovali větší síly na pístnici.[6]



Obr. 8 Možné principy řešení MÚE typu T1[6]

Skupina T2 využívá mechanismů kloubových nebo ozubených. Ozubené mechanismy zpravidla dávají robustnější konstrukci, ale umožňují volit vložený převod, zajišťující různou rychlost pohybu čelistí. Dále je nutno upozornit na skutečnost, že zatímco ozubený převod poskytuje konstantní převodový poměr, kloubové mechanismy se změnou konfigurace mění okamžitý převodový poměr a při uchopování objektů manipulace různých rozměrů je třeba vyšetřit převodovou funkci v celém rozsahu těchto rozměrů. Pro struktury podle T3 a T4 platí zmínka o robustnosti ozubených konstrukcí a tedy použití především pro roboty o vyšších nosnostech.[6]



Obr. 9 Možné principy řešení MÚE typu T4[6]

Neúčastí transformačního bloku ve struktuře vztahu motor - úchopný prvek vzniknou dvě další koncepce:

- Struktura s odděleným uspořádáním motoru a úchopného prvku.
- Struktura s integrací motoru a úchopného prvku (funkce motoru a úchopného prvku je obsažena v jednom konstrukčním prvku).[3,7]

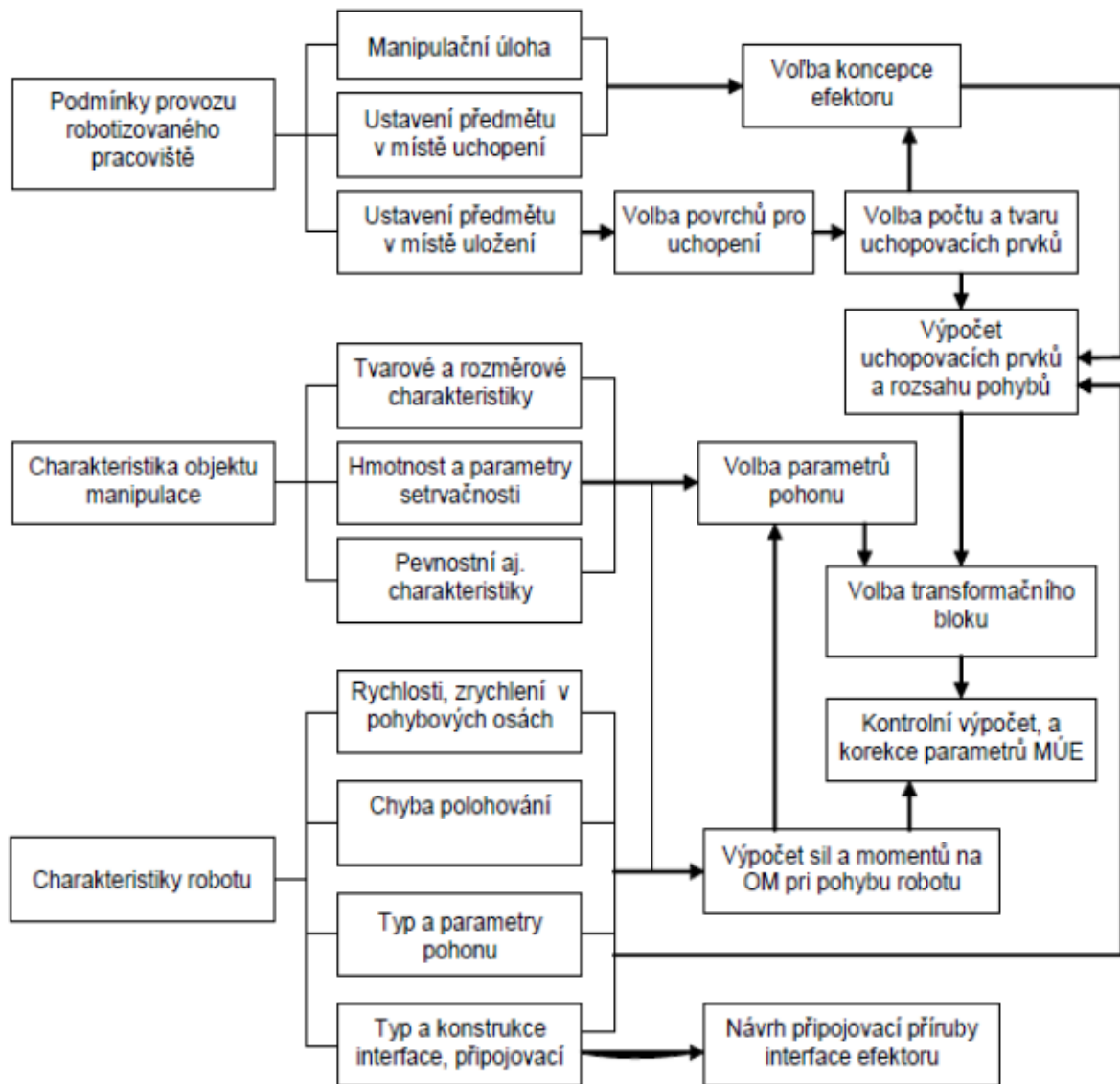
Obecně lze tedy dělit aktivní mechanické efekty na:

- Aktivní mechanické efekty bez transformačního bloku
- Aktivní mechanické efekty s transformačním blokem
 - Efekty s pákovým transformačním blokem,
 - Efekty se zubovým transformačním blokem,
 - Efekty s vačkovým a šablonovým transformačním blokem,
 - Efekty se šroubovým transformačním blokem,
 - Efekty s vícestupňovými transformačními bloky. [3,7]

2.2 Návrh mechanického úchopného efektoru

2.2.1 Metodika návrhu

Základem pro návrh MÚE je analýza vstupních prvků a procesů robotizovaného pracoviště a souvisejících údajů (*Obr. 10*). Mezi ně patří vlastní technologický a manipulační proces, který má zajišťovat robot s navrhovaným efektozem. Dále sem patří velmi podrobná analýza objektu manipulace. MÚE je také ovlivněn parametry konkrétního robotu, na který má být aplikován.[6]



Obr. 10 Schéma analýzy vstupních údajů pro návrh úchopné hlavičky[6]

2.2.2 Objekt manipulace

Určující pro návrh MÚE je objekt manipulace (OM) a jeho vlastnosti. Aby výsledek návrhu efektoru byl optimální, v některých případech (u složitějších objektů), aby byl vůbec realizovatelný, je základním principem, aby konstruktér OM byl v kontaktu s konstruktérem MÚE a vyhověl jeho požadavkům, zejména na tvorbu vhodných kontaktních ploch pro úchop.[6]

Podle okolností může být nezbytné zjištění i většího počtu vlastností a parametrů OM, příkladem jsou:

- Rozměry;
 - základní rozměry: průměry, délky, šířky, výšky a tloušťky,
 - maximální hodnoty základních rozměrů (dále minimum a rozsahy),
 - hmotnost (hlavice s OM musí odpovídat nosnosti manipulátoru),
 - tvar (koule, válec, kostka, ploché desky apod.),
 - další parametry - rozměry v místech mechanického kontaktu s prvky efektoru, rozměrové údaje o vyložení těžišť a tolerance.

- Materiál;
 - mechanické a fyzikální vlastnosti (pevnost, pružnost, sypkost, tekutost),
 - magnetické vlastnosti (u železných materiálů),
 - elektrická či tepelná vodivost,
 - teplota,
 - jiné typické vlastnosti pro daný materiál.

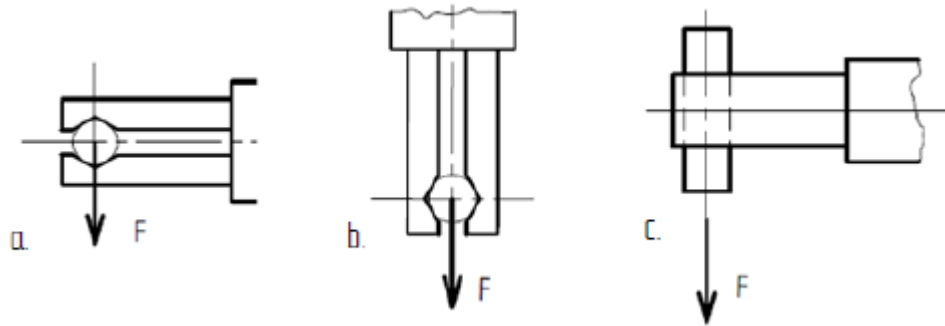
- Povrch;
 - jakost a provozní stav (ovlivňují třecí složky uchopovacích sil a kvalitu).

Jakost povrchu je dána drsností, která se může v průběhu technologického zpracování měnit. Jiná je například drsnost výkovků a odlitků vstupujících do RTP, než drsnost plochoobráběných. Z hlediska provozního stavu povrchu je žádoucí povrch suchý a čistý. Přítomnost nečistot, rzi, maziv a olejů, vody, zbytků chladících emulzí, písku a podobně, znehodnocují povrchové vlastnosti, snižují třecí efekty i celkovou kvalitu uchopení. [6]

2.2.3 Úchopné síly

K bezpečnému udržení objektu manipulace, v úchopných prvcích efektoru, potřebujeme vyšetřit nejnepříznivější zatížení OM, které se může vyskytnout při manipulaci efektozem s drženým OM, ve všech kritických situacích z možných, na trase mezi výchozím bodem A a koncovým bodem B. [6]

Z Obr. 11 vyplývá, proč je nezbytné vyšetřit i polohu úchopných prvků efektoru (čelistí) pro posouzení, zda je konkrétní situace potenciálně kritická pro bezpečné držení OM. Je zřejmé, že při zcela stejné síle z hlediska velikosti i směru je nejbezpečnější držení (při sevření stejnou silou ve všech třech případech), které je znázorněno na Obr. 11 a. Zatím co kritická situace odpovídá případu „c“, kde držení jistí jen třecí síla.[6]



Obr. 11 Možná poloha OM v úchopné hlavici[6]

Při současných pohybech několika stupňů volnosti se může stát, že dojde k nepříznivé poloze efektoru a OM (Obr. 11c). Pokud by nastala tato situace pak výsledná úchopná síla U , která přitlačuje čelisti proti sobě:

- za předpokladu, že pohyb je pouze vertikální se zrychlením a_v a F je dáno gravitačními i setrvačnými účinky

$$F = m \cdot (g + a_v) \quad (1)$$

$$U = \frac{kF}{\mu} = \frac{k(g + a_v)m}{\mu} = \frac{k(g + a_v)G}{\mu g} = \frac{kG}{\mu} \left(1 + \frac{a_v}{g}\right) \quad (2)$$

Síla uchopovací U je zde označovaná jako kritická a stanoví se z výslednice všech vnějších sil působících na OM.

Síla výpočtová pak musí být s rezervou, která odpovídá nejistotě ve stanovení součinitele tření μ a velikosti působících sil při provozu robotu, což je ošetřeno koeficientem bezpečnosti k .

- při horizontálním pohybu, kdy zrychlení horizontálního pohybu je a_h a α úhel sklonu dotykových ploch úchopných prvků je výpočtová úchopná síla.

$$U = G\left(\frac{k}{\mu} + \frac{a_h}{g} \tan\alpha\right) \quad (3)$$

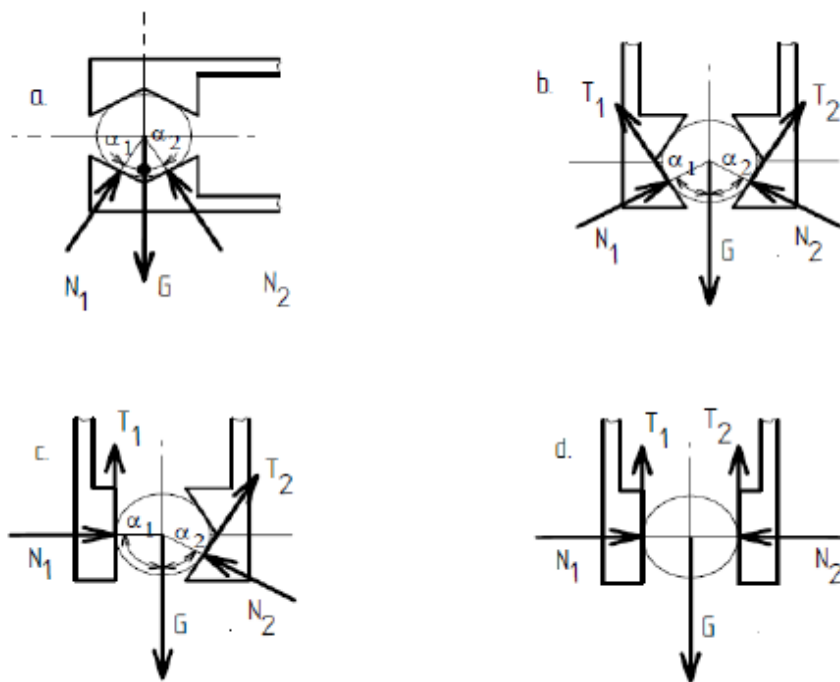
- a konečně při rotaci efektoru v horizontální rovině při ω – úhlové rychlosti rotace efektoru a ε – úhlovém zrychlení jeho rotace i R – vzdálenosti osy rotace k ose OM je výpočtová úchopná síla

$$U = G\left(\frac{k}{\mu} + \frac{\omega^2}{g} R \tan\alpha + \frac{\varepsilon}{g} R\right) \quad (4)$$

- při současném působení všech uvedených účinků bude výpočtová uchopovací síla

$$U_{celková} = G\left[\frac{k}{\mu}\left(1 + \frac{a_v}{g}\right) + \frac{1}{g}(a_h \tan\alpha + \omega^2 R \tan\alpha) + \frac{\varepsilon}{g} R\right] \quad (5)$$

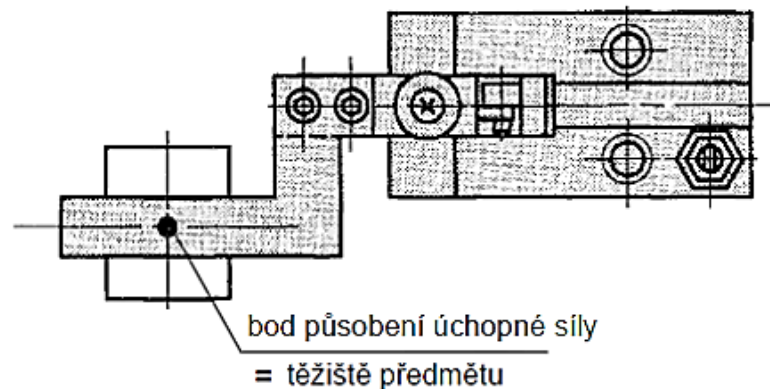
Je zřejmé, že výpočet úchopných sil závisí na tvaru úchopných prvků (čelistí) a na způsobu držení. Běžně užívané případy jsou uvedeny v Obr. 12 a - d.



Obr. 12 Možný tvar úchopných hlavic

2.2.4 Bod působení úchopné síly

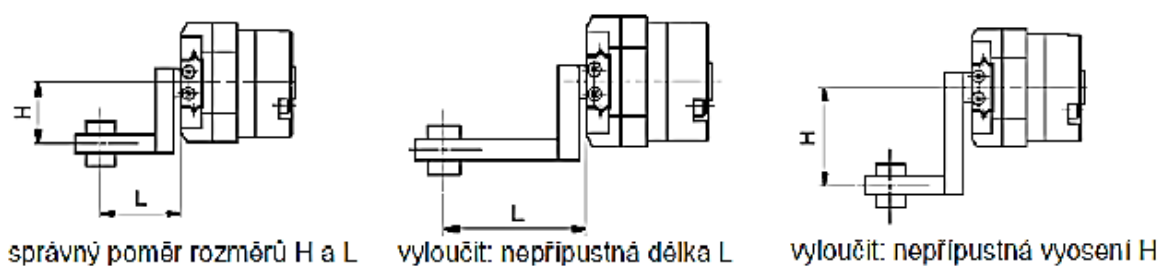
Úchopná síla by měla pokud možno působit v těžišti manipulovaného předmětu. Tím se vyloučí nežádoucí přídavné síly a momenty, které působí na čelisti a jejich uložení v tělese hlavice.[8]



Obr. 13 Bod uchopení předmětu[8]

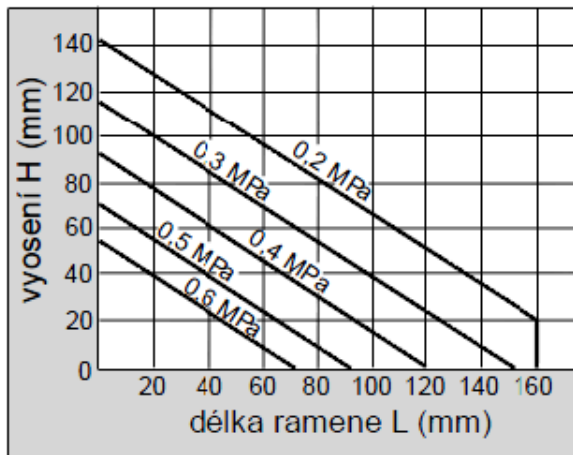
Avšak těžiště uchopeného předmětu, a tedy i bod působení úchopné síly, mohou ležet mimo osu úchopné hlavice. Ale to pouze v určitém rozsahu, daném poměrem délky ramene čelisti k vyosení těžiště předmětu v závislosti na tlaku vzduchu (úchopné hlavice poháněné pneumatickým motorem) a stanoveném pro daný typ a velikost hlavice příslušným diagramem v technické dokumentaci výrobce.

Nerespektování doporučených údajů může potom vést k poškození uložení a vedení čelistí úchopné hlavice.[8]



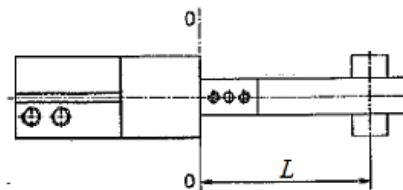
Obr. 14 Poměr délky ramene čelisti k vyosení těžiště předmětu[8]

Například diagram na Obr. 15 pro neurčitý typ a velikost úchopné hlavice. Lze z něj odečíst přípustný poměr délky ramene L k vyosení těžiště H pro příslušný tlak vzduchu p .

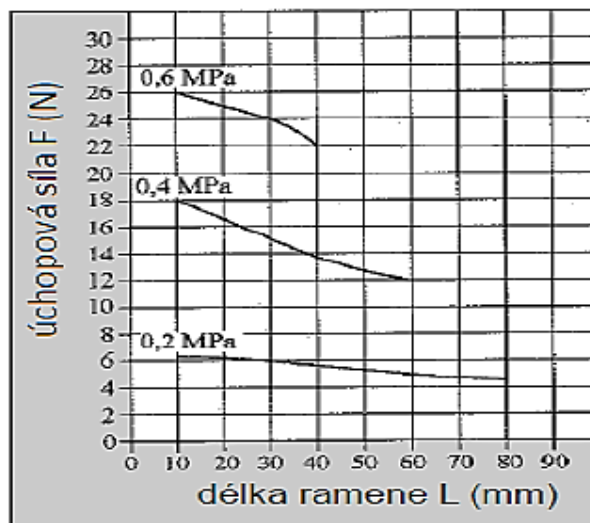


Obr. 15 Diagram L, H, p[8]

S délkou ramene úchopné hlavice L souvisí i velikost síly přenesené do bodu působení těžiště tělesa při určitém tlaku pneumotoru. Souvislosti na neurčitém typu úchopné hlavice (Obr. 16) ukazuje diagram na Obr. 17. Je zřejmé, že účinky uchopení s délkou ramene klesají.



Obr. 16 Úchopná hlavice s OM[9]



Obr. 17 Diagram síla – délka ramene[9]

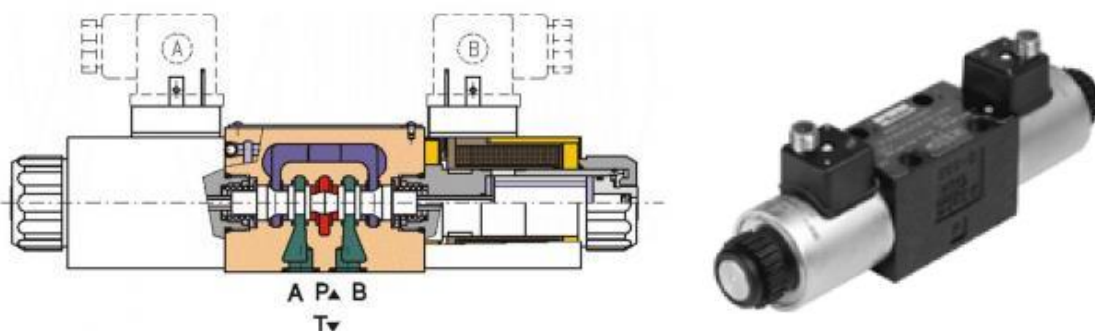
2.3 Pneumatické prvky pro průmyslovou automatizaci

Jsou využívány především ve strojírenství a jsou ovládány pomocí stlačeného vzduchu. Upínací systémy ulehčují práci, jsou snadno ovladatelné, zvyšují kvalitu práce a šetří čas.

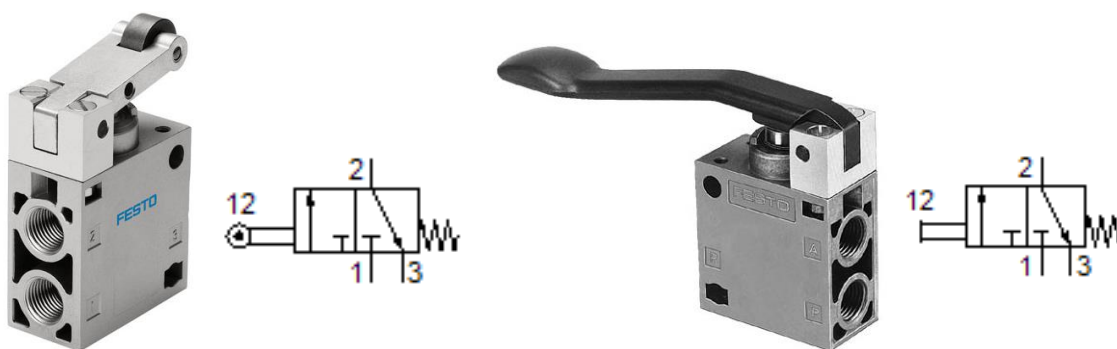
2.3.1 Mechanicky ovládané rozvaděče

Představují široký sortiment šoupátkových (Obr. 18) a sedlových rozvaděčů ovládaných mechanicky (Obr. 19) a manuálně (Obr. 19) s různými variantami vybavení. Tyto rozvaděče lze použít pro nejrůznější aplikace. Různými kombinacemi zapojení přívodů lze zvolit požadovanou funkci.

