

Návrh koncového efektoru pro robotické pracoviště s aplikací v automobilovém průmyslu.

Ing. Martin Gavenda

Bakalářská práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Ing. Martin Gavenda

Osobní číslo: T15108

Studijní program: B3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Technologická zařízení

Forma studia: kombinovaná

Téma práce: Návrh koncového efektoru pro robotické pracoviště s aplikací v automobilovém průmyslu.

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování teoretické části bakalářské práce.
2. Návrh koncového efektoru v programu CATIA V5.
3. Kontrola kolizí konstrukce s okolními pracovními pozicemi.
4. Výběr průmyslového robota pro navržený efektor.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. BENEŠ, Pavel. Automatizace a automatizační technika: prostředky automatizační techniky. Díl 3. Praha: Computer Press, 2000, 254 s. ISBN 8072262483.
2. BENEŠ, Pavel. Automatizace a automatizační technika: prostředky automatizační techniky. 5., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2014, 304 s. ISBN 978-80-251-3747-5.
3. SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
4. TICKOO, Sham. CATIA: kompletní průvodce. Brno: Computer Press, 2012, 696 s. ISBN 978-80-251-3527-3.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Filip Tomanec

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

2. ledna 2018

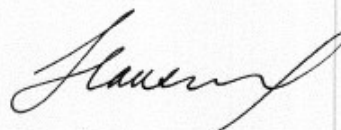
Termín odevzdání bakalářské práce:

18. května 2018

Ve Zlíně dne 19. února 2018



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



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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby 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 2.1.2018



.....

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

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

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

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

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

V teoretické části je nejdříve nastíněn automobilový průmysl z více hledisek včetně historického úvodu a vyústěním je definování pozice koncového efektoru, jakožto součásti průmyslového robotu. V druhé kapitole je popsán koncový efektor a je zde uvedeno rozdělení efektorů. Dále jsou popsány technologické koncové efekторы pro různé často využívané aplikace. Čtvrtá kapitola se věnuje manipulačním koncovým efektorům, jejich rozdělení, popisu principů a funkcí dílčích prvků. V praktické části je nejdříve popsáno robotické pracoviště a objekt manipulace, pro který je následně navržen koncový efektor. Návrh efektoru je systematicky popsán od volby jednotlivých prvků až po návrh celku a tvorbu 3D modelu. Poslední dvě kapitoly se věnují kontrole kolizí s okolními pracovišti a volbě průmyslového robota pro navržený koncový efektor.

Klíčová slova: koncový efektor, manipulátor, robot, automotive, automatizace

ABSTRACT

In the theoretical part, the automotive industry is outlined from several points of view, including the historical introduction and the end result is the definition of the end-effector position as part of the industrial robot. In the second chapter, the end-effector is described and here is the distribution of the effectors. Technological end-effectors for various commonly used applications are also described. The fourth chapter deals with manipulation end-effectors, their division, description of principles and functions of sub-elements. In the practical part, the robotic workplace and manipulation object are described first, for which the end-effector is subsequently designed. The design of the effector is systematically described from the selection of individual elements to the design of the whole and the creation of a 3D model. The last two chapters deal with collision control with surrounding workplaces and the choice of an industrial robot for the designed end-effector.

Keywords: end-effector, manipulator, robot, automotive, automation

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Filipovi Tomancovi za odborné vedení, věcné připomínky a rady při zpracovávání této práce. Dále bych chtěl poděkovat své přítelkyni Ing. Petře Novákové za podporu během studia.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 AUTOMATIZACE V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	12
1.1 AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL Z EKONOMICKÉHO HLEDISKA	12
1.2 AUTOMATIZACE V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU Z HLEDISKA VÝVOJE A APLIKACÍ NOVÝCH TECHNOLOGIÍ.....	13
1.3 PRŮMYSLOVÝ ROBOT	16
2 KONCOVÝ EFEKTOR.....	18
2.1 AUTOMATICKÁ VÝMĚNA KONCOVÝCH EFEKTORŮ.....	19
3 TECHNOLOGICKÉ KONCOVÉ EFEKTORY	20
3.1 SVAŘOVACÍ KONCOVÉ EFEKTORY	20
3.2 NÝTOVACÍ KONCOVÉ EFEKTORY	22
3.3 KLINČOVACÍ KONCOVÉ EFEKTORY	23
3.4 LAKOVACÍ KONCOVÉ EFEKTORY	23
3.5 OBRÁBĚCÍ KONCOVÉ EFEKTORY	24
3.6 MONTÁŽNÍ KONCOVÉ EFEKTORY	25
4 MANIPULAČNÍ KONCOVÉ EFEKTORY.....	26
4.1 ROZDĚLENÍ DLE ÚČELU POUŽITÍ	26
4.1.1 Universální úchopné koncové efekty	27
4.1.2 Víceúčelové úchopné koncové efekty	28
4.1.3 Speciální úchopné koncové efekty	28
4.2 ROZDĚLENÍ DLE POČTU ÚCHOPNÝCH PRVKŮ	29
4.3 ROZDĚLENÍ DLE KONSTRUKCE NOSNÝCH ČÁSTÍ KONCOVÉHO EFEKTORU	30
4.3.1 Jednoúčelové rámy	30
4.3.2 Modulární rámy	30
4.3.2.1 Modulární systémy firmy Tünkers	31
4.3.2.2 Modulární systém firmy Destaco – Bodybuilder End Effector	34
4.4 ROZDĚLENÍ KONCOVÝCH EFEKTORŮ DLE VYUŽITÍ ENERGIE PRO FUNKČNÍ PRVKY	34
4.4.1 Pasivní prvky	35
4.4.2 Aktivní prvky	36
4.5 ROZDĚLENÍ ÚCHOPNÝCH PRVKŮ KONCOVÝCH EFEKTORŮ DLE PRINCIPU	36
4.6 KONKRÉTNÍ ÚCHOPNÉ PRVKY A JEJICH PRINCIP	36
4.6.1 Mechanické úchopné prvky – pasivní	37
4.6.2 Mechanické úchopné prvky – aktivní	38
4.6.3 Pneumatické úchopné prvky - pasivní	45
4.6.4 Pneumatické úchopné prvky - aktivní	46
4.6.5 Magnetické úchopné prvky - pasivní	47

4.6.6	Magnetické úchopné prvky - aktivní.....	48
II	PRAKTICKÁ ČÁST	49
5	ZADÁNÍ PRAKTICKÉ ÚLOHY	50
5.1	SPECIFIKACE ZADANÝCH PODKLADŮ PRO NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU	50
5.1.1	Objekt manipulace	50
5.1.2	Robotické pracoviště.....	51
5.1.3	Požadavky na koncový efektor	54
6	NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU	55
6.1	VOLBA UPÍNACÍCH PRVKŮ PRO KONCOVÝ EFEKTOR	55
6.2	URČENÍ KONTAKTNÍCH PLOCH KAPOTY	59
6.3	URČENÍ SOUČÁSTÍ PRO USTAVENÍ PŘESNÉ POLOHY KAPOTY	60
6.4	PNEUMATICKÝ VENTILOVÝ TERMINÁL	61
6.5	SNÍMAČE	61
6.6	MONTÁŽNÍ A KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ KONCOVÉHO EFEKTORU	62
6.7	NÁVRH VYRÁBĚNÝCH SOUČÁSTÍ, NOSNÝCH PRVKŮ A RÁMU	63
6.8	POSTUP MODELOVÁNÍ KONCOVÉHO EFEKTORU	63
7	KONTROLA KOLIZÍ KONSTRUKCE S OKOLNÍMI PRACOVNÍMI POZICEMI.	71
8	VÝBĚR PRŮMYSLOVÉHO ROBOTA PRO NAVRŽENÝ EFEKTOR.	73
	ZÁVĚR	76
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	77
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	82
	SEZNAM OBRÁZKŮ	83
	SEZNAM TABULEK.....	86
	SEZNAM PŘÍLOH.....	87

ÚVOD

Průmysl je významnou částí světového hospodářství, jehož produkty nás doprovázejí takřka každým okamžikem. Jedním z hlavních odvětví průmyslu je strojírenství, jehož nedílnou součástí je produkce automobilů. Na přelomu 19. a 20. století dal americký vynálezce Elmer Ambrose Sperry tomuto odvětví název – automotive industry. Termín je složen z řeckého autos - „samo“ a latinského motivus - „hýbající“. [1] Automotive zahrnuje nejen tvorbu samotných automobilů, ale také veškeré vedlejší činnosti spojené s jejich produkcí, nikoliv však s prodejem a servisem automobilů.

Napříč různými odvětvími lidské činnosti je dnes více či méně stále častěji využíváno automatizace. Ještě nedávno se toto dělo spíše v izolovaných aplikacích, kde automatické zařízení nahrazovalo několik úkonů v rámci jednoho procesu. Nyní se setkáváme se snahou procesy propojovat a vytvářet tak plně automatické systémy.

Automobilový průmysl není výjimkou, ba naopak v automatizaci patří mezi jedno z pokrokových odvětví. Potřeba sériové výroby se značnou kvalitou a minimalizací výrobních časů je jasnou motivací pro využívání moderních technologií.

Pro automatizované výrobní a montážní linky je třeba zajistit značné množství různě vybavených průmyslových robotů. Průmyslový robot představuje prvek schopný pokrýt různé prostorové pozice a pohyby pro další zařízení, které vykonávají dílčí operace. Na robotické hlavy jsou umístěny koncové efekторы. Ty zajišťují v kombinaci s robotem obvykle jednu, někdy i více konkrétních technologických operací. Tato práce se zabývá především jedním z hojně využívaných koncových efektorů, a to manipulačním koncovým efektořem určeným pro manipulaci s definovaným objektem. Manipulací rozumíme soubor úkonů, jejichž výsledkem je přemístění objektu v prostoru. V sériové výrobě či montáži pak hraje důležitou přesnou definici jednotlivých pohybů a úkonů robotu s efektořem vzhledem k časové ose, navíc s vysokým počtem opakování při zachování patřičných parametrů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 AUTOMATIZACE V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Schopnost vytvářet zisk je základní hnací silou pro změny v průmyslu. Podniky neustále vylepšují kvalitu svých produktů v očekávání, že uspokojí požadavky a potřeby zákazníků, čímž chtějí dosáhnout většího podílu na trhu. Ve značném množství výrobních procesů je rentabilní investovat do nových technologií, které zvýší flexibilitu a efektivitu výroby. [2]

Vývoj technologií návrhů, výroby a montáže v automobilovém průmyslu je provázen snahou o zvyšování kvality a efektivitu a současně snižování pracovních časů. Tento proces nabývá různých podob, jako jsou standardizace, specializace, pásová výroba a montáž, mechanizace, automatizace, pružná automatizace, počítačem podporovaná výroba apod. Společným jmenovatelem těchto rozličných označení je snaha o nahrazení, potažmo zjednodušení namáhavé lidské práce činností strojů a jejich silou. Tento jev vznikl nejprve u jednoduchých manuálních operací a postupně se rozšířil na úkony, kde je významnější intelektuální charakter činnosti. Nahrazování lidské práce stroji ve výrobě a v dalších procesech může být motivováno nejen snižováním nákladů, ale také potřebou omezit lidské působení v nebezpečných a velmi náročných úkonech nebo potřebou reagovat na nízkou nabídku lidských zdrojů. [2]

1.1 Automobilový průmysl z ekonomického hlediska

Světová ekonomika prožívá v oblasti výrobních aktivit rychlé období změn. Výrobní podniky jsou rušeny a znovu zakládány na jiných místech v rámci celého světa. S ohledem na tuto skutečnost je na výrobu stále nahlíženo jako na aktivitu s nízkou přidanou hodnotou zajišťovanou rozvíjejícími se ekonomikami. Vzhledem k využívání informačních technologií a sofistikovanějších technologií je nyní volba umístění jednotlivých činností velkých mezinárodních firem a domácích podniků mnohem komplexnější než tomu bylo v předešlých dekáдах. Zatímco dříve byla cena pracovní síly hlavní motivací pro umístění firmy, nyní se ukazují podstatnými především přidané hodnoty vázané k lokalitě, jako jsou schopnost zaměstnanců se zdokonalovat, výzkum, vývoj a silná základna technologicky vyspělých výrobců. [3]

Sdružení automobilového průmyslu AutoSAP uvedlo koncem minulého roku počet vyrobených vozidel v ČR za období leden až listopad a dle srovnání s rokem 2016 byl zjiš-

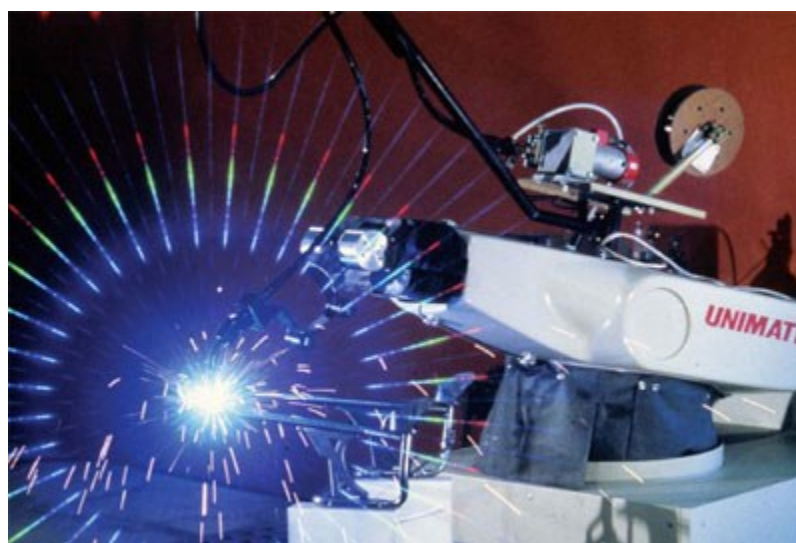
těm nárůst ve všech kategoriích vozidel. Rostoucí trend počtu vyrobených vozidel v ČR je s dvouletým výkyvem takřka stabilní od roku 2006. Vliv automobilového průmyslu na domácí trh je značný nejen díky samotným automobilkám, ale také značnému množství subdodavatelů. [4]

Tab. 1 Srovnání počtu vyrobených vozidel v ČR za rok 2017 a 2016 [4]

Rok 2017	Výroba za leden - listopad		nárůst / - pokles	Výroba za celý rok 2016	Podíl Výroba 2017 na celoroční 2016
Kategorie vozidel	rok 2017	rok 2016	2017 / 2016		
Osobní + Lehká užitková (M1 + N1)	1 307 547	1 251 321	4,49%	1 344 182	97,27%
Nákladní, tahače, podvozky (N2 + N3)	1 354	1 140	18,77%	1 326	102,11%
Autobusy (M2 + M3)	4 200	4 000	5,00%	4 388	95,72%
Motocykly (L)	1 337	1 182	13,11%	1 228	108,88%
CELKEM MOTOROVÁ VOZIDLA:	1 314 438	1 257 643	4,52%	1 351 124	97,28%

1.2 Automatizace v automobilovém průmyslu z hlediska vývoje a aplikací nových technologií

Automatizace se dnes do jisté míry v průmyslu dotýká takřka všech technologických procesů. Typickým představitelem automatizace je průmyslový robot.



Obr. 1 Průmyslový robot Unimate #001 [5]

Vývoj prvního průmyslového robota sahá do 50.let 20.století. Vše začalo setkáním Josepha Engelbergera a George Devola v roce 1956 při jejich rozhovoru o posledním vynálezu Devola – programovatelném manipulátoru. Po takřka dvouletém vývoji, vytvořili Engelberger a Devol první prototyp průmyslového robota – Unimate #001. Engelberger se dále zaměřil na využití robotů v úkonech, které jsou nebezpečné pro lidské pracovníky. Jeho strategie fungovala a v roce 1959 byl instalován prototyp Unimate #001 na montážní lince ve městě Trenton, New Jersey v General Motors. Prvním masově vyráběným robotem byl následně Unimate 1900 pro automatickou tovární linku v roce 1961. [5]

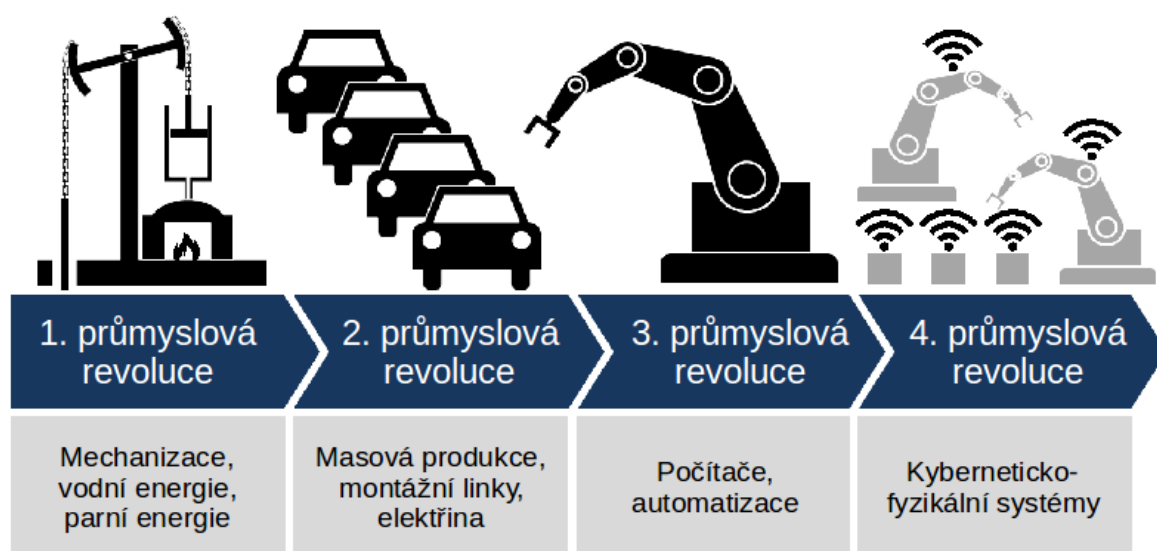
V následujícím období až do současné doby docházelo k rozvoji průmyslových robotů pro uplatnění v rozličných aplikacích. V roce 1968 byl na půdě Stanford Research Institute sestaven mobilní robot „Shakey“, který byl vybaven mimo jiné kamerovým systémem či senzory. [6] Shakey byl schopen provádět úkoly, které vyžadovaly plánování, vyhledávání tras a přeskupování jednoduchých objektů. Byl významným krokem ve vývoji umělé inteligence a moderní robotiky. [7]

Od konce 60. let minulého století jsou průmyslové roboty běžně využívány pro technologické operace, a to především v automobilovém průmyslu. Průmyslové roboty jsou hojně nasazovány pro svařování plamenem, elektrickým obloukem, bodové svařování, pro nanášení barev a do všech pro člověka nebezpečných a zdraví škodlivých manipulačních operací. Roku 1973 začíná společnost KUKA psát historii jako průkopník robotiky a vyvíjí robota FAMULA – celosvětově prvního průmyslového robota se šesti elektromechanicky poháněnými osami. [8] Dnes se setkáváme s trendem nasazování robotů i do operací, které vyžadují spíše přesnost než hrubou pracovní sílu, jako je měření či vizuální kontrola. Výzkumu zpočátku dominovaly Spojené státy americké, ale na přelomu tisíciletí se stalo významným ve vývoji a především také v aplikaci robotů Japonsko. [6] V dnešní době je z hlediska množství výroby a prodeje robotů nejproduktivnější Čína. Mezi samotnými výrobci vede v počtu vyrobených robotů japonská firma Fanuc, která mimo jiné vytvořila i robota s momentálně nejvyšším možným užitečným zatížením 2300kg – model M-2000iA/2300. V Evropě je významný německý trh, kde se v roce 2014 prodalo 20 tisíc robotů. Většina těchto robotů je využita právě v automobilovém průmyslu. [9]



Obr. 2 Průmyslový robot Fanuc řady M-2000iA [10]

Automobilové továrny jsou nyní velké centralizované systémy, které jsou obvykle z hlediska výroby zaměřeny především na karoserie vozidel. Další montované součásti a příslušenství jsou pak dodávány z celého světa. [3] Využívání automatizační techniky se v automobilových továrnách neustále rozšiřuje. Produkce automobilů spolu s dalšími odvětvími průmyslu byla přímou součástí druhé a třetí průmyslové revoluce.



Obr. 3 Diagram znázorňující 4 industriální revoluce včetně průmyslu 4.0 [11]

V posledních letech se stále častěji nejen v oblasti techniky skloňuje termín 4. průmyslová revoluce. V porovnání s předešlými průmyslovými revolucemi je zde zásadní rozdíl – dosud se o nich mluvilo, respektive byly označeny za revoluce až po té, kdy byly uskutečněny. Značné množství vyspělých zemí přichází s novými iniciativami, týkajícími se této změny. V Německu v roce 2013 byla představena platforma „Industrie 4.0“. Mařík a kol. [12] vydali v roce 2016 knihu zabývající se 4. průmyslovou revolucí, ze které cituji: *„Automatizační technologie jsou ve vizi zaměřeny na distribuované systémy a počítají s metodami autooptimalizace, autokonfigurace, autodiagnostiky, strojového vnímání a inteligentní podpory dělníka.“* Mařík a kolektiv hodnotí aktuální situaci robotizace: *„V současnosti jsou výrobní linky ČR vybaveny především roboty, které jsou navrženy pro specifické úkony v rámci výrobního procesu, nejsou obvykle univerzální, nemají schopnost se rozhodovat autonomně, nemají žádnou nebo omezenou inteligenci.“* Nadále se očekává značný rozvoj universálních robotů, které by mohly vyhovět většímu rozsahu požadavků, čímž budou dostupné i výrobním podnikům s menšími sériemi produktů.

1.3 Průmyslový robot

Pojem průmyslový robot můžeme chápat jako komplexní technický systém složený z dílčích podsystémů, které v řízené kooperaci provádí jak předem definované úkony, tak i případně samostatnou intelektuální či fyzickou činnost v interakci s okolím. Čop a kolektiv ve své knize na str. 12 uvádějí definici termínu průmyslový robot následovně: *„Automatický stroj predstavujúci manipulátor s preprogramovateľným riadiacim systémom na vykonávanie pohybových a riadiacich funkcií vo výrobnom procese, ktoré nahrádzajú analogické funkcie človeka pri premiestňovaní predmetov výroby a (alebo) technologického vystrojenia.“* [12]

Čop a kolektiv dále uvádí rozdělení subsystémů průmyslového robota na jednotlivé podsystémy:

1. Kinematika
2. Efektory
3. Pohon
4. Řízení
5. Senzory
6. Programovací systém
7. Počítač

Tato práce se zabývá druhou z výše zmíněných kategorií - subsystémy efektorů. Koncovým efektorům, jejich možným dělením, vlastnostem a využitím jsou věnovány následující kapitoly.