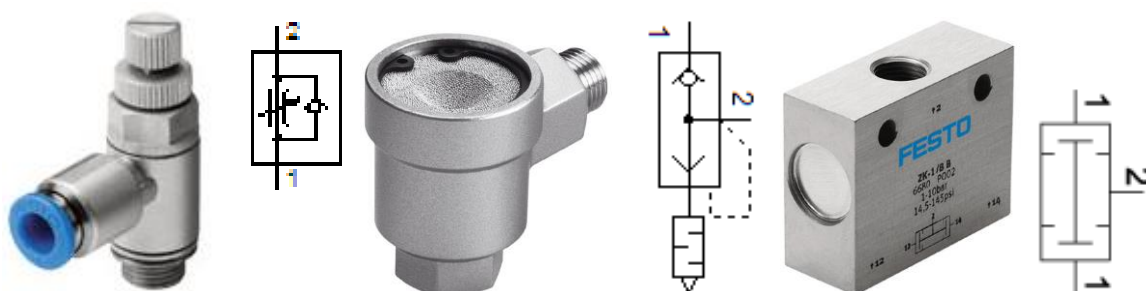
Dále sem patří celá řada škrťících (Obr. 20), zpětných, rychloodvzdušňovacích (Obr. 20) a logických (Obr. 20) ventilů a tlumičů hluku, které se speciálními prvky umožňují řešení a jednoduchou realizaci speciálních funkcí v pneumatických obvodech např. převod pneumatického signálu na elektrický. [10]



Obr. 18 Šoupátkový rozvaděč [10]



Obr. 19 Sedlový rozvaděč mechanický (vlevo) a manuální (vpravo) + schématická značka [11]

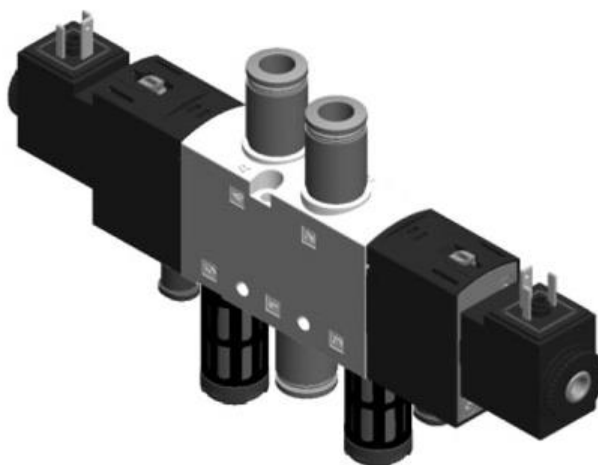


Obr. 20 Škrťací ventil (vlevo), rychloodvzdušňovací ventil (uprostřed) a logický ventil + schématické značky[11]

2.3.2 Pneumaticky a elektromagneticky ovládané rozvaděče

Jsou používány v různém provedení s různými variantami ovládní, návratu do základní polohy a ovládacími tlaky.

Elektromagneticky ovládané rozvaděče (Obr. 21) jsou ve stejných provedeních a tvoří rozhraní mezi pneumatikou a řídicí elektronikou. Téměř všechny rozvaděče lze montovat na rozvodné desky, které jsou buď jednomístné, nebo vícemístné s přípojovacími závity. [10]



Obr. 21 Elektromagneticky ovládaný rozvaděč firmy FESTO[11]

2.3.3 Stavebnicové jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu

Umožňují redukci tlaku vzduchu v obvodu, jeho filtraci a přimazávání. Úplná jednotka obsahuje redukční ventil, filtr, maznici a díky modulovému řešení nabízí široký výběr vzájemných kombinací v přípojovacích velikostech.

Úpravné jednotky doplňuje příslušenství: najížděcí a uzavírací ventil, tlakový spínač, manometr, spojovací sady a rozdělovací blok.

Rozdělovací blok umožňuje oddělit v případě potřeby např. filtrovaný nepřimazávaný vzduch mezi filtr a maznici. [10]



Obr. 22 Sestava pro úpravu stlačeného vzduchu od firmy FESTO[11]

2.3.4 Pneumatické válce

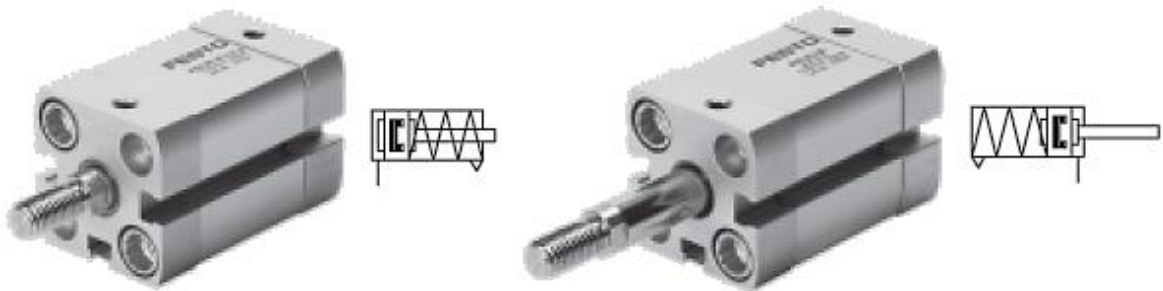
Výkonnou část pneumatických obvodů tvoří magnetické i nemagnetické válce, které převádějí energii stačeného vzduchu na mechanický pohyb silou úměrnou ploše jejich válců a pracovnímu tlaku. [10]

Pneumatické válce se dělí na jednočinné a dvojčinné.

1) Jednočinné pneumatické válce

Síla vyvinutá tlakem vzduchu na plochu pístu jednočinného válce působí pouze v jednom směru. Podle provedení válce ji lze využít jako sílu tažnou nebo jako sílu tlačnou. Po přerušení přívodu stlačeného vzduchu do válce je pístnice vrácena do výchozí polohy silou pružiny. Existují dvě základní provedení jednočinných válců:

- S pístnicí v klidové poloze zasunutou
- S pístnicí v klidové poloze vysunutou



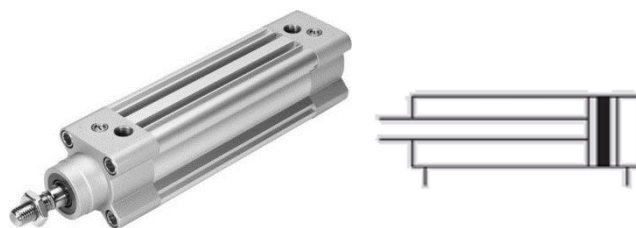
Obr. 23 Jednočinný pneumatický válec s pístnicí v klidové poloze zasunutou (vlevo) a vysunutou (vpravo)[11]

Jednočinné pneumatické válce je možné použít k upínání polotovarů, jako vyhazovače u různých přípravků k podávání polotovarů, jejich zvedání a k realizaci řady dalších operací. Ve srovnání s dvojitými pneumatickými válci stejných rozměrů mají menší spotřebu vzduchu. Síla šroubové pružiny působí proti síle vyvinuté tlakem vzduchu na plochu pístu, takže využitelná síla je menší o sílu pružiny. Doraz ve válci brání dosednutí závitů pružiny. Šroubová pružina má také svoji délku, proto jsou jednočinné válce proti dvojitým válcům se stejným průměrem a zdvihem delší.[8]

2) Dvojitý pneumatický válec

Síla vyvinutá tlakem vzduchu na plochu pístu dvojitého válce působí podle přívodu vzduchu střídavě v obou směrech pohybu pístu. Dvojitý pneumatický válec se používají tam, kde mechanismus i při zpětném pohybu má vykonávat práci. Zdvih dvojitých pneumatických válců je teoreticky omezen pouze s ohledem na průhyb a vzpěrnou délku pístnice.

Při zasouvání pístnice vyvinou dvojitý pneumatický válec menší sílu než při vysouvání, protože účinná plocha pístu je menší o plochu danou průměrem pístnice. To je třeba vzít v úvahu, pokud má válec pracovat se stejným zatížením pístnice v obou směrech. [8]



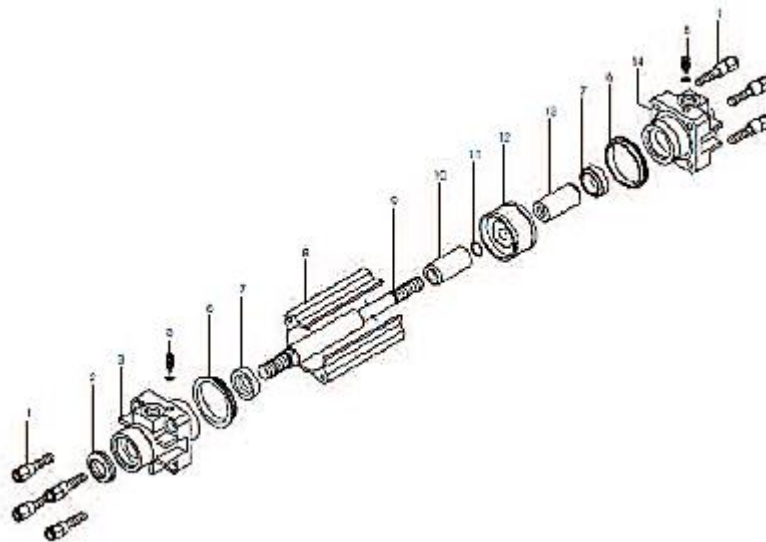
Obr. 24 Dvojitý pneumatický válec + schématická značka[11]

3) Válce dle norem

Pneumatické válce se vyrábějí podle různých norem (ISO, VDMA, CNOMO, CETOP) a některé jsou specifické a jejich rozměry jsou dány výrobcem a neodpovídají žádným normám. To že jsou válce vyráběny dle nějaké normy znamená, že výrobce musí dodržet předepsané zástavbové a přípojovací rozměry. Vnitřní konstrukční provedení válce, druh použitého profilu těla válce, konstrukční provedení čel válce už se může u jednotlivých výrobců lišit.

Malé válce dle ISO 6432 se vyznačují tím, že je možno je použít i v soustavách s nepřímávaným stlačeným vzduchem. Profilové válce dle ISO 6431 vynikají velkou tuhostí v ohybu a krutu. Dále existují válce krátkozdvihové, bezpístnicové, rotační (obr. 30). [10]

Příklad válce dle ISO 6431:



Obr. 25 Rozložení válce dle ISO 6431 [10]

Tab. 4 Součásti válce dle ISO 6431 [10]

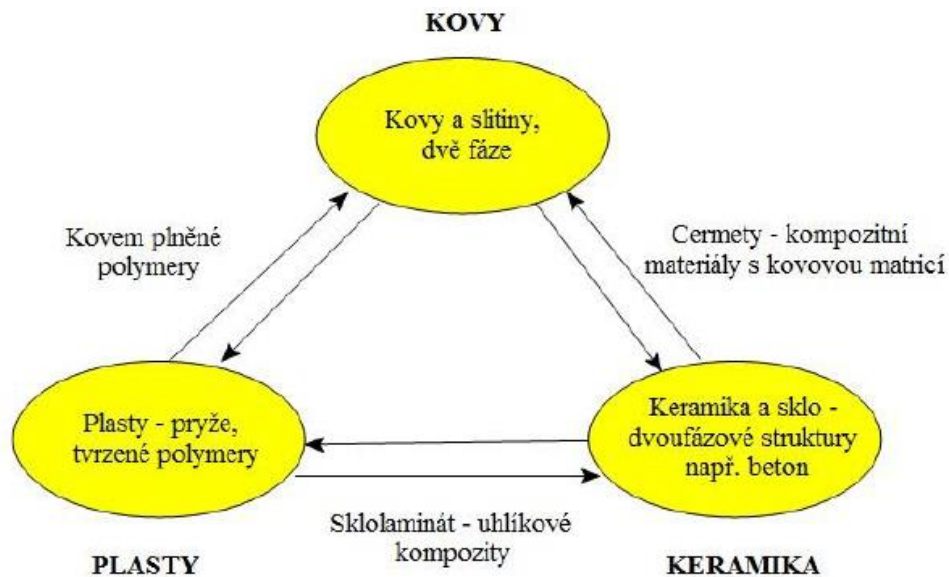
Pozice	Název	ks
1	Upevňovací šrouby	8
2	Těsnění pístnice	1
3	Čelo válce	1
5	Šrouby pro regulaci tlumení koncových ploch	2
6	Těsnění těla válce	2
7	Těsnění tlumících pístů	2
8	Tělo válce	1
9	Píst	1
10	Tlumící píst- přední	1
11	Těsnění pod přední tlumící píst	1
12	Pístnice	1
13	Tlumící píst zadní	1
14	Dno válce kompletní	1

3 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Definice charakterizující kompozitní materiály je celá řada. Uveďme si tedy dvě, kdy první klade větší důraz na návrhovou filozofii: „ *Kompozity jsou takové heterogenní materiály, u kterých se po smíšení materiálů se zcela odlišnými vlastnostmi vytvoří jediná struktura; jestliže se tyto vlastnosti doplňují, vzniká kompozitní materiál s přídavnými nebo lepšími vlastnostmi, než mají jednotlivé složky samy, nebo smíšené dohromady.* ”

Druhou definici kompozitních materiálů můžeme chápat takto:

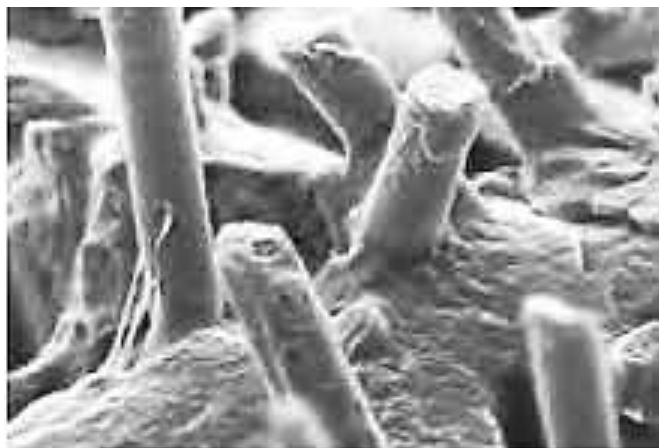
Kompozit je každý materiálový systém, který je složen z více (nejméně dvou) fází, z nichž alespoň jedna je pevná, s makroskopicky rozeznatelným rozhraním mezi fázemi, a který dosahuje vlastností, které nemohou být dosaženy kteroukoliv složkou (fází) samostatně ani prostou sumací.[12]



Obr. 26 Vztahy mezi konstrukčními materiály a vývojem kompozitů[13]

3.1 Vlastnosti kompozitních materiálů

Obecně platí, že mechanické vlastnosti kompozitu stoupají se zvyšujícím se obsahem vyztužující složky až do podílu 80 %. Všechna vlákna musejí být totiž dokonale smočena pojivem – pryskyřicí. Aby se využily plně pevnosti vláken, musí se zabezpečit dobrá adheze mezi vlákny a maticí a tím i dokonalý přenos síly z matrice na výztuž. Vlákna se proto na povrchu chemicky upravují tak, aby se na rozhraní mezi maticí a vláknem tvořily pevné chemické vazby.



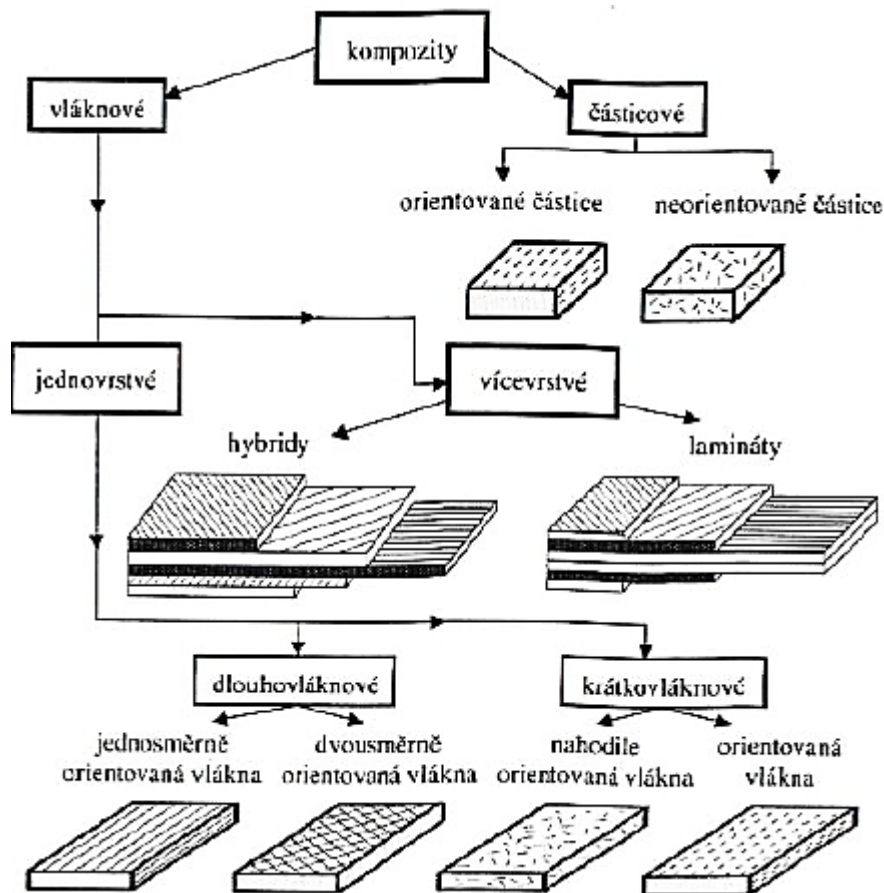
Obr. 27 Fázové rozhraní mezi vlákny a matricí [14]

Charakteristickým rysem kompozitů oproti homogenním materiálům je jejich anizotropie – vlastnosti kompozitu silně závisí na směru uložení (orientaci) výztužných vláken [14].

3.2 Rozdělení kompozitních materiálů

Rozdělit kompozitní materiály je možno podle různých hledisek (*Obr. 28*). Podle materiálu matrice, tedy podle základní spojité fáze, rozeznáváme kovové kompozity (slitiny, kovy vyztužené vlákny, kovy vyztužené částicemi, cermety), polymerní kompozity (s termoplastovou, reaktoplastickou nebo elastomerní matricí), keramické kompozity a ostatní anorganické kompozity (např. beton z portlandského cementu impregnovaný polymerem).

Jiným hlediskem může být struktura nebo geometrická charakteristika dispergované fáze do matrice. Podle toho rozeznáváme disperzní kompozity, částicové kompozity s částicemi pravidelných tvarů (koule, destičky), nebo nepravidelných tvarů nebo s plynnými inkluzemi (lehčené polymery, pěnobeton) a vláknové kompozity s dlouhými, nebo krátkými vlákny. Granulární částice mohou být z látek různého druhu, dlouhá vlákna jsou obvykle skleněná, uhlíková nebo polymerní, krátká také uhlíková, borová, wolframová, azbestová a další [12].



Obr. 28 Rozdělení kompozitních materiálů[15]

Kompozitní materiály mohou obsahovat vytužující fáze různých rozměrů. Z toho hlediska lze opět kompozity rozdělit na:

- **Mikrokompozitní materiály** – v průmyslu mají největší význam, největší příčné rozměry výztuže jsou v rozmezí 1 až 100 μm , mají menší hustotu a tedy příznivý poměr pevnosti v tahu a modulu pružnosti k hustotě.
- **Makrokompozitní materiály** – obsahují výztuž o velikosti příčného rozměru až 100 mm a jsou používány především ve stavebnictví (např. železobeton, tj. beton zpevněný ocelovými lany nebo pruty, nebo kombinace plastového střešního okna s dřevěným jádrem)
- **Nanokompozitní materiály** – jsou kompozitní materiály s polymerní maticí, u kterých se rozměr částicové výztuže pohybuje v jednotkách nanometrů.[12]

3.3 Složení kompozitních materiálů

Kompozitní materiály jsou složeny ze dvou nebo více chemicky a fyzikálně odlišných složek (fází). Tvrdší, tužší a pevnější nespojitá složka se nazývá výztuž, spojitá a obvykle poddajnější složka, která zastává funkci pojiva výztuže, se nazývá matrice. Podle současného chápaného pojmu kompozit musí být k zařazení vícefázového materiálu mezi kompozitní materiály splněny následující podmínky:

- Podíl výztuže musí být větší než 5 %
- Vlastnosti výztuže a matrice (mechanické, fyzikální i chemické) se liší, výztuž je významně pevnější v tahu a obvykle tužší než matrice
- Kompozit musí být připraven mísením složek [12]



Obr. 29 Hokejová čepel a její složení od firmy WILLER

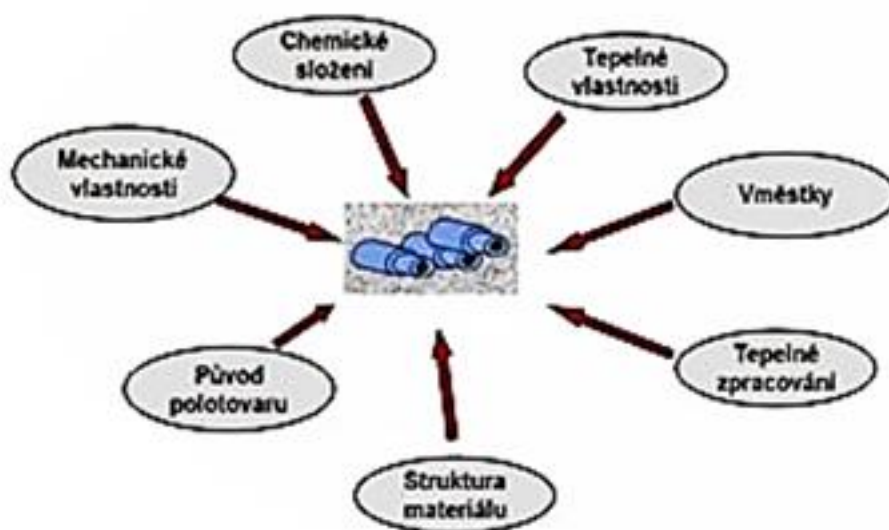
4 OBROBITELNOST MATERIÁLU

Obrobitelnost je v technologii obrábění kovů široce rozšířený výraz. Je to systémová vlastnost, která vyjadřuje, jak efektivní může být obrábění při nízkých nákladech a za daných technologických podmínek.[16]

4.1 Pojem obrobitelnosti materiálu

Obrobitelnost je technologická vlastnost daného materiálu, která charakterizuje jeho vhodnost k obrábění. Zahrnuje vliv mechanických a fyzikálních vlastností materiálu, chemického složení, tepelného zpracování, struktury a způsobu výroby polotovaru na kvalitativní, kvantitativní a ekonomické výsledky procesu řezání. Obrobitelnost nelze vztáhnout jen k samotnému obráběnému materiálu, protože závisí i na způsobu obrábění a řezných podmínkách.

- Dalším možným kritériem pro hodnocení relativní obrobitelnosti může být:
- Dosažená drsnost obrobené plochy
- Opotřebení břitu nástroje
- Množství energie potřebné k odřezání dané vrstvy materiálu
- Teplota řezání
- Druh a tvar třísek



Obr. 30 Vlastnosti ovlivňující obrobitelnost materiálu[16]

Obrobitelnost tedy není jediná vlastnost materiálu. Je to systém chování materiálu během řezání. Z podsystemu jsou nejvýraznější druh nástrojového materiálu a řezná rychlost. Samozřejmě dalšími významnými složkami, které ovlivňují obrobitelnost, jsou tepelné vlastnosti, chemické složení, mechanické vlastnosti atd. viz Obr. 1. Všechny výsledky experimentů musí uvádět podmínky, za kterých byly experimenty prováděny a pro které podmínky platí.

4.2 Obrobitelnost kompozitů

Obrábění kompozitních materiálů je obtížné a volba vhodných řezných nástrojů vyžaduje zpravidla selektivní postup a velkou pečlivost. K nejrozšířenějším obráběcím operacím při zpracování těchto materiálů patří řezání, soustružení, frézování a zejména vrtání. Nejčastěji obráběné kompozitní materiály obsahují vlákna uhlíková, skelná nebo aramidová, která jsou vázána organickým polymerem, epoxidovou nebo fenolovou pryskyřicí.

Vzájemnou kombinací matrice a vyztužujících vláken lze dosáhnout rozdílných mechanických vlastností, které je nutno zohlednit při volbě řezného nástroje. Zatímco kompozitní materiály zpevněné uhlíkovými vlákny jsou velmi abrazivní, a tudíž je vyžadován co nejvíce odolný nástrojový materiál, tytéž materiály vyztužené aramidovou tkaninou kladou velké nároky především na správnou geometrii břitu, protože jsou měkké a lehce se poddají tlaku nástroje. Pro tyto materiály byly vyvinuty speciální nástroje, které vlákno nejprve předechnou a potom čistě oddělí a odstraní z pracovního prostoru. Kromě nástroje samotného mají hlavní vliv na kvalitu obrábění kompozitních materiálů i řezné podmínky. Záleží na správně zvoleném posuvu, na otáčkách a na zajištění dokonalého řezu, to znamená na zamezení tření nástroje o povrch obrobku. Neřeže-li nástroj správně, dochází k delaminaci materiálu nebo k lomu vláken.

Průběh řezu v kompozitních materiálech je naprosto odlišný, než je tomu u kovů. Když břit vytváří třísku, nedochází ke kluzu jako u většiny kovů, ale kompozitní materiál je roztrháván, mnohdy tak, že přitom dochází k přeřezávání matrice, zatímco vyztužující vlákna se během obráběcího procesu lámou. Všeobecným principem, platným pro obrábění kompozitů, je použití ostrých břitů s dostatečně velkým úhlem hřbetu, které umožňují čistý řez a potlačení tendencí k odírání nástroje o obrobek. Snížení opotřebení nástroje na minimum je velice důležité, jelikož geometrické změny řezné hrany mají za následek velice prudkou a nadměrnou tvorbu tepla, lom břitu a problémy s kvalitou součásti [17,18].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce je vytvořit komponenty k obrábění hokejových čepelí. Obrábění budou broušením na rotujících pásech s různou drsností povrchu. Důraz u těchto komponentů je kladen na kvalitu, jednoduchost, trvanlivost a nízké pořizovací náklady.

Shrnutí práce v jednotlivých bodech:

I. Teoretická část

1. Úvod do robotiky se základním rozdělením robotů
2. Teorie zaměřená na konstrukci koncových efektorů
3. Teorie pneumatických pohonů pro koncové efekторы

II. Praktická část

1. Koncový efektor – uchopovač
 - a) Specifikace dané problematiky
 - b) Návrh a řešení
 - c) Konstrukce a výroba
 - d) Zhodnocení funkčnosti v testovacím procesu
2. Podávací zásobník
 - a) Specifikace dané problematiky
 - b) Návrh a řešení
 - c) Konstrukce a výroba
 - d) Zhodnocení stavu
3. Závěr

6 KONCOVÝ EFEKTOR



Obr. 31 Koncový efektor

6.1 Specifikace dané problematiky

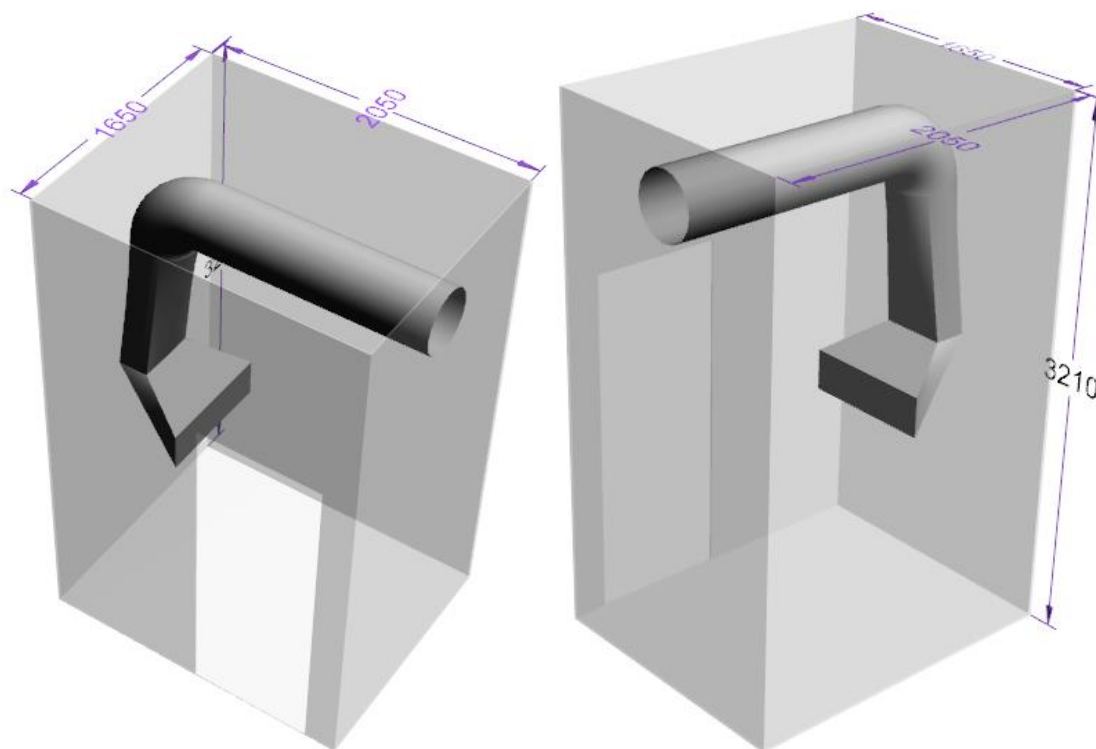
Na základě pořízeného robota od firmy Fanuc pro následné vykonávání obráběcího procesu je zapotřebí vyrobit koncový efektor – uchopovač, který bude prostředníkem mezi robotem a hokejovou čepelí. Hokejové čepele budou broušeny na brusných páslech o různých drsnostech a na speciálních kartáčích pro jemné dohlazení hrubě obroušených hran. Doposud byly čepele broušeny ručně na těchto brusných páslech. Celý brousící proces a trajektorie pohybu budou vytvořeny na základě zkušeností z ručního broušení a tomu také musí být přizpůsoben tvar uchopovače, aby takové opracování umožnil.

Požadavky na takový uchopovač jsou:

- Jednoduchost
- Kvalita – trvanlivost, dostatečné naddimenzování
- Malé rozměry a hmotnost
- Nízké náklady

Jeho úlohou bude jen dostatečně pevně uchytit hokejovou čepel, tak aby ji bylo možné obrobit ze všech požadovaných směrů. Tudíž bude mít uchopovač pouze dva stavy – otevřený/zavřený.

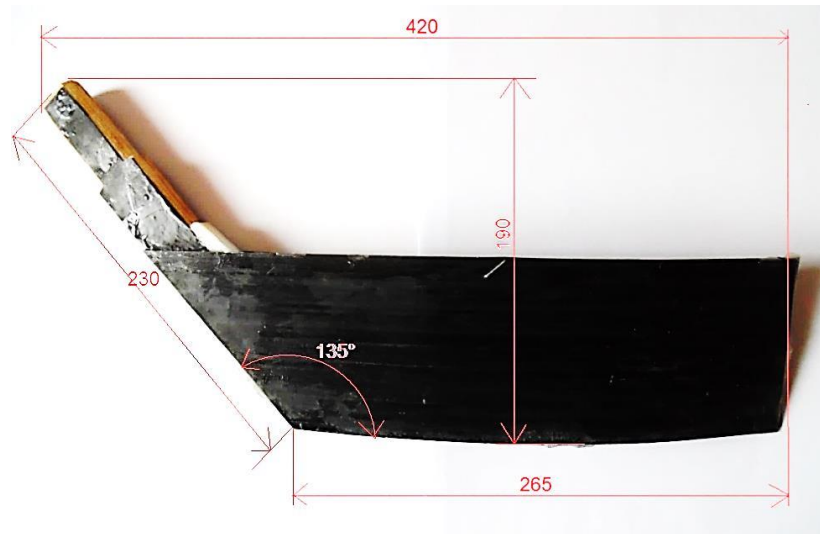
Dále jsou okrajové podmínky stanoveny prostředím, ve kterém bude pracovat. Bude to místnost o rozměrech 2,05 x 1,65 x 3,21 m (*Obr. 34*).



Obr. 32 3D model místnosti, ve které bude broušící centrum

Tudíž je kladen důraz na minimální rozměry uchopovače, vzhledem k tomu že hokejová čepel je délkově poměrně rozměrná pro manipulaci na robotu v takovém prostoru.

Dalším požadavkem je zabránění nebo alespoň snížení vibrací přenášených při broušení přes čepel na uchopovač a dále na robota.



Obr. 33 Polotovar hokejové čepele s rozměry

Hokejová čepel je kompozit, který tvoří různorodé materiály. Je kombinací dřevěného dřívku, polyamidového jádra s vnějšími vrstvami ze skelných a uhlíkových laminátů a tkanin. Hmotnost polotovaru čepele se pohybuje okolo 275 g.

Robot, který bude operaci vykonávat je od firmy **FANUC** model **M-10iA/10M**. Je to model s dvojitým uchycením koncové příruby pro větší tuhost celého robota při obrábění. Tudíž je ideální volbou pro tento typ operace. Podrobnější informace viz příloha č. 1.



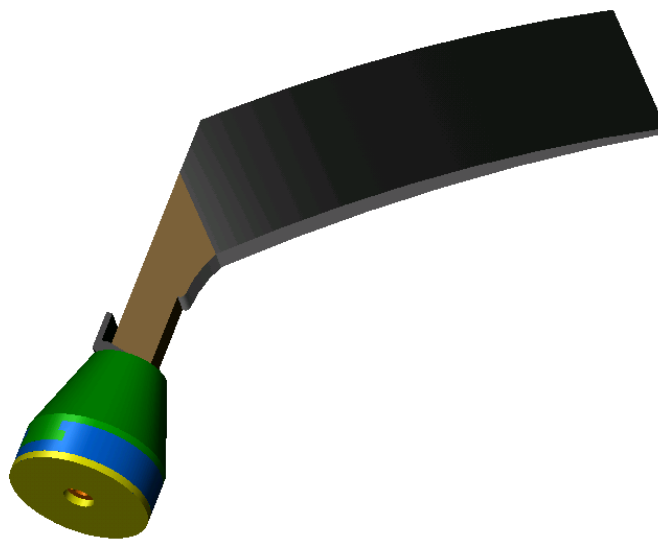
Obr. 34 Robot FANUC M-10iA/10M

6.2 Návrhy možného řešení

Vzhledem k tomu že neexistuje žádné přímé řešení pro tento typ úlohy, který by se dal převzít, bude vyroben prototypový uchopovač. Na základě stanovených okrajových podmínek bylo vytvořeno několik návrhů s různými principy pohybování čelistí uchopovače.

6.2.1 Jednotlivé návrhy

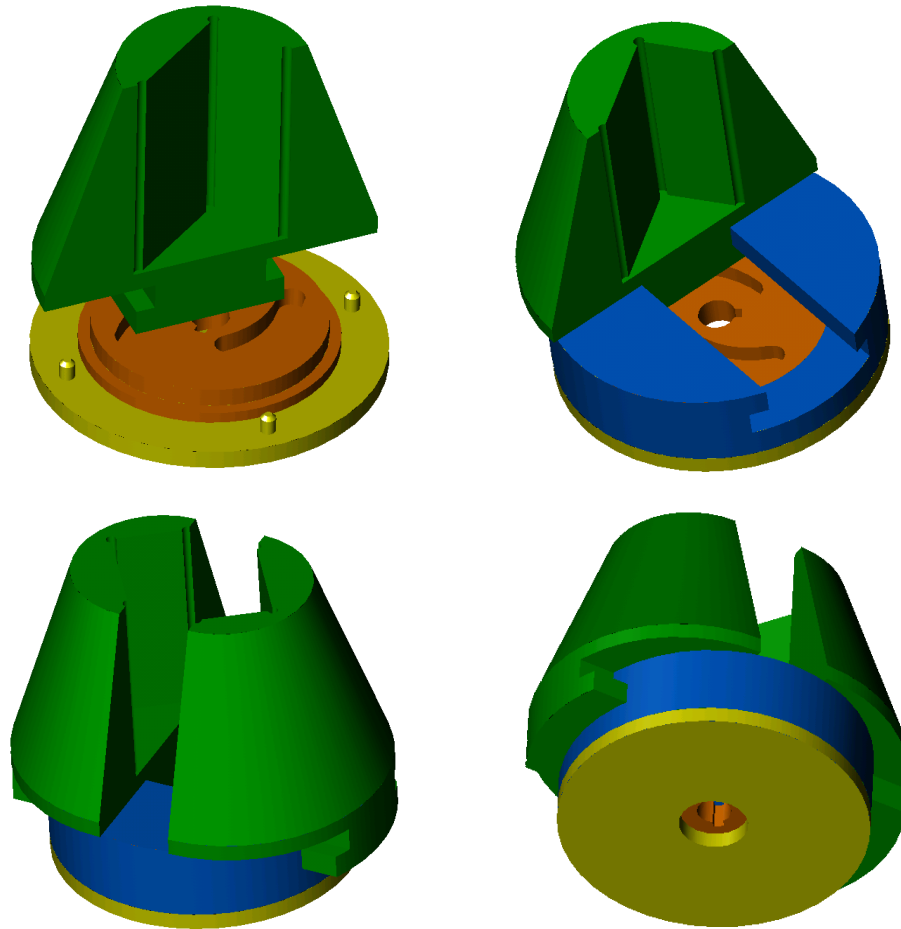
1) Návrh č. 1 - Paralelně posuvné čelisti



Obr. 35 Model prvního návrhu

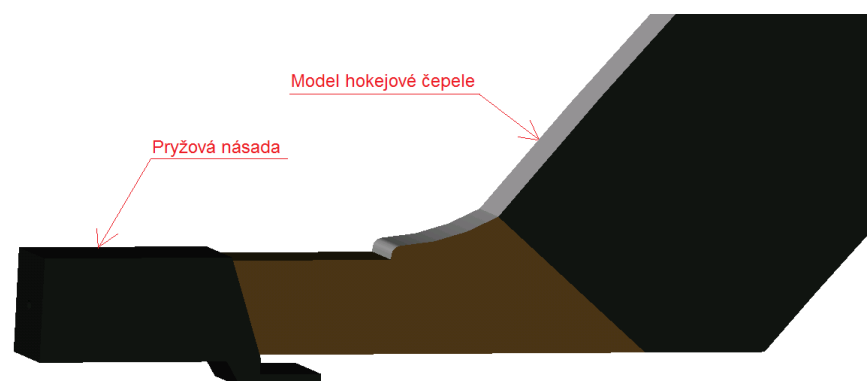
Tento návrh je založen na principu vačkového mechanismu, přičemž pohonem pro toto řešení je rotační pneumatický motor, který se otáčí o daný úhel. Takový typ pohonu lze zakoupit u firmy Festo.

Principem funkce tohoto uchopovače je převod rotačního pohybu na přímočarý pomocí vačkového mechanismu. Základ by tvořila příruba uchycená k robotu spolu s rotačním pneumatickým pístem, na kterém by byl namontován mechanismus (*obr. 38*) který by měnil rotační pohyb na přímočarý a ten by paralelně pohyboval čelistmi. Tyto čelisti by se pak pohybovaly k sobě a od sebe a tím by docházelo k uchopení hokejové čepele.



Obr. 36 Zobrazení principu vačkového mechanismu pro uchopovač

Pro snížení přenášených vibrací by byly vyrobeny pryžové nástrčné násady, které by byly předem umístěny na konci čepelí a přes tuto násadu by uchopovač sevřel čelisti. Vzhledem k tomu že na obrobenu čepelí nejsou kladeny velké rozměrové přesnosti, pohybujeme se v řádech milimetrů, tak by neškodila dilatace způsobená tvrdostí pryže při broušení.



Obr. 37 Řešení pomocí pryžové násady

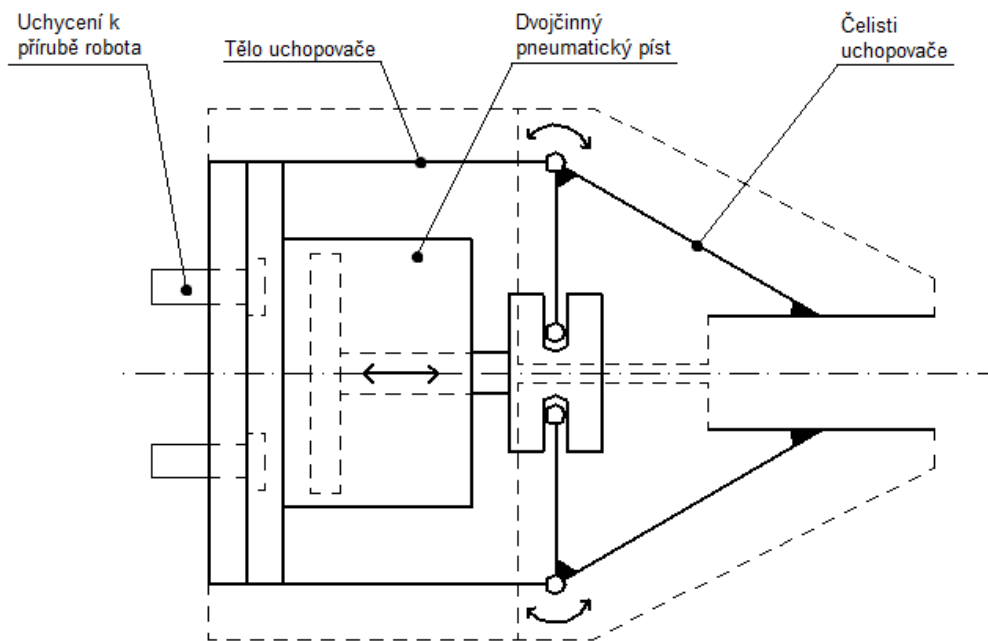
Výhody tohoto řešení:

- Malé rozměry
- Paralelní přímočarý pohyb čelistí

Nevýhody:

- Složitost vačkového mechanismu
- Možnost opotřebení mechanismu a následný vznik vůlí
- Vysoké pořizovací náklady rotačního pístu
- Malé uzavírací síly rotačního pístu

2) Návrh č. 2 – Angulárně pohyblivé čelisti



Obr. 38 Schéma principu funkce pro návrh č. 2

Řešení s angulárně pohyblivými čelistmi pracuje na základě zpětného tahu dvojitýho pneumatického pístu. Spolu se zpětným chodem pístu dochází k uzavírání čelistí přes pákový mechanismus a sevření hokejové čepele.

Výhody:

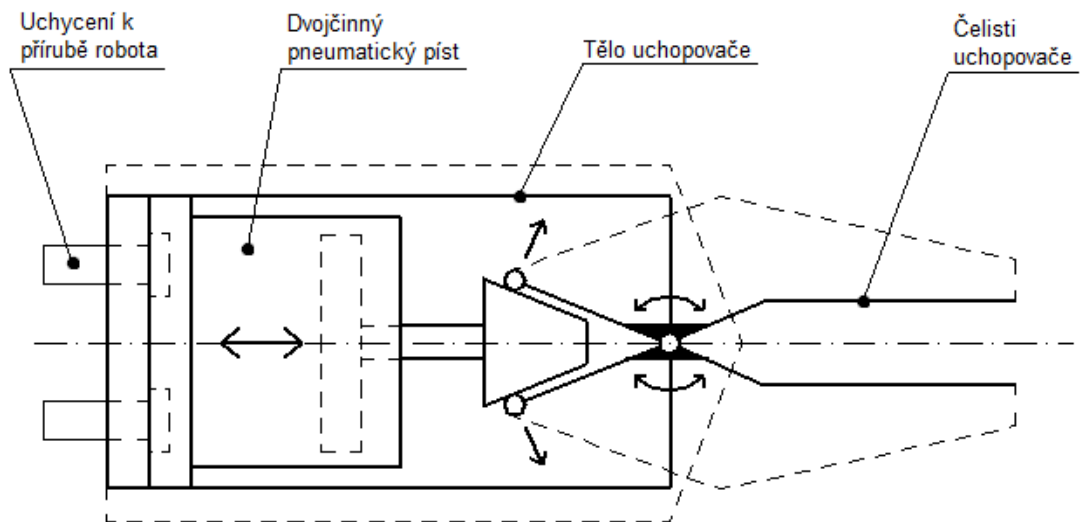
- Nízké pořizovací náklady dvojitýho pístu

- Jednoduchost mechanismu, minimalizace tření a opotřebení
- Malé rozměry

Nevýhody:

- Nižší efektivita pístu díky uzavírání při zpětném chodu

3) Návrh č. 3 – Pákově pohyblivé čelisti



Obr. 39 Schéma principu funkce návrhu č. 3

Třetí návrh pracuje opačně než návrh č. 2, tedy při vysunutí dvojitýho pneumatického pístu dojde k vysunutí klínu, který přes pákový mechanismus sevře čelisti a tím dojde k uchopení hokejové čepele.

Výhody:

- Nízké pořizovací náklady dvojitýho pístu
- Jednoduchost mechanismu, minimalizace tření a opotřebení
- Velká uzavírací síla - maximální využití tlačné síly pneumatického pístu

Nevýhody:

- Větší rozměry oproti předchozím návrhům, díky pákovému mechanismu

6.2.2 Zhodnocení a výběr optimálního návrhu

Po zhodnocení všech výhod a nevýhod jednotlivých návrhů s majitelem firmy panem Kotrlou byl vybrán k realizaci **návrh č. 3**.

Byl vybrán na základě jeho výhod - jednoduchosti řešení, nízkým pořizovacím nákladům a velké uzavírací síle, která bude pro broušení důležitá.

6.3 Řešení vybraného návrhu

Primárním úkolem řešení je výpočet uchopovací síly a následně vytvořit model tak aby splňoval všechny pevnostní i tuhostní podmínky pro tento proces. Uzavírací sílu na samotnou manipulaci s čepelí můžeme zanedbat, jelikož ji mnohokrát přesáhne dále řešená uchopovací síla pro přítlak při broušení. K řešení uchopovací síly vycházíme z praktických znalostí od pana Kotle, které naddimenzujeme pro vysokou bezpečnost při procesu. Výpočet uzavírací síly bude pro nejhorší možný případ, který může nastat při broušení. Je to moment kdy působí maximální síla na nejvzdálenějším konci hokejové čepel od místa uchycení.