Obr. 4 Víceosý robot s manipulačním koncovým efektozem [13]

2 KONCOVÝ EFEKTOR

Koncový efektor neboli výstupní hlavice je funkční celek, který vykonává konkrétní operace – jedná se tedy o výkonný prvek celého robotického ústrojí, který je specificky navržen pro určitou činnost. Koncový efektor je mechanicky spojen s ramenem průmyslového robotu. Je umístěn na konci kinematického řetězce robotu. Někdy je také označován za periferii robotu a je tedy prvkem, který je v přímé interakci s okolními předměty. Není výjimkou, že jsou efekторы a robot uzpůsobeny k automatické výměně efektorů – jedná se o prvek pružné automatizace, kdy na jedné lince nebo jediném pracovišti jsme schopni pracovat s více různými výrobky a provádět různé operace. Koncové efekторы mohou být použity na nejrozličnějších typech robotů, přičemž tyto nemusí být nijak zvlášť upravovány pro konkrétní efekторы. Důležité je dodržení spojovacího a komunikačního rozhraní pro ovládání funkčních prvků. Samozřejmostí je také možnost využití koncových efektorů na zařízeních s menším pohybovým rozsahem oproti šestiosým průmyslovým robotům, pokud to dovolí daná aplikace.

Koncové efekторы jsou určeny pro vykonávání specifické operace, dále je uvedeno rozdělení těchto operací dle publikace Blechy a kolektivu [15]:

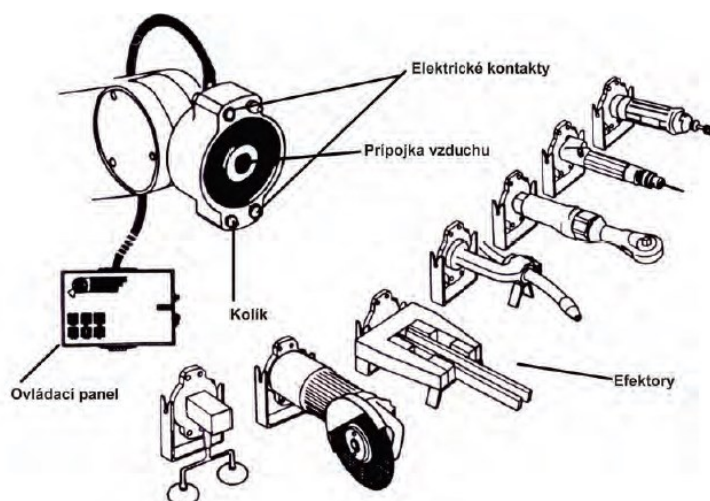
1. Vkládání objektů do pracovního prostoru výrobních zařízení a jejich vyjímání
2. Mezioperační manipulace
3. Technologické operace
4. Kontrolní operace
5. Speciální práce

Činnosti uvedené v bodech 1 až 4 jsou obvykle využívány v průmyslu oblasti výroby, montáže, servisu apod. a poslední kategorie zahrnuje všechny typy operací s velmi specifickým účelem. Dále se budu v této práci zabývat pouze koncovými efekторы, které jsou hojně využívány v průmyslu. Dle konstrukce koncových efektorů je možné rozdělit tyto výstupní hlavice na:

1. Technologické
2. Manipulační

2.1 Automatická výměna koncových efektorů

Pro dosažení krátkého výrobního cyklu a finančních úspor při realizaci robotického pracoviště může být výhodné aplikovat systém automatické výměny koncových efektorů. Robot může být využit např. pro manipulaci více speciálními efekty, přičemž každý z nich je navržen pro jeden konkrétní díl. Výměna koncových efektorů probíhá v krátkém časovém intervalu a je možno ji zařadit přímo do výrobního cyklu. Pro aplikování tohoto systému je nutné, aby robot a každý využívaný koncový efektor byly vybaveni stejným spojovacím a komunikačním rozhraním, které umožňují automatickou výměnu. [15]



Obr. 5 Princip automatické výměny efektorů [15]

Na Obr. 5 je znázorněn princip automatické výměny efektorů. Kolíky slouží pro přesné navedení hlavice na koncový efektor. Hlavice je montována na konci kinematického řetězce robotu. Hlavice i koncový efektor je dále vybavena komunikačním rozhraním – elektrickými kontakty a přípojkou pro tlakový vzduch. Pro pevné spojení koncového efektoru s hlavicí je součástí upínací mechanismus. Jednotlivé koncové efekty jsou umístěny na stojanech, jimž jsou přiřazeny konkrétní pozice, s nimiž pracuje robot dle programu. [15]

3 TECHNOLOGICKÉ KONCOVÉ EFEKTORY

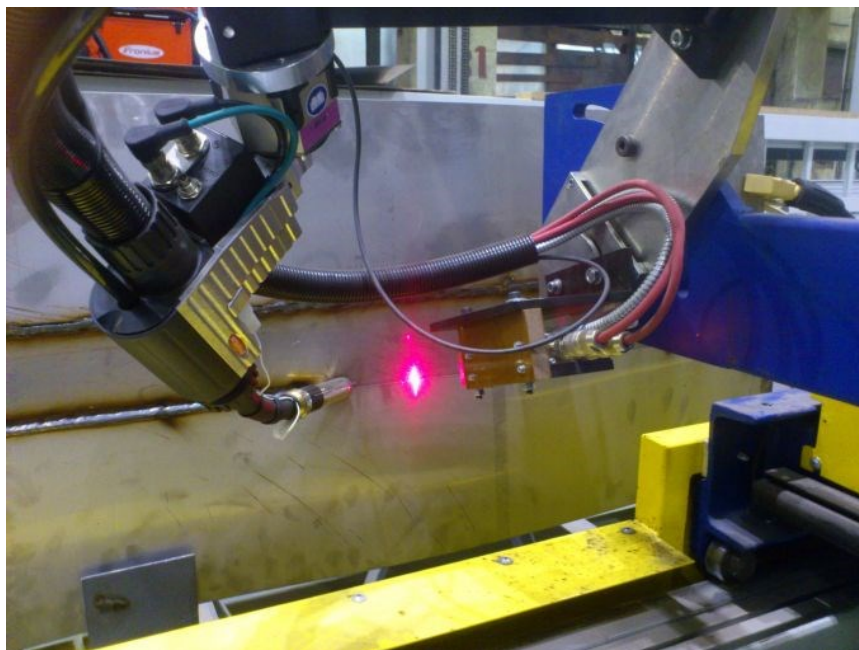
Technologické koncové efekty jsou charakterizovány funkčními prvky, vybavením, svou koncepcí určenou pro jednu konkrétní technologickou operaci. V následujících podkapitolách uvedu několik typických představitelů této kategorie.

3.1 Svařovací koncové efekty

Jedná se o hojně využívané koncové efekty ve výrobě svařovaných celků, jako jsou například karoserie automobilů. Svařovací koncové efekty můžeme dále dělit dle konkrétních metod svařování:

1. Obloukové svařování
2. Laserové svařování
3. Plasmové svařování
4. Bodové odporové svařování
5. Švové odporové svařování

Svařovací koncové efekty jsou vybaveny nejen samotným činným prvkem (např. svařovací hubicí), ale také více podpůrnými zařízeními, jako jsou automatické podávání přídatného materiálu do svarové lázně, automatická regulace polohy nástroje vůči svařovaným dílům, případně také zařízení pro kontrolu provedeného svaru.



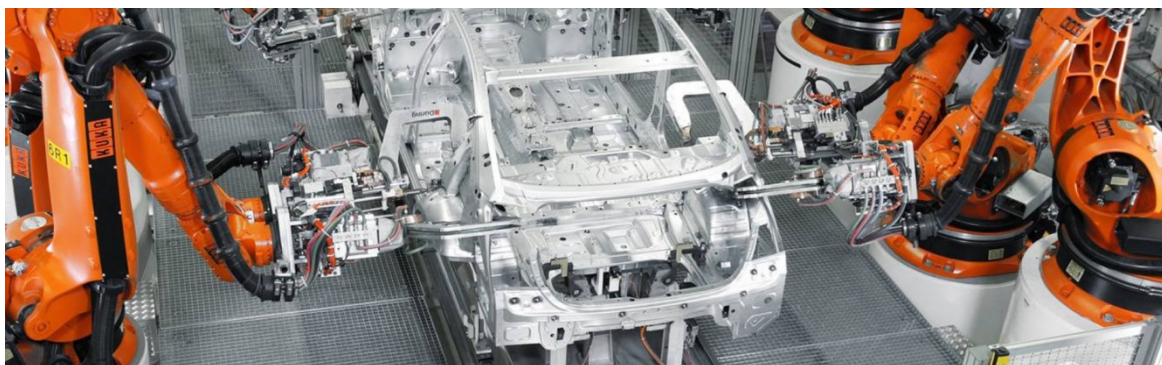
Obr. 6 Obloukové svařování s optickým naváděcím systémem.[16]

Svařovací koncové efekторы vyžadují velmi přesné vedení pohybu z důvodu zajištění ideální polohy nástroje pro vytvoření kvalitních svarů. Obvykle je navádění řešeno pouze programem pro konkrétní aplikaci s důrazem na vysokou přesnost opracování svařovaných dílů a jejich ustavení v pracovišti. Navádění může být realizováno i v reálném čase např. pomocí laserové optiky. Firma BOKI, jež se zabývá robotizovanými systémy, nabízí jedno z takovýchto řešení pomocí průmyslové kamery a optické triangulace. Jak uvádí na svých webových stránkách u produktu LaserGuide :

„Kamera je pomocí adaptéru namontována na zápěstí robota nebo na držáku svařovacího hořáku. Během svařovacího procesu kamera „snímkuje“ povrch svařence před svařovacím hořákem. Údaje o poloze a geometrii svarové spáry, zpracované průmyslovým PC kamery, jsou dále odesílány do řídicího systému robota nebo svařovacího automatu, které z nich průběžně propočítává správnou polohu TCP (Pozn. TCP - Tool Centre Point, neboli referenční bod nástroje) a s odpovídajícím časovým zpožděním navádí jednotlivé osy stroje.“[16]

Optické metody navádění svařovacích efektorů jsou úspěšně realizovány v laboratorních podmínkách. V reálných provozech se tyto zařízení mohou setkat s mnoha vlivy (např. světelné podmínky, prašnost, atd.), které mohou negativně ovlivnit jejich funkčnost. [17]

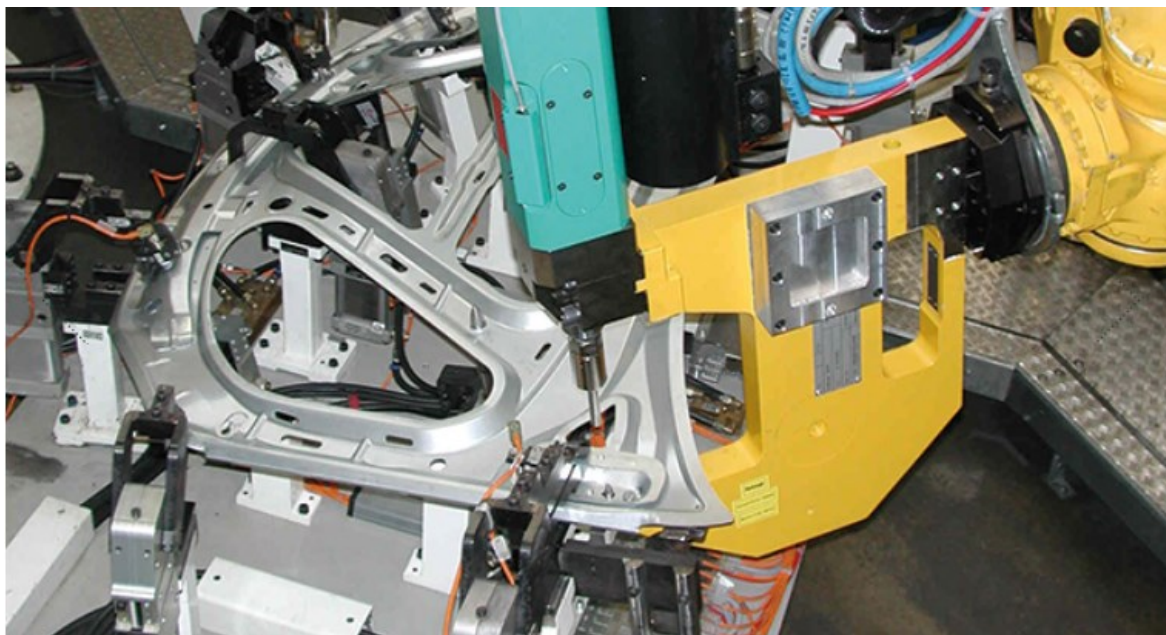
Ve velkosériové výrobě je úspěšně využíváno vysoké přesnosti s mnoha opakováními při svařování pomocí průmyslových robotů. V automobilovém průmyslu je častá aplikace bodového odporového svařování při výrobě karoserií.



Obr. 7 Robotické pracoviště s koncovými efekty pro bodové odporové svařování [18]

3.2 Nýtovací koncové efekty

Koncové efekty pro nýtování mohou být navrženy pro různé typy nýtů. Nejjednodušší z hlediska prostorové náročnosti, ve smyslu průchodnosti efektoru ke spojovaným dílům, je využití trhacích nýtů. Zde stačí zajistit správnou fixaci dílů k sobě a přístup pouze z jedné strany k otvoru pro nýt. Naproti tomu existuje např. velmi výkonná technologie lisování pevných nýtů, která je při aplikaci náročnější na prostor. Na *Obr. 8* je zobrazen koncový efektor vyvinutý společností TOX PRESSOTECHNIK pro nýtování částí karoserií automobilů plnými lisovacími nýty. [19] Nýtovací koncové efekty jsou vybaveny zásobníkem a podavačem nýtů.



Obr. 8 Koncový efektor pro nýtování plnými lisovacími nýty [19]

3.3 Klinčovací koncové efekторы

Z konstrukčního hlediska jsou klinčovací koncové efekторы velice podobné nýtovacím. Klinčování je metoda spojování plechových dílů pouze mechanickým způsobem, tudíž zde odpadá potřeba přísunu materiálu - nýtů ze zásobníku.

3.4 Lakovací koncové efekторы

Lakovací koncové efekторы nejsou obvykle nabízeny samostatně. Běžně dnes výrobci nabízí kompletního robota pro lakování. Je to dáno faktem, že prostředí lakovny je znatelně odlišné od výroby či montáže a jsou zde kladeny určité odlišné požadavky na celkový systém. Roboty pro lakování jsou navrhovány pro velký prostorový dosah s minimalizací hmotnosti. Požadovaná nosnost a tuhost samotného kinematického systému je v tomto případě přesně stanovena pro lakovací koncový efektor. Robot může být také vytvořen s dutými rameny pro vedení hadic, což může mít kladný vliv na pracovní prostředí lakovny a také udržení rozvodů v čistém prostředí. Umístění lakovacího robota na strop nebo vysoko na stěny v kabině může značně snížit znečištění robotů od rozprášeného ma-

teriálu. V praxi se setkáváme také s řešením dodatečného krytování robotů až po samotnou lakovací hlavici.



Obr. 9 KUKA ready2_spray [20]

3.5 Obráběcí koncové efekторы

Obrábění pomocí robotů může být velmi výkonnou aplikací, kde vyžadujeme obrábění složitých ploch, obrábění na tvarově komplikovaných a rozměrných dílech. Zásadní vlastností robotických pracovišť pro aplikace obrábění je tuhost celé soustavy. Do této kategorie bychom mohli zařadit také koncové efekторы pro dělení materiálu, broušení a leštění povrchů.



Obr. 10 Robotizované obrábění kašny Koloděje [21]

3.6 Montážní koncové efekty

Montážní koncové efekty jsou dnes navrhovány speciálně pro jednotlivé montážní úkoly. Pro příklad je na *Obr. 11* znázorněný citlivý efektor pro montáž matic nebo také universální hlavice, která pomocí výměny nástroje pojme větší množství montážních operací. [22] V rámci rozvoje přímé spolupráce člověka s robotem vznikají také montážní roboti, kteří jsou schopni interagovat v reálném čase na lidské podněty.



Obr. 11 Kuka LBR iiwa [22]

4 MANIPULAČNÍ KONCOVÉ EFEKTORY

Manipulační koncové efekty v kombinaci s robotem slouží k uchopení, přesně definovanému přemístění a uložení, nebo polohování objektu manipulace v prostoru v přímé závislosti k časové ose, popřípadě u moderních systémů pracujících se vzájemnou komunikací s návazností na okolní podněty, jako jsou nečekané překážky, ostatní objekty výroby nebo také informace o ukončení určité operace. V cizích jazycích, ale také slangových výrazech či jiné terminologii se můžeme setkat s označeními, jako jsou „greifer“, „gripper“, „chapadlo“ apod.

Manipulační koncové efekty je možné rozdělit z několika různých hledisek:

1. Účel
2. Počet úchopných prvků
3. Konstrukce nosných částí koncového efektoru
4. Využití energie pro funkční prvky
5. Princip uchopovacích prvků

Kromě základních prvků manipulačních koncových efektorů, jež naplňují jejich podstatu, mohou být efekty vybaveny dalšími pomocnými zařízeními. Tyto zařízení rozšiřují možnosti využití efektorů a slouží ke zdokonalení procesu manipulace. Mezi tyto zařízení patří např. snímače a centrovací trny. Z hlediska snímání se může jednat o kontrolu upnutí dílce nebo načtení ID kódu dílce a předání informace dalšímu zařízení či centrálnímu řídicímu systému apod. Centrovací trny se mohou uplatnit v sériové výrobě při použití speciálních koncových efektorů pro dosažení vysoké přesnosti uchopení dílce s velkým počtem opakování. Centrovacími trny může být libovolný mechanismus či prvek, který zajistí navedení koncového efektoru do přesné polohy vůči objektu manipulace.

4.1 Rozdělení dle účelu použití

Manipulační koncové efekty jsou navrhovány pro různé aplikace a jejich samotná konstrukce může mít charakter univerzálního manipulátoru, který je schopen se přizpůsobit objektu manipulace nebo na druhé straně může být koncový efektor navržen pro jediný

specifický objekt. Manipulační koncové efektory mohou být rozděleny dle účelu použití do následujících kategorií.

4.1.1 Universální úchopné koncové efektory

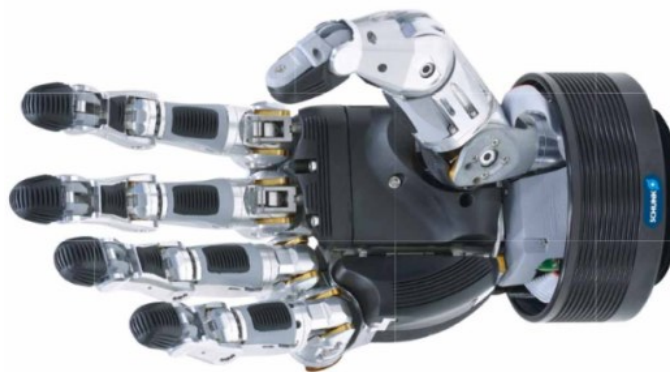
Jedná se o úchopné zařízení, které je schopno se přizpůsobit tvaru objektu manipulace nebo je možné jej předem nastavit pro určitý objekt. Adaptivní úchopné prvky mohou být realizovány například z pružných materiálů nebo segmentových čelistí.

Vzhledem k rozmachu aplikací robotických manipulátorů se dá očekávat, že dojde k rozšíření využití universálních úchopných koncových efektorů. Hlavní výhodou takového řešení může být schopnost obsluhovat více strojů, případně manipulovat s různými objekty v rámci jednoho pracoviště bez výměny či přenastavení úchopné hlavice.



Obr. 12 Adaptivní chapadla manipulačního efektoru z pružného materiálu [23]

Zvláštním případem adaptivních úchopných prvků jsou tzv. antropomorfní úchopné prvky. V samotných začátcích robotiky to byly právě části a pohyby lidského těla, které se snažili napodobovat tehdejší vynálezci.



Obr. 13 Antropomorfni úchopný efektor [24]

4.1.2 Víceúčelové úchopné koncové efekторы

Víceúčelové koncové efekторы jsou charakteristické určitým tvarem a pohybem úchopných prvků, které umožňují uchopit objekty podobného nebo stejného tvaru obdobné velikosti. Jedním z nich je také manipulační efektor sloužící jako podavač s dvěma čelistmi, které se pohybují k sobě po lineární dráze. S výhodou je dnes také možné využít regulaci síly úchopu pro různé aplikace.

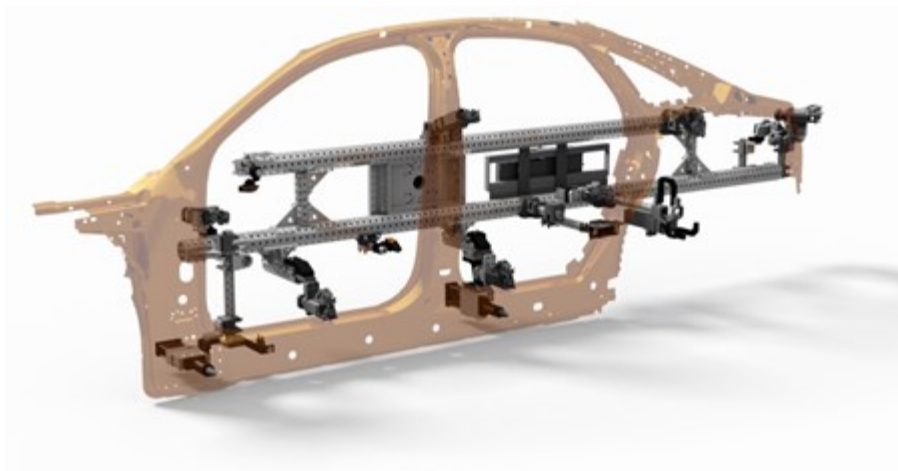


Obr. 14 Podavač KUKA LBR [25]

4.1.3 Speciální úchopné koncové efekторы

Speciální úchopné koncové efekторы jsou navrženy pro uchopení jednoho specifického objektu manipulace. Jejich využití se nachází především ve velkosériové výrobě, kde je díky vysoké přesnosti výroby zaručena správná poloha uchopení a provedení následných

operací. Samotné úchopné prvky, jejich poloha a kontaktní plochy mohou být tedy upraveny pro styk s konkrétní plochou určitého tvaru objektu manipulace v místě uchopení.



Obr. 15 Speciální úchopný koncový efektor s bočním dílem karoserie automobilu [26]

V některých aplikacích se využívá umístění dvou speciálních úchopných celků na jeden koncový efektor – obvykle umístěním ze dvou protějších stran efektoru. Výhodou takového řešení může být využití jednoho robota pro rychle navazující manipulaci se dvěma různými objekty bez nutnosti výměny efektorů. Při takovémto řešení je však nutné vzít v potaz vyšší hmotnost celku koncového efektoru, nežli v případě dvou samostatných efektorů, což má vliv na volbu samotného robota vzhledem k jeho nosnosti. Další nevýhodou může být omezení pohybu efektoru z důvodu složitější a rozměrnější konstrukce.