Obr. 40 Znáornění působení síly v nejkritičtějších místě

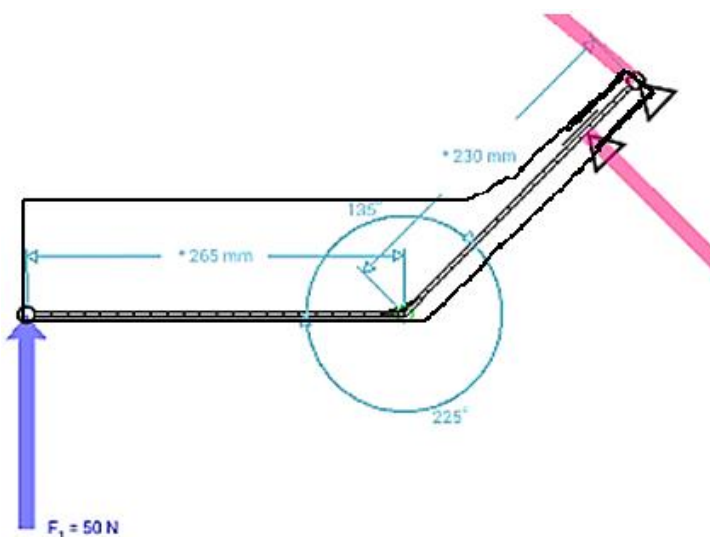
6.3.1 Výpočet uchopovací síly

Pro tento výpočet se bude vycházet ze síly, která je potřebná pro přitlačení čepel k brusnému pásu, tak aby došlo k efektivnímu obroušení. Síla byla stanovena panem Kotle na základě jeho předchozích zkušeností a znalostí z výroby. Hodnota přítlačné síly je maxi-

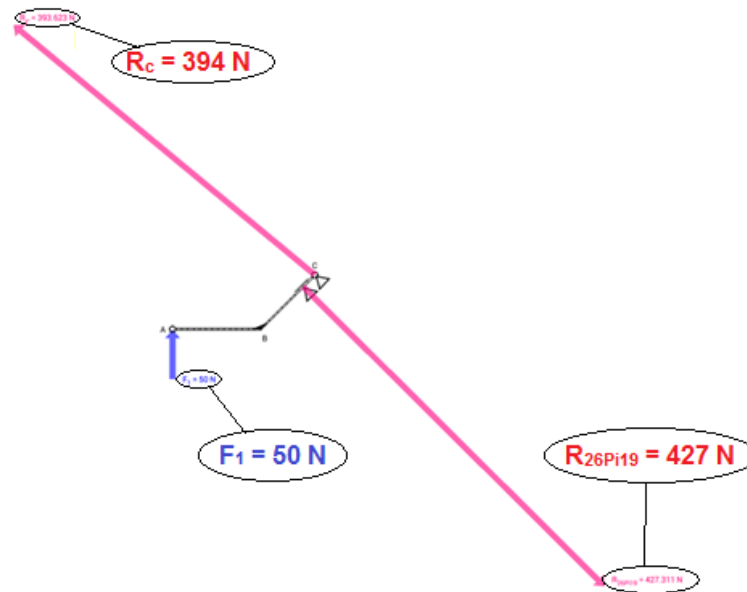
málně 5 kilogramů, kterou pro výpočty převedeme na **50 N**. Tuto sílu aplikujeme do nejkritičtějšího místa dle *Obr. 43*. Při výpočtech uvažujeme čepel jako absolutně tuhé těleso.

Pro uchopení máme k dispozici konec hokejové čepel, který je obdélníkového tvaru a o rozměrech 16 x 26 mm a délkou 60 mm. Při výpočtech budeme počítat s délkou pro uchopení jen 50 mm, kvůli možné rezervě při uchopení.

Ke zjištění působících sil v místě uchopení využijeme program **Autodesk Forceeffect**. V tomto programu schematicky znázorníme tvar čepel s totožnými rozměry a upevníme vazbami v místě konce kolíku čepel a v konci uchopovače, kde budou působit největší síly vyvozené působící silou na čepel. Po zatížení stanovenou silou se nám znázorní reakce (síly) působící v místech uložení. Tyto reakce vyjadřují zatížení, které bude působit na čelisti uchopovače.



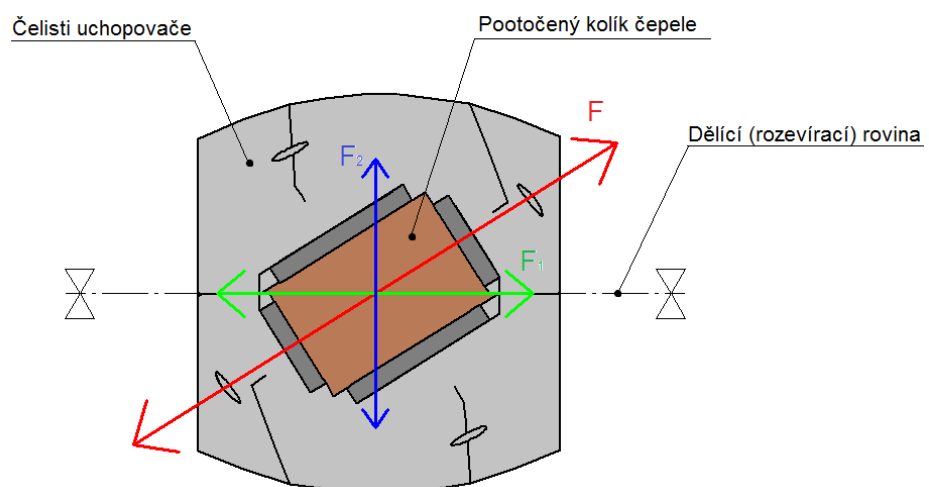
*Obr. 41 Znázornění schémata a rozměrů čepel
pro výpočet v programu Autodesk Forceeffect*



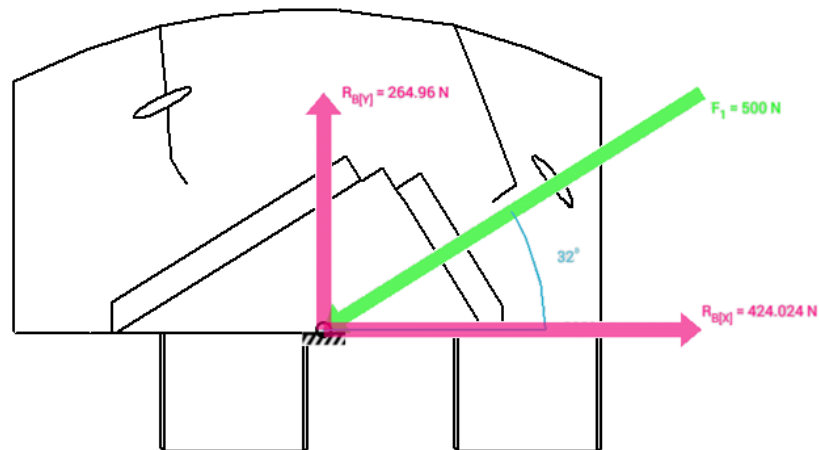
Obr. 42 Výsledek simulace zatížení čepele v programu Autodesk Forceeffect

Výsledné hodnoty reakcí jsou $R_c = 394 \text{ N}$ a $R_{26Pi19} = 427 \text{ N}$. Pro další výpočty použijeme vyšší hodnotu, kterou v rámci naddimenzování zaokrouhlíme na **500 N**.

Protože je kolík čepele obdélníkový a použijeme jen dvě čelisti, vyřešíme uchopení pootočením osy celého uchopovače a uchytíme kolík tak, že diagonála mezi rohy kolíku bude souběžná s dělicí rovinou, ve které se uchopovač bude rozevírat. Tím nám na každé čelisti vznikne trojúhelníkový zářez, ve kterém bude čepel uchycena. Díky tomuto řešení dojde k rozkladu sil působících na čelist a nebude zapotřebí velkých sil k sevření čelistí (viz Obr. 46, 47). Díky symetrii této úlohy, budeme početně řešit pouze jednu polovinu uchopovače.

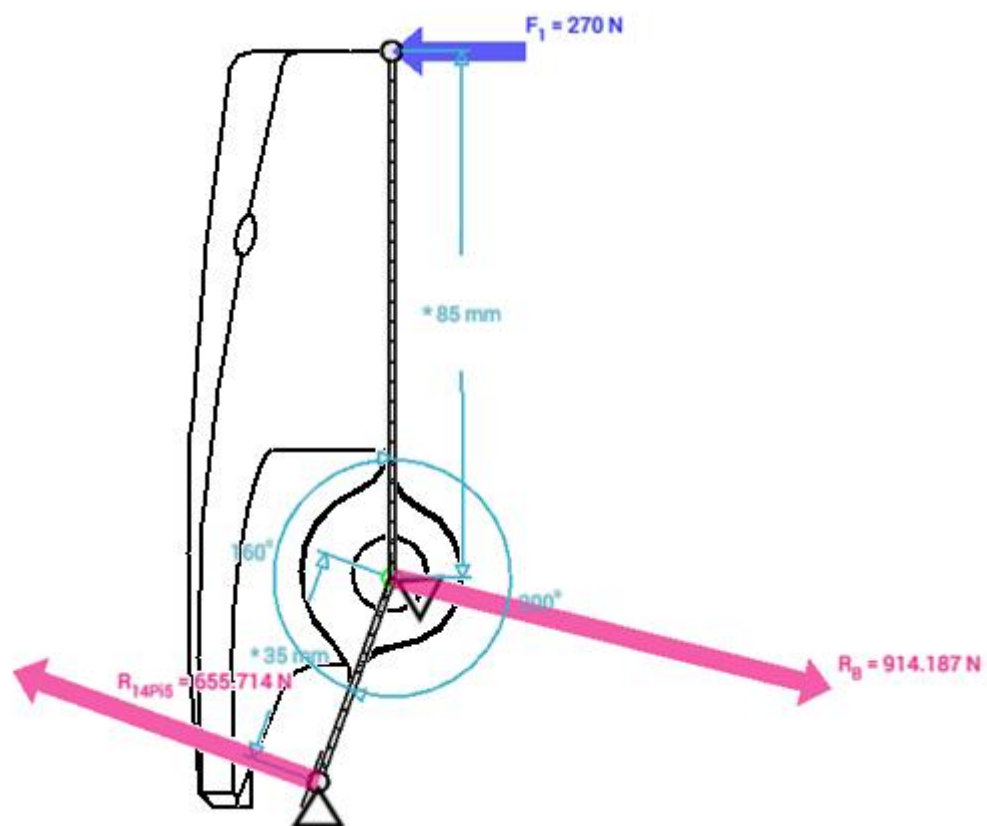


Obr. 43 Zobrazení rozkladu sil na čelistech uchopovače



Obr. 44 Znárodnění rozkladu sil na čelisti uchopovače

Větší sílu $F_1 = R_{B(x)} = 424 \text{ N}$ zachytí a bude přenášet tělo celého uchopovače a menší síla $F_2 = R_{B(y)} = 265 \text{ N}$ je síla, kterou musíme překonat pneumatickým pístem přes klín tlačící na pákový mechanismus čelistí, aby nedošlo k pootvření čelistí, při působení maximální síly. Pro další výpočty v rámci bezpečnosti zaokrouhlíme sílu F_2 na rovných 270 N .

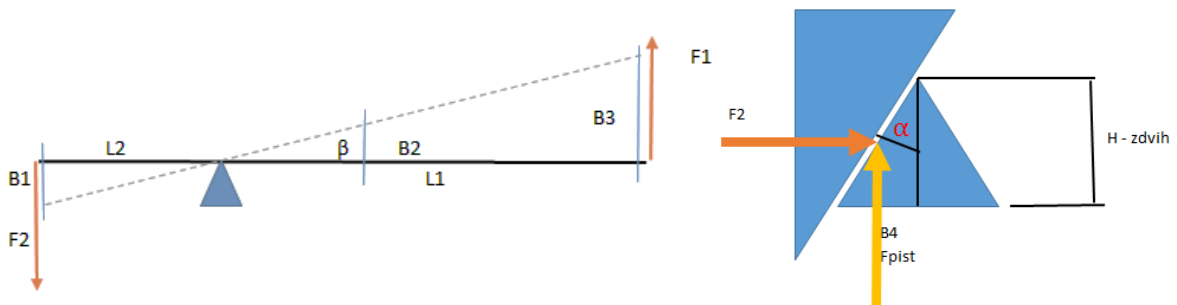


Obr. 45 Rovnováha na páce (čelisti uchopovače) v programu AF

Z provedené simulace rovnováhy na páce (obr. 48) známe reakci $R_{14Pi5} = 656 \text{ N}$, která působí kolmo k nakloněnému povrchu klínu tlačícího pístem. Pomocí této reakce vypočítáme minimální sílu, kterou musí vyvodit pneumatický píst. A na základě tohoto výsledku zvolíme píst, který bude v uchopovači pracovat.

6.3.2 Výpočet minimální síly pneumatického pístu:

Dáno: $F_1 = 270 \text{ N}$...Síla od čepele působící na čelist
 $F_2 = 656 \text{ N}$...Síla vyvozená pákovým mechanismem
 $L_1 = 85 \text{ mm}$...Délka ramene k uchopení
 $L_2 = 35 \text{ mm}$...Délka ramene u pístu
 $H = 15 \text{ mm}$...Zdvih pístu
 $\alpha = 22^\circ$...Úhel nakloněné roviny pohyblivého klínu k ose pístu
 $f = 0,15$...Koefficient tření (kov-kov)



Obr. 46 Schéma rovnováhy na páce; schéma klínu tlačícího na páku

1) Kontrolní výpočet F_2 :

$$F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2 \quad (6)$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot L_1}{L_2} = \frac{270 \cdot 85}{35} = 656 \text{ N}$$

2) Výpočet minimální síly pístu $F_{píst}$:

$$F_{píst} = F_2 \cdot (\operatorname{tg} \alpha + f) \quad (7)$$

$$F_{píst} = 656 \cdot (\operatorname{tg}22^\circ + 0,15) = \underline{\underline{363 \text{ N}}}$$

3) Výpočet poloviny šířky klínu při sevřeném uchopovači B_4 :

$$B_4 = \operatorname{tg}\alpha \cdot H \quad (8)$$

$$B_4 = \operatorname{tg}22^\circ \cdot 15 = \mathbf{6,06 \text{ mm}}$$

$B_4 = B_1 \Rightarrow$ Vzdálenost o kterou se posune čelist při vysunutí pístu do horní polohy

4) Výpočet úhlu β k ose uchopovače (pístu) při rozevření čelistí:

$$\beta = \operatorname{arctg}\left(\frac{B_4}{L_2}\right) \quad (9)$$

$$\beta = \operatorname{arctg}\left(\frac{6,06}{35}\right) = \mathbf{9,82^\circ}$$

5) Výpočet poloviny vzdálenosti rozevřených čelistí v nejvyšším bodě čelistí B_3 :

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{B_3}{L_1} \quad (10)$$

$$B_3 = \operatorname{tg}\beta \cdot L_1 = \operatorname{tg}(9,82^\circ) \cdot 85 = \mathbf{14,7 \text{ mm}}$$

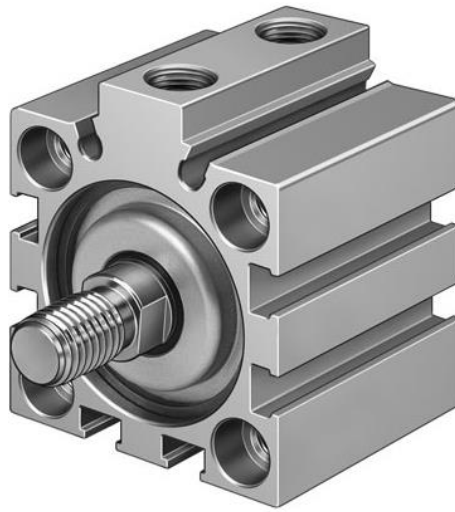
6) Výpočet poloviny vzdálenosti rozevřených čelistí B_2 v nejnižším místě zářezu pro kolík čepele:

$$B_2 = \operatorname{tg}\beta \cdot (L_1 - 60) = \operatorname{tg}(9,82^\circ) \cdot (85 - 60) = \mathbf{4,3 \text{ mm}}$$

Na základě vypočtené síly $F_{píst} = 363 \text{ N}$ jsme po konzultaci s panem Kotrlou zvolili píst z nabídky firmy **FESTO**. Byl vybrán dvojčinný píst s krátkým zdvihem a se snímáním poloh, typ **ADVC-50-15-A-P-A**. Píst má průměr 50 mm, zdvih 15 mm a vnější závit na pístnici pro našroubování tlačného klínu. Síla tohoto pístu je 1178 N při tlaku 6 bar.

Síla pístu více než trojnásobně přesahuje minimální sílu potřebnou k sevření a udržení čepele při maximálním zatížení a tím je zajištěna vysoká bezpečnost při procesu broušení.

Při zpětném výpočtu zjistíme, jaká je skutečná uzavírací síla, při tlaku vzduchu 6 barů a jaký může být maximální přitlak čepele k brusnému pásu.



Obr. 47 Dvojjinný píst FESTO ADVC-50-15-A-P-A

6.3.3 Výpočet skutečné uchopovací síly

Dáno: $F_{píst} = 1178 \text{ N}$...Síla pístu při dopředném pohybu

Zjišťujeme: $F_2 [N]$...Síla přenášejí se z tlačného klínu na čelist

$F_1 [N]$...Síla působící na konci čelisti uchopovače

$F_{MAX \text{ skutečná}} [N]$...Maximální síla přitlaku čepele

$k [-]$...bezpečnost uchopovací síly

$$F_{píst} = F_2 \cdot (tg\alpha + f) \quad (11)$$

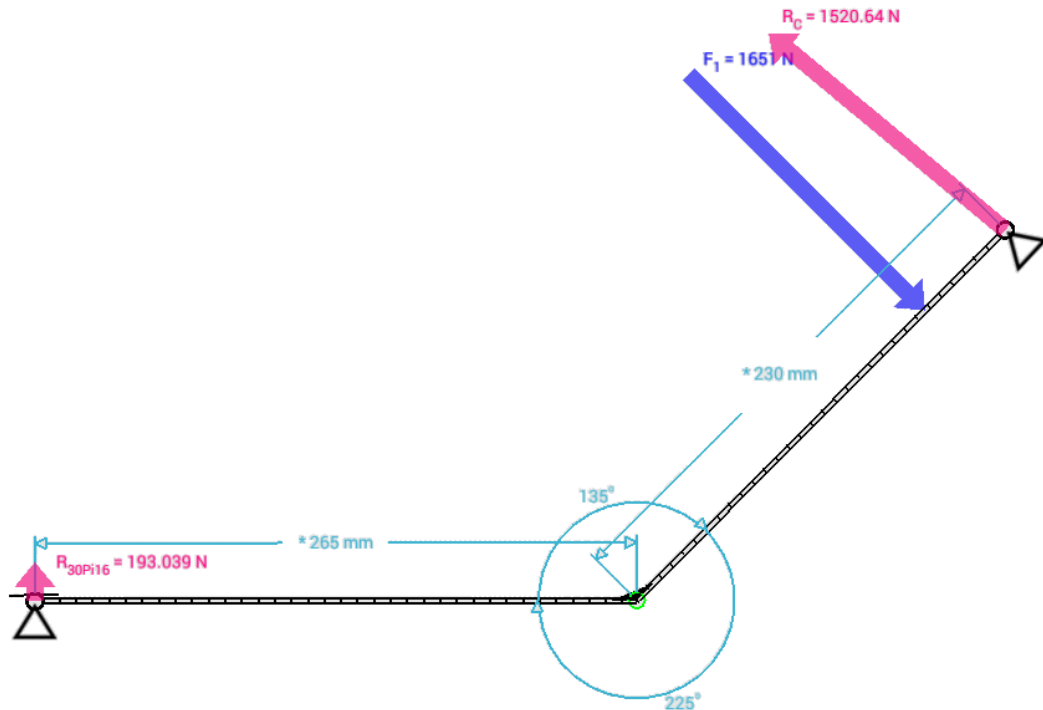
$$F_2 = \frac{F_{píst}}{(tg\alpha + f)} = \frac{1178}{(tg22^\circ + 0,15)} = \mathbf{2126 \text{ N}}$$

$$F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2$$

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot L_2}{L_1} = \frac{2126 \cdot 35}{85} = \mathbf{875 \text{ N}}$$

Vypočtenou sílu aplikujeme reverzně do programu Atodesk Forceeffect:

$$F = \frac{F_1}{\cos 58^\circ} = \frac{875}{\cos 58^\circ} = \mathbf{1651\ N} \quad (12)$$



Obr. 48 Reverzní analýza v programu AF

- Skutečná uzavírací síla:

$$R_{30Pi16} = F_{MAX\ skutečná} = \mathbf{193\ N}$$

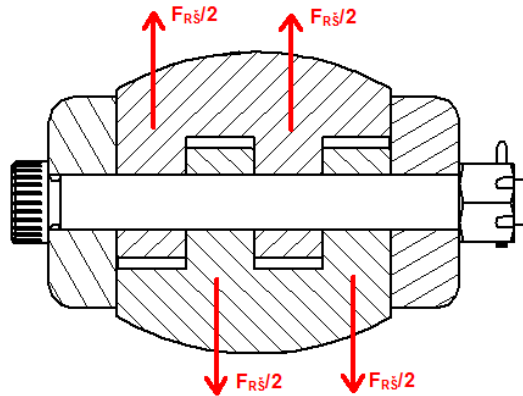
- Výpočet bezpečnosti uchopovací síly:

$$k = \frac{F_{MAX\ skutečná}}{F_{MAX}} = \frac{193}{50} = \mathbf{3,86} \quad (13)$$

Po aplikaci vypočtené síly do zjednodušeného modelu čepele jsme získali reakci $R_{30Pi16} = 193\ N$, která odpovídá maximální síle, kterou může být zatížena čepel při broušení, tak aby byla zajištěna bezpečnost při procesu broušení a čepel tak bezpečně držela v uchopovači. Hodnota bezpečnosti je skoro čtyřnásobně vyšší, než bylo počáteční kritérium. Této přítláčné síly se však nikdy nedosáhne z důvodu toho, aby nedošlo k poškození čepele nebo brusného pásu.

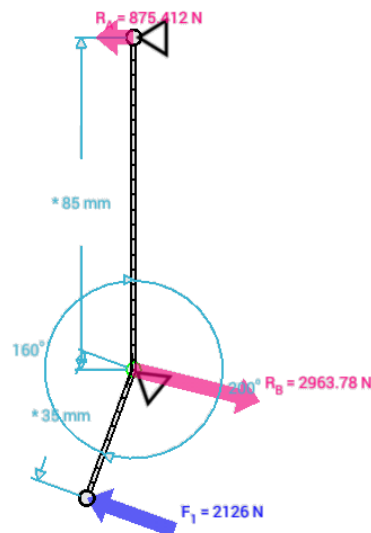
6.3.4 Výpočet velikosti průměru lícovaného šroubu

Pro výpočet lícovaného šroubu, který bude spojovat obě čelisti s tělem uchopvače použijeme výsledky z minulých výpočtů. Po výpočtu minimálního potřebného průměru šroubu, bude šroub dimenzován a ověřen na stříh a otláčení.