4.2 Rozdělení dle počtu úchopných prvků

Počet úchopných prvků je přímo závislý na složitosti, tuhosti, velikosti kontaktních ploch a rozložení hmotnosti objektu manipulace. Úchopným prvkem je myšlen prvek, který přichází přímo do styku s objektem manipulace, což může být např. pár čelistí, které svírají objekt v jednom místě. Tento prvek tvoří funkční část koncového efektoru, jež vykonává funkci uchopení, případě zavěšení apod. Ve vztahu k počtu úchopných prvků je

vytvářen nosný systém - rám koncového efektoru. Dle počtu prvků lze rozdělit manipulační koncové efekторы na:

1. Jednoprvkové manipulační koncové efekторы
2. Více-prvkové manipulační koncové efekторы

4.3 Rozdělení dle konstrukce nosných částí koncového efektoru

V návaznosti na předchozí rozdělení efektorů, se tato část týká především, ne však výhradně, více-prvkových efektorů. Tyto efekторы vyžadují často vytvoření poměrně složitých rámců, pro dosažení optimální polohy uchopovacích prvků s ohledem na funkčnost, tuhost celého systému, ale také s ohledem na prostorové možnosti dané aplikace. Vzhledem ke zvyšujícím se nárokům na rychlost přípravy výrobních zařízení v dnešním průmyslu a možnosti opakovaného využití součástí vznikly stavebnicové systémy pro vytvoření optimálních rámců koncových efektorů. Rámy manipulačních koncových efektorů je možné rozdělit do následujících kategorií.

4.3.1 Jednouúčelové rámy

Jednouúčelové rámy pro koncové efekторы jsou navrženy pouze pro jedinou aplikaci a mohou sestávat z hlavního rámu a případně menších vedlejších nosných částí, či jiných celků montovaných na hlavní rám. Vedlejší části rámu jsou nositeli dílčích funkčních prvků koncového efektoru. Ve chvíli, kdy již takto vyrobený koncový efektor nepotřebujeme, je pro další aplikace nepoužitelný. Použít by se daly jeho části pouze za cenu rozřezání původních celků, což by bylo neekonomické řešení především z hlediska vynaloženého času.

Výhodou jednouúčelově koncipovaného rámu může být možnost si vše navrhnout do detailu nezávisle na katalogových dílech, využít vlastních možností výroby apod.

4.3.2 Modulární rámy

Modulární rámy, nebo jinak řečeno stavebnicové rámy jsou sestaveny převážně z katalogových dílů určitého výrobce, který nabízí obvykle kompletní propracovaný systém pro manipulační koncové efekторы včetně specifických dílů pro uchycení motorů,

funkčních prvků, přírub pro spojení k robotům, či umístění čidel. Stavebnice se skládají z nosných trubek různých tvarů a materiálů podle výrobce, které jsou řezány dle konkrétních požadavků pro určitou aplikaci. Dále jsou zde použity díly pro rozmanité spojování trubek, výztuže, objímky pro další prvky koncového efektoru atd.

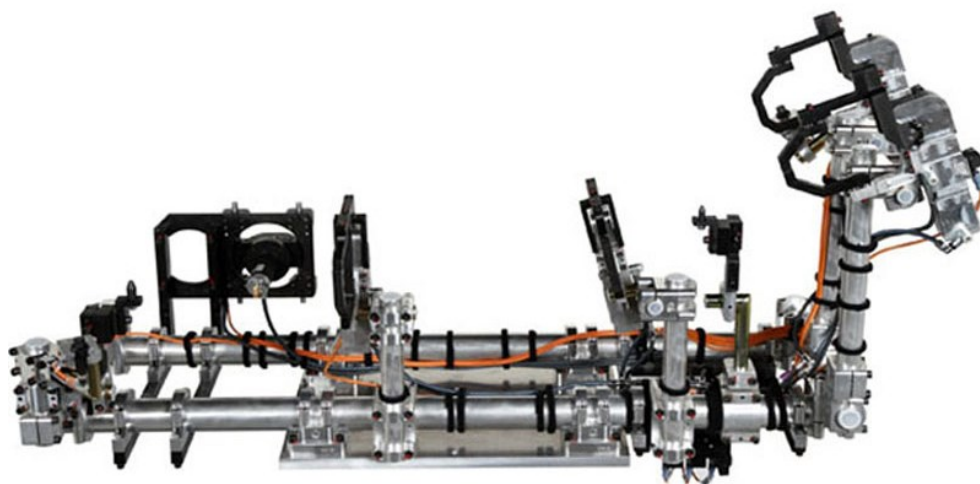
Takovéto koncové efekторы najdou své uplatnění především ve výrobních firmách s velkým počtem robotických pracovišť s manipulačními koncovými efekторы. V případě ukončení výroby určité série dílu může dojít k demontování všech částí koncového efektoru a jejich opětovnému využití pro realizace nových efektorů. Značnou výhodou takto řešených koncových efektorů je zjednodušení celé realizace díky možnosti nákupu všech, případně většiny dílů u jednoho výrobce a dodání kompletního efektoru v rámci jedné objednávky, případně možnosti vytvořit si vlastní sklad dílů a zkrátit tak celkovou dobu realizace na minimum.

V další části této kapitoly uvedu několik výrobců a jejich modulární systémy pro manipulační koncové efekторы.

4.3.2.1 Modulární systémy firmy Tünkers

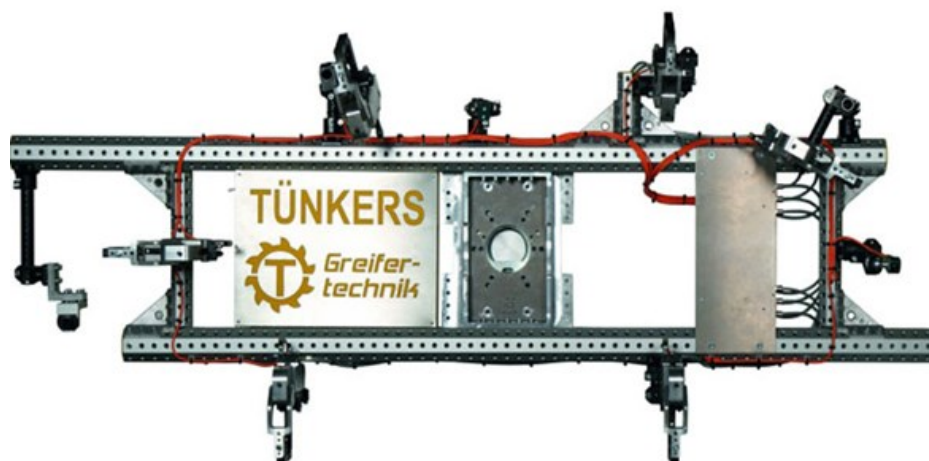
Německá společnost Tünkers nabízí více modulárních systémů koncových efektorů:

- **Tünkers Rundrohr System (TRR)** – modulární systém postavený na kruhových nosných trubkách. Výrobce uvádí následující popis: „*Rundrohr System využívá technicky optimálního momentu setrvačnosti trubek a výhody dosažené ve srovnání s pravoúhlými profily optimálního poměru mezi nízkou hmotností (sic!), vysokou tuhostí a nízkými vibracemi.*“ [27]



Obr. 16 Tünkert's Rundrohr System [28]

- **Euro-Greifer-Tooling System (EGT)** – „Euro Greifer systém byl vyvinut v automobilovém průmyslu s účastí firem BMW, VW, Audi, Daimler a Porsche. Základem systému je osmiboký hliníkový profil s rastrem. Společnost TÜNKERS je licencovaným poskytovatelem služeb pro stavbu Euro Greifer systémů. Komponenty a kompletní systémy založené na standardu Euro Greifer mohou být použity pouze u projektů výše uvedených výrobců a projektů OEM.“ [27]



Obr. 17 Euro-Greifer-Tooling System [29]

- **Tüinkers One Screw System (TOS)** – „Základní rám systému je založen na Oktagonálním (sic!) profilu se střídavým vzoru (sic!) otvorů, čímž se vytváří spojení s tvarovým stykem. Tyto spoje jsou založeny na standardu TÜNKERS trubkových prvků a jsou pevně navzájem spojeny. Všechny komponenty a prvky jsou pečlivě projektovány a vzájemně koordinovány. Kromě trubek je každá (sic!) díl identifikován jedinečným číslem produktu a logem výrobce.“ [27]



Obr. 18 Tüinkers One Screw System [30]

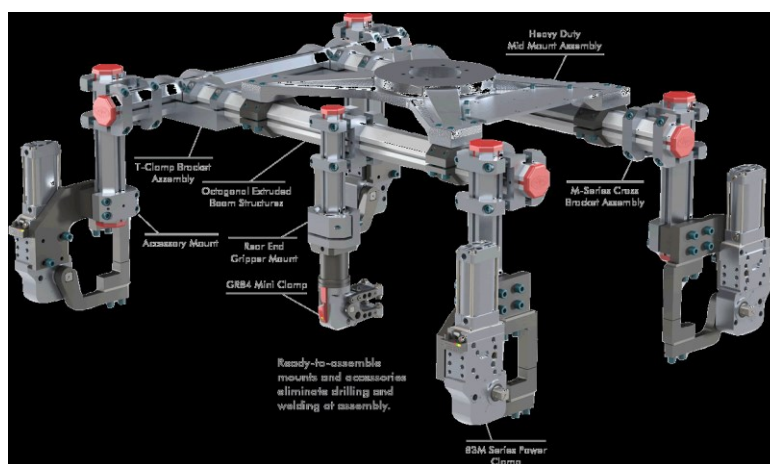
- **Carbon Tube System (TCR)** – Nosné prvky v tomto systému jsou trubky kruhového tvaru z kompozitu, jehož výztuž tvoří uhlíková vlákna. Tento systém umožňuje dosáhnout snížení hmotnosti koncového efektoru a tím dosáhnout snížení nároků na nosnost robotu, zástavbové rozměry celého systému atd. Rozměry nosných částí jsou standardem firmy Tüinkers, takže je možné tyto díly kombinovat dle potřeby s dalšími prvky z jiných systémů – např. TRR. [31]



Obr. 19 Carbon Tube System [32]

4.3.2.2 Modulární systém firmy Destaco – Bodybuilder End Effector

Tento systém koncových efektorů od firmy Destaco je plně modulární a nastavitelný. Dle výrobce je určen pro velmi náročné aplikace, umožňuje velmi rychlé úpravy. [33] Nosné prvky tvoří osmihranné trubky s vodícími drážkami na dvou párech protilehlých stran.

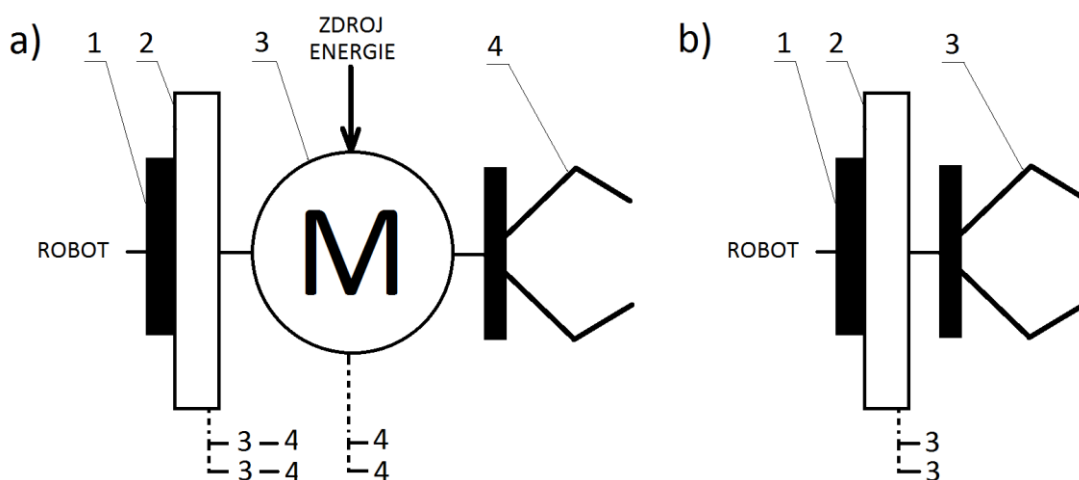


Obr. 20 Destaco – Bodybuilder End Effector [33]

4.4 Rozdělení koncových efektorů dle využití energie pro funkční prvky

Manipulační koncové efekторы, respektive jejich funkční prvky mohou pro uchopení objektu manipulace využívat energii dodávanou externě, od zdroje, anebo také využít

energie, která je tvořena, či jinak přítomna v místě uchopení např. stálým magnetickým polem, podtlakem vytvořeným deformací přísavky po přitlačení na objekt, mechanickým zajištěním apod. Funkční prvky manipulačních koncových efektorů můžeme rozdělit na pasivní a aktivní. Schéma na *Obr. 21 a)* představuje aktivní manipulační koncový efektor. Pozice 1 je spojovací rozhraní s robotem, pozice 2 představuje rám, na který může být montováno současně více aktivních celků (poz.3 a 4). Pozice 3 představuje motor, který zajišťuje energii pro úchopné prvky – nemusí být vždy součástí aktivního efektoru. Pozice 4 představuje aktivní úchopný prvek. Na *Obr. 21 b)* je schéma pasivního koncového efektoru. Takovýto efektor je tvořen spojovacím rozhraním (poz.1), rámem (poz.2) a samotnými pasivními úchopnými prvky (poz.3).



Obr. 21 Schéma aktivního (a) a pasivního (b) manipulačního koncového efektoru

4.4.1 Pasivní prvky

Do této kategorie spadají veškeré funkční prvky pro uchopení objektu, které vykonávají svoji práci bez přívodu energie od zdroje.

Pasivní úchopné prvky neumožňují samy o sobě ovládání úchopné síly. Úchopné hlavice, vytvořené jen z pasivních prvků, mohou povětšinou objekt uchopit, ale uvolnění lze provést jen vnějším zásahem. Funkce pasivních prvků je tedy přímo závislá na pohybech robotu a dalších kooperujících zařízeních, případně je nutné dovybavit efektor zařízením pro odejmutí objektu manipulace. [15]

4.4.2 Aktivní prvky

Mezi aktivní prvky je možno zařadit všechny prvky, které využívají pro vykonání úchopné práce energii dodanou od zdroje. K těmto prvkům je nutné vytvořit přívod energie, ovládání jednotlivých úkonů atd. Pokud by byl uchopen a manipulován objekt mohlo by při náhlém přerušení dodávané energie, např. uvolněním koncovky hadice, dojít k nebezpečným situacím. Aktivní prvky by tedy měly být určitým způsobem zajištěny proti vzniku takovýchto situací. Jednou z možností je uzavření systému přívodu energie po uchopení přímo v aktivním prvku do té doby, dokud nedojde k vyvolání řízené změny – uvolnění objektu.

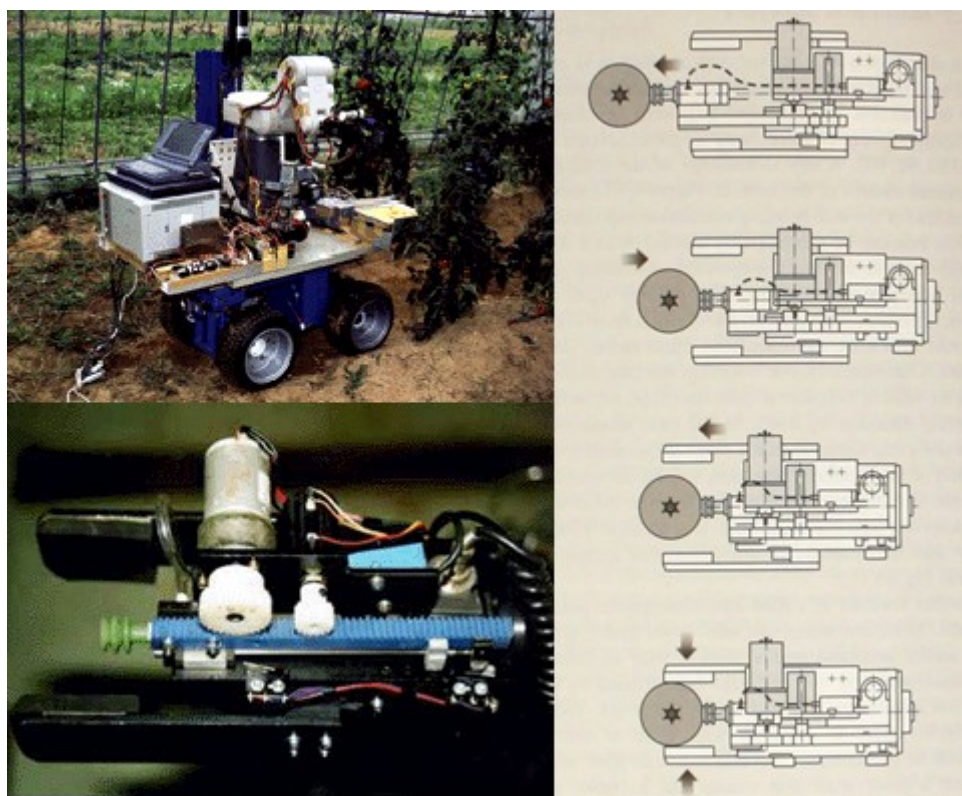
4.5 Rozdělení úchopných prvků koncových efektorů dle principu

Funkční neboli úchopné prvky využívají pro svůj účel určitý princip uchopení. Úchopnými prvky jsou myšleny části koncového efektoru, které přicházejí přímo do styku s objekty manipulace při jejich uchopení. [34] Dle principu můžeme rozdělit úchopné prvky následovně:

- mechanické úchopné prvky
- pneumatické úchopné prvky
- magnetické úchopné prvky

4.6 Konkrétní úchopné prvky a jejich princip

V této kapitole jsou uvedeny úchopné prvky v několika kategoriích. Rozdělení těchto kategorií je na základě využitého principu úchopných prvků. Při návrhu manipulačního koncového efektoru je nutné zvážit přednosti a nevýhody jednotlivých úchopných prvků. Není výjimkou, že pro jeden koncový efektor je využito i více typů úchopných prvků. Jako příklad je na obrázku níže znázorněn robot určený pro sběr rajčat. Robot na základě velikosti, ale především barvy objektu vyhodnotí, zdali se jedná o zralý plod a ten odebere do úložného prostoru. Koncový efektor robotu je vybaven těmito úchopnými prvky – pneumatickou přísavkou, která je výsuvná pomocí ozubeného hřebene, a také výsuvnými úchopnými rameny s nastavitelnou úchopnou silou od 0 do 33,3 N. Všechny pohybové části jsou ovládány s využitím stejnosměrného napětí. [35]



Obr. 22 Vlevo nahoře - robotický sběrač rajčat [36], vlevo dole – detail koncového efektoru [36], vpravo - schéma principu uchopení plodu [35]

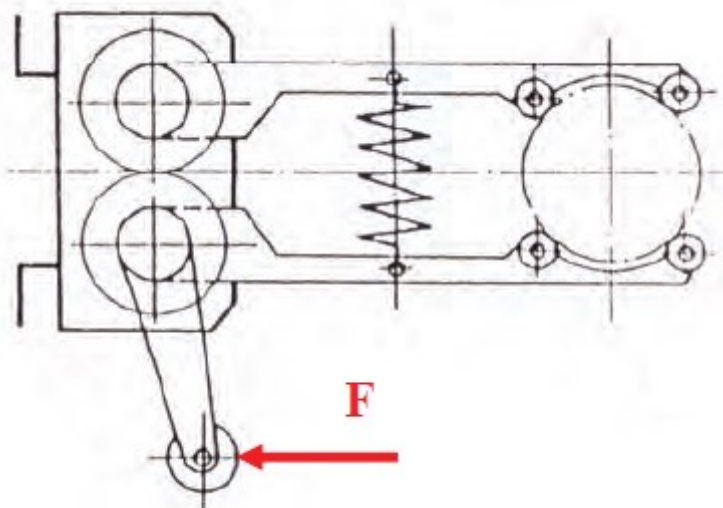
V této kapitole je dále rozvedeno dělení úchopných prvků z hlediska využití a druhu energie pro jejich funkci a jejich případná dělení, konkrétní principy atd.

4.6.1 Mechanické úchopné prvky – pasivní

Mechanické úchopné pasivní prvky jsou konstrukčně velmi jednoduché. Tyto pasivní prvky je možné dále rozdělit na [37]:

- otevřené - jedná se o geometrický tvar, na který se pomocí určitého pohybu efektoru a vlivem tíhy umístí objekt manipulace. Typicky jsou to různé vidlice, háky, opěry apod. Objekt manipulace není pevně fixován, což má vliv na možné zrychlení a trajektorii pohybu efektoru.
- uzavřené – jedná se obvykle o pohyblivé čelisti - kleštinu, která je schopna sevřít objekt manipulace díky pružné deformaci určité části např. pružiny.

- speciální – využívají určitý druh přilnavého materiálu, např. suchý zip, lepidlo, lepivý povrch apod. [37], nebo mohou využívat vniknutí do materiálu – jehly a spony.



Obr. 23 Pasivní mechanická hlavice s odpruženými čelistmi [15]

Na *Obr. 23* je schematicky znázorněna pasivní mechanická hlavice s odpruženými čelistmi a dorazovou kladkou pro rozevření čelistí pro upuštění objektu manipulace. Čelisti jsou spolu vzájemně propojeny ozubenými koly, což zajišťuje jejich synchronizované pohyby. Tato hlavice je vybavena otočnými válečky v místě uchopení pro zajištění hladkého chodu čelistí při rozevírání tlakem na objekt a snížení rizika poškození objektu vlivem tření.

4.6.2 Mechanické úchopné prvky – aktivní

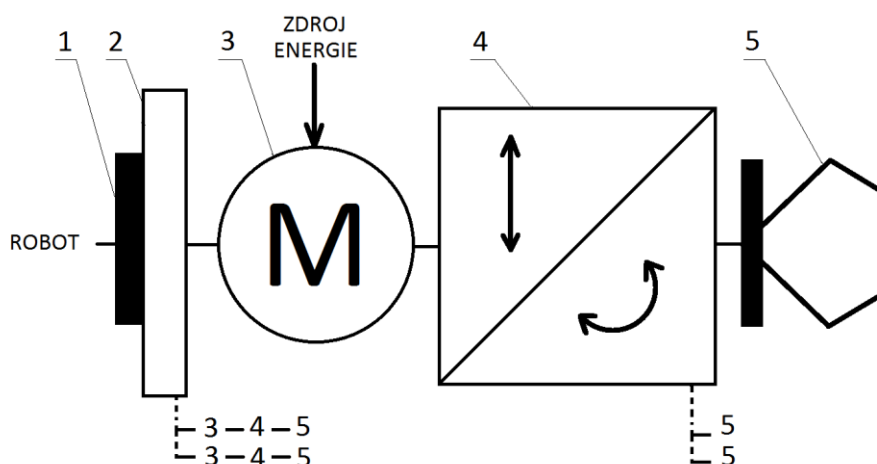
Mechanické aktivní úchopné prvky jsou velmi rozšířené v praxi vzhledem k široké škále možných aplikací. Sestávají z pohonu (motoru), úchopných čelistí a samotných kontaktních ploch, které při uchopení přichází do styku s objektem manipulace. Druh pohybu pohonu i čelistí může být rotační či posuvný. Výstup motoru může být propojen s čelistmi více způsoby. Nejjednodušší variantou je spojení přímé, kdy pohyb motoru bez jakékoliv změny určuje pohyb čelistí. Takovéto spojení je možné pouze u prvků, které mají shodný druh pohybu motoru a čelistí. Pokud je požadavek v rámci jednoho koncového efektoru

využít více čelistí, znamená to pro tento případ vždy zvlášť jeden motor pro jedny čelisti.

Ostatní možnosti propojení pohonu s čelistmi mají za úkol dosáhnout určitých změněných vlastností pro daný případ úchopného prvku. Z konstrukčního hlediska je zde možnost upravit parametry úchopného prvku jako jsou např. síla úchopu, směr působení síly, rychlost čelistí apod. Pro zajištění takovéto změny je třeba rozšířit vazbu motor-čelisti o další část. Výstup motoru působí na čelisti prostřednictvím mechanického převodu – transformačního bloku. Transformační blok může ve vztahu pohon – čelisti zajišťovat: [34]

- změnu druhu pohybu,
- změnu smyslu pohybu,
- změnu úchopné síly,
- změnu rychlosti pohybu,
- případně společné ovládání více čelistí.

Na Obr. 24 je schematicky znázorněn manipulační koncový efektor s aktivním úchopným prvkem (poz. 5) a transformačním blokem (poz. 4). Pozice 1 představuje spojovací rozhraní s robotem, na které přímo navazuje rám (poz. 2) efektoru. Pozice 3 představuje motor - prvek, který přeměňuje přiváděnou energii na mechanický pohyb, který následně upravuje transformační blok. Při návrhu efektoru je možné využít více aktivních celků (poz. 3 až 5) na jednom rámu nebo rozvést energii z jednoho motoru transformačním blokem na více úchopných prvků.



Obr. 24 Schéma manipulačního koncového efektoru s aktivním prvkem a transformačním blokem

Transformační blok může být realizován pomocí konstrukčních prvků, jako jsou klouby, ozubené hřebeny a kola, vačky, kuličkové šrouby a další. V tabulce níže je znázorněno rozdělení mechanických úchopných prvků z hlediska druhu pohybu a také možnosti využití transformačního bloku. Pro mechanické úchopné prvky, kde je rozdílný druh pohybu motoru a čelistí je nezbytné využít transformačního bloku.

Tab. 2 Schéma vztahu pohonu a druhu čelistí mechanické hlavičky [34]

Typ pohonu	Pohyb na vstupu	Pohyb čelistí	Konstrukční uspořádání	
			bez transformačního bloku	s transformačním blokem
A				
B				
C			—	
			—	
D			—	
			—	

Mezi aktivní úchopné prvky je možné také zařadit ty, které mají aktivní, pohonem řízený, pohyb pouze u jedné z čelistí. Ostatní čelisti jsou pasivní a mohou být tvořeny např. opěrami, tvarovými protikusy k čelistem aktivním.

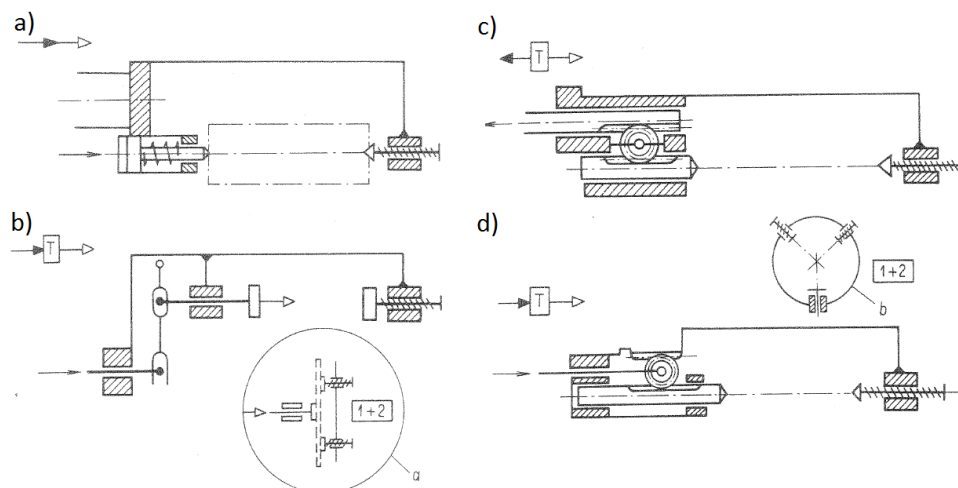
Charakteristickým znakem aktivních mechanických úchopných prvků je pracovní médium, které využívají jejich pohony pro svou funkci. Dle tohoto kritéria můžeme prvky rozdělit do jednotlivých skupin na poháněné: [34]

- pneumatorem
- hydromotorem
- elektromotorem
- elektromagnetem

Každé pracovní médium umožňuje konstrukci určitých typů motorů vzhledem k druhu pohybu. Mezi pohony, jež jsou schopny přímo vytvářet posuvný pohyb, řadíme pneumotory, hydromotory a elektromagnety. Rotační pohony mohou být realizovány všemi výše uvedenými motory s ohledem na jejich konstrukční uspořádání.

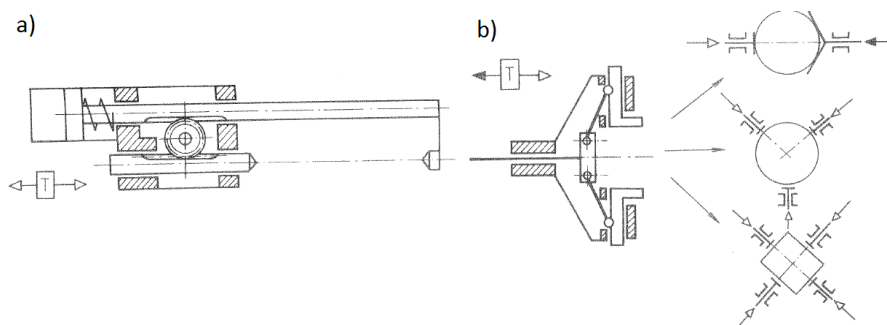
Posuvné motory jsou nejčastěji realizovány pomocí jednočinných nebo dvojčinných přímočarých pneumotorů a hydromotorů neboli válců. Jednočinné pneumotory jsou vybaveny pasivním prvkem, který akumuluje a vzápětí využívá energie aktivního prvku. Tímto pasivním prvkem může být např. pružina, jež působí na čelisti, které svírají objekt manipulace. Rozevření čelistí je zajištěno řízeným zdvihem jednočinného motoru, který překoná sílu pružiny. Výhoda takového řešení je jistota uchopení objektu i při možném přerušení příchozí energie – např. poškozením vedení energie, a tím zajištění bezpečnosti provozu mechanického úchopného prvku. Z hlediska zástavbových rozměrů je výhodnější jednočinný motor oproti dvojčinnému, protože pro svou funkci vyžaduje přívodního vedení pouze do jedné komory válce. Dvojčinný posuvný motor je výhodný vzhledem k možnosti jemné regulace úchopné síly či rychlosti pohybu čelistí pomocí škrtícího ventilu na přívodu pracovního média. Přímočaré posuvné hydromotory je možné využít pro vyvození velkých úchopných sil.

Na *obr. 25* jsou schematicky znázorněny úchopné prvky s posuvným motorem a jednou posuvnou čelistí. Druhá čelist je pasivní, stavitelná pro využití úchopu různě velkých součástí. První ze zobrazených je úchopný prvek bez transformačního bloku, posuvný jednočinný motor přímo ovládá aktivní čelist. *Obr. 25 b)* znázorňuje obdobný případ s dvojčinným motorem doplněný kloubovým transformačním blokem, který zajistí změnu rychlosti a úchopné síly aktivní čelisti. *Obr. 25 c) a d)* znázorňuje využití dvojčinného posuvného motoru a transformačního bloku pomocí ozubeného kola a hřebenů na posuvných částech. [34]



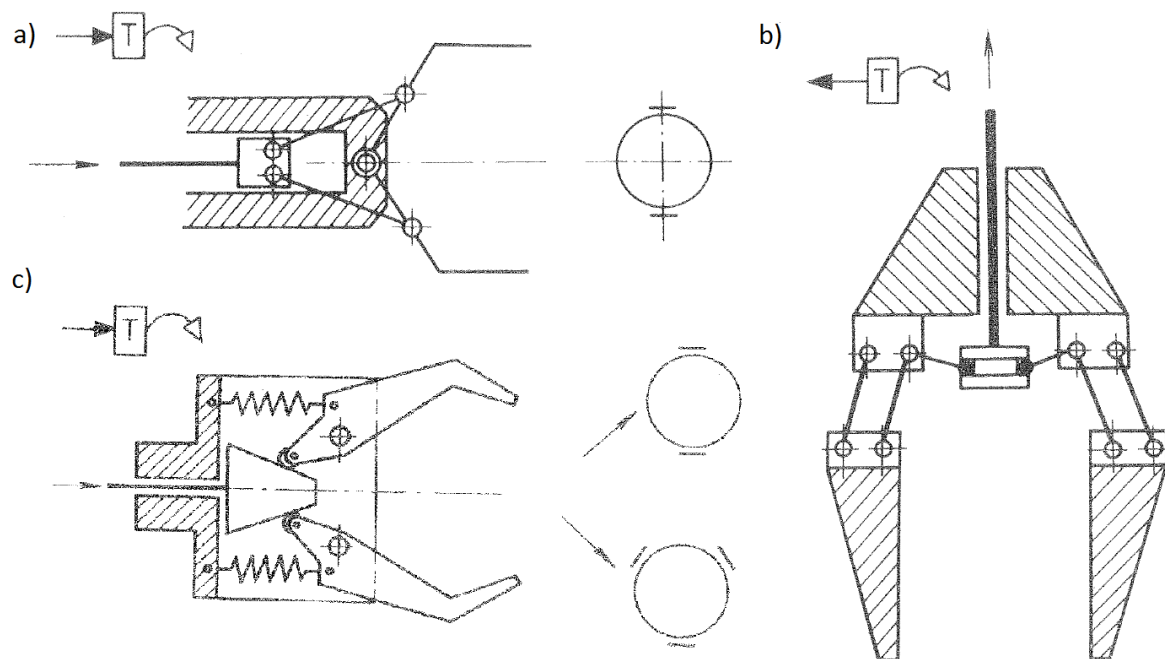
Obr. 25 Kinematické uspořádání úchopných hlavíc s jedním aktivním a jedním pasivním prvkem [34]

Obdobně jsou řešeny úchopné prvky s více, obvykle dvěma, posuvnými čelistmi s tím rozdílem, že transformační blok zajišťuje navíc úlohu rozvedení pohybu od motoru ke všem čelistem. Obr. 26 představuje několik takto řešených úchopných hlavíc. Na obrázku 26 a) je znázorněn úchopný prvek využívající jednočinného posuvného motoru a transformačního bloku s ozubeným kolem a hřebeny, jež zajišťují rozvod pohybu na dvě aktivní čelisti. Na obrázku s indexem b) je znázorněna úchopná hlavice s transformačním blokem, jež zajišťuje pomocí kloubového mechanismu a příčného vedení čelistí také změnu směru pohybu. Je zde naznačena i možnost využití takovéto hlavice s více aktivními čelistmi, které současně svírají objekt manipulace. [34]



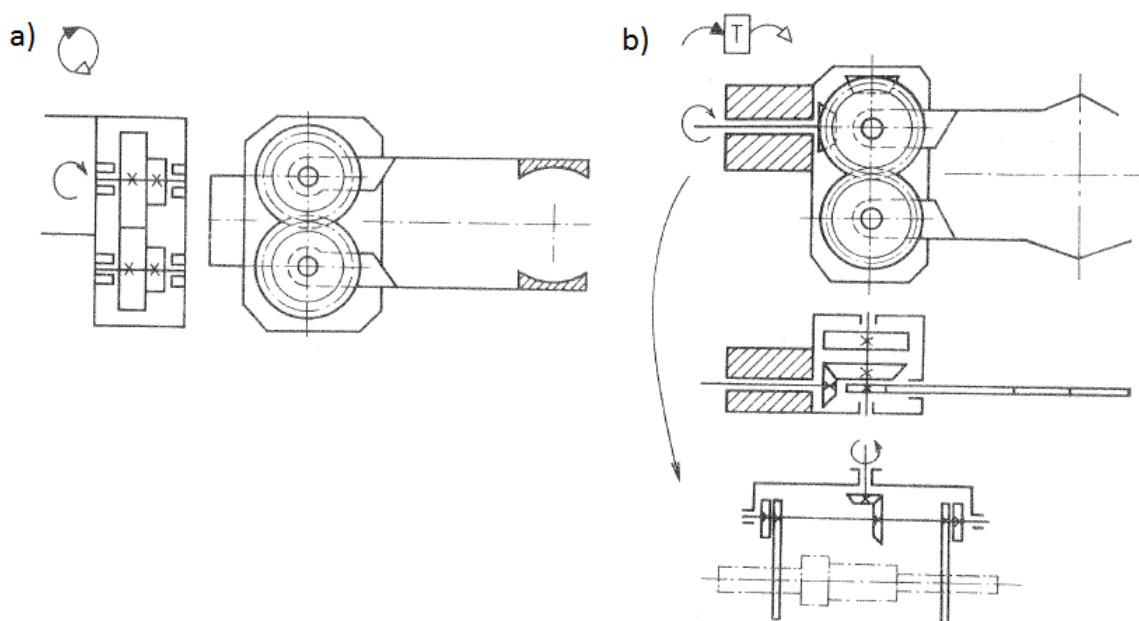
Obr. 26 Kinematické uspořádání úchopných hlavíc se dvěma a více aktivními prvky [34]

Doposud byly uvedeny aktivní mechanické úchopné prvky s posuvným motorem a posuvnými čelistmi. Dále je uvedeno několik řešení úchopných hlavice s posuvným motorem a otočnými čelistmi. Toto konstrukční řešení je velmi často využíváno v praxi. Vzhledem ke změně druhu pohybu je zde vždy využito transformačního bloku, který je obvykle realizován pomocí ozubení, pákového či vačkového mechanismu. Na Obr. 27 jsou znázorněny kinematické uspořádání aktivních mechanických úchopných hlavice, které využívají přímočarých motorů a pohyb jejich čelistí je otočný. Obr. 27 a) znázorňuje uspořádání s využitím kloubů a pákového mechanismu, při uzavírání se čelisti pohybují po stejné kruhové dráze proti sobě. Na dalším schématu je zobrazen obdobný mechanismus s využitím paralelogramu, který zajišťuje paralelní polohu ploch čelistí v jakémkoliv bodu rozevření. Posledním schématem na Obr. 27 je hlavice, která využívá jednočinného přímočarého motoru pro sevření objektu. Přes vačku, která je tvořena např. kuzelem, je přenášena síla na kladky umístěné na čelistech. Vačka může být libovolně tvarována, čímž lze dosáhnout různého charakteru pohybu. Příkladem by mohlo být využití rychlého svírání čelistí v prvních 3/4 pohybu a následně změnou úhlu na vačce pro vyvození větší přitlačné síly na čelistech. Vačkový převod je vhodný pro velké úchopné síly. Pružiny zde tvoří prvek pro vrácení čelistí do rozevřeného stavu, jakmile přestane působit motor.



Obr. 27 Kinematické uspořádání úchopných hlavice s a) pákovým převodem, b) pákovým převodem s paralelogramem, c) vačkovým převodem [34]

Pneumatické a hydraulické rotační motory se používají především pro aplikace, kde je vyžadován rotační pohyb čelistí. Převod od těchto rotačních motorů k posuvným čelistem pomocí translačního bloku nemá příliš mnoho využití, protože přímočaré posuvné motory při své jednoduchosti a nižší prostorové náročnosti splňují většinu konstrukčních požadavků. Na Obr. 28 je znázorněno kinematické uspořádání hlavic s rotačním motorem a otočnými čelistmi. Vlevo na obrázku je schéma s přímým spojením motoru s jednou čelistí a rozvodem pomocí ozubení na druhou čelist. Osa hřídele motoru je tedy totožná s osou otáčení hnané čelisti. Dále je zde zobrazeno řešení s osou pohonu kolmou k ose čelisti. Rotační pohyb motoru lze také využít pro otáčení hřídele, na které je umístěno více čelistí.

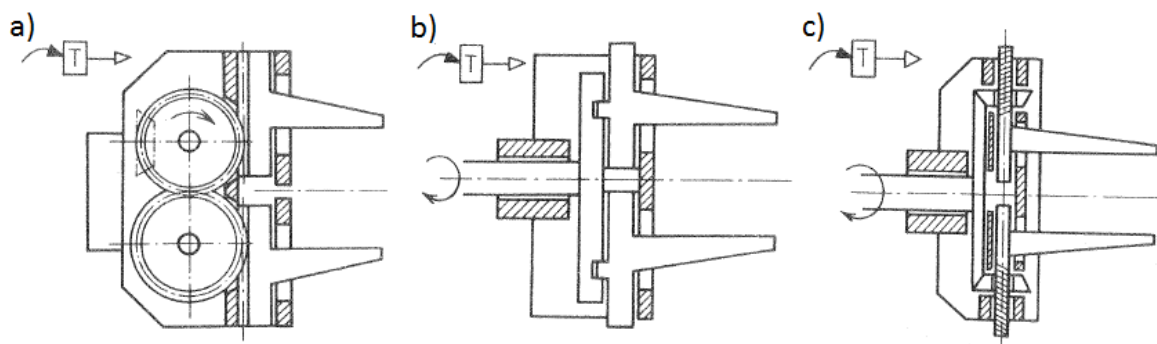


Obr. 28 Kinematické uspořádání úchopných hlavic s rotačním motorem a otočnými čelistmi [34]

Rotační motory a následná změna druhu pohybu pro posuvné čelisti mají své opodstatnění v případě využití elektromotorů, které pracují ve vysokých otáčkách. Takovéto pohony je možné aplikovat pouze s využitím transformačního bloku - převodu pro změnu rychlosti a síly uchopení. Transformační blok může být realizován kuličkovým šroubem a maticí pro jemný a přesný chod. Při kontaktu s předmětem manipulace takto realizovaným úchopným prvkem dojde k náhlému zastavení čelistí a je nutné chránit motor a transformační blok proti přetížení. Často používanou ochranou rotačních motorů je třecí spojka.

Při využití třecí talířové pružinové spojky je pak možné regulovat úchopnou sílu čelistí. [34] Na

Obr. 29 je schematicky znázorněno řešení aktivních mechanických úchopných prvků s rotačními motory a posuvnými čelistmi za využití transformačního bloku pomocí ozubení.

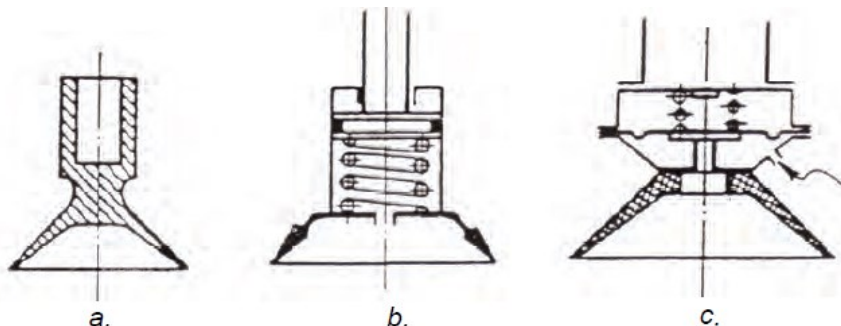


Obr. 29 Kinematické uspořádání úchopných hlavic s rotačním motorem a posuvnými čelistmi [34]

4.6.3 Pneumatické úchopné prvky - pasivní

Pasivní pneumatické úchopné prvky jsou tvořeny pryžovými přísavkami obvykle zvonovitého tvaru. Princip funkce spočívá v přitlačení přísavky na objekt manipulace, přičemž se přísavka deformuje a z uzavřené dutiny unikne vzduch – po ukončení působení přitlačné síly je vytvořen podtlak. Samotné přitlačení přísavek na objekt zajišťuje pohyb robotu. Nejjednodušším řešením z hlediska konstrukce je samotná přísavka bez dalších konstrukčních prvků, obvykle uchycena na čep. Toto řešení není příliš praktické, neboť je nutné pro odejmutí objektu stržení přísavek. To je možné řešit např. vhodným umístěním, zafixováním objektu manipulace a stržením přísavek pohybem robotu nejlépe tečně k ploše uchopení. Síla uchopení přísavkou je dána jejím tvarem a velikostí. Spolehlivost takového spojení je přímo závislá na tvaru plochy objektu manipulace, její drsnosti a v neposlední řadě čistoty. V některých případech se využívá rozstřík viskózních látek do místa styku těsně před spojením. Požadavek na spíše rovné nebo mírně zakřivené plochy předurčuje tyto úchopné prvky pro použití s tabulovým materiálem, jako jsou plechy, sklo, deskové polymery apod. Schopnost udržet si potřebný podtlak pro manipulaci i na méně kvalitním

povrchu může zlepšit konstrukční řešení doplněné o komoru s pístem a pružinou, která zajistí proměnný objem celé podtlakové dutiny. [15]

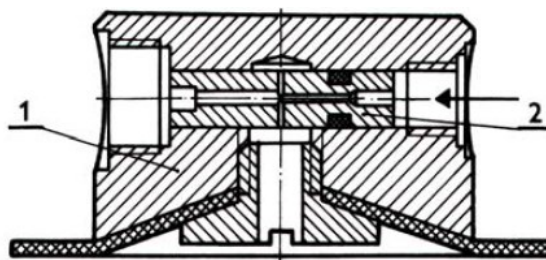


Obr. 30 a) Pryžová deformační přísavka, b) přísavka s odpruženým pístem, c) deformační přísavka s pomocným ventilem [15]

Dalším řešením pasivní přísavky je využití jednocestného ventilu, jež může být ovládán např. vzduchovým signálem, elektromagnetem apod. Přísátí probíhá stejně, jako u běžné pasivní přísavky, nicméně pro odejmutí je využito přivedení vzduchu do dutiny s podtlakem přes ovládaný ventil.