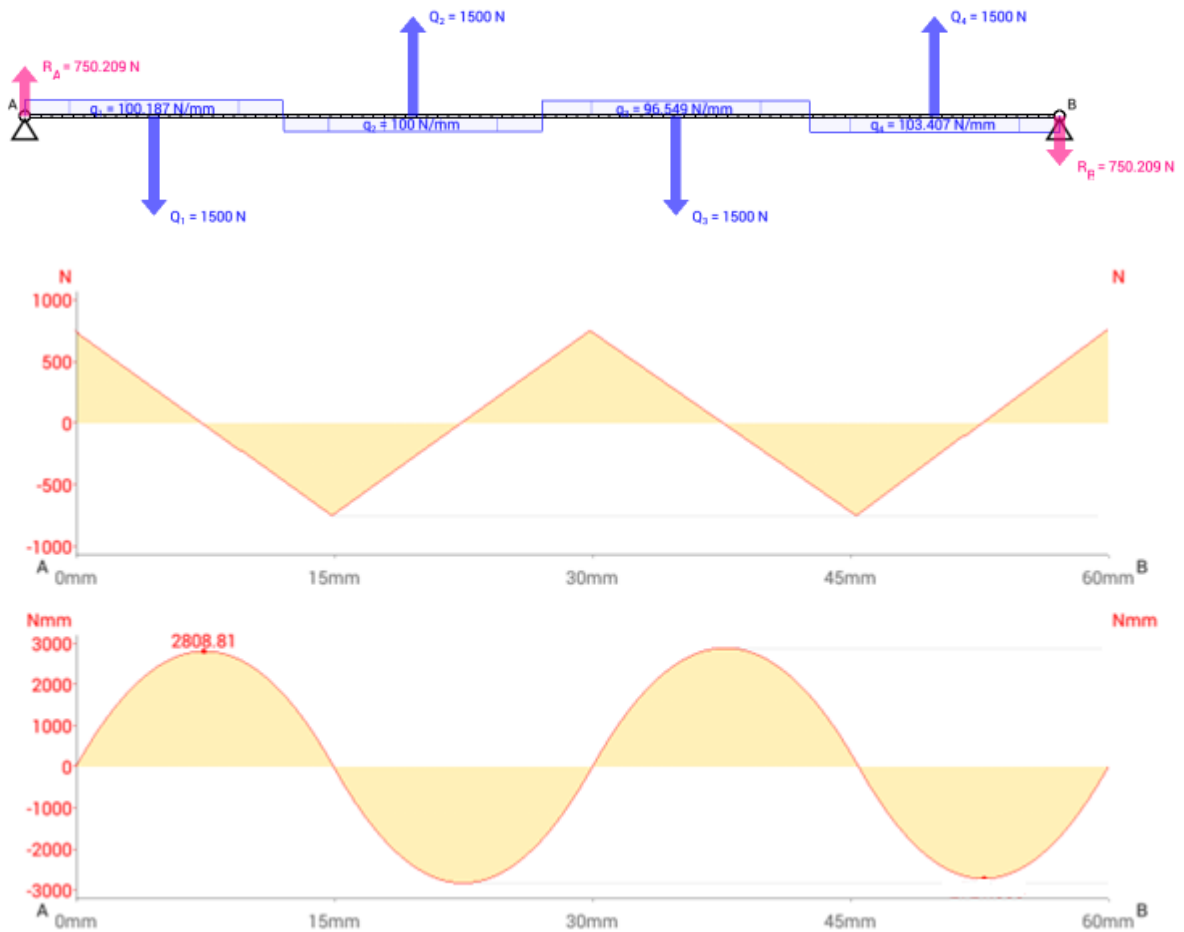
Obr. 49 Schéma působení sil ve šroubu

Z předchozích výpočtů víme, jakou sílu píst vyvozuje přes tlačný klín směrem do čelisti ($F_2 = 2126 \text{ N}$). Tuto sílu použijeme do reverzní analýzy pro výpočet reakcí na čelisti v programu AF a zjistíme jakou silou je namáhán šroub.



Obr. 50 Schéma reverzní analýzy v AF

Z analýzy jsme zjistili, že síla působící na šroub je 2964 N pro další aplikaci ji zaokrouhlíme na 3000 N a rozložíme ji na délku šroubu, jako spojitě zatížení viz Obr. 51.



Obr. 51 Analýza zatížení šroubu v AF

Z výsledků analýzy získáme hodnotu ohybového momentu ($M_{OMAX} = 2809 \text{ N.mm}$), pomocí které navrhne průměr šroubu a následně ověříme na střih a otláčení

- Dáno: $F = 3000 \text{ N}$...Síla působící na šroub
 $M_{OMAX} = 2809 \text{ N.mm}$...Ohybový moment ve šroubu
 $L = 60 \text{ mm}$...Zatížená délka šroubu
Materiál: 1.0050 (11 500)
 $\sigma_{DO} = 150 \text{ MPa}$...Dovolené napětí v ohybu
 $Re = 290 \text{ MPa}$...Mez kluzu materiálu
 $p_D = 135 \text{ MPa}$...Dovolené napětí na otláčení
 $\tau_{DS} = 85 \text{ MPa}$...Dovolená mez únavy ve smyku

Zjišťujeme:	D_{ξ} [mm]	... Minimální průměr šroubu
	τ_S [MPa]	... Napětí ve stříhu
	p [MPa]	... Tlak působící na šroub

- Návrh průměru šroubu:

$$\sigma_O = \frac{M_O}{W_O} \leq \sigma_{DOV} \quad (14)$$

$$\sigma_{DOV} = \frac{M_{O_{MAX}}}{W_O} = \frac{M_{O_{MAX}}}{\frac{\pi \cdot D_{\xi}^3}{32}} \Rightarrow D_{\xi} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{O_{MAX}}}{\pi \cdot \sigma_{DOV}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2809}{\pi \cdot 150}} = 5,75 \text{ mm}$$

Z důvodu že šroub bude vystaven procesu obrábění a může být tedy více namáhán, volím až dvojnásobně větší **průměr šroubu 12 mm**. Konkrétní typ lícovaného šroubu je 12 x 90 M10 dle ČSN 02 1112.

- Kontrola na stříh:

$$\tau_S = \frac{F}{2 \cdot S_{\xi}} \leq \tau_{DS} \quad (15)$$

$$\tau_S = \frac{F}{3 \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_{\xi}^2}{4}\right)} = \frac{3000}{3 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 12^2}{4}\right)} = 8,84 \text{ MPa} < \tau_{DS} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- Kontrola na otláčení:

$$p = \frac{F}{S} \leq p_D \quad (16)$$

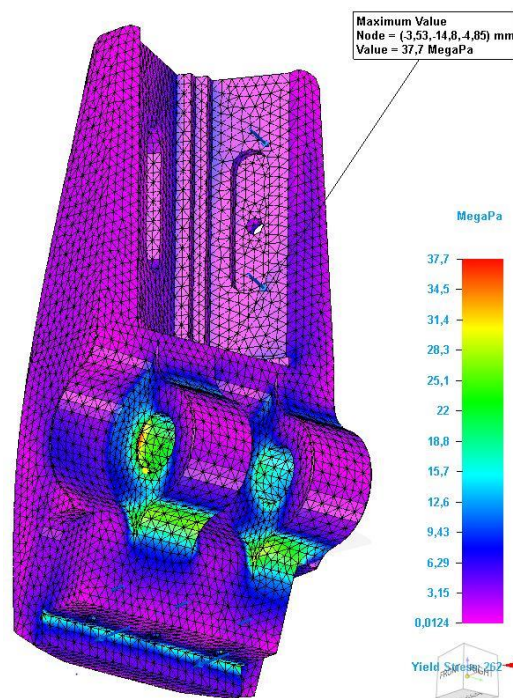
$$p = \frac{F/2}{D_{\xi} \cdot L} = \frac{1500}{12 \cdot 15} = 8,33 \text{ MPa} \leq p_D \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.3.5 Mechanická analýza čelisti

Čelist byla podrobena mechanické zkoušce, při které na ni byly aplikovány síly z předchozích výpočtů. Analýzy byly provedeny v programu **Solid Edge ST7**. Zatížena byla uží plocha v zářezu pro kolík čepele silou 500 N, která má simulovat zatížení od čepele, které bude působit při broušení. Další síla 2126 N byla umístěna tak aby simulovala tlak vyvozený pístem přes tlačný klín do čelisti. Vazby byly umístěny v místě uchycení a to v dírách pro lícovaný šroub.

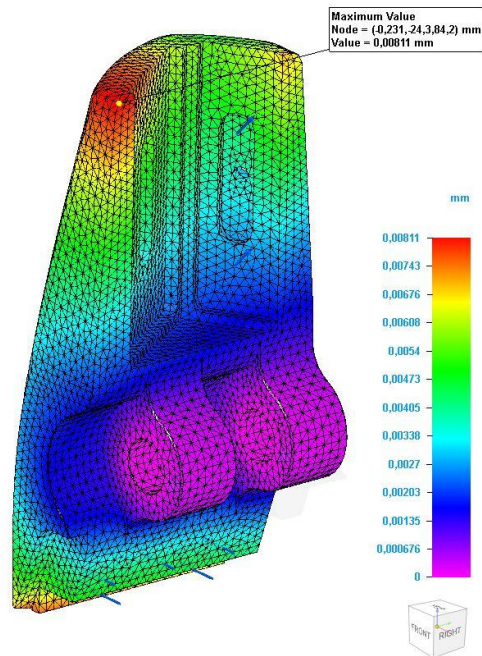
Na modelu byla vytvořena 3D síť tvořená čtyřstěny s maximální velikostí elementu 1,97 mm. Materiál je pro tento model zvolena základní ocel z nabídky Solid Edge s těmito parametry:

- Hustota 7833 Kg/m³
- Modul pružnosti 200 000 MPa
- Poisonovo číslo 0,290
- Mez kluzu 262 MPa
- Mez pevnosti 359 MPa



Obr. 52 Mechanická analýza čelisti v programu Solid Edge ST7

Výsledek analýzy ukazuje, že nejvyšší hodnota Von Missesova napětí je 37,7 MPa, což je vyhovující a nedojde tak k deformaci čelisti při použití. Místo s nejvyšší hodnotou je v bodě uchycení na lícovaném šroubu, který zde bude nejspíše namáhaný na stříh a otláčení, na které byl dimenzován. Čelist je dostatečně dimenzovaná pro požadovaný proces.



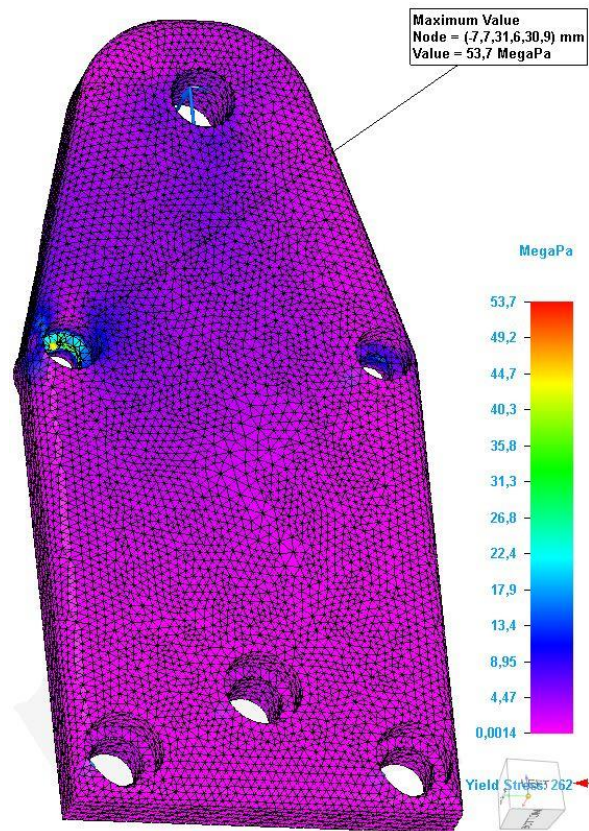
Obr. 53 Analýza posunutí v SE ST7

Výsledkem analýzy posunutí čelisti je nejvyšší hodnota 0,008 mm od původního modelu, což je zanedbatelné. Místo s největší dilatací se nachází dle očekávání na nejvzdálenějším místě od osy uchycení. Tato deformace nebude mít vliv na požadovaný proces.

6.3.6 Mechanická analýza základní desky

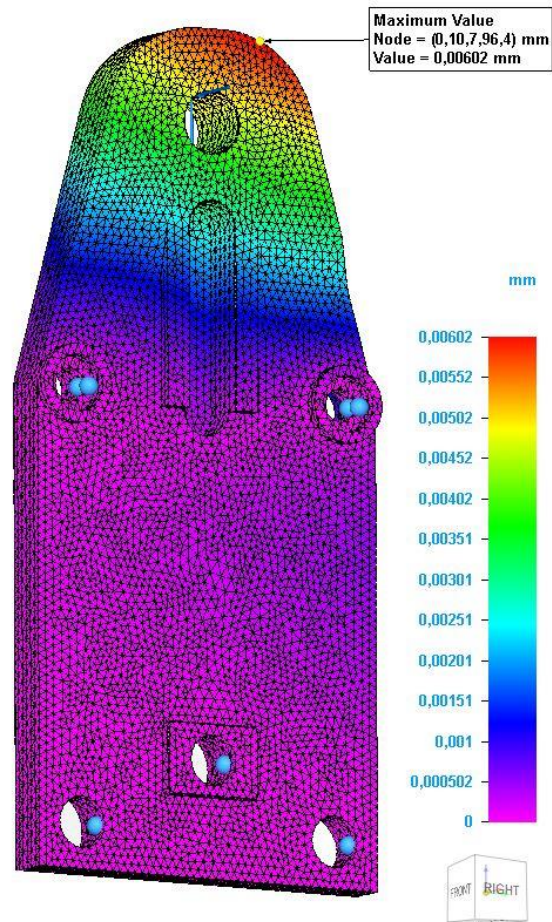
Základní deska byla podrobena mechanické zkoušce, při které na ni byly aplikovány síly tak, aby simulovaly proces broušení. Analýzy byly provedeny v programu **Solid Edge ST7**. Zatížen byl otvor, ve kterém bude umístěn šroub nesoucí čelisti a to nadsazenými silami 1000 N ve všech osách. Tato síla byla zvolena na základě výsledných reakcí v analýze (Obr. 51), které jsou 750 N. Vazby byly umístěny v místě uchycení desky a to v otvorech pro šrouby u příruby a u rozpěr.

Na modelu byla vytvořena 3D síť tvořená čtyřstěny s maximální velikostí element 1,63 mm. Materiál je pro tento model zvolen stejný jako u analýzy čelisti.



Obr. 54 *Mechanická analýza základní desky v programu Solid Edge ST7*

Výsledek zkoušky ukazuje, že základní deska je dostatečně silná, aby snesla požadované zatížení. Nevyšší hodnota Von Missesova napětí 53,7 MPa je v místě, kde bude deska sešroubována s rozpěrou. Vzhledem k tomu, že v reálu bude základní deska z lepšího materiálu, než byl použit při analýze, nebude zde tudíž problém při použití v praxi.



Obr. 55 Analýza posunutí v SE ST7

Z analýzy posunutí je patrné, že nejnáchylnější místo pro posunutí je v místě nejvíce vzdáleném od uchycení. Hodnota odchylky od původního modelu je 0,006 mm, což je v reálu zanedbatelné.

6.4 Konstrukční řešení

Na základě výpočtů byly navrženy jednotlivé díly uchopovače tak, aby tvořily jednotný a ucelený přístroj. Jeho tvar byl navržen s ohledem na prováděný proces a pozice, při kterých bude tento proces vykonávat. Jelikož bude hokejovou čepel brousit téměř až k místu uchopení, musí být jeho tvar takový, aby se nedostal do kontaktu s brousícím pásem.

Co se týče materiálu, byla pro všechny součásti vybrána nástrojová cementační ocel 1.7131, dle staré normy 14 220. Po vyrobení všech součástí se ocel nechala tepelně a chemicky upravit nitridací s následnou oxidací do šedé barvy. Tato úprava byla provedena na

všech součástech a to s ohledem na přání pana Kotrly. Nitridace byla provedena s minimální tvrdostí 750 HV a do hloubky povrchu 0,20 mm. Díky této úpravě získá materiál jedinečné vlastnosti v podobě houževnatého jádra a tvrdého povrchu s dobrými třecími vlastnostmi.



Obr. 56 Všechny vyráběné součásti uchopovače

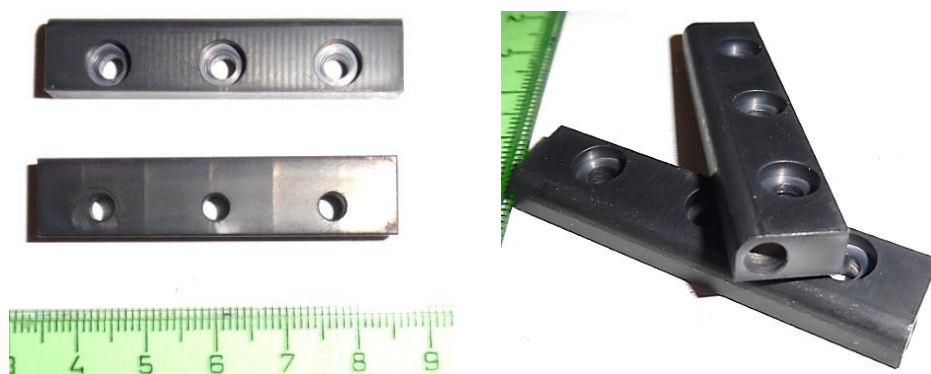
6.4.1 Čelisti

Čelisti tvoří základní a nejdůležitější součásti celého uchopovače. Z principu budou čelisti tvořit pákový mechanismus, kterým budou přenášet sílu pneumatického pístu k uchopení čepel. Byly zde kladeny velké nároky na rozměry, které hrají důležitou roli při přenášení všech působících sil při zachování optimální tuhosti, a taktéž bylo důležité, aby svými rozměry nezasahoval do broušení a umožnil tak co nejefektivnější opracování ve všech místech čepel. Další kritérium bylo vyvozeno z vlastností robota, který má omezené nosné síly pro danou hmotnost v závislosti na rozměrech.



Obr. 57 Čelisti uchopovače

Čelisti se budou pootáčet na centrálním lícovaném šroubu, na kterém budou nasunuty do sebe. Tlačnou sílu od pneumatického pístu bude přenášet klín, který bude v přímém kontaktu s čelistmi a bude zde docházet ke tření kov na kov čárovým dotekem. Aby se eliminovalo případné opotřebení třením na čelistech, byly zde vloženy třecí segmenty (destičky), které budou namontovány na čelistech a budou v kontaktu s tlačným klínem. Díky tomuto řešení se při případném opotřebení nemusí vyměňovat celé čelisti ale pouze zmíněné třecí segmenty.



Obr. 58 Třecí segmenty

Nápodobně tomu je na opačných koncích čelistí v místech pro uchycení kolíku čepele. Zde bylo potřeba vyřešit uchopení čepele tak aby pevně držela a zároveň minimalizovat přenos vibrací od broušení směrem k robotu. Tudíž se udělaly vložky, které zapadají do drážek

v čelistech a navíc jsou opatřeny dvěma milimetry navulkanizované pryže pro měkčí uchopení a eliminaci vibrací. Další výhodou tohoto řešení je snadná výměna při opotřebení jako v předchozím případě.

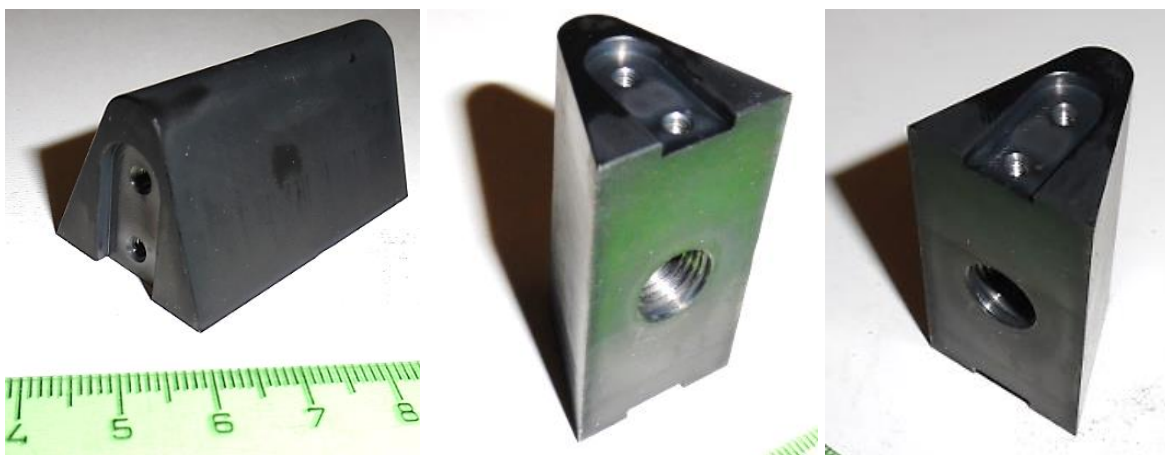


Obr. 59 Vložky s navulkanizovanou pryží

Vnější zaoblený tvar má funkci zvýšení celkové tuhosti čelistí a zároveň je vymodelován tak, aby co nejméně překážek při broušení. Díky poměrně složitému tvaru celých čelistí budou vyráběny na CNC stroji na základě 3D výkresu a doložené výkresové dokumentace.

6.4.2 Tlačný klín a otvírače

Tlačný klín je součást, která bude našroubována na pístnici s vnějším závitem. Tato součást přenáší sílu pneumatického pístu do stran do třecích segmentů a dále do čelistí k uchopení čepele. Při vysunutí zatlačí čelisti do stran a tím dojde přes pákový mechanismus k sevření.



Obr. 60 Tlačný klín

Součástí tohoto tlačného klínu jsou také drážky, ve kterých budou namontovány otvírače. Tyto otvírače mají funkci rozevírání čelistí při zpětném pohybu pístu. V třecích segmentech jsou z boku nalisovány kolíky, které se budou pohybovat v drážkách otvíračů a tak při zpětném pohybu rozevřou čelisti. Součástí jsou také vysunuté boční kvádry, které zapadají do drážek v základních deskách. Jejich úlohou je zachytávat síly, které by mohli působit na pístnici a taktéž ustavují a zajišťují tlačný klín proti pootočení.



Obr. 61 Otvírače

6.4.3 Základní desky

Základní desky tvoří tělo celého uchopovače. Jsou navrženy tak silné, aby byly schopny přenést všechna zatížení vyvozená při broušení. Tyto části mezi sebou spojují všechny součásti do kompaktního celku. V nejvyšším bodě jsou díry, které bude propojovat lícovaný šroub nesoucí čelisti a všechny síly s nimi spojené. Ve středu jsou drážky pro zachycení bočních sil na pístnici, ve kterých budou jezdit otvírače. Dále jsou zde ve středu po stranách tvarově upravené díry, které budou lícovat s rozpěrami. Ve spodní části jsou pak díry, na kterých budou namontovány příruby pro přichycení uchopovače k přírubě robota.



Obr. 62 Základní desky

Rozpěry ve střední části základních desek zajišťují lepší držení celkové konstrukce a tím také zvyšují celkovou tuhost uchopovače. Jsou to součásti, které budou vyráběny jako jediné na soustruhu. Po stranách mají závity, přes které budou šrouby přimontovány k základním deskám.



Obr. 63 Rozpěry

6.4.4 Příruby

Uchycení k přírubě robota bude přes dvě příruby, které spolu lícují, přičemž jedna je přichycena k robotu a druhá k pístu a tvoří tak základnu pro celý uchopovač. Díry pro přišroubování k přírubě robota byly pootočený o úhel natočení čepele v čelistech uchopovače

na jehož základě byly vytvořeny drážky pro uchopení. Díky tomuto natočení bude čepel v základní rovině při nulovém natočení poslední osy příruby robota.



Obr. 64 Příruby - vlevo pro uchycení k robotu, vpravo pro uchycení pístu

Montáž bude provedena tak, že se nejprve přišroubuje příruba k přírubě robota a na ní se následně namontuje zkompletovaný uchopovač.

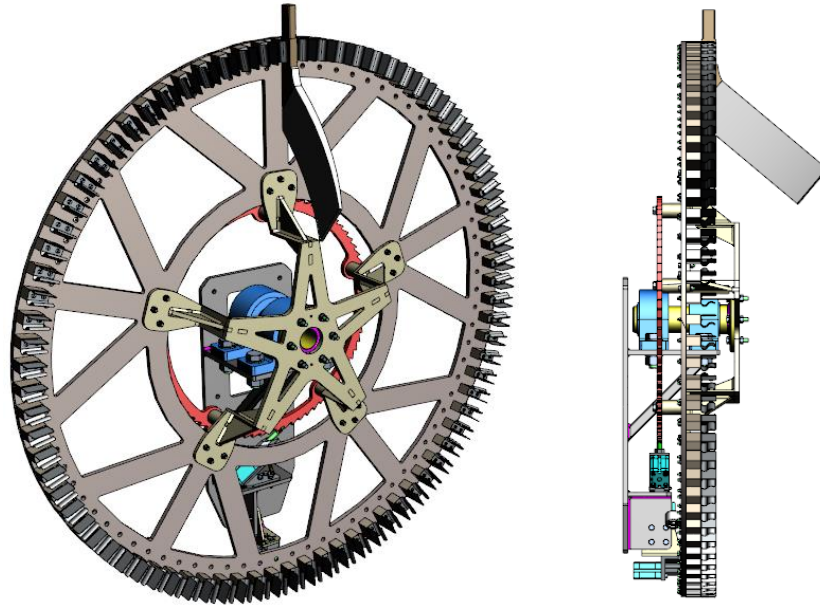
6.5 Zhodnocení funkčnosti v testovacím procesu

Po vyrobení všech součástí, byl uchopovač smontován bez jakýchkoliv problémů a připevněn k přírubě robota. Následně se píst napojil na pneumatickou soustavu vedoucí ke kompresoru a taktéž byl píst opatřen dvěma magnetickými snímači, které oznamují řídicí jednotce robota, zda je uchopovač otevřen nebo zavřen.

Po vyladění oprýžovaných vložek, které byly ručně doladěny tak, aby co nejideálněji obepnuly kolík čepel při sevření, se začalo s jednotlivými kroky programování robota.

Robot je zatím naprogramován tak, že nahrubo opracovává čepel na jednom z brousících pásů. Při tomto úkonu si uchopovač počíná bezchybně a při konstantním tlaku šesti barů nemá s probíhajícím procesem žádný problém. V současné době už bylo takto opracováno přes tři tisíce čepelí a uchopovač nevykazuje známky jakéhokoliv nedostatku a splňuje veškeré požadavky, které na něj byly kladeny.

7 PODÁVACÍ ZÁSOBNÍK



Obr. 65 Podávací zásobník

7.1 Specifikace dané problematiky

Podávací zásobník bude plnit funkci zásobníku hokejových čepelí připravených k opracování, které ustaví do přesné polohy pro odebrání robotem přes uchopovací zařízení.

Na podávací zásobník jsou kladeny tyto požadavky:

- Plná automatizace
- Velká násobnost pro uchycení čepelí
- Zajištění jedné pozice pro odběr robotem
- Minimální rozměry
- Nízké náklady
- Jednoduchost
- Trvanlivost

Požadavky majitele firmy jsou takové, že pracovník naplní zásobník polotovary, spustí program a robot už automaticky bude odebírat jednu čepel po druhé a postupně tak opracuje všechny čepele v zásobníku. Celý proces musí být automatický bez zásahu člověka. Podávací zařízení proto bude opatřeno snímači, které budou propojeny s řídicí jednotkou ro-

bota, a ta bude na základě přijatých signálů řídit celý proces. Taktéž budou ovládány i brusky, které se budou spouštět v pořadí, ve kterém na nich bude probíhat broušení.

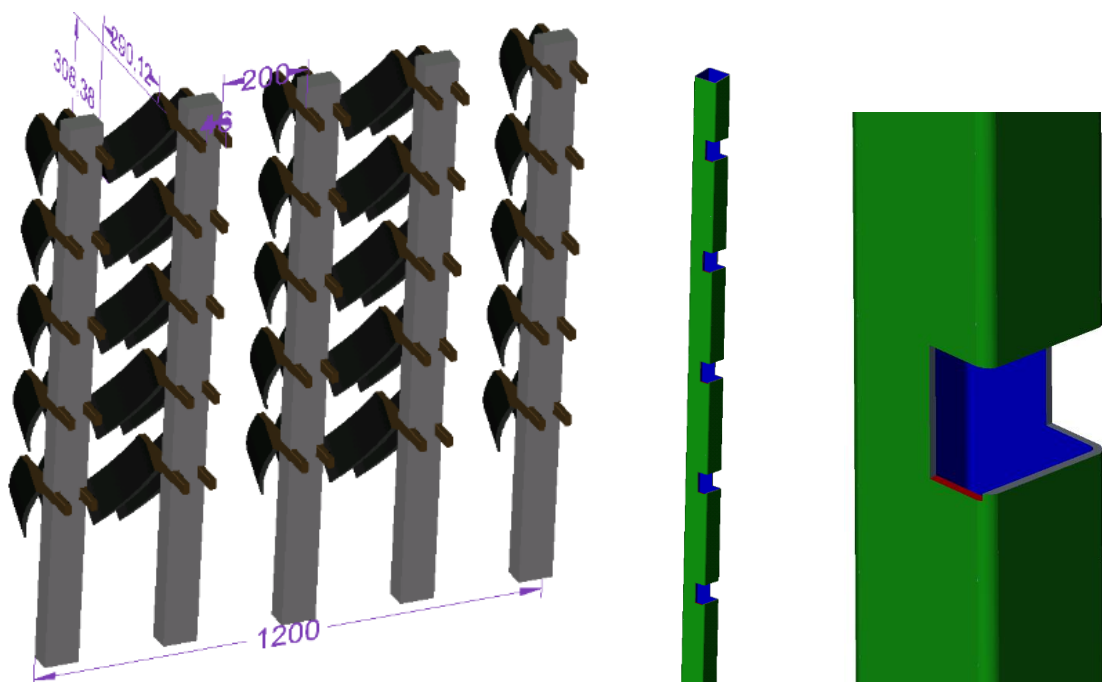
Z důvodů nedostatku místa, jsou velké nároky na minimální rozměry tohoto zařízení. Po konzultaci bylo dohodnuto, že zásobník bude umístěn ve vertikální poloze na jedné ze zdí v místnosti. K tomuto řešení musí být přihlíženo při návrhu i konstrukci všech návrhů.

7.2 Návrh a řešení

Vzhledem k tomu že neexistuje žádné přímé řešení pro tento typ úlohy, který by se dal převzít, bude vyroben prototypový uchopovač. Na základě stanovených okrajových podmínek bylo vytvořeno několik návrhů s různými principy pohybování čelistí uchopovače.

7.2.1 Jednotlivé návrhy

1) Návrh č. 1 – Statický zásobník



Obr. 66 Model statického zásobníku

Tento zásobník byl zvažován jako jedna z možností řešení. Princip je ten že jekly o daných rozměrech by měly v určitých vzdálenostech vypáleny drážky takového tvaru, aby do nich

pohodlně zapadla čepel a držela na pozici. Čepel by zde držela vlastní silou a to tak, že by těžší část (lopata) táhla dolů a páčila by se v kolíku, který by se opřel ve vypálených drážkách na jeklech. Celý zásobník by byl namontován na stěně ve vertikální poloze. Výhodou tohoto řešení je jednoznačně nízká cena a jednoduchost výroby. Nevýhodou je to že každá pozice je statická a proto by robot musel mít naprogramovanou každou pozici zvlášť, to sebou nese velká rizika a taktéž je toto řešení omezeno dosahem robota pro odebrání čepel. To rapidně snižuje množství čepelí, které by zásobník mohl obsahovat.

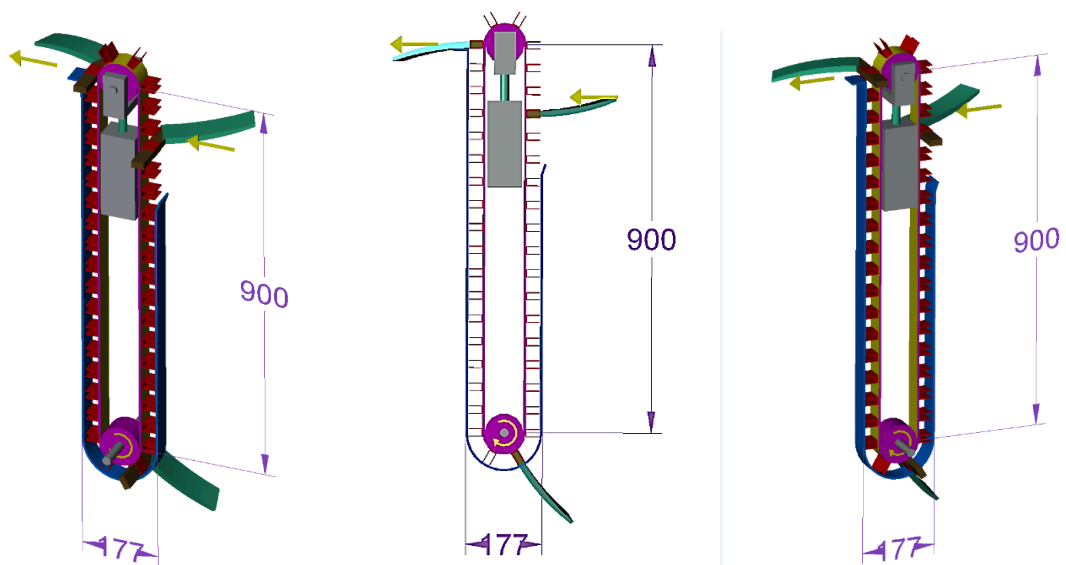
Výhody tohoto řešení:

- Jednoduchost
- Nízké náklady

Nevýhody:

- Velké množství pozic pro odebrání robotem
- Větší rozměry
- Malá násobnost pro uchycení čepelí

2) Návrh č. 2 – Pásový zásobník



Obr. 67 Model pásového zásobníku

Druhý návrh funguje n principu dvou kladek, mezi kterými je natažený pás nebo řetěz, na kterém jsou namontovány držáky se sponami, ve kterých jsou nasunuty dřívky čepelí. Poháňena by byla jedna z kladek krokovým elektromotorem. Výhodou je že lze dát kladky dostatečně daleko od sebe tak, aby se do zásobníku vlezlo hodně čepelí. Umístění je opět vertikální na stěně, od podlahy až ke stropu, s tím že musí být ponechán odstup o rozměrech čepele, aby se mohla volně posunovat po celém obvodu pásu. Nevýhoda je, že díky pružnosti pásu je horší ustavit jednu pevnou pozici pro odebírání čepelí robotem.

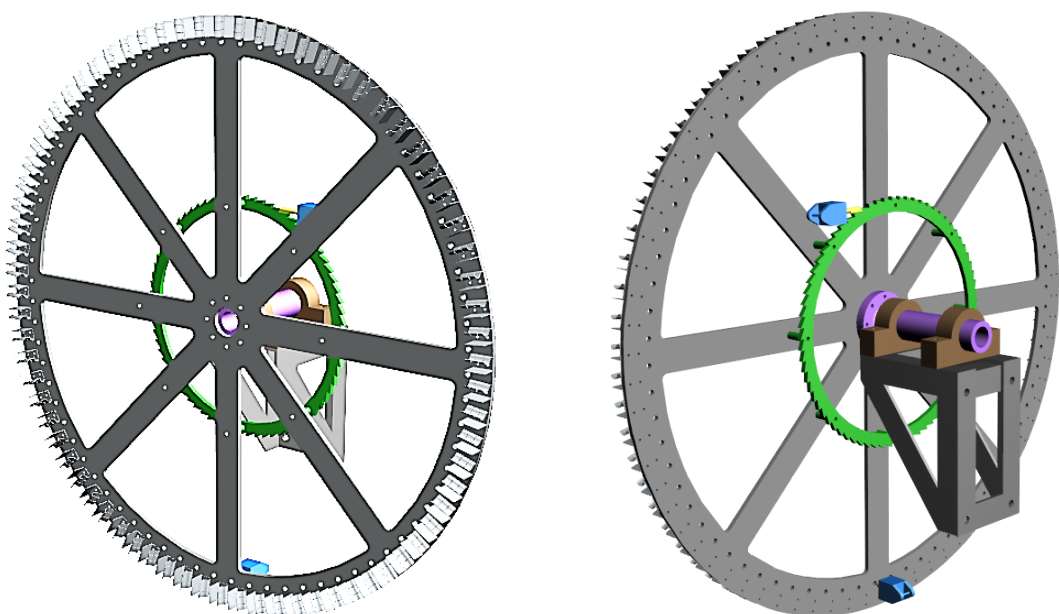
Výhody tohoto řešení:

- Jednoduchost
- Dobrá násobnost pro uchycení čepelí
- Malé rozměry

Nevýhody:

- Horší ustavení jedné pozice pro odebírání
- Přesné polohování

3) Návrh č. 3 – Karuselový zásobník



Obr. 68 Návrh modelu karuselového zásobníku

Karuselový zásobník je zjednodušeně kolotoč, na jehož obvodu budou ve sponách naskládány čepele. Je taktéž konstruován pro vertikální umístění na stěnu. Základní konstrukce, na níž jsou dvě domečková ložiska a v nich hřídel, na které je přimontováno kolo s čepelemi. Pohyb je zde zajištěn pneumatickým pístem, který otáčí kolem tak, že zatlačí do rohátky, která je součástí kola a celé se posune o vzdálenost zdvihu pístu. Zajištění pozice, tak aby mohl robot odebrat čepel, je druhým pneumatickým pístem, který vysunutím zapadne do díry na kole, kterou má každá pozice s čepelí. Oba pneumatické písty budou součástí základny a budou tudíž statické. Počet pozic pro čepele je dán průměrem kola a úhlem mezi nimi.

Výhody tohoto řešení:

- Jednoduchost
- Dobré ustavení pozice pro odebrání robotem
- Přesné polohování
- Dobrá násobnost pro uchycení čepelí
- Možnost plné automatizace

Nevýhody:

- Větší rozměry

7.2.2 Zhodnocení a výběr optimálního návrhu

Po zhodnocení všech výhod a nevýhod jednotlivých návrhů s majitelem firmy panem Kotroulou byl zvolen k realizaci **návrh č. 3**, který bude dále rozpracován a zdokonalen do funkční podoby, tak aby splňoval všechny zadané požadavky.

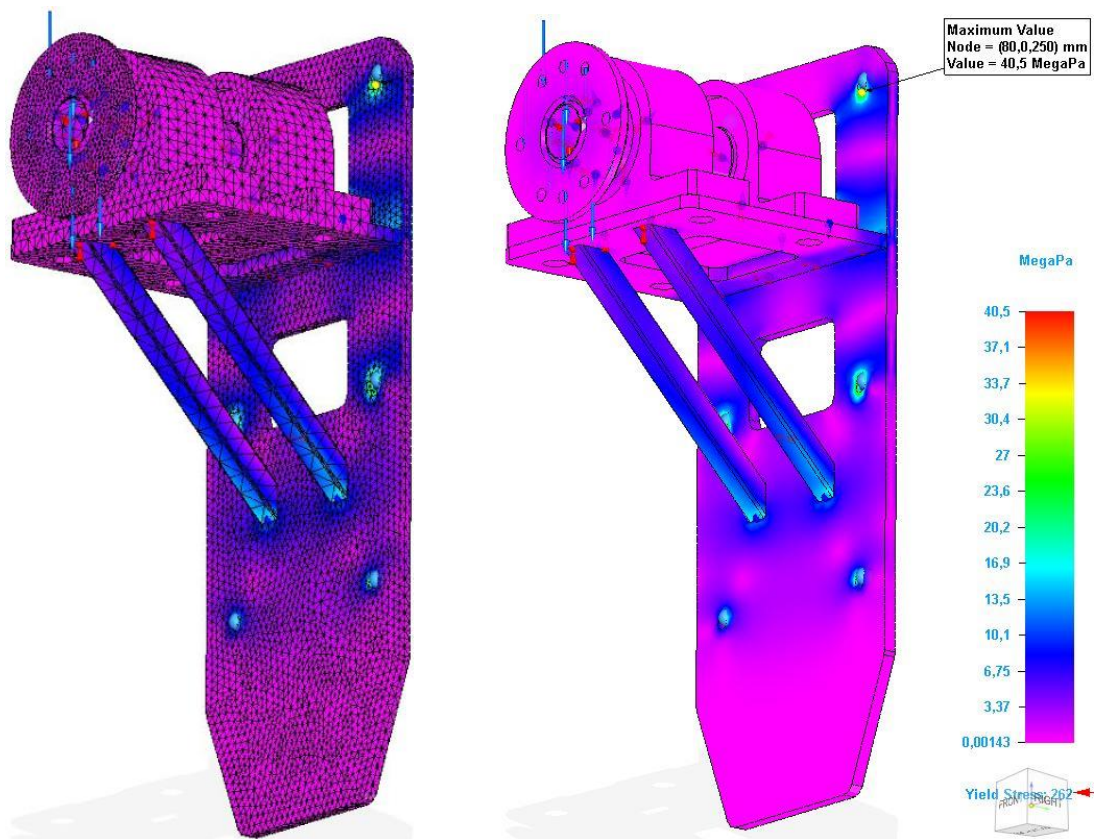
Byl vybrán na základě jeho výhod, jako jsou přesné polohování, velká násobnost pro uchycení čepelí a také automatický provoz v kombinaci s řídicí jednotkou robota. Taktéž zde hrála roli dostupnost technologie výroby.

7.3 Řešení vybraného návrhu

7.3.1 Mechanická analýza základny

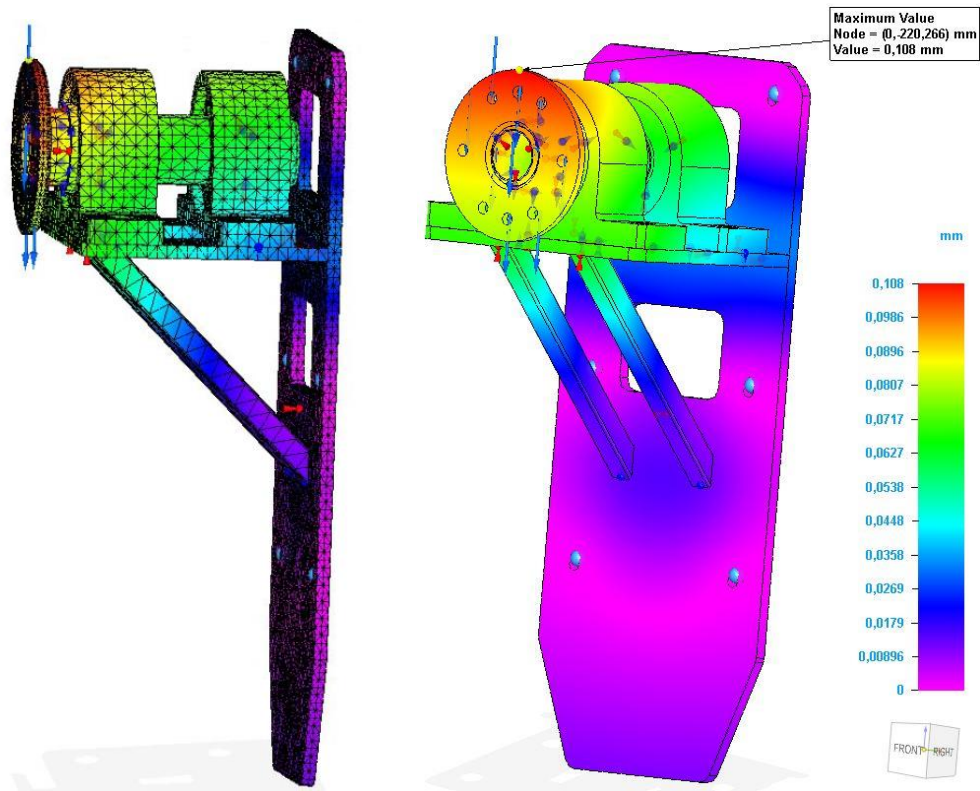
Model základny byl podroben mechanické zkoušce, při které byl zatížen silami simulujícími jeho reálnou funkci a to je nést celou rotační část naplněnou čepelmi. Tuto část tvoří sestava středu, hlavní kolo se sponami a samozřejmě polotovary hokejových čepelí. Zatížení bylo umístěno do děr na přírubě hřídele směřující svisle dolů, na které bude celá rotační část namontována. Toto zatížení odpovídá hmotnosti naplněného zásobníku a to je 60,4 kg, ovšem pro větší bezpečnost byl model zatížen hmotností 100 kg, čemuž odpovídá hodnota 1000 N. Vazby byly umístěny do děr na hlavní desce, pomocí kterých bude přikotvena ke zdi.

Jelikož je model sestaven z mnoha součástí, byly mezi těmito součástmi vytvořeny pevné vazby tam, kde budou svařeny a šroubové vazby tam kde bude montována. Následně byla na modelu vytvořena 3D síť tvořená čtyřstěny s maximální velikostí elementu 8,27 mm. Materiál je pro tento model byl zvolen stejný jako při předchozích analýzách v kapitole s uchopovačem.



Obr. 69 Mechanická analýza základny v programu SE ST7

Z výsledků analýzy vidíme, že nejvyšší hodnota Von Missesova napětí 40,5 MPa je v místě děr, pomocí kterých bude celý zásobník přikotven ke zdi. Nejvyšší napětí je v hodných dírách, které budou nejvíce namáhány. A ponесou většinu hmotnosti celého zásobníku. Z výsledku je tedy patrné, že základna je dostatečně dimenzována pro reálné použití.



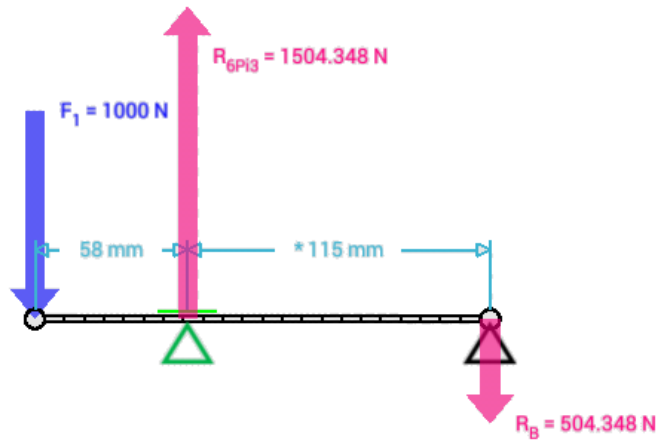
Obr. 70 Analýza posunutí v programu SE ST7

Výsledkem analýzy posunutí je předpokládaný stav a to ten, že nejvyšší hodnota posunutí 0,108 mm je na konci příruby kde působí zatížení. Hodnota tohoto posunutí bude v reálu ještě menší z důvodu aplikování většího zatížení, než bude reálné. Dalším faktorem, který zabrání tomuto posunutí budou po celkové montáži přidělána opěrné rolny, o které se bude opírat hlavní kolo, taky aby při doplňování zásobníku nebylo kolo namáháno na ohyb.

7.3.2 Kontrola hřídele a ložisek

Hřídel byla vyrobena na základě zvoleného materiálu panem Kotrlou, který pro něj byl nejdostupnější. Je to dutá kruhová ocel s vnějším průměrem 60 mm a vnitřním 40 mm. Z tohoto polotovaru byla následně vysoustružena hřídel s vnějším průměrem 55 mm, na kterém budou nasazena ložiska. Na základě této hřídele a jejich rozměrů byla vybrána lo-

žiska, konkrétně typ KORBEL LES (UCP) 211. Jsou to tak rozměrná ložiska, že nebylo potřeba mít obavu o únosnost, i přes to budou provedeny kontrolní výpočty.