4.6.4 Pneumatické úchopné prvky - aktivní

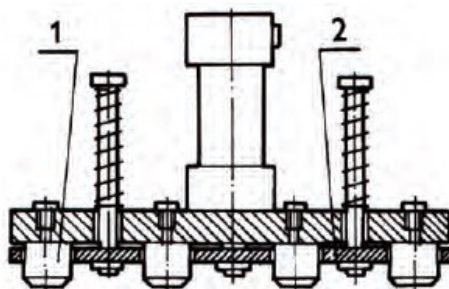
Princip uchopení objektu manipulace je obdobný s pasivními přísavkami. Podtlak v dutině přísavky je ovšem vytvářen generátorem podtlaku – ejektorem či vývěvou. Velikost podtlaku je dána typem ejektoru, běžný je rozsah 30 až 80 kPa. V praxi se běžně využívá připojení více podtlakových komor – přísavek na jeden centrální ejektor či vývěvu nebo také řešení, kdy je každá podtlaková komora zajištěna samostatným ejektorem. [15] Ejektor je zařízení využívající průchodu stlačeného vzduchu dýzou (*Obr. 31* poz.2), čímž je v nejužším místě vyvolán podtlak a toto místo je propojené s prostorem pod manžetou. [37]



Obr. 31 Aktivní přísavka s ejektorem [37]

4.6.5 Magnetické úchopné prvky - pasivní

Pasivní magnetické úchopné prvky využívají magnetického pole vyvolaného permanentním magnetem, umístěným na efektoru, k uchopení objektu manipulace. Zásadní vlastností těchto úchopných prvků je možnost použití pouze pro objekty manipulace z feromagnetických materiálů, což značně omezuje možnost využití v praxi. Výhodou těchto pasivních prvků je možnost použití v prostředí s nebezpečím vzniku výbuchu. Odejmutí objektu manipulace od efektoru je prováděno obdobně jako u jiných pasivních prvků, přičemž je nutné zajistit danou vzdálenost magnetu od objektu, aby nedošlo k opětovnému přichycení. Jedním z možných řešení odejmutí objektu od magnetu může být využití zářky na místě umístění předmětu a stržení magnetů z objektu manipulace. Na Obr. 32 je znázorněno využití pneumatického přímočarého motoru, který odtlačí objekt manipulace od permanentních magnetů. Využití pneumatického válce ovšem řadí úkon odejmutí objektu mezi aktivní operace. [15], [37]

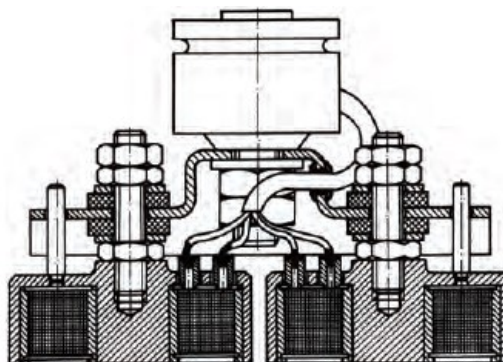


Obr. 32 Pasivní magnetický efektor s pneumatiky pro odejmutí objektu manipulace [37]

4.6.6 Magnetické úchopné prvky - aktivní

Základní princip aktivních magnetických úchopných prvků je shodný s pasivními – působení magnetického pole na objekt manipulace. Vytvoření magnetického pole je zajištěno pomocí vinutí napájených obvykle stejnosměrným proudem. Odejmutí objektu z efektoru je prováděno přerušením přívodu elektrické energie. Objekt manipulace může být magnetickým polem částečně magnetizován a i po přerušení elektrického proudu může stále držet na efektoru. Pro předcházení takového jevu je do programu efektoru možné zařadit demagnetizování objektu. Do vinutí elektromagnetu je v krátkém časovém intervalu přiveden proud opačného smyslu, což zajistí dostatečné narušení původního zmagnetizování.

Na *Obr. 33* je znázorněn koncový efektor s úchopnými prvky s aktivními elektromagnety. Jedná se o dva kruhové elektromagnety uchycené na společném unášeci, který zároveň tvoří prvek pro spojení s robotem. [15]



Obr. 33 Koncový efektor s elektromagnetickými úchopnými prvky [15]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 ZADÁNÍ PRAKTICKÉ ÚLOHY

Cílem praktické části této bakalářské práce jsou následující úlohy:

- navrhnout v programu Catia V5 koncový efektor pro robotické pracoviště s využitím v automobilovém průmyslu
- kontrola kolizí konstrukce s okolními pracovními pozicemi
- výběr průmyslového robota pro navržený efektor dle zátěžných parametrů

Celé zadání úlohy včetně modelů objektu manipulace a okolních pracovních pozic je vytvořeno pro účely této bakalářské práce – nejedná se tedy o úlohu realizovanou v praxi, byť se svým charakterem snaží takovéto úloze, co nejvíce přiblížit.

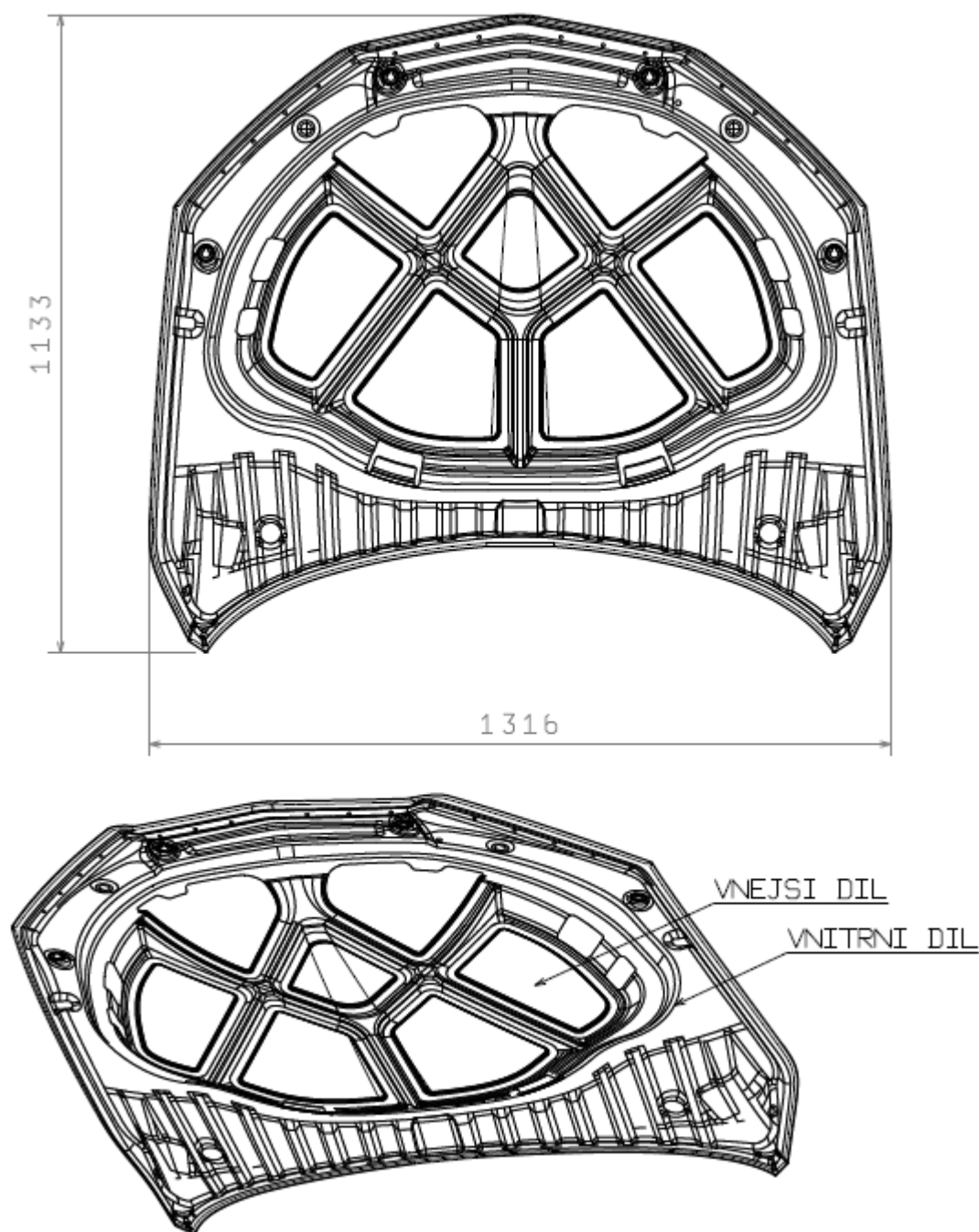
5.1 Specifikace zadaných podkladů pro návrh koncového efektoru

Pro tuto práci byla vybrána jedna z velmi často využívaných operací robotických pracovišť - manipulace. Objekt manipulace byl zadán jako typický představitel součásti automobilu, jedná se o část karoserie - kapotu.

Robotické pracoviště, pro které je navržen manipulační koncový efektor slouží ke spojení dvou základních dílů kapoty v jeden celek. Navržený efektor slouží pro manipulaci vnitřního dílu kapoty ze vstupního základacího přípravku na pracovní stolicí a následně celé kapoty z pracovní stolice na výstupní základací přípravek. Dílčí podklady jsou nastíněny v následujících kapitolách.

5.1.1 Objekt manipulace

Kapota sestává ze dvou hlavních dílů – vnitřního výztužného dílu, jež je tvořen tvarovaným plechem s řadou otvorů, prolisů atd. a dílu vnějšího - pohledového. Díly jsou na robotickém pracovišti spojeny zahnutím okrajů vnějšího dílu přes vnitřní a následným svařením. Kapota je z oceli, blíže materiál není specifikován.



Obr. 34 Zobrazení modelu objektu manipulace – kapoty

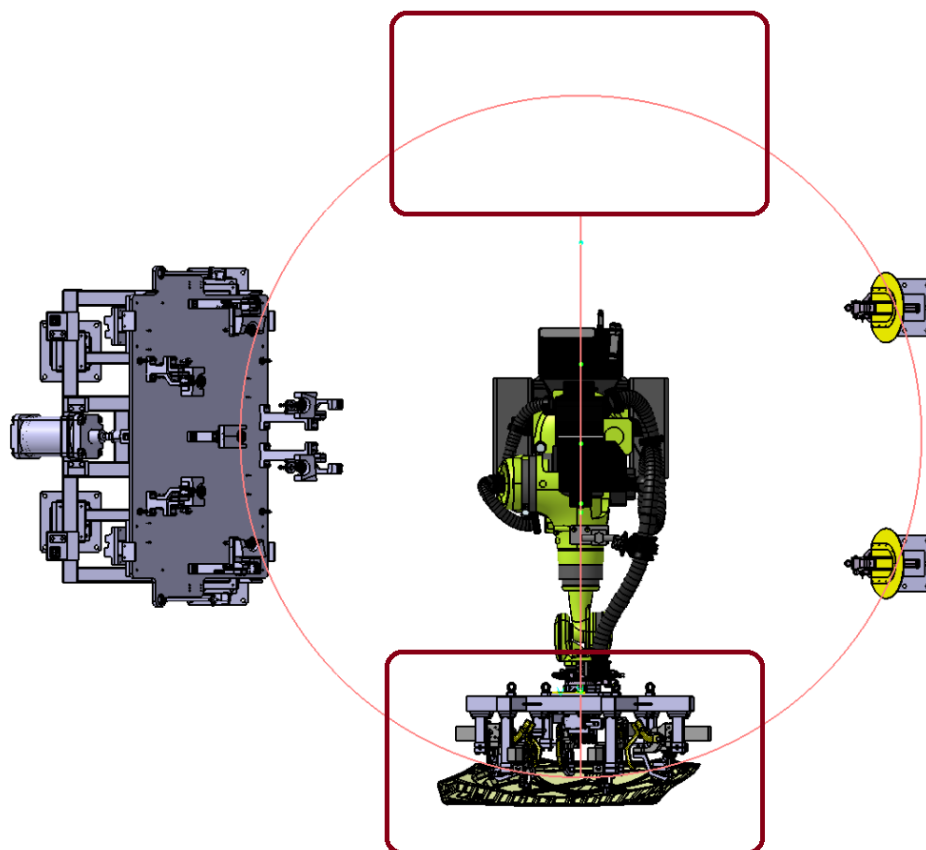
5.1.2 Robotické pracoviště

Robotické pracoviště je možné z hlediska manipulace rozdělit na vstupní, pracovní a výstupní část. Proces manipulace se tedy soustřeďuje před a po pracovní operace, které zde probíhají.

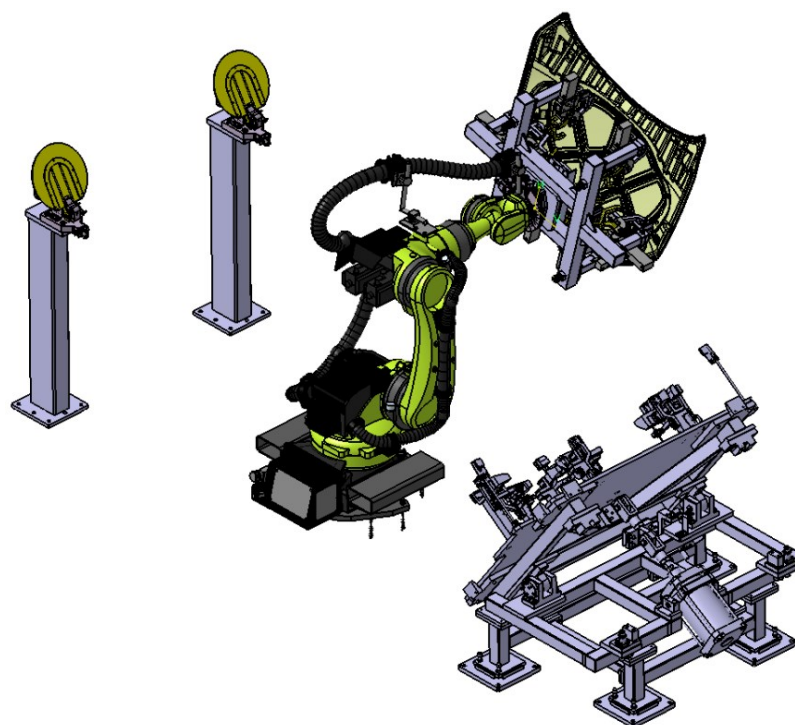
Na začátku procesu tohoto robotického pracoviště jsou umístěny oba díly kapoty na vstupních základacích přípravcích. Oba díly jsou přesně uloženy, aby byla zaručena přesnost jejich uchopení koncovými efekty a shodná poloha pro velké počty opakování procesu. Vnější díl je umístěn pomocí robotu na pracovní stoličce jako první a následuje umístění vnitřního dílu, jež je provedeno za pomoci koncového efektoru, který je předmětem této úlohy. Před samotným uchopením vnitřního dílu je využito kruhových otvorů na vnitřním dílu kapoty a naváděcích neboli centrovacích kolíků. Robot dle operačního programu nejdříve umístí efektor do polohy pro upnutí. Následně pomocí pneu-motorů dojde k zasunutí centrovacích kolíků do otvorů vnitřního dílu, čímž se ustaví přesná poloha vnitřního dílu vůči koncovému efektoru. Po ustavení polohy dojde k uchopení dílce pomocí upínačů a přemístění na pracovní pozici, kde je vnitřní díl přiložen k vnějšímu dílu.

Po vykonání pracovních operací jsou spojené díly stejným efektem přemístěny na výstupní základací přípravek, který je shodný se vstupním základacím přípravkem vnějšího dílu.

Na *Obr. 35* je zobrazen půdorys robotického pracoviště a na *Obr. 36* je náhled na nekompletní robotické pracoviště (model a náhledy robotického pracoviště byli vytvořeny až na závěr praktické části). Uprostřed pracoviště je umístěn průmyslový robot s koncovým efektem pro upnutí vnitřního dílu / kompletní kapoty. Koncový efektor je připojen k průmyslovému robotu a nachází se v oblasti ohraničené červeným obdélníkem (spodním), kde se také nachází prostor pracovní stoličce. Červený obdélník nahoře představuje pozici vstupního základacího přípravku vnitřního dílu kapoty. Vlevo je zobrazen základací přípravek pro vnější díl kapoty / celou kapotu. Vpravo jsou umístěny dva odkládací stojany pro koncové efekty.



Obr. 35 Půdorys robotického pracoviště



Obr. 36 Náhled na nekompletní robotické pracoviště

5.1.3 Požadavky na koncový efektor

Před návrhem koncového efektoru byly specifikovány následující požadavky:

- Ustavení přesné polohy dílu před upnutím
- Spolehlivé uchopení a manipulace dílu
- Snímače přítomnosti a polohy dílu
- Aktivní mechanické prvky hnané tlakovým vzduchem
- Využití běžně dostupných hutních materiálů pro nosné části efektoru
- Minimalizace hmotnosti efektoru s ohledem na volbu robotu
- Komunikační a upínací rozhraní vhodné pro vybraný robot

6 NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU

Návrh koncového efektoru je komplexní činností složenou z analýzy vstupních dat, postupného vytváření představy řešení na základě informací o dílčích funkčních prvcích a prostorové představivosti a na závěr vytvoření 3D modelu koncového efektoru vyhovujícího dané aplikaci. Popis návrhu koncového efektoru jsem popsal v následujících kapitolách. Postup vytváření modelu v Catii je vložen až na samotný konec, avšak je nutno poznačit, že práce v tomto programu se průběžně prolínala s ostatními úseky návrhu a sloužila jako podpora při rozhodování o finálním řešení.

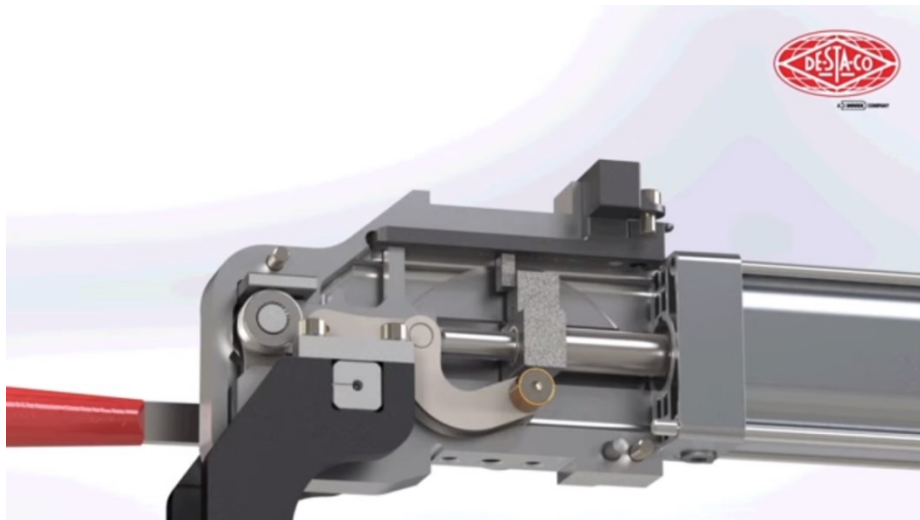
6.1 Volba upínacích prvků pro koncový efektor

Základní funkční prvky manipulačního koncového efektoru slouží k upnutí požadované součásti. Pro tento koncový efektor jsem vybíral mezi upínacími aktivními z důvodu potřeby uchopení a uvolnění dílce bez zásahů obsluhy. V zadání bylo definováno využití tlakového vzduchu, jakožto pracovního média pro upínací prvky. Pro výběr upínačů jsem volil z nabídky produktů výrobců Tünkers, Destaco, Univer Group a dalších. Některé z těchto firem nabízejí např. pákové upínače navržené přímo pro automobilový průmysl.

Pro uchopení částí karoserií se v automatizovaných pracovištích využívají koncové efektoru na bázi pneumatických přísavek nebo mechanických upínačů. Přísavky se využívají především u pohledových částí karoserií, kde je nutné zachovat vysokou kvalitu povrchu. Nosné součásti karoserie, které nejsou pohledové, jsou manipulovány koncovými efektoru s mechanickými upínacími s pohonem stlačeným vzduchem. Výhoda mechanických upínačů je především jistota uchopení i při značných zrychleních robotů.

V této úloze je využito mechanických upínačů. Dnes je řada výrobců nabízejících kompletní upínače, které jsou složeny z pneumatického přímočarého motoru, transformačního členu včetně pákového mechanismu, montážních prvků atd. Pro tento koncový efektor jsem vybral produkty od firmy Destaco. Zvolil jsem pákový upínač z řady Destaco 82M-3E. Jedná se o upínač, na který je možné montovat tvarové díly pro kvalitní styk s dílcem, přičemž jeden z nich je pohyblivý a druhý nepohyblivý – sloužící jako opěra. Pákový upínač je charakterizován především velikostí krouticího momentu na výstupní hřídeli. Síla upnutí objektu manipulace je pak závislá na celé geometrii upínacího mechanismu. Při uzavření upínače dojde k fixování polohy pomocí mechanismu – princip překonání

mrtvého bodu. Poloha mechanismu v uzavřeném stavu je zobrazena na *Obr. 37* a zaručuje upnutí dílce bez dodávky vzduchu.



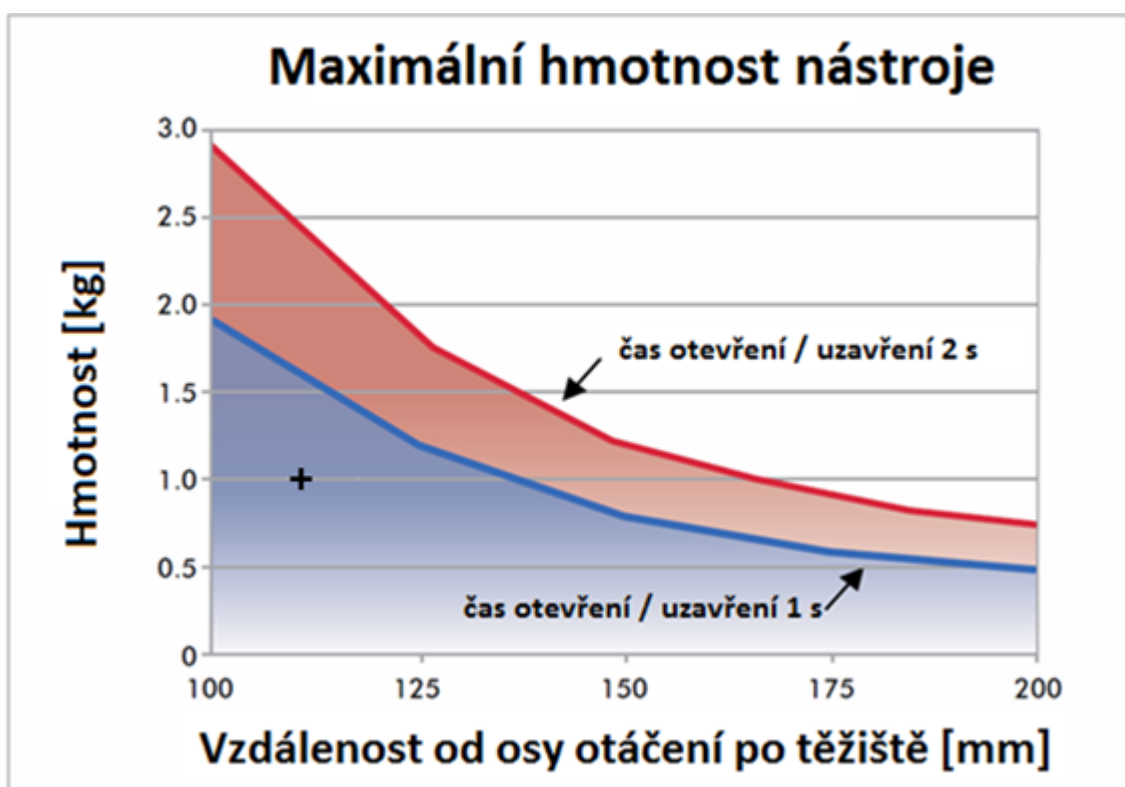
Obr. 37 Upínač Destaco z řady 82M-3E, řez transformačním blokem v uzavřené poloze upínače [38]

Od firmy Destaco jsem dále vybral rameno upínače ve tvaru U s označením 8UM504-45-144 a také dílec pro montáž upínače na nosný rám BK-R25-82L50, který slouží zároveň jako montážní prvek pro opěru. Před samotným určením přibližných tvarů pohyblivého a opěrného ramene bylo nutné odhadnout vzdálenost osy otáčení pákového mechanismu od místa upnutí. Pro hrubý odhad vzdálenosti osy otáčení jsem použil rozměry z technických listů těchto dílů. Pro určení konkrétního typu upínače z dané řady následoval odhad hmotnosti a těžiště pohyblivého ramene včetně tvarových dílů, spojovacího materiálu, atd. Dále také odhad vzdálenosti osy otáčení ke kontaktní ploše – neboli délky ramene. Tyto hodnoty byly srovnávány s údaji v grafech uvedených níže.