Obr. 71 Simulace hřídele uložené v ložiscích v programu AF

Výsledné reakce z provedené simulace (Obr. 71) představují síly, které působí do ložisek. Zatížení bylo zvoleno stejné jako u předchozí mechanické analýzy základny 1000 N.

Dáno: *Materiál: 1.0128 (11 378)*

$F = 1000 \text{ N}$...Síla působící na šroub

$R_{6Pi3} = 1505 \text{ N}$...Reakce působící do ložiska

$R_B = 505 \text{ N}$...Reakce působící do ložiska

$F_{LMAX} > 20\,000 \text{ N}$...Únosnost ložiska

$\sigma_{DO} = 100 \text{ MPa}$...Dovolené napětí v ohybu

$L_1 = 58 \text{ mm}$...Vzdálenost konce hřídele k prvnímu ložisku

$D = 55 \text{ mm}$...Vnější průměr hřídele

$d = 40 \text{ mm}$...Vnitřní průměr hřídele

Zjišťujeme: $\sigma_{01} = [\text{MPa}]$...Ohybové napětí na konci hřídele

- Kontrola ložiska:

$$R_{6Pi3} = 1505 \text{ N} \ll F_{L \text{ MAX}} = 20\,000 \text{ N}$$

Ložisko je silně naddimenzováno a zatížení vydrží. Otáčky ložiska můžeme zanedbat, jelikož se kolo bude točit rychlostí maximálně 4,5° za 1 minutu.

- Kontrola hřídele:

$$M_o = F \cdot L_1 \quad (17)$$

$$M_o = 1000 \cdot 58 = 58\,000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{o1} = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{Do} \quad (18)$$

$$\sigma_{o1} = \frac{M_o}{\frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32 \cdot D}} = \frac{58000}{\frac{\pi \cdot (55^4 - 40^4)}{32 \cdot 55}} = 4,93 \text{ MPa} \leq \sigma_{Do} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

7.3.3 Výpočet šroubů pro uchycení rotační části k přírubě hřídele

Doporučení výrobce dílů příruby a středové hvězdice, které jsou oba výpalky z ocelových plechů o tloušťce 10 mm bylo, aby průměry děr byly stejné jako tloušťka materiálu a tudíž 10 mm, z důvodu jednoduchosti výroby. K tomu bylo zvoleno šest šroubů M10, které jsou rovnoměrně rozděleny okolo osy hřídele.

- Kontrola na střih:

Dáno:	$F = 1000 \text{ N}$...Síla působící na šrouby
	$\tau_{DS} = 85 \text{ MPa}$...Dovolená mez únavy ve smyku
	$D_s = 10 \text{ mm}$...Průměr šroubu
	n	...Počet šroubů – počet střihových rovin
Zjišťujeme:	$\tau_s = [\text{MPa}]$...Napětí ve střihu

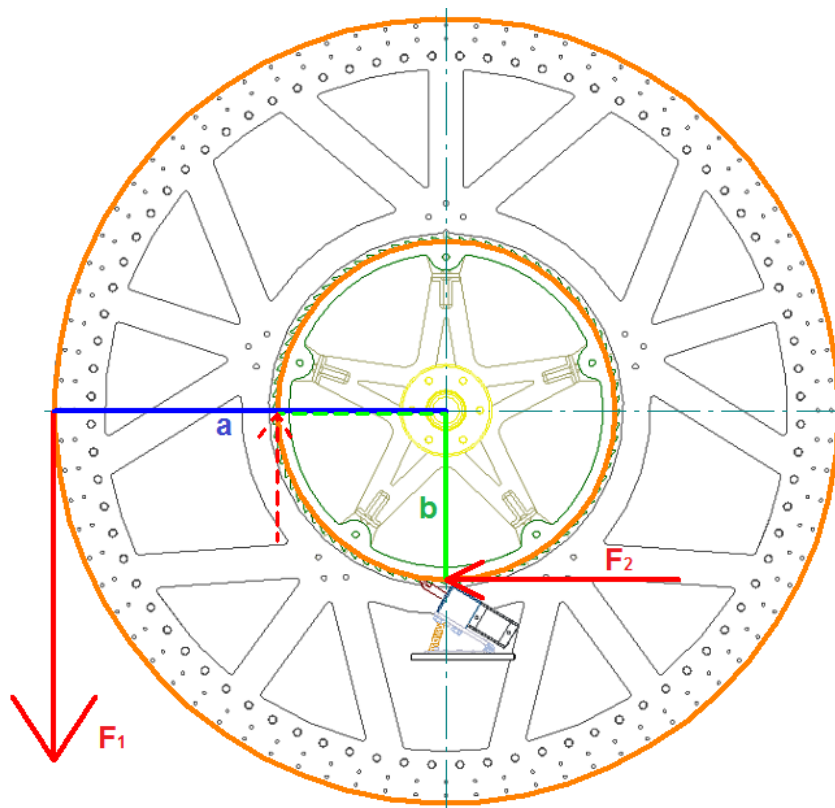
$$\tau_S = \frac{F}{n \cdot S_S} \leq \tau_{DS} \quad (19)$$

$$\tau_S = \frac{F}{n \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_S^2}{4}\right)} = \frac{1000}{6 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 10^2}{4}\right)} = 2,12 \text{ MPa} \ll \tau_{DS} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

7.3.4 Výpočty posuvu

Princip posuvu je založen na dvojčinném pneumatickém pístu, který při vyjetí zatlačí do rohatky a ta pootočí kolem o daný úhel.

Výpočet posuvu spočívá v návrhu pneumatického pístu, pro nejkritičtější okamžik zásobníku. Tímto okamžikem je, když je zásobník z poloviny prázdný a poloviny jsou rozděleny svislou čarou. Zatížení tedy vytvářejí čepele na polovině zásobníku, kterých je 40 kusů. V rámci naddimenzování jsme hmotnost čepele zvedli z 275 g na 300 g, celková hmotnost zatížené poloviny činí 12 kg, převedeno na 120 N. Zanedbáme jednotlivé rozložení sil po polovině obvodu a sílu aplikujeme na „rameno“ hlavního kola (Obr. 72).



Obr. 72 Schéma působení sil pro výpočet síly pootočení

- Výpočet minimální síly potřebné k pootočení:

Dáno: $F_1 = 120 \text{ N}$...Síla působící rameni hlavního kola

$a = 58 \text{ mm}$...Poloměr hlavního kola

$b = 25 \text{ mm}$...Poloměr ozubeného kola

Zjišťujeme: $F_2 = [N]$...Síla působící na rameni ozubeného kola

$$F_1 \cdot a = F_2 \cdot b \quad (20)$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot a}{b} = \frac{120 \cdot 58}{25} = 278 \text{ N}$$

Na základě výsledku minimální síly potřebné k pohybu kola byl vybrán dvojčinný pneumatický píst od firmy **FESTO ADN-25-25-I-P-A**, který má zdvih 25 mm a sílu dopředného pohybu při šesti barech **295 N**.



Obr. 73 Zvolený píst pro posuv FESTO ADN-25-25-I-P-A

7.3.5 Výpočty aretace

Výpočet aretace spočívá v kontrole aretačního kolíku o průměru 10 mm na střiž a hlavně v návrhu síly potřebné k vysunutí a zasunutí při překonání třecí síly vyvolané tlakem hlavního kola. Kolíkem bude pohybovat dvojčinný pneumatický píst, který bude přišroubován k domečku, ve kterém bude jezdit aretační kolík.

Při kontrole na stříh budeme vycházet ze sil z minulého výpočtu posuvu a tedy že na kolík působí síla 120 N.

Dáno: $F = 120 \text{ N}$...Síla působící na kolík
 $\tau_{DS} = 85 \text{ MPa}$...Dovolená mez únavy ve smyku
 $D_K = 10 \text{ mm}$...Průměr aretačního kolíku
 $f = 0,15$...koeficient tření

Zjišťujeme: $\tau_S = [\text{MPa}]$...Napětí ve stříhu
 $F_t = [\text{N}]$...Třecí síla

- Kontrola na stříh:

$$\tau_S = \frac{F}{2 \cdot S_K} \leq \tau_{DS} \quad (21)$$

$$\tau_S = \frac{F}{1 \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_K^2}{4}\right)} = \frac{120}{1 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 10^2}{4}\right)} = \mathbf{1,53 \text{ MPa}} \ll \tau_{DS} \Rightarrow \mathbf{vyhovuje}$$

- Síla potřebná k zasunutí:

$$F_t = f \cdot F \quad (22)$$

$$F_t = 0,15 \cdot 120 = \mathbf{18 \text{ N}}$$

Pro překonání třecí síly pro zasunutí aretačního kolíku je potřeba síla větší, než 18 N. Na základě tohoto výpočtu byl zvolen dvojčinný pneumatický píst od firmy **FESTO ADN-20-20-I-P-A** který má zdvih 20 mm a sílu zpětného pohybu **141 N**.



Obr. 74 Zvolený píst pro aretaci FESTO ADN-20-20-I-P-A

7.4 Konstrukční řešení

Podávací zařízení bude sestaveno z několika sestav, které budou ve výsledku tvořit jednotný přístroj poháněný jedním pneumatickým dvojčinným pístem s tím, že druhý píst bude použit k aretování jedné přesné pozice, ze které si bude robot pomocí uchopovače odebírat jednotlivé čepele. Podávací zařízení nebo také zásobník, bude opatřen osmdesáti úchyty pro čepele. Průměr vnějšího hlavního kola je 1150 mm a vzhledem k jeho rozměrům bude s ohledem na snížení hmotnosti vyrobeno z hliníku. U zbytku součástí budou použity různé typy ocelí, v závislosti na tom jak daná součást bude namáhána. Jednotlivé díly byly navrženy tak, aby byly výrobně co nejjednodušší a tudíž i co nejlevnější. S ohledem na dostupné technologie pro pana Kotrlu byly díly z většiny tvořeny výpalky na laseru z ocelových plechů o různých tloušťkách dle potřeby a namáhání.

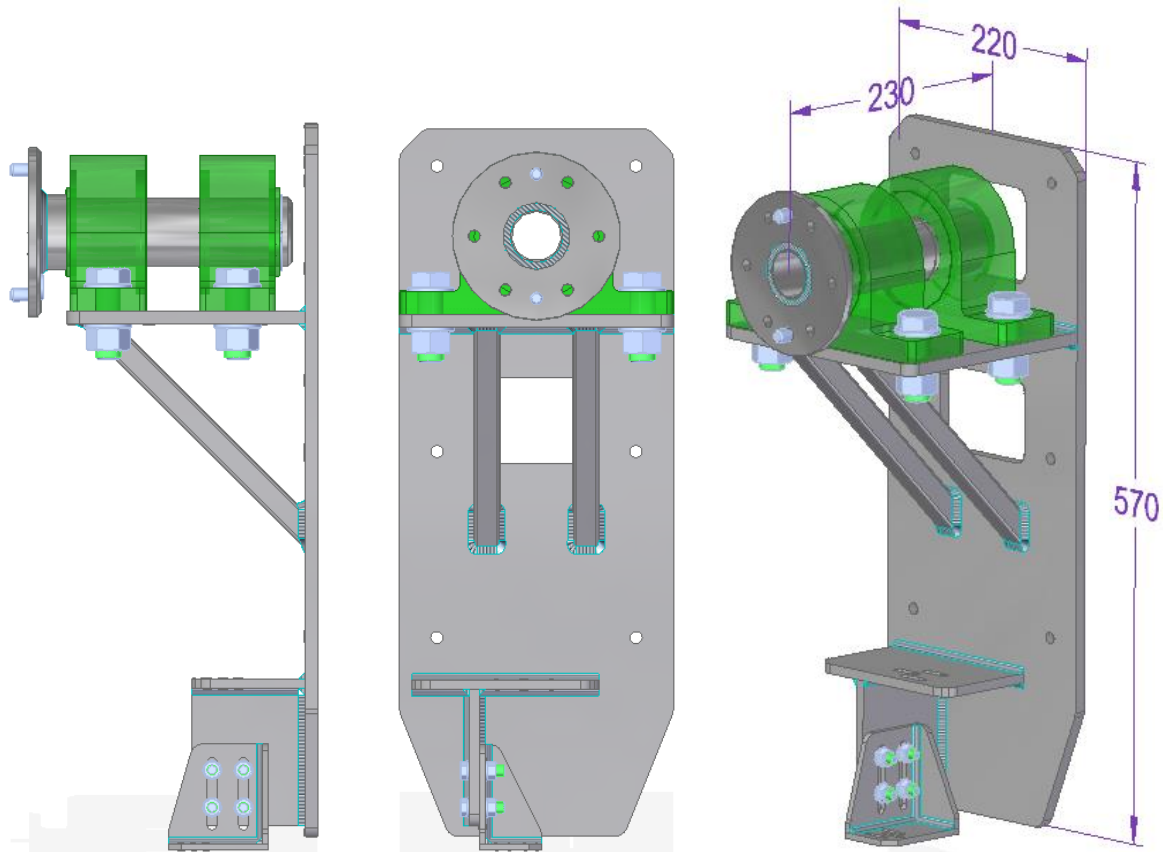
Přístroj bude řízen z řídicí jednotky robota, která na základě signálů ze snímačů umístěných na pístech bude řídit pohyb celého zásobníku. Pneumatické písty budou napojeny ke stejnému zdroji jako píst uchopovače a budou tak pod stálým tlakem šesti barů.

Součástí podávacího zařízení bude také třecí brzda, kterou si po dohodě vyrobí sám pan Kotrla, a tudíž není uvedena ve výkresové dokumentaci. Brzda bude bránit protočení zásobníku, když nebude plně obsazený. Je to z důvodu toho, že píst pro posuv bude kolo tlačít stejným směrem, kde bude zásobník vždy obsazený a v určitém kritickém okamžiku by mohlo dojít k protočení kola. Tento kritický okamžik může nastat od chvíle, kdy bude zásobník z poloviny obsazen a to jen když se bude kolo posouvat na další pozici, protože bude vytažen aretační kolík, který protočení zabrání.

V současné době je zásobník ve výrobě a hotové jsou jen některé součásti, které čekají na následnou montáž či svaření s ostatními díly.

7.4.1 Základna

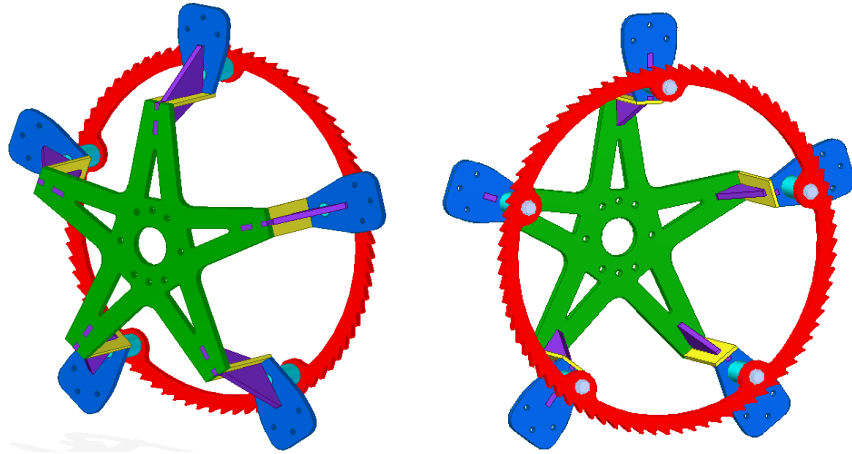
Základna tvoří pevnou statickou část, která bude ukotvena na zdi ve vertikální poloze. Je to svařenec z jednotlivých kusů výpalků, které jsou navrženy tak aby, byly co nejmenší, tudíž i nejlehčí při zachování potřebné pevnosti a tuhosti. Součástí základny jsou také nakupovaná domečková ložiska, model LES (UCP) 211 od firmy KORBEL. V těchto ložiscích bude umístěna dutá hřídel, na které se bude celé kolo otáčet. Ložiska byla vybrána po dohodě s panem Kotleou a to na základě dostupného materiálu pro zmíněnou hřídel.



Obr. 75 Model základny

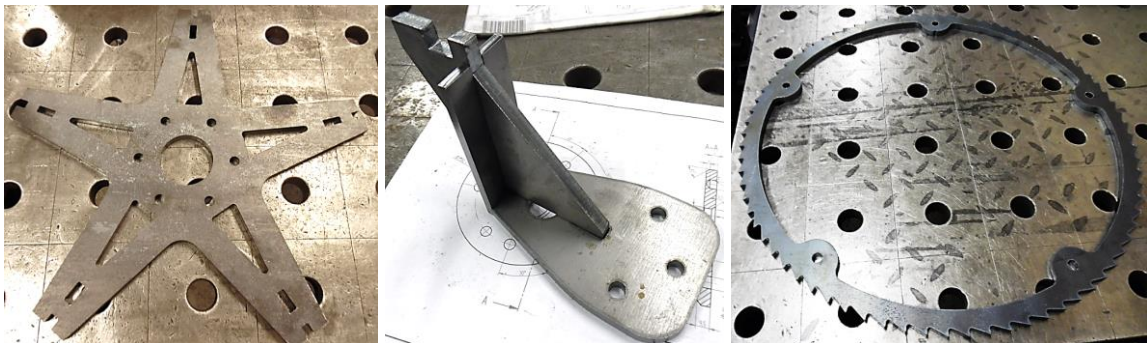
7.4.2 Střed

Střed zásobníku je rotační sestava, která bude namontována na přírubě hřídele. Tento střed ponese hlavní kolo, které bude osazeno čepemi a ozubené kolo – rohatku, pomocí níž bude zajištěn rotační posuv kolem osy hřídele. Většina sestavy bude svařena v jeden celek, z jednotlivých rovinných kusů. Z rovinných proto, aby mohly všechny díly být vypáleny na laseru z ocelových plechů o různých tloušťkách. Tento způsob byl zvolen panem Kotrou s ohledem pro něj dostupné technologie výroby. Jediná montovaná součást je zde rohatka a to proto, aby ji bylo možné v případě opotřebení vyměnit. Materiál pro tyto součásti byla zvolena běžná konstrukční ocel 1.0036 (11 373) a pro rohatku byla vybrána lepší ocel pro tyto aplikace určená 1.0503 s tepelnou úpravou kalením na 50 HRC.



Obr. 76 Model středu podávacího zásobníku

Tvar středu je záměrně tak komplikovaný z důvodu nedostatku místa v místnosti kde bude umístěn. Jeho tvar tudíž odsouvá hlavní kolo zpět dozadu (blíže ke stěně), čímž se ušetří spousta místa a taktéž to má výhodu v tom, že těžiště celé rotační sestavy včetně hlavního kola plně osazeného čepeli se posune dozadu nad střed hřídele a tím dojde k lepšímu rozložení celé hmotnosti na základnu s hřídelí.



Obr. 77 Obrázek již hotových dílů

7.4.3 Hlavní kolo

Hlavní kolo tvoří nejdůležitější část celého zásobníku. Na tomto kole budou naskládány polotovary čepelí určených k obroušení. Jednotlivé pozice pro uchycení čepelí jsou rozmístěny rotačně na vnějším průměru 1150 mm kolem středu po $4,5^\circ$. Tento úhel je stanoven tak aby mezera mezi jednotlivými pozicemi byla co nejmenší pro maximální obsazenost a zároveň umožnila rozevřenému uchopovači pohodlně odebrat čepel. Po rovnoměr-

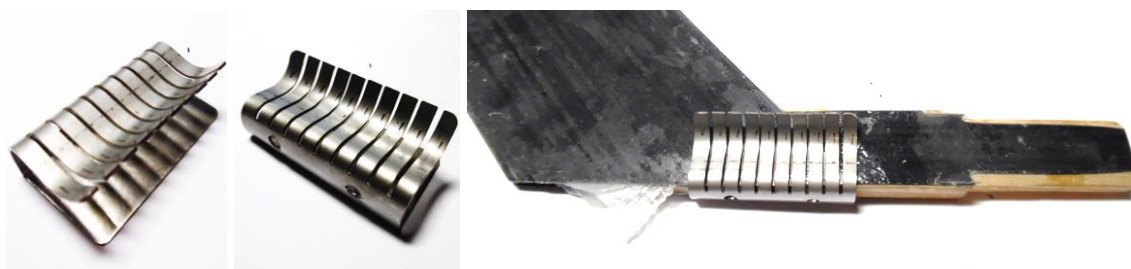
ném rozdělení pozic po obvodu, má zásobník kapacitu pro 80 čepelí. Součástí každé pozice je také otvor pro aretační kolík, který zajistí přesné ustavení každé pozice.

Kolo je vyrobeno ze slitiny hliníku a to konkrétně 3.3447, která splňuje všechny požadavky pro tuto aplikaci. Hliník byl zvolen kvůli nižší hmotnosti oproti oceli, která při takových rozměrech hraje velkou roli. Tomu byl také přizpůsoben tvar tak, aby kolo bylo co nejlehčí při zachování optimální tuhosti a pevnosti. Uchycení kola ke středu zásobníku bude pomocí pěti trojic šroubů rozdělených po vnitřním obvodu.



Obr. 78 Hlavní kolo podávacího zásobníku

Součástí kola a jeho pozic jsou kostky (obr. 72), na kterých budou přimontovány spony, které budou držet čepele za jejich dřív. Tyto kostky jsou zde kvůli tvaru polotovaru čepele, který neumožňuje přímé uložení na hlavní kolo, a tudíž musí být pomocí kostek odstaveny.



Obr. 79 Spona pro uchycení čepele

Spona pro uchycení je vyrobena z pružinové oceli 1.4310, která je pro tuto aplikaci důležitá, spona má uzpůsobený tvar tak aby jedna strana byla pevná a druhá ohýbána tak, aby

tvořila pružný prvek, který ideálně sevře dříví čepele a udrží při pohybu zásobníku. Pro ještě lepší přilnutí spony k tvaru dříví byly na sponě vyřezány drážky.

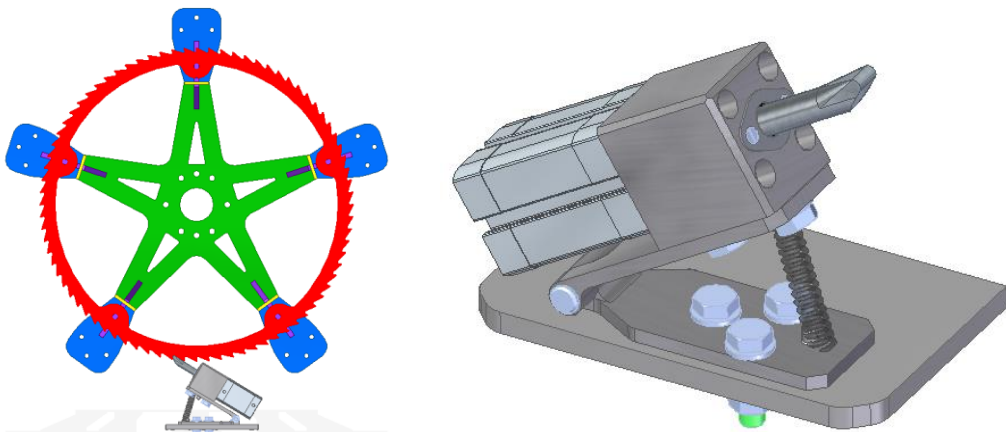
7.4.4 Posuv

Posuv karuselového zásobníku je řešen pomocí dvojčinného pneumatického pístu FESTO ADN-25-25-I-P-A, který svým vysunutím zatlačí přes táhlo do rohatky a tím dojde k pootočení o jednu pozici. Rozměry zubů a průměru celé rohatky byly navrženy tak aby při zdvihu pístu 25 mm došlo k posuvu přesně o jednu pozici s rezervou pro zpětný pohyb pístu a další zapadnutí táhla do ozubení rohatky.



Obr. 80 Domeček pro píst posuvu

Píst je uchycen v domečku (obr. 74), který plní funkci jak uchycení tak vedení pístnice a táhla tak aby na tyto součásti nepůsobilo jiné zatížení než osové. Součástí domečku bude také těsnící kroužek, který bude zabraňovat vstupu nečistot od broušení do otvoru s táhlem.

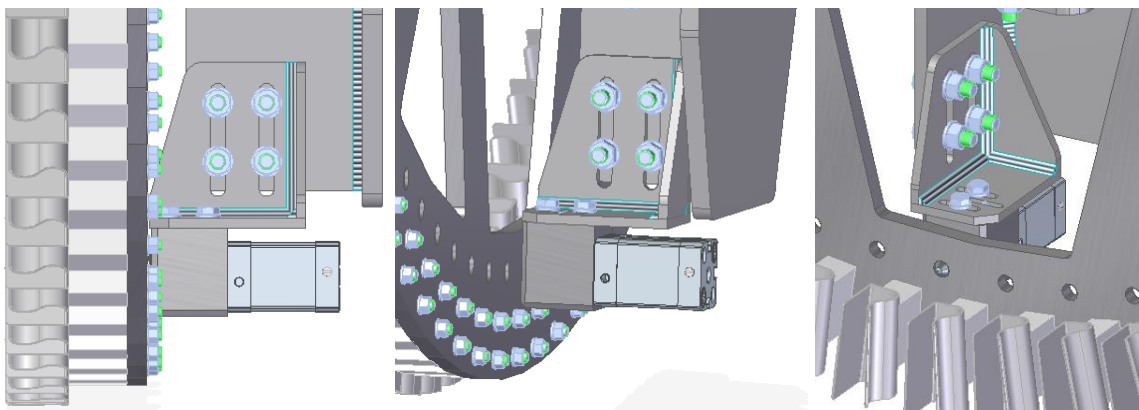


Obr. 81 Model posuvné sestavy

Všechny dříve zmíněné komponenty budou dále umístěny na sklopné desce, kterou bude podírat pružina a zároveň tlačít konec táhla k ozubení rohatky. Tato sklopná podstava bude namontována na polici, která je součástí základny. Celá sklopná sestava je navržena tak, aby táhlo mohlo působit co nejtečněji na rohatku a tím mělo ideální využití síly pro posuv. Mírnou odchylku od tečnosti a následný pohyb pístu zachytí pružina. Pružina po domluvě s panem Kotrlou není součástí výkresové dokumentace a bude v závěru montáže dodatečně přidána panem Kotrlou.

7.4.5 Aretace

Aretaci tvoří opět dvojjinný pneumatický píst FESTO ADN-20-20-I-P-A, kolík, domeček a stavitelná podstava, pomocí které je celá aretace přimontována k základně. Aretace slouží, jak již bylo zmíněno k ustavení přesné pozice čepele pro odběr robotem pomocí uchopovače. Jeho princip je že píst vysune kolík a ten se zasune do přesného otvoru na hlavním kole. Opět je zde domeček, který drží jak celý píst, tak zabraňuje bočním silám působit na pístnici a drží kolík s pístnicí ve své ose.



Obr. 82 Model aretace zásobníku

Průběh funkce bude dále sladěn s posuvným pístem tak aby jednotlivé pohyby na sebe tak navazovaly, aby došlo k plynulému posuvu s následnou aretací a takto stále dokola. Celý proces bude opět řízen řídicí jednotkou robota, který bude na základě signálů ze snímačů polohy pístů řídit provoz.

7.5 Zhodnocení stavu

Stav zásobníku je takový že je ještě ve výrobě, nicméně úloha byla splněna a to tak, že byla odevzdána kompletní výkresová dokumentace, na základě které teď probíhá výroba jednotlivých dílů a sestav. Předpokládaná doba uvedení do provozu je zhruba měsíc po odevzdání této práce.

Robot nyní pracuje v testovacím režimu, jak bylo řečeno v minulé kapitole a místo zásobníku je mu dodávána po každém cyklu jedna čepel na předem stanovenou pozici, ze které si ji robot s využitím uchopovače odebírá.



Obr. 83 Robot přichystán k odběru čepele

ZÁVĚR

Celá práce vznikla na žádost firmy WILLER a jejím majitelem panem Kotrlou, který si pro zdokonalení svého výrobního procesu hokejových čepelí zakoupil automatizovaného robota značky FANUC model M-10iA/10M. Pomocí tohoto robota bude zdokonalen a zautomatizován proces obrábění polotovaru hokejových čepelí. Pro tohoto robota byla ve firmě vyčleněna místnost, která byla přestavěna na automatizované brousící centrum. Do tohoto centra byly vyrobeny další potřebné komponenty na základě vlastností a možností robota a to brusky, na kterých se budou čepele opracovávat, podstava pod robota a hlavně uchopovací zařízení, pomocí kterého bude robot pracovat. Dalším nezbytným komponentem pro úplnou automatizaci je podávací zásobník, navržený tak aby byl robot schopen pracovat téměř nepřetržitě. Na základě těchto kritérií bylo v rámci této práce zkonstruováno uchopovací zařízení a podávací zásobník.

Uchopovací zařízení bylo zkonstruováno do prototypu, na základě principů přejatých z odborné literatury. Bylo navrženo tak, aby splňovalo všechna kritéria stanovená firmou a také hlavně vyhovovalo z pohledu mechanické bezpečnosti. Pohon tohoto zařízení je pomocí dvojčinného pneumatického pístu od firmy FESTO, u kterého využíváme jednoduchosti a stlačitelnosti plynu k dobrému sevření čepele. Uchopovač pracuje na principu pákového mechanismu, který je ovládán klínem při vysouvání a zasouvání pístnice pístu.

Podávací zařízení bylo navrženo na principu karuselu, který je posouván pneumatickým pístem po jednotlivých pozicích pro odebrání čepelí robotem. Je dimenzován na kapacitu osmdesáti polotovarů čepelí. Jak již bylo zmíněno, pohyb je zajištěn dvojčinným pneumatickým pístem od firmy FESTO a to tak že při vysunutí pístu dojde k pootočení zásobníku tak, že píst přes táhlo zatlačí na rohatku, která pohyb přemění přímočarý pohyb na pohyb rotační. Celý posuv je navržen tak že při plném zdvihu pístu dojde k posunutí vždy jen o jednu pozici. Součástí tohoto systému je také aretace, která ustavuje vždy přesnou polohu jedné pozice, pro odebrání robotem. Celý podávací zásobník byl navržen tak aby při co nejmenších rozměrech pojmul co nejvíce čepelí. Jeho automatizace spočívá v tom, že je napojen přes snímače poloh u pneumatických pístů na řídicí jednotku robota, která má naprogramovaný celý proces pohybu.

Výsledkem této práce byla kompletní výkresová dokumentace k výrobě těchto komponentů. Tato úloha byla splněna a již vyrobený uchopovač je úspěšně zařazen do testovacího provozu, ve kterém zatím opracovává čepele jen z 60 % celkového opracování a i tak je to

pro firmu velká podpora. Z důvodu toho, že zásobník při odevzdání této práce ještě nebyl kompletně dokončen, je robotu dodávána vždy jedna čepel na danou pozici po dokončení každého cyklu. I s tímto nedostatkem již robot s uchopovačem opracoval přes tři tisíce čepelí a bez známek jakéhokoliv nedostatku nebo poškození. Kompletní naprogramování a zprovoznění centra do finální automatické podoby bude až po dokončení a zavedení do provozu podávacího zařízení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ÚŘEDNÍČEK, Zdeněk. *Robotika*. 1. vyd. Zlín: UTB, 2012, 284 s. ISBN 978-80-7454-223-7
- [2] MAŇAS, Miroslav. *Základy robotiky*. 1. vyd. Brno: VUT, 1991, 99 s. ISBN 8021402792
- [3] RUMÍŠEK, Pavel. *AUTOMATIZACE (roboty a manipulátory)*. Brno: VUT, 2003. 21 s.
- [4] SCHMID, Dietmar a kol. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. Praha: Europa - Sobotáles, 2005. 420 s. ISBN 80-86706-10-9.
- [5] VROŽINA, Milan a kolektiv. *AUTOMATIZACE TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ - Část 3: Průmyslové roboty a manipulátory. učební text*
- [6] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátor*, 1. vydání, Skripta VŠB-TU Ostrava, 2007. 260s ISBN 978-80-248-1522-0.
- [7] KÜNZEL, Gunnar. *AUTOMATIZACE ŘÍZENÍ VÝROBY, učební text*. Praha: TF ČZU, 2007. Dostupný z WWW: < <http://skola.spectator.cz/> >
- [8] SMC Training [online], 2014. 23.11.2015 [cit. 2015-11-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.smc.cz/>>
- [9] PASHKOV, Eugeny a kol. *Electropneumatics in Manufacturing Process*. Sevastopol: Isdatelstvo SevNTU, 2004. 472 s. ISBN 966-7473-60-0.
- [10] Pneumax: Pneumatické prvky pro průmyslovou automatizaci [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.pneumaxsro.cz>
- [11] FESTO [online]. 2013, 25.11.2015 [cit. 2015-11-25]. Dostupný z WWW: < <http://www.festo.com> >.
- [12] BAREŠ, Richard A. *Kompozitní materiály*. SNTL - Praha 1: Nakladatelství technické literatury, 1988. ISBN 04-734-88.
- [13] Harris, Bryan (1999). *Engineering Composite Materials* (2nd Edition). Maney Publishing for IOM3, the Institute of Materials, Minerals and Mining. Online version available at: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpECME0001/engineering-composite/engineering-composite>
- [14] Havel - Composites. *Technologie výroby kompozitů* [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>

- [15] RUSNÁKOVÁ, Soňa. UČEBNÍ TEXT - VÝUKA. *Kompozitní materiály*. Zlín, 2013.
- [16] Příručka pro technology - obrobiteľnosť. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011 [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-obrobiteľnosť.html>
- [17] SEDLÁČEK, Jan. *Nástroje pro obrábění kompozitních materiálů*. VUT V BRNĚ, Fakulta strojního inženýrství. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2006 [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nastroje-pro-obrabeni-kompozitnich-materialu.html>
- [18] BENEŠOVÁ, Dana. SANDVIK COROMANT. *Změny v obrábění kompozitních materiálů*. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011 [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/zmeny-v-obrabeni-kompozitnich-materialu.html>
- [19] ABB Robotics [online]. 2015 , 25.11.2015 [cit. 2014-4-1]. Dostupný z WWW: < <http://new.abb.com/products/robotics> >.
- [20] FANUC Robotics [online]. 2015 , 25.11.2015 [cit. 2014-4-1]. Dostupný z WWW: < <http://www.fanuc.eu/cz/cs> >.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PRaM		Průmyslové roboty a manipulátory.
MÚE		Mechanický úchopný efektor.
RTP		Robotické technologické pracoviště.
OM		Objekt manipulace.
SE ST7		Solid Edge ST7
AF		Autodesk Forceeffect
F_1	[N]	Síla od čepele působící na čelist
F_2	[N]	Síla vyvozená pákovým mechanismem
F_{Pist}	[N]	Síla pístu
F_t	[N]	Síla třecí
L_1	[mm]	Délka ramene k uchopení
L_2	[mm]	Délka ramene u pístu
H	[mm]	Zdvih pístu
α	[°]	Úhel nakloněné roviny pohyblivého klínu k ose pístu
β	[°]	Poloviční úhel rozevřených čelistí
f	[-]	Koeficient tření
k	[-]	Koeficient bezpečnosti
M_{OMAX}	[N.mm]	Ohybový moment v lícovaném šroubu
σ_{DO}	[MPa]	Dovolené napětí v ohybu
Re	[MPa]	Mez kluzu materiálu
p_D	[MPa]	Dovolené napětí na otláčení
τ_{DS}	[MPa]	Dovolená mez únavy ve smyku
D_{\S}	[mm]	Minimální průměr šroubu
τ_S	[MPa]	Napětí ve stříhu
p	[MPa]	Tlak působící na šroub

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 První průmyslový robot – Unimate[1]</i>	12
<i>Obr. 2 Ukázka různých tříd robotů[19]</i>	14
<i>Obr. 3 Geometrie pracovního prostoru</i>	15
<i>Obr. 4 Manipulační systémy[4]</i>	16
<i>Obr. 5 Ukázka průmyslových robotů značky FANUC[20]</i>	17
<i>Obr. 6 Ukázka různých operací prováděna průmyslovými roboty[20]</i>	19
<i>Obr. 7 Pasivní mechanické hlavice[3,7]</i>	20
<i>Obr. 8 Možné principy řešení MÚE typu T1[6]</i>	22
<i>Obr. 9 Možné principy řešení MÚE typu T4[6]</i>	22
<i>Obr. 10 Schéma analýzy vstupních údajů pro návrh úchopné hlavice[6]</i>	24
<i>Obr. 11 Možná poloha OM v úchopné hlavici[6]</i>	26
<i>Obr. 12 Možný tvar úchopných hlavic</i>	27
<i>Obr. 13 Bod uchopení předmětu[8]</i>	28
<i>Obr. 14 Poměr délky ramene čelisti k vyosení těžiště předmětu[8]</i>	28
<i>Obr. 15 Diagram L, H, p[8]</i>	29
<i>Obr. 16 Úchopná hlavice s OM[9]</i>	29
<i>Obr. 17 Diagram síla – délka ramene[9]</i>	29
<i>Obr. 18 Šoupátkový rozvaděč[10]</i>	30
<i>Obr. 19 Sedlový rozvaděč mechanický (vlevo) a manuální (vpravo) + schématická značka[11]</i>	30
<i>Obr. 20 Škrťací ventil (vlevo), rychloodvzdušňovací ventil (uprostřed) a logický ventil + schématické značky[11]</i>	31
<i>Obr. 21 Elektromagneticky ovládaný rozvaděč firmy FESTO[11]</i>	31
<i>Obr. 22 Sestava pro úpravu stlačeného vzduchu od firmy FESTO[11]</i>	32
<i>Obr. 23 Jednočinný pneumatický válec s pístnicí v klidové poloze</i>	33
<i>Obr. 24 Dvojjčinný pneumatický válec + schématická značka[11]</i>	33
<i>Obr. 25 Rozložení válce dle ISO 6431[10]</i>	34
<i>Obr. 26 Vztahy mezi konstrukčními materiály a vývojem kompozitů[13]</i>	35
<i>Obr. 27 Fázové rozhraní mezi vlákny a matricí[14]</i>	36
<i>Obr. 28 Rozdělení kompozitních materiálů[15]</i>	37
<i>Obr. 29 Hokejová čepel a její složení od firmy WILLER</i>	38
<i>Obr. 30 Vlastnosti ovlivňující obrobitelnost materiálu[16]</i>	39

<i>Obr. 31</i>	<i>Koncový efektor</i>	43
<i>Obr. 32</i>	<i>3D model místnosti, ve které bude brousící centrum</i>	44
<i>Obr. 33</i>	<i>Polotovary hokejové čepele s rozměry</i>	45
<i>Obr. 34</i>	<i>Robot FANUC M-10iA/10M</i>	45
<i>Obr. 35</i>	<i>Model prvního návrhu</i>	46
<i>Obr. 36</i>	<i>Zobrazení principu vačkového mechanismu pro uchopovač</i>	47
<i>Obr. 37</i>	<i>Řešení pomocí pryžové násady</i>	47
<i>Obr. 38</i>	<i>Schéma principu funkce pro návrh č. 2</i>	48
<i>Obr. 39</i>	<i>Schéma principu funkce návrhu č. 3</i>	49
<i>Obr. 40</i>	<i>Znázornění působení síly v nejkritičtějších místech</i>	50
<i>Obr. 41</i>	<i>Znázornění schémata a rozměrů čepele</i>	51
<i>Obr. 42</i>	<i>Výsledek simulace zatížení čepele v programu Autodesk Forceeffect</i>	52
<i>Obr. 43</i>	<i>Zobrazení rozkladu sil na čelistech uchopovače</i>	52
<i>Obr. 44</i>	<i>Znázornění rozkladu sil na čelisti uchopovače</i>	53
<i>Obr. 45</i>	<i>Rovnováha na páce (čelisti uchopovače) v programu AF</i>	53
<i>Obr. 46</i>	<i>Schéma rovnováhy na páce; schéma klínu tlačícího na páku</i>	54
<i>Obr. 47</i>	<i>Dvojitý píst FESTO ADVC-50-15-A-P-A</i>	56
<i>Obr. 48</i>	<i>Reverzní analýza v programu AF</i>	57
<i>Obr. 49</i>	<i>Schéma působení sil ve šroubu</i>	58
<i>Obr. 50</i>	<i>Schéma reverzní analýzy v AF</i>	58
<i>Obr. 51</i>	<i>Analýza zatížení šroubu v AF</i>	59
<i>Obr. 52</i>	<i>Mechanická analýza čelisti v programu Solid Edge ST7</i>	61
<i>Obr. 53</i>	<i>Analýza posunutí v SE ST7</i>	62
<i>Obr. 54</i>	<i>Mechanická analýza základní</i>	63
<i>Obr. 55</i>	<i>Analýza posunutí v SE ST7</i>	64
<i>Obr. 56</i>	<i>Všechny vyráběné součásti uchopovače</i>	65
<i>Obr. 57</i>	<i>Čelisti uchopovače</i>	66
<i>Obr. 58</i>	<i>Třecí segmenty</i>	66
<i>Obr. 59</i>	<i>Vložky s navulkanizovanou pryží</i>	67
<i>Obr. 60</i>	<i>Tlačný klín</i>	67
<i>Obr. 61</i>	<i>Otevírače</i>	68
<i>Obr. 62</i>	<i>Základní desky</i>	69
<i>Obr. 63</i>	<i>Rozpěry</i>	69

<i>Obr. 64 Příruby - vlevo pro uchycení k robotu, vpravo pro uchycení pístu</i>	70
<i>Obr. 65 Podávací zásobník</i>	71
<i>Obr. 66 Model statického zásobníku</i>	72
<i>Obr. 67 Model pásového zásobníku</i>	73
<i>Obr. 68 Návrh modelu karuselového zásobníku</i>	74
<i>Obr. 69 Mechanická analýza základny v programu SE ST7</i>	76
<i>Obr. 70 Analýza posunutí v programu SE ST7</i>	77
<i>Obr. 71 Simulace hřídele uložené v ložiscích v programu AF</i>	78
<i>Obr. 72 Schéma působení sil pro výpočet síly pootočení</i>	80
<i>Obr. 73 Zvolený píst pro posuv FESTO ADN-25-25-I-P-A</i>	81
<i>Obr. 74 Zvolený píst pro aretaci FESTO ADN-20-20-I-P-A</i>	82
<i>Obr. 75 Model základny</i>	84
<i>Obr. 76 Model středu podávacího zásobníku</i>	85
<i>Obr. 77 Obrázek již hotových dílů</i>	85
<i>Obr. 78 Hlavní kolo podávacího zásobníku</i>	86
<i>Obr. 79 Spona pro uchycení čepele</i>	86
<i>Obr. 80 Domeček pro píst posuvu</i>	87
<i>Obr. 81 Model posuvné sestavy</i>	87
<i>Obr. 82 Model aretace zásobníku</i>	88
<i>Obr. 83 Robot přichystán k odběru čepele</i>	89

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Oblast použití PRaM</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 2 Klasifikační schéma úchopných prvků</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 3 Typy aktivních efektorů[6].....</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 4 Součásti válce dle ISO 6431[10]</i>	<i>34</i>

SEZNAM PŘÍLOH

P I – Data list k robotu FANUC M-10iA/10M

P II – Schéma pneumatické sestavy uchopovače a podávacího zásobníku

P III – Výkresová dokumentace

PŘÍLOHA P I: DATA LIST K ROBOFU FANUC M-10iA/10M

M-10iA/10M (High inertia version)



Max. load capacity
at wrist: **10 kg**



Max. Reach:
1422 mm

Controlled axes	Repeatability (mm)	Mechanical weight (kg)	Motion range [°]						Maximum speed [°/s]						J4 Moment/Inertia (Nm/kgm ²)	J5 Moment/Inertia (Nm/kgm ²)	J6 Moment/Inertia (Nm/kgm ²)	
			J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6				
6	± 0.08	130	340[360]	250	445	400	280	720	225	205	225	420	420	420	700	26.0/0.9	26.0/0.9	11.0/0.3



Robot

Robot footprint [mm] **M-10iA/10M**
 283 x 283
 Mounting position Floor ●
 Mounting position Upside down ●
 Mounting position Angle ●



Controller

Open air cabinet **30iB**
 Mate cabinet ●
 A-cabinet ●
 B-cabinet ●
 iPendant Touch ●

Electrical connections

Voltage 50/60Hz, 3phase [V] 380-575
 Voltage 50/60Hz, 1phase [V] -
 Average power consumption [kW] 1

Integrated services

Integrated signals on upper arm In/Out 8/8
 Integrated air supply 1

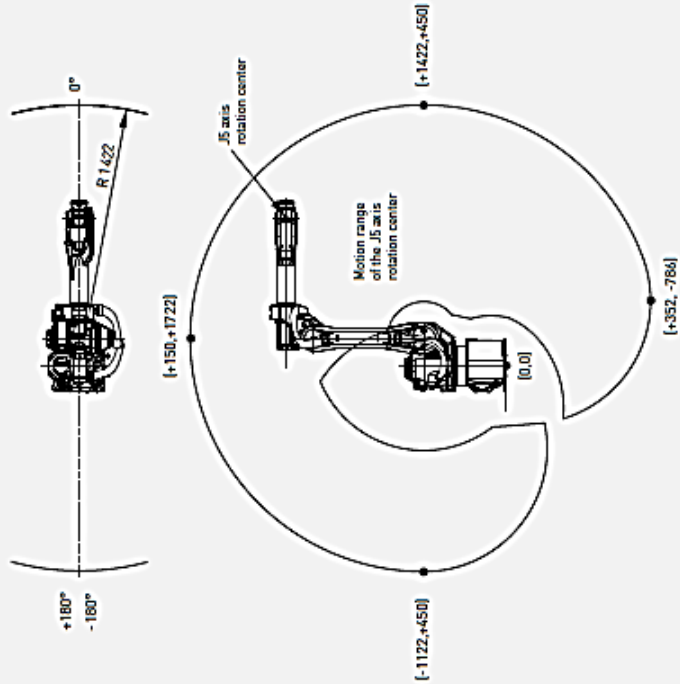
Environment

Acoustic noise level [dB] < 70
 Ambient temperature [° C] 0-45

Protection

Body standard/optional IP54/IP55
 Wrist & J3 arm standard/optional IP67

Working Range



● standard ○ on request - not available [] with hardware and/or software option

PŘÍLOHA P II: SCHÉMA PNEUMATICKÉ SESTAVY UCHOPOVAČE A PODÁVACÍHO ZÁSOBNÍKU