Výběr upínače je závislý na rozměrech a hmotnosti pohyblivých částí, které tvoří:

- Rameno tvaru U Destaco 8UM504-45-144 – hmotnost dle technického listu upínače a součástí
- Vyráběné součásti ramene - odhad rozvinuté délky ramene, které bude vyrobeno z hliníkové slitiny s průřezem přibližně 20x20mm
- Spojovací materiál a distanční podložky

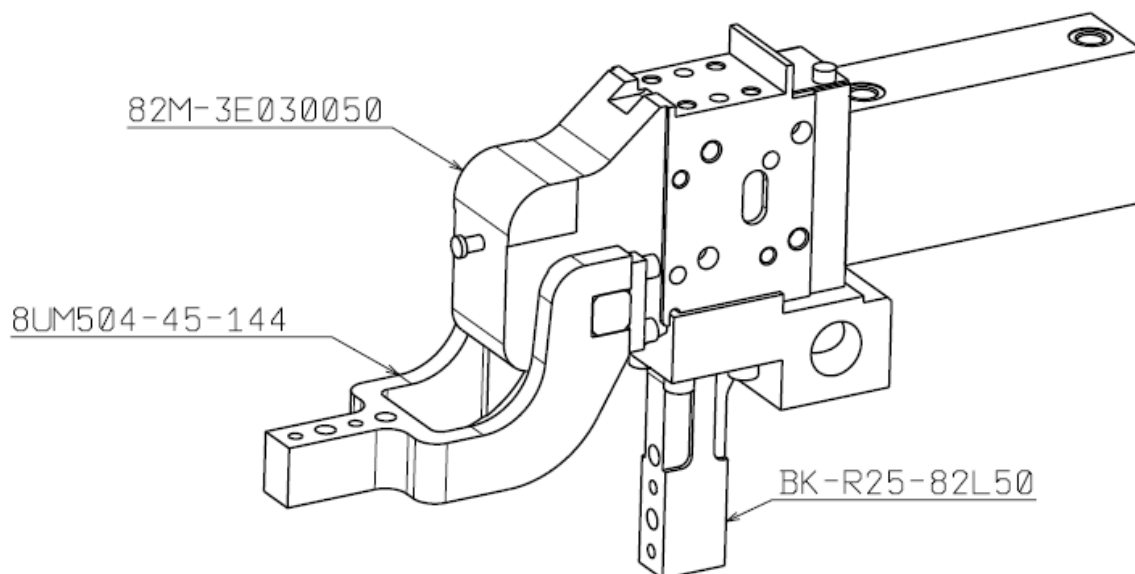
Odhadované parametry byly vybírány pro upínač, kde se předpokládají největší rozměry ramen. Celková hmotnost pohyblivého ramene upínače byla co nejpřesněji odhadnuta na základě měření dle vytvořeného modelu na 0,972 kg. Vzdálenost těžiště od hřídele byla odhadnuta na 109 mm. Vzdálenost úchopného bodu na kapotě od hřídele upínače byla odhadnuta na 208 mm.



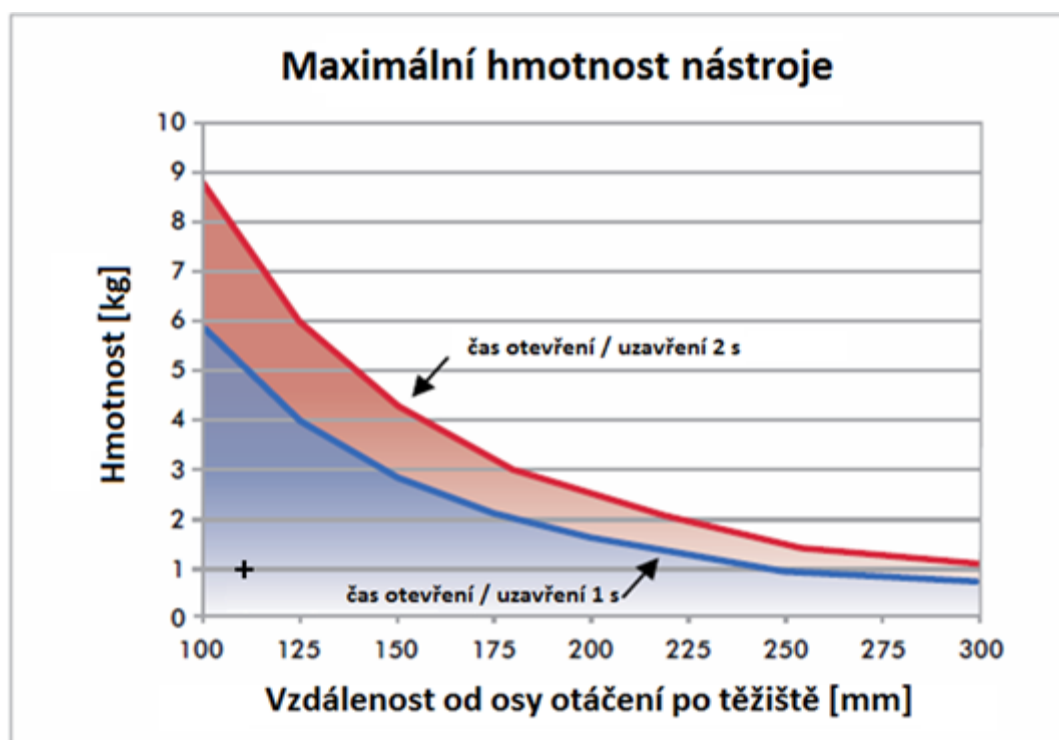
Obr. 38 Graf maximální hmotnosti nástroje upínače Destaco 82M-3E030040 [38]

Na grafu na Obr. 38 nejmenšího provedení upínače s označením 82M-3E030040, jež má pneumatický válec o průměru 40mm, je zobrazena maximální přípustná hmotnost nástroje montovaná na hřídeli upínače vzhledem k těžišti nástroje. Pro odhadnuté hodnoty ramene upínače vychází tato hodnota do horní části modře označené oblasti, která představuje vysokou rychlost zavření upínače. Z důvodu jistoty provozu volím upínač s vyššími parametry. Srovnáním odhadovaných parametrů s grafy v technickém listu upínačů jsem dospěl k volbě upínače 82M-3E030050. Níže jsou uvedeny schematický obrázek upínače s dalšími součástmi (Obr. 39) a grafy na Obr. 40 a Obr. 41 vztažené k tomuto upínači. Od-

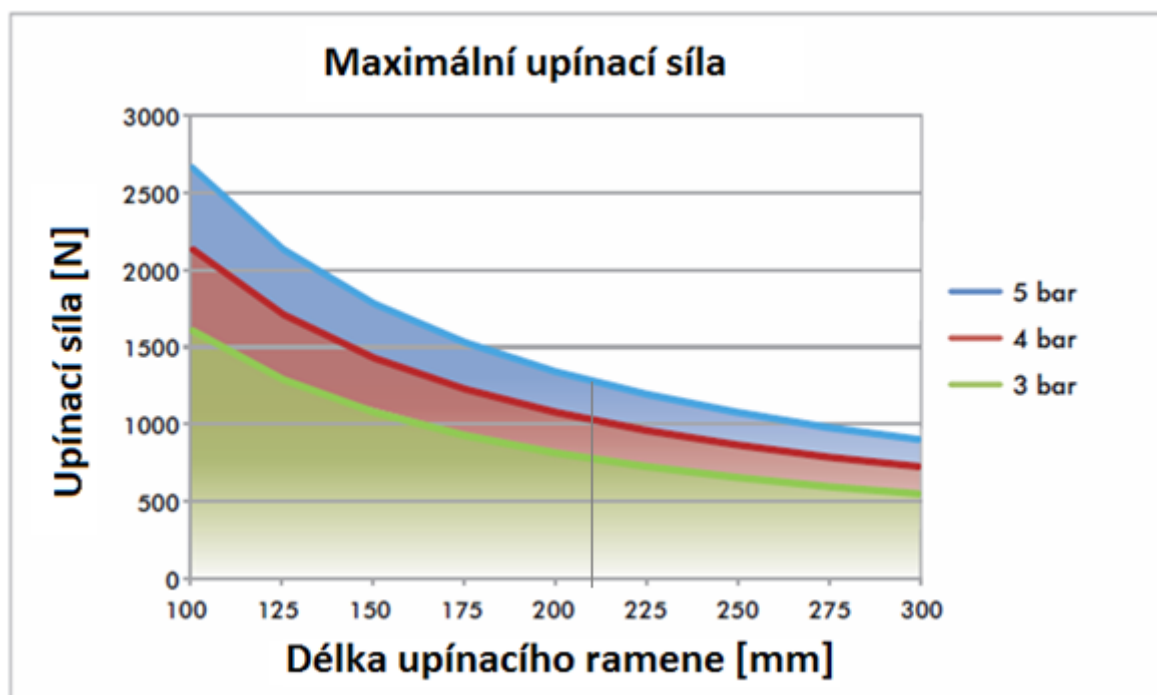
hadované hodnoty pohyblivých částí jsou v grafech zaznačeny a je z nich zřejmé, že upínač vyhovuje dané aplikaci.



Obr. 39 Isometrický pohled na model zvoleného upínače se součástmi od výrobce Destaco



Obr. 40 Graf maximální hmotnosti nástroje upínače Destaco 82M-3E030050 [38]

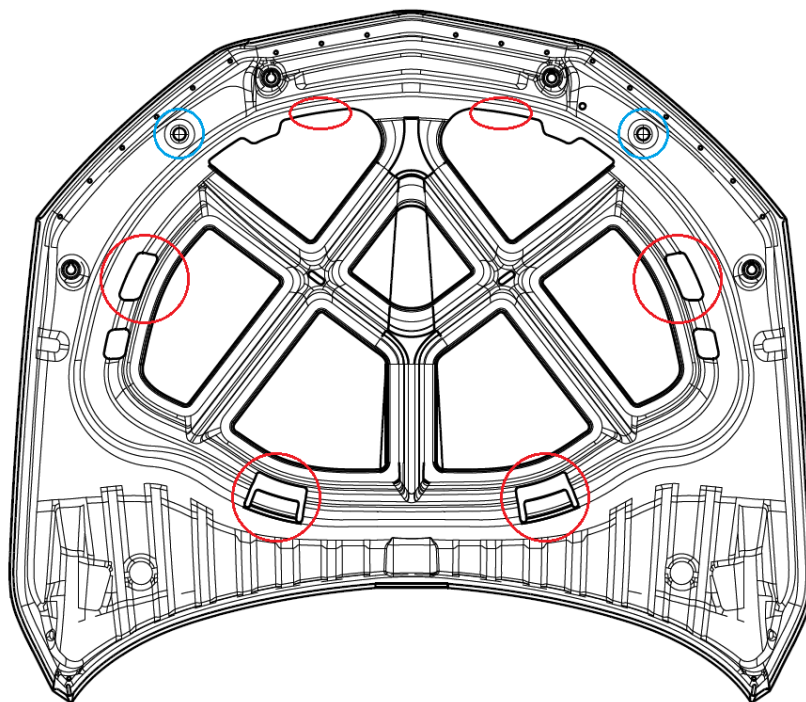


Obr. 41 Graf maximální upínací síly upínače Destaco 82M-3E030050 [38]

6.2 Určení kontaktních ploch kapoty

Pro přesné ustavení polohy vnitřního dílu kapoty před jeho uchopením je využito kruhových otvorů v kapotě, jež jsou na Obr. 42 označeny modře.

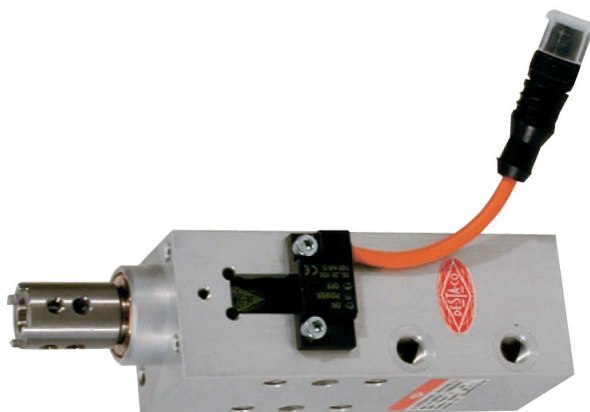
Pro uchopení kapoty koncovým efektem je využito tvarových prvků vnitřního výztužného dílu, které umožňují sevření čelistmi upínačů. Přesné určení částí ploch probíhá až při modelování koncového efektoru. Vliv na jejich určení mají především rozměry a tvary kontaktních ploch ramen a opěr upínačů, jež jsou závislé na velikosti přitlačné síly, tuhosti objektu manipulace, poloze os otáčení pák jednotlivých mechanismů, prostorových možnostech blízkého okolí apod. Kontaktní plochy, které jsou určeny pro upnutí, jsou na Obr. 42 označeny červeně.



Obr. 42 Určení kontaktních ploch kapoty, modře – otvory pro ustavení polohy, červeně – plochy pro uchopení

6.3 Určení součástí pro ustavení přesné polohy kapoty

Centrovač sestává z přímočarého pneumatického motoru s montážními prvky a centrovacího - naváděcího kolíku. Pneu-motor je vybrán od stejného výrobce jako upínače. Po prozkoumání volného prostoru mezi vnitřním a vnějším dílem dle modelu kapoty jsem vybral pneu-motor Destaco 86P30-105B8002 se zdvihem 20mm. Naváděcí kolík je vlastního návrhu.



Obr. 43 Pneumatický motor Destaco 86P30-105B8002 [39]

6.4 Pneumatický ventilový terminál

Pro řízení pneumatických součástí na koncovém efektoru je zde umístěn ventilový terminál. Pro tuto aplikaci byl sestaven celek z modulů od firmy SMC, typ VQC2000, který disponuje celkem 8 páry výstupů pro jednotlivé pneumatické prvky. Ventilový terminál je ovládán pomocí elektrických signálů.

6.5 Snímače

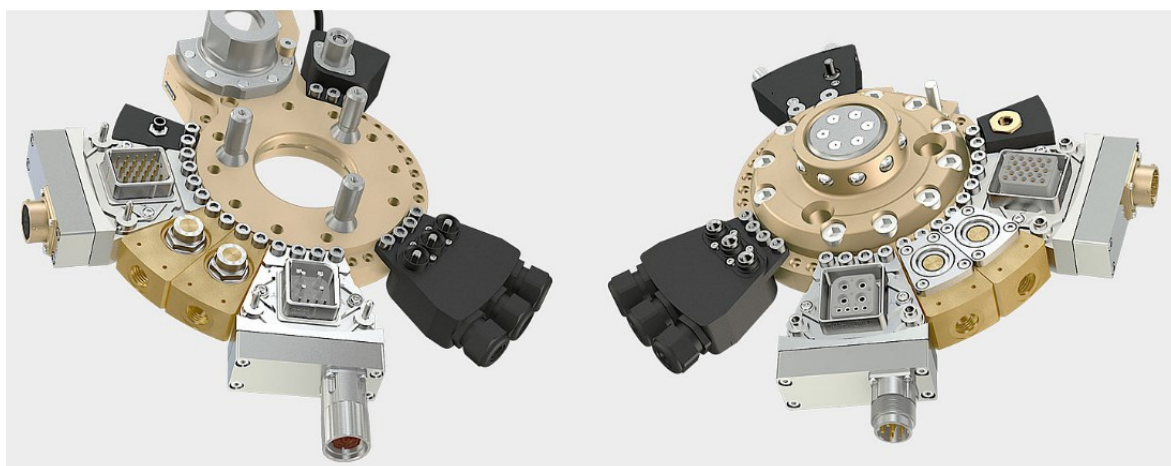
V rámci vyšší úrovně komunikace mezi zařízeními o probíhajících procesech je na koncový efektor umístěn pár snímačů, které jsou schopny vyhodnotit přítomnost či nežádoucí polohu dílu v momentě těsně před upnutím a během upnutí. Pro tuto aplikaci jsem vybral indukční snímač IFM IG5588. Oblast snímání je pro oceli až do vzdálenosti 8mm od snímače, tělo je vybaveno závitem pro montáž.



Obr. 44 Indukční snímač IFM IG5588 [40]

6.6 Montážní a komunikační rozhraní koncového efektoru

Rozhraní koncového efektoru bude tvořeno dvěma částmi. První částí je čistě mechanická rybinová kleština pro urychlení a usnadnění montáže a demontáže efektoru. Druhá část představuje spojovací díl pro automatické spojení, respektive odpojení koncového efektoru od robotu. Tento spojovací díl umožňuje jednomu robotu využívat více koncových efektorů s výměnou ve velmi krátkém čase. Podmínkou je použití shodných částí spojovacího dílu na všechny efektor. Spojovací díl pro tuto aplikaci byl vybrán s ohledem na parametry koncového efektoru, ale také zvoleného robotu. Jedná se o „tool changer“ firmy Stäubli, model MPS260 s přídatnými moduly pro přenos tlakového vzduchu a elektrických signálů a napájení. [41]



Obr. 45 Stäubli MPS260 s přídatnými moduly, vlevo spodní část pro umístění na koncový efektor, vpravo horní část k robotu [41]

Kromě spojovacího dílu dodává Stäubli také stanici pro odložení koncového efektoru. Stanice je vybavena řízeným pohyblivým krytem pro ochranu odhalených energetických konektorů odloženého efektoru.

6.7 Návrh vyráběných součástí, nosných prvků a rámu

Všechny vyráběné součásti jsou navrženy z hliníkových slitin z důvodu snížení hmotnosti oproti oceli. Tvarové díly, příruby a distanční podložky budou vyráběny vypalováním laserem a případně následným frézováním. Pro nosné části je využito čtyřhranných trubek ze slitiny EN 573-3 AW 6060 T66 o průřezu 4HR TR 80x4 a 4HR TR 50x4, kruhových trubek ze slitiny EN 573-3 AW 6063 T66 o průřezu KR TR 25x4,5 a plochého materiálu ze slitiny EN 573-3 AW 6060 T66 různých tloušťek.

Nosný rám je navržen jako svařenec trubek a plochých materiálů, které tvoří funkční prvky – příruby. Příruby jsou po svaření rámu frézovány do roviny na přesný rozměr a jsou do nich vyvrtány otvory pro připojení podsestav upínačů, centrovače atd.

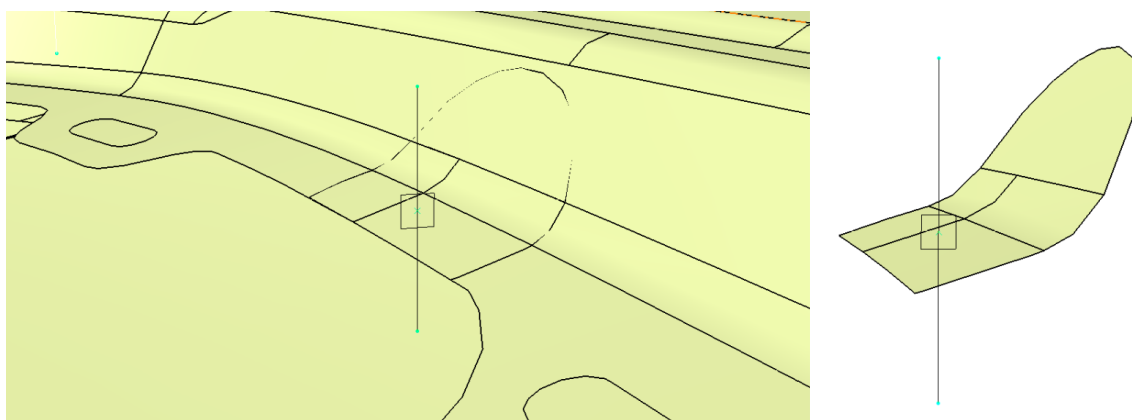
Páka upínače neboli pohyblivé rameno se musí dostat bez kolize s kapotou či jinými součástmi ke kontaktním plochám po dané dráze. Z tohoto důvodu jsou tvarové díly navrženy s různými rozměry a tvary. Na začátku návrhu vycházím z průřezu tvarových dílů 20x20 mm, který je následně upravován dle konkrétní situace.

Mezi jednotlivými tvarovými díly, potažmo montážními díly upínače jsou umístěny distanční podložky ve tvaru „vidlic“ pro přesné nastavení vzájemné polohy při montáži. Podložky jsou zde navrženy 1ks o tloušťce 1mm a 2ks o tl.2mm mezi dva dílce. Při montáži je pak možné využít libovolně tlustých podložek pro dosažení optimální polohy.

6.8 Postup modelování koncového efektoru

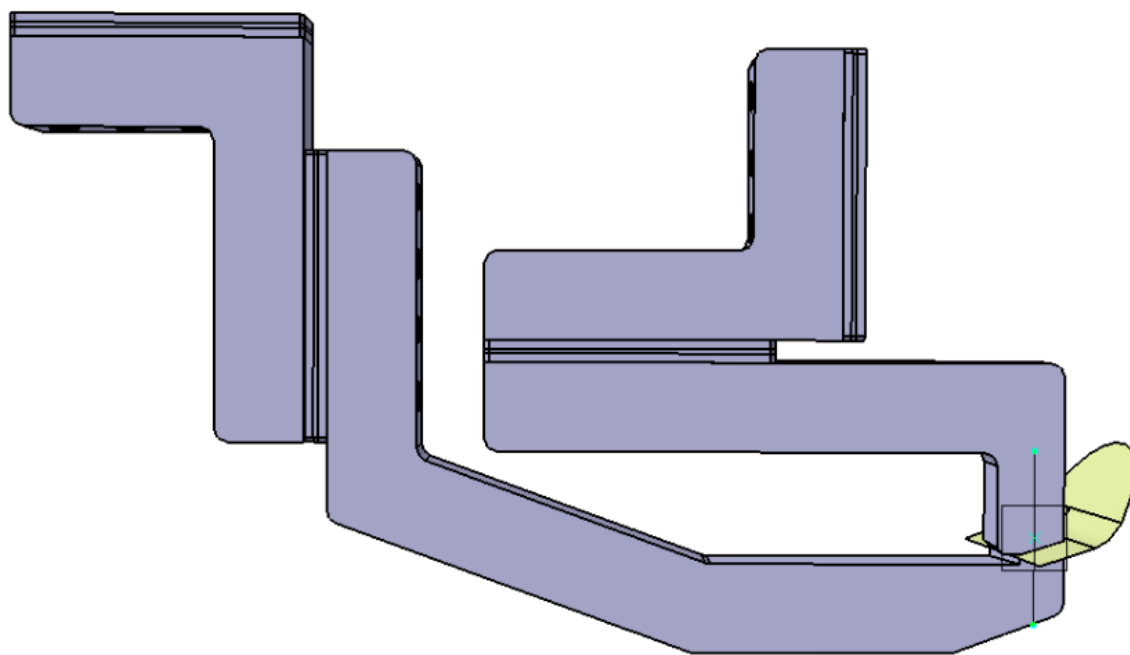
V programu Catia V5 byla kapota zadána v souřadném systému, který představuje souřadný systém automobilu. Při vytváření sestavy je využito symetrie kapoty a všechny prvky koncového efektoru s výjimkou prvků pro ustavení polohy a příruby jsou modelovány na jedné polovině a po té zrcadleny přes rovinu na druhou polovinu. Na vybrané kontaktní plochy byly umístěny konstrukční body, jejichž poloha je definována vzdálenostmi

od rovin základního osového kříže soustavy. Tyto body jsou následně rozšířeny o přímku a plochu, ve které bude ležet trajektorie pohybu ramene upínače. Přesná poloha těchto konstrukčních bodů je definována později s ohledem na vzájemnou polohu tvarových dílů a dílčích upínacích částí kapoty. Ve stromu prvků modelu tvoří tyto konstrukční elementy samostatnou skupinu. Pomocí publikování a vkládání s odkazy jsou dílčí konstrukční body s blízkým okolím kapoty vloženy přímo do podsestav jednotlivých upínačů. Vše je prováděno, aby při změně polohy konstrukčních prvků byla zajištěna úprava tvarových dílů, jejich pozice, potažmo změna polohy dílů na ně navázaných.



Obr. 46 Vlevo - konstrukční body na kapotě, vpravo publikovaná část pro podsestavu upínače

Ze součástí byly nejprve modelovány tvarové díly a distanční podložky ve tvaru „vidlic“ s ohledem na nutnost dodržení rozměrů zástavby opěry a páky upínače. Tvarové díly, které přicházejí do styku s kapotou, jsou definovány od konstrukčních bodů na kontaktních plochách kapoty. Kontaktní plochy na tvarových dílech jsou vytvořeny ořezáním podle ploch kapoty.

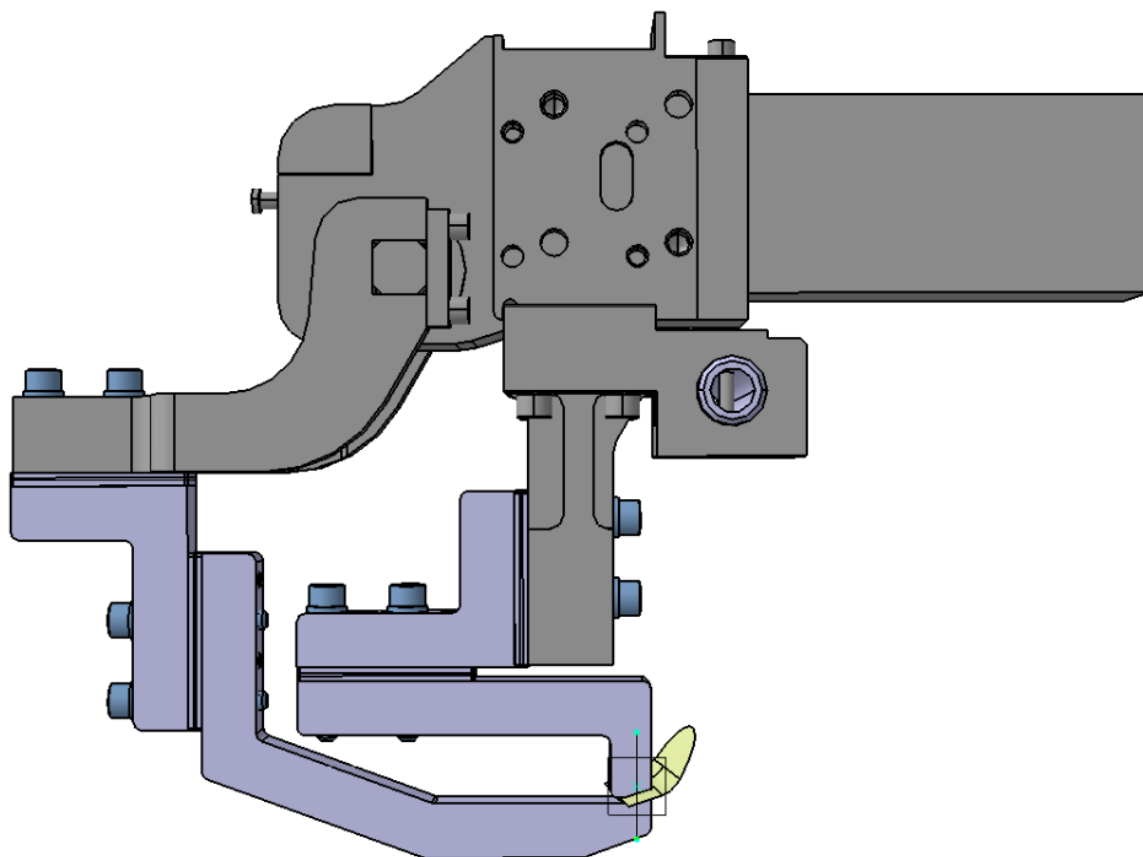


Obr. 47 Tvarové díly navázané na konstrukční bod, distanční podložky



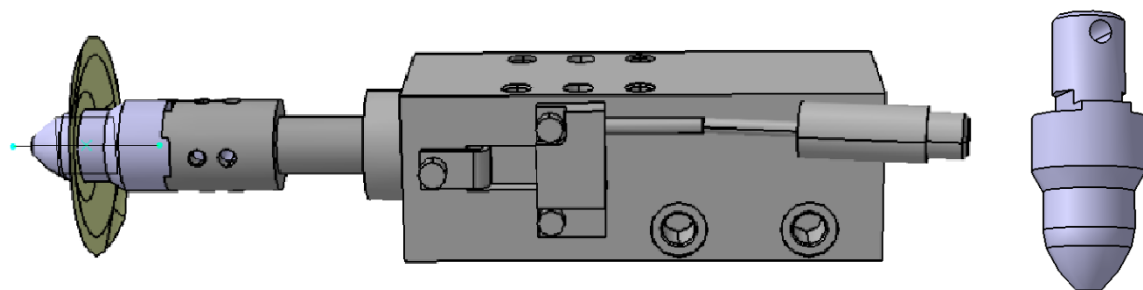
Obr. 48 Distanční podložka tl.2mm

Na tvarové díly jsou navázány modely součástí upínače a dohromady tvoří dílčí podsestavu upínače. Takto jsou vytvořeny další dvě obdobné podsestavy vždy v závislosti na konkrétních podmínkách zástavby.



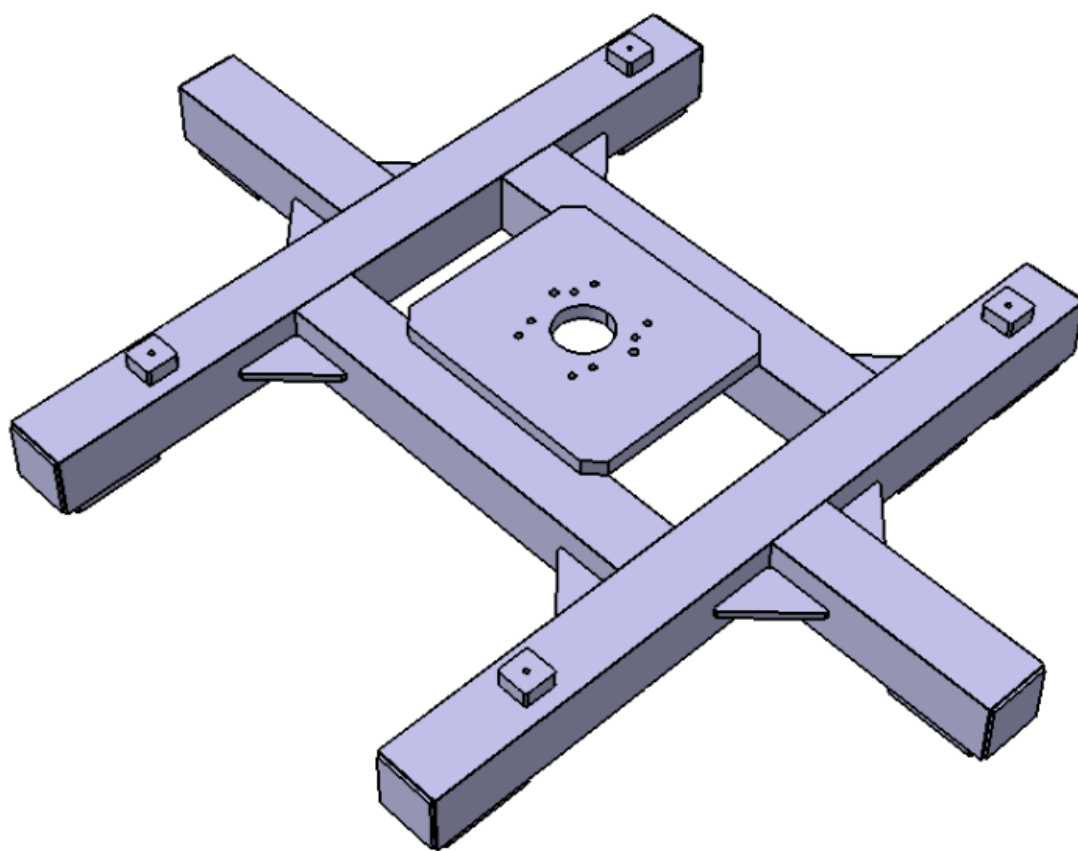
Obr. 49 Podsestava upínače s tvarovými díly, distančními podložkami a spojovacím materiálem

Pro přesné ustavení polohy kapoty před jejím upnutím je modelován naváděcí kolík. Kolík centrovače je navržen s ohledem na prostorové možnosti kapoty a geometrii výstupního pístu pneu-motoru. Následně je vytvořena sestava celku, jež je navázána na konstrukční bod umístěný do středu otvoru pro ustavení v kapotě.

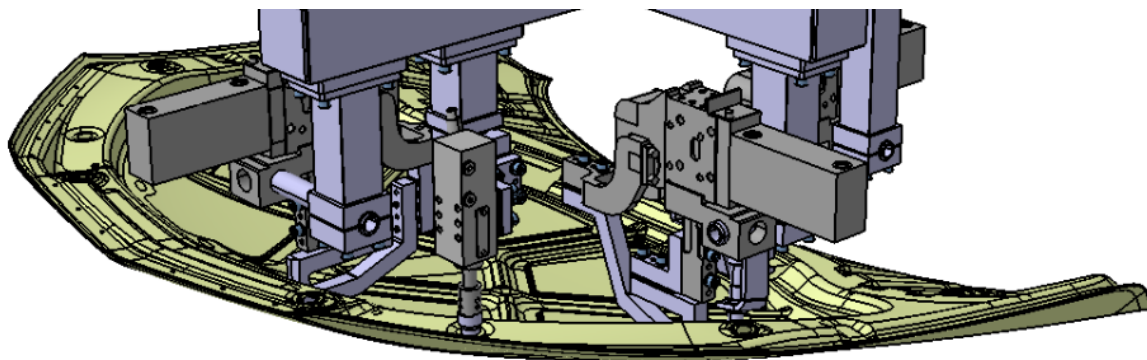


Obr. 50 Vlevo - podsestava centrovače, vpravo - naváděcí kolík (pin)

Nyní jsou vytvořeny tři dílčí skupiny upínačů a jedna skupina centrovače. V této fázi byly vytvořeny pomocné roviny, které definovaly především polohu příruby pro spojovací rozhraní, ale také polohu hlavních čtyřhranných trubek, jež tvoří nosný rám efektoru. Tyto roviny jsem po sestavení celku využíval pro optimalizaci polohy těžiště koncového efektoru. Dále jsem vytvořil sestavu nosného rámu, na nějž jsou pak navázány podsestavy nosných prvků pro jednotlivé upínače, centrovače a snímače.

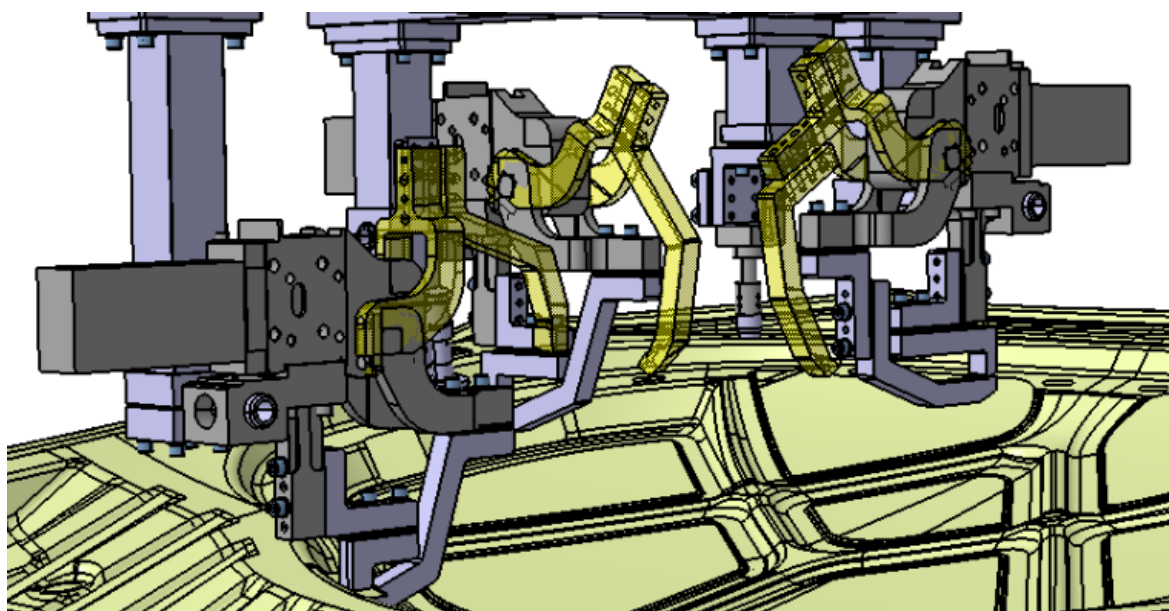


Obr. 51 Hlavní nosný rám koncového efektoru



Obr. 52 Pohled na podsestavy upínačů a centrovače navázané na hlavní rám (pouze polovina modelu)

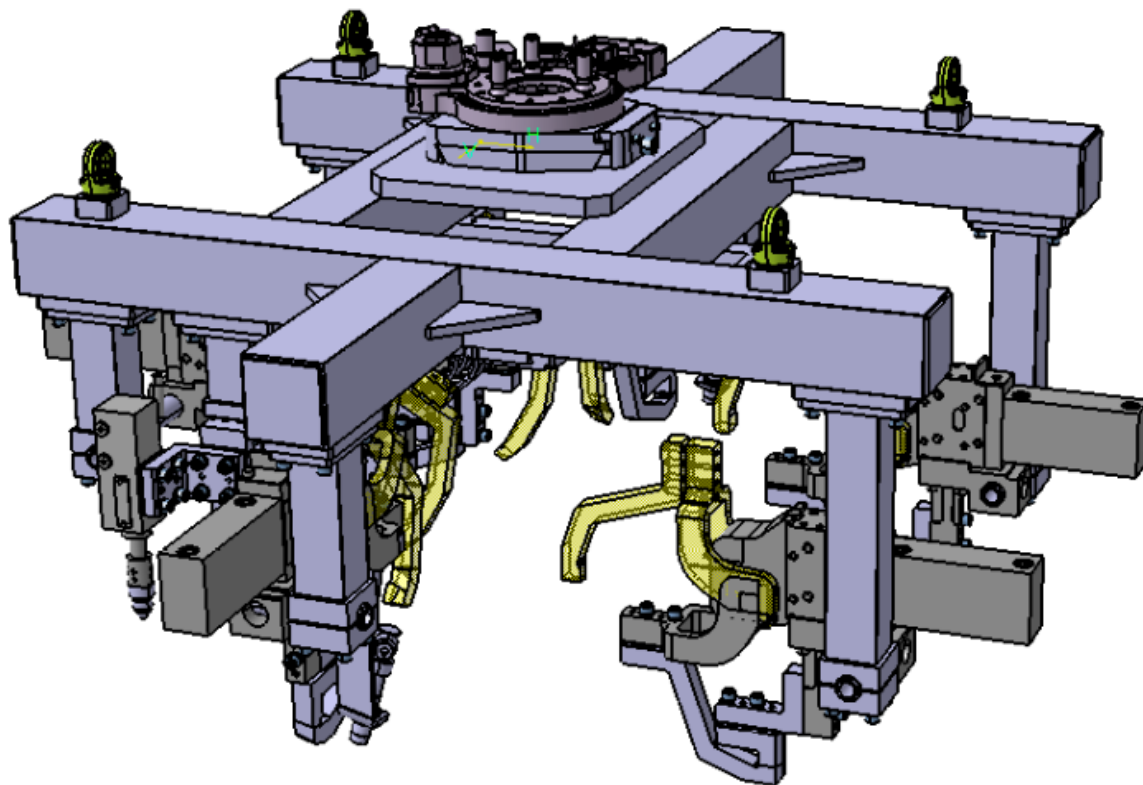
Po vytvoření dílčích podsestav upínačů a jejich nosných částí byla provedena kontrola kolizí všech poloh ramen na trajektoriích pohybů s ostatními prvky efektoru a kapotou. Toto je prováděno optickou kontrolou s postupným otáčením ramene okolo osy hřídele upínače. Pro tuto kontrolu je využito duplicitních ramen, jež ve výsledném modelu představují koncovou polohu v otevřeném stavu.



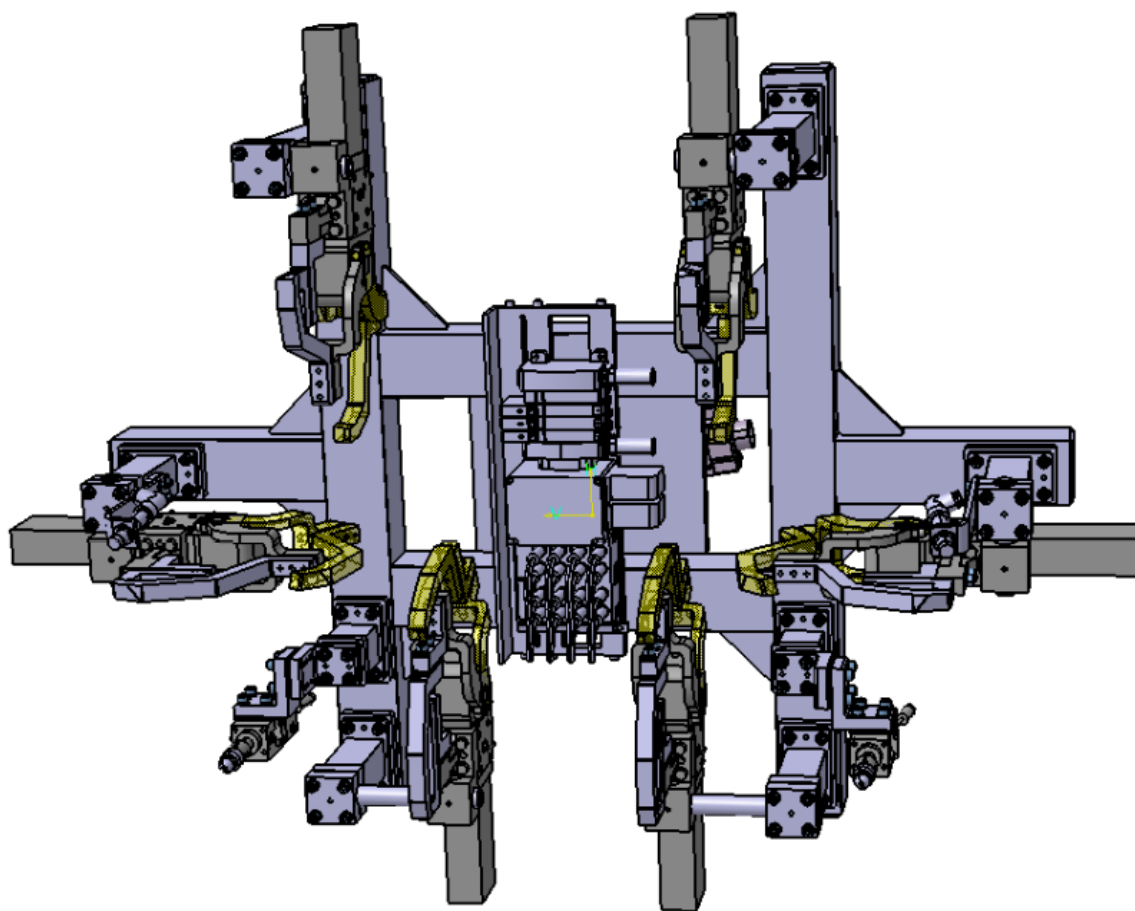
Obr. 53 Pohled na koncové polohy (žlutě) pohyblivých částí efektoru

Celková sestava byla následně doplněna o nosná oka, indukční snímače a jejich nosné prvky. Po celkové kontrole a optimalizaci rozměrů byla sestava doplněna o spojova-

cí materiál a následně byly zrcadleny symetrické části podsestav. Dále byl model koncového efektoru doplněn o pneumatický ventilový terminál a rozhraní pro ukotvení k robotu.



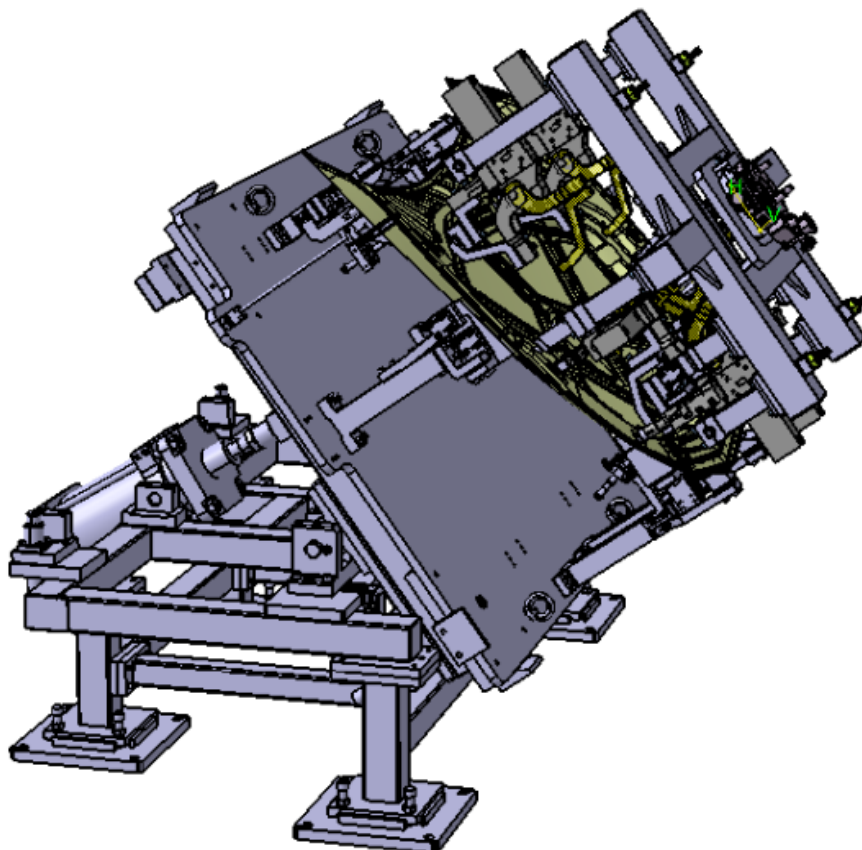
Obr. 54 Pohled na kompletní model koncového efektoru (1)



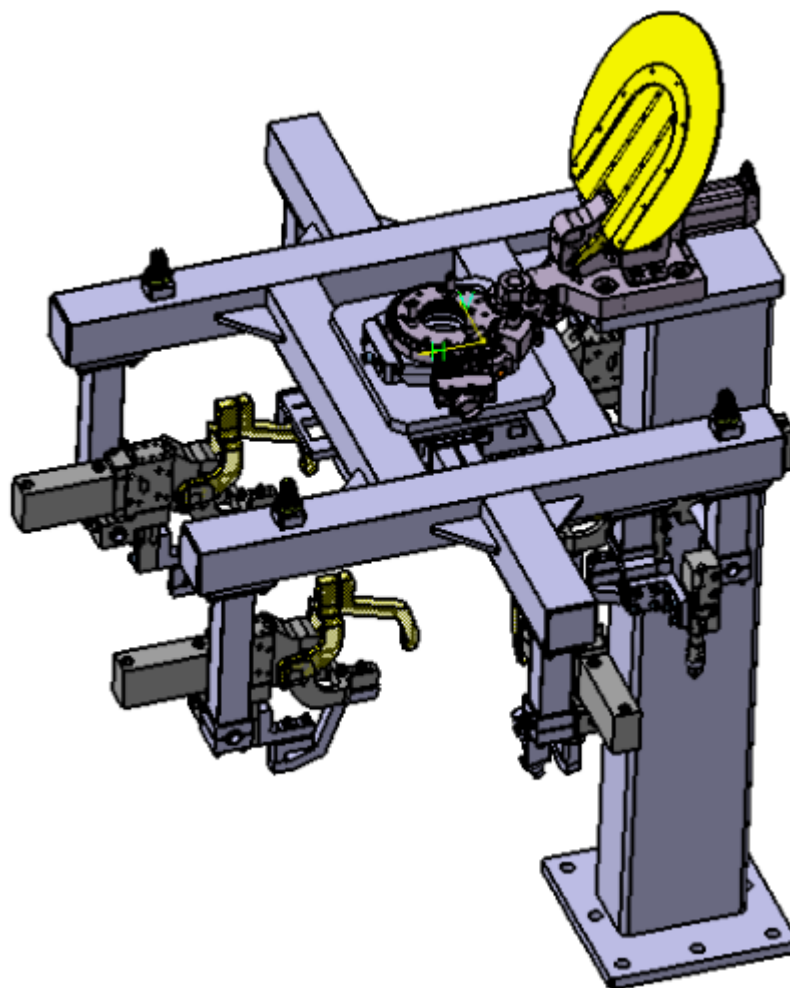
Obr. 55 Pohled na kompletní model koncového efektoru (2)

7 KONTROLA KOLIZÍ KONSTRUKCE S OKOLNÍMI PRACOVNÍMI POZICEMI.

Součástí zadání praktické části jsou výstupní zakládací přípravek a odkládací stojan koncového efektoru. Navržený koncový efektor musí odpovídat požadovaným prostorovým možnostem okolních stanovišť. Na navrženém modelu efektoru byla provedena kontrola kolizí pro jednotlivé okolní pracovní pozice v programu Catia pomocí funkce „Clash“, neboli měření průniku hmot. Ve funkci Clash byly kontrolovány doteky (contact) a kolize (clash) vzájemně všech dílů. Výsledky zobrazené programem byly zkontrolovány. Mezi výsledky je zahrnuto značné množství kolizí, které jsou tvořeny prolínáním závitových spojů apod. Takovéto detaily nejsou z praktických důvodů modelovány a nejsou z hlediska řešených kolizí podstatné. Koncový efektor nevykazuje žádné kolize vůči ostatním pracovním pozicím. Na obrázcích níže jsou uvedeny náhledy na umístění koncový efektor na výstupním zakládacím přípravku a odkládacím stojanu.



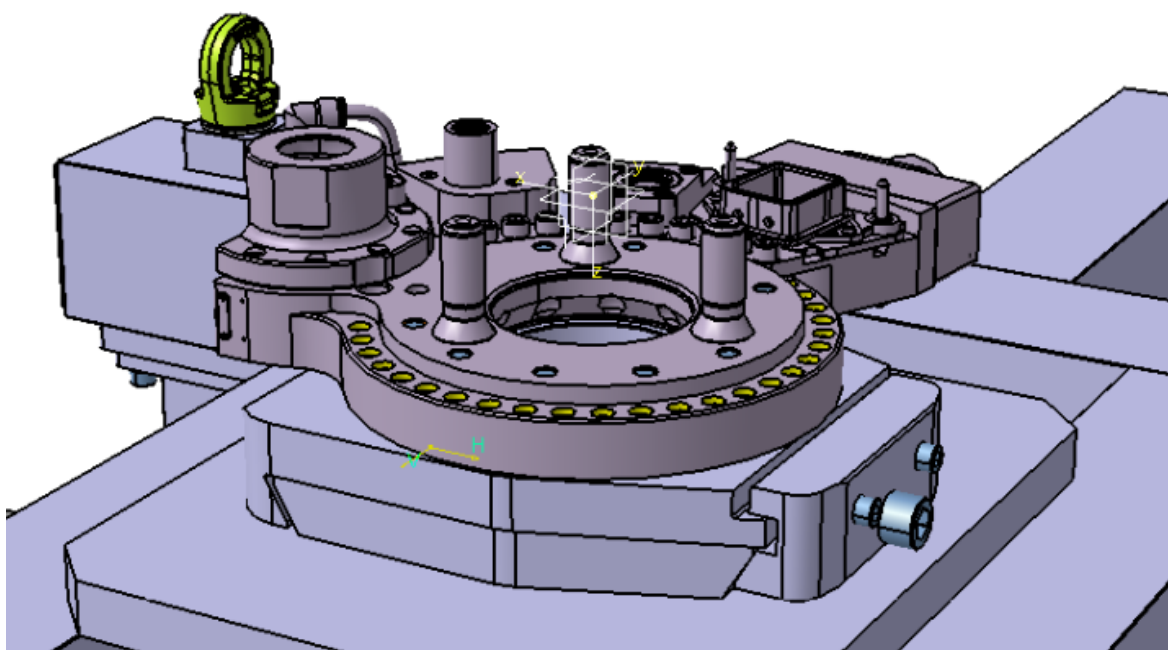
Obr. 56 Kontrola kolizí koncového efektoru a výstupního zakládacího přípravku



Obr. 57 Kontrola kolizí koncového efektoru a odkládacího stojanu

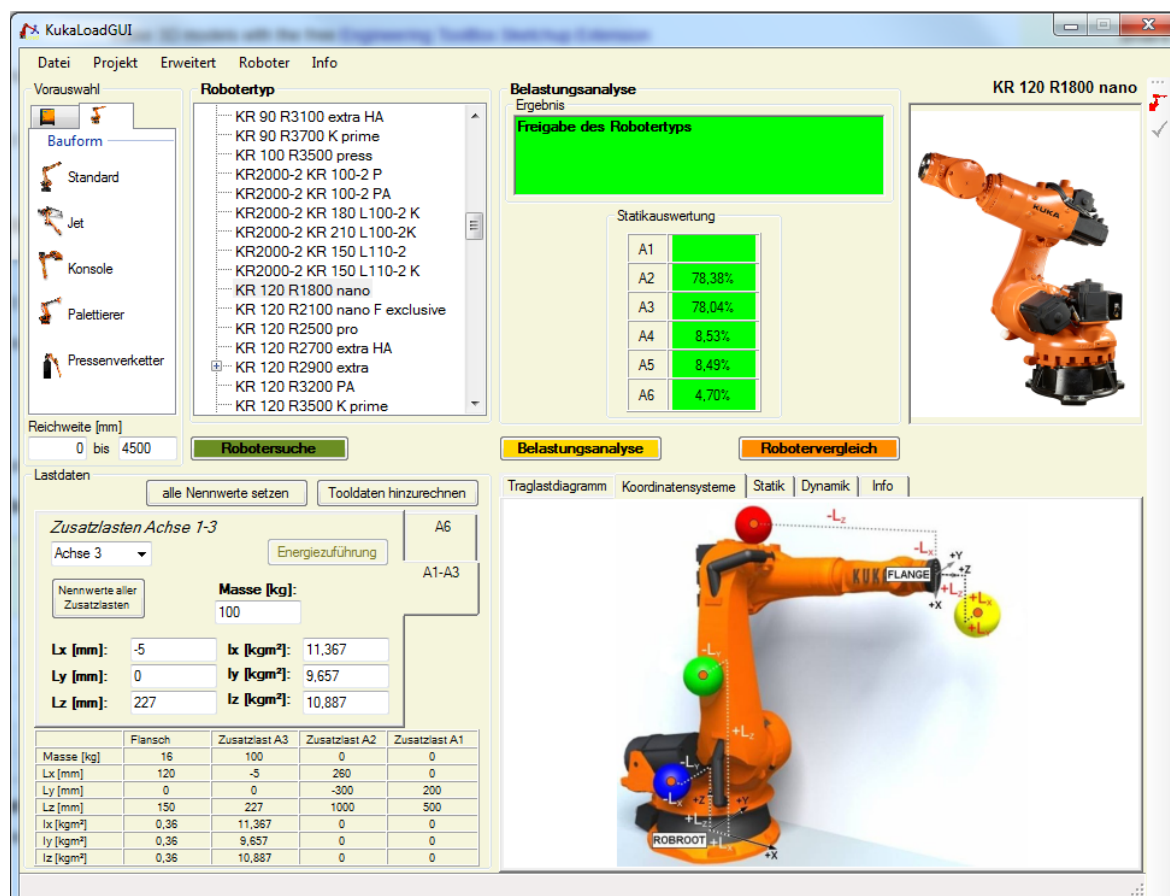
8 VÝBĚR PRŮMYSLOVÉHO ROBOTA PRO NAVRŽENÝ EFEKTOR.

Průmyslový robot pro navržený efektor je vybrán na základě údajů odměřených z vytvořeného modelu v programu Catia V5. Potřebnými údaji pro určení robota je celková hmotnost efektoru včetně objektu manipulace, poloha těžiště a momenty setrvačnosti vzhledem k jednotlivým osám souřadného systému, jež je ve středu plochy úchopné příruby (viz. Obr. 58).



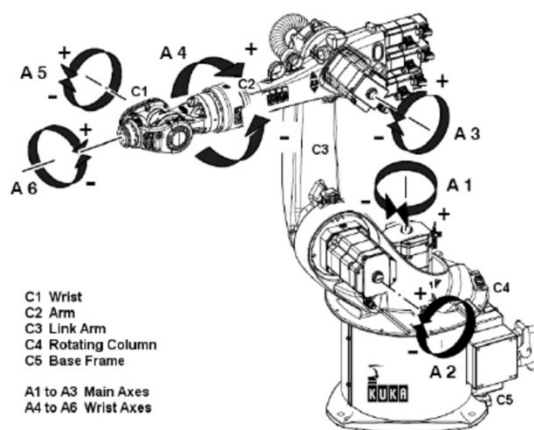
Obr. 58 Příruba robotu na koncovém efektoru - osový kříž souřadného systému pro odměření hodnot zátěže robota

Odměřené hodnoty jsou následně zadány do programu KukaLoad od výrobce průmyslových robotů KUKA. [41] Při návrhu efektoru byl kladen důraz, aby byla příruba pro uchycení k robotu, co nejblíže těžišti efektoru. Dosažené parametry zadané do programu KukaLoad jsou vidět na Obr. 59, přičemž hodnoty $L_{x,y,z}$ jsou vzdálenosti těžiště od os a $I_{x,y,z}$ jsou momenty setrvačnosti koncového efektoru k osám.

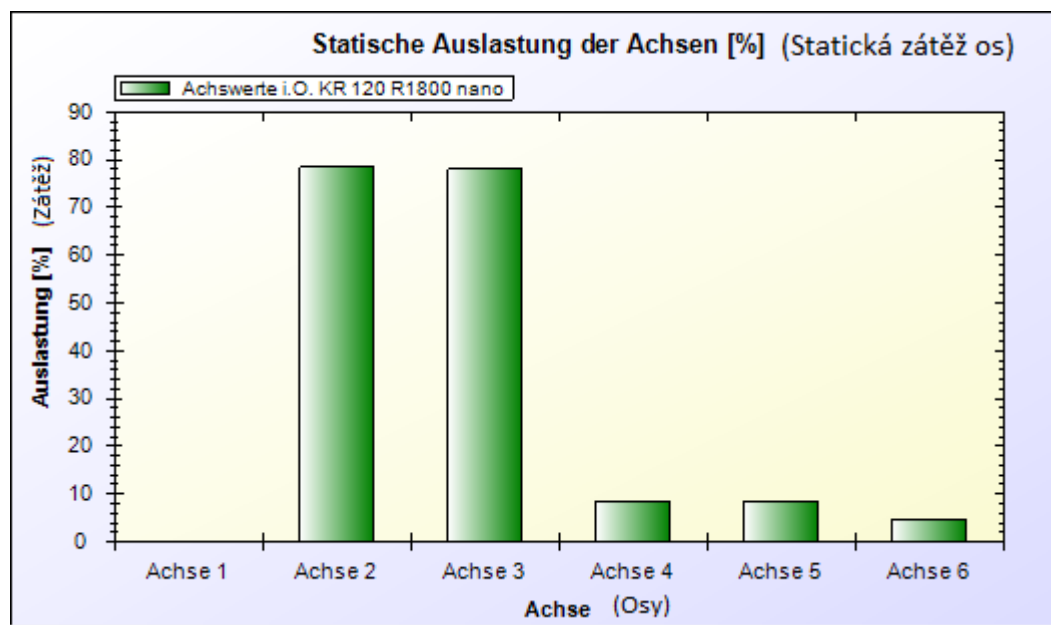


Obr. 59 KukaLoad - výběr robota dle zadanych parametrů.

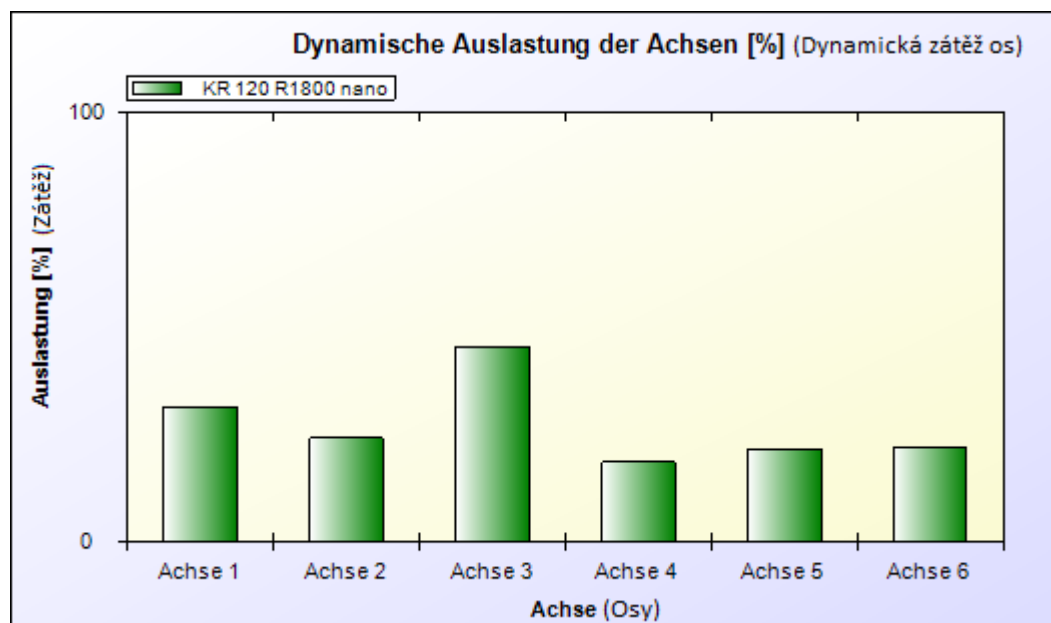
Průmyslový robot byl zvolen KUKA KR 120 R1800 nano a níže jsou uvedeny grafy statického a dynamického zatížení při použití navrženého koncového efektoru s uchopeným objektem manipulace.



Obr. 60 Popis os robotu Kuka KR



Obr. 61 Statické zatížení os robotu KUKA KR 120 R1800 nano



Obr. 62 Dynamické zatížení os KR 120 R1800 nano

Hodnoty na grafech z programu KukaLoad jsou uvedeny v procentech pro jednoduché rozhodování o správnosti dosažených parametrů. Zvolený robot vyhovuje požadovaným parametrům. Nejvyšší zatížení na osách je statické zatížení na osách 2 a 3 s takřka 80% maximálního dovoleného zatížení.

ZÁVĚR

Praktická část této bakalářské práce byla věnována návrhu koncového efektoru s využitím v automobilovém průmyslu a dalším bodům zadání. Nejdříve byly určeny aktivní prvky pro upínání objektu manipulace. Jedná se o mechanické upínače, s jedním aktivním ramenem, poháněné stlačeným vzduchem. Konkrétní typ upínače byl vybrán na základě srovnání naměřených hodnot z vytvářeného modelu koncového efektoru v programu Catia a grafů maximálního zatížení ramene upínače. Následně byly vybrány kontaktní plochy na kapotě, kde bude docházet ke styku mezi efektozem a kapotou. Jedná se o otvory pro vsunutí naváděcích kolíků a plochy vnitřního dílu pro uchopení kapoty. Pro řízení aktivních pneumatických prvků byl koncový efektor doplněn o pneumatický ventilo-
vý terminál. Kontrolu přítomnosti a správné polohy objektu manipulace těsně před samotným upnutím zajišťuje pár indukčních snímačů. Montážní a komunikační rozhraní koncového efektoru umožňuje plně automatizovanou výměnu efektoru za jiný. Jedná se o spojovací díl, jež unáší celý efektor jako takový, ale také zajišťuje propojení tlakového vzduchu či elektrických signálů. Nosná konstrukce koncového efektoru je tvořena rámy z hliníkových slitin kvůli snížení hmotnosti, což koresponduje se snížením nároků na zatížení robota. Koncový efektor byl navržen za pomoci softwaru Catia V5 v prostředí sestavy a dílu. Výsledkem návrhu je 3D model koncového efektoru pro uchopení vnitřního dílu a zároveň celé kapoty. Model obsahuje všechny zásadní komponenty, jež byly dříve specifikovány. Rozvody energií nejsou v modelu navrženy, jelikož nemají zásadní vliv na zástavbu efektoru. Navržený koncový efektor splňuje veškeré požadované vlastnosti ze zadání.

Po vytvoření modelu koncového efektoru byla v programu Catia provedena kontrola kolizí s okolními pracovními pozicemi. Nebyla zjištěna žádná kolize, jež by představovala v reálné aplikaci komplikace.

Na závěr praktické části byl vybrán průmyslový robot dle zátěžných parametrů. Volba průmyslového robotu byla učiněna z nabídky výrobce KUKA. Konkrétní typ robotu byl vybrán na základě parametrů koncového efektoru odměřených v programu Catia a zadaných do vstupní části programu KukaLoad. Dle ověření zatížení byl zvolen průmyslový robot Kuka KR120 R1800 nano.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Wikipedia, The Free Encyclopedia: SAE International* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-12-03]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_International
- [2] COMACCHIO, Anna., Giuseppe. VOLPATO a Arnaldo. CAMUFFO. *Automation in automotive industries: recent developments*. New York: Springer, c1999. ISBN 3540640185.
- [3] NIEUWENHUIS, Paul a P. E. WELLS. *The global automotive industry*. Chichester: Wiley, 2015, xviii, 236. Automotive series. ISBN 978-1-118-80239-7.
- [4] Výroba a odbyt tuzemských výrobců vozidel. *AutoSAP* [online]. Praha: Sdružení automobilového průmyslu, 2013 [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <http://www.autosap.cz/zakladni-prehledy-a-udaje/vyroba-a-odbyt-tuzemskych-vyrobce-vozidel/>
- [5] A Tribute to Joseph Engelberger. *A Tribute to Joseph Engelberger* [online]. 900 Victors Way, Suite 140, Ann Arbor, Michigan, USA 48108: Robotic Industries Association, 2017 [cit. 2017-11-19]. Dostupné z: <https://www.robotics.org/joseph-engelberger/index.cfm>
- [6] Robotika od historie po současnost. In: *Elektro průmysl: Informace ze světa průmyslu a elektrotechniky* [online]. Brno: Elektropřemysl.cz, 2017 [cit. 2017-12-03]. Dostupné z: <http://www.elektropřemysl.cz/automatizace/robotika-od-historie-po-soucasnost>
- [7] *SRI International: Timeline of Innovation* [online]. USA: SRI International, 2016 [cit. 2017-12-03]. Dostupné z: <https://www.sri.com/work/timeline-innovation/timeline.php?timeline=computing-digital#!&innovation=shakey-the-robot>
- [8] Historie společnosti KUKA. *KUKA* [online]. Německo: KUKA, 2016 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/technologie/technologies/2016/07/bodov%C3%A9-sv%C3%A1t%C5%99en%C3%AD/>

- [9] Kolik robotů připadá na obyvatele po celém světě? Víme, které země jsou robotické velmoci. *Facotory Automation* [online]. Praha: FANUC Czech, 2016 [cit. 2017-12-03]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/kolik-robotu-pripada-na-obyvatele-po-celem-svete-vime-ktere-zeme-jsou-roboticke-velmoci/>
- [10] Průmyslový robot Fanuc řady M-2000iA. In: Fanuc [online]. Praha: FANUC Czech, 2017 [cit. 2017-12-03]. Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%c3%a1nka-filtru-robot%c5%af/%c5%99ada-m-2000>
- [11] Diagram znázorňující 4 industriální revoluce včetně průmyslu 4.0. In: Wikipedia: The Free Encyclopedia [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-12-03]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/Industry_4.0_%28cs%29.png
- [12] MAŘÍK, Vladimír. *Průmysl 4.0: výzva pro Českou republiku*. Praha: Management Press, 2016. ISBN 978-80-7261-440-0.
- [13] Universal Robotics zubehör. *Smart Robotics* [online]. Německo, Pfullendorf: Smart Robotics, 2017 [cit. 2018-01-30]. Dostupné z: <http://www.smart-robotics.de/produkte/zubehoer/>
- [14] ČOP, Vladimír, Ján BUDA a Jurij G. KOZYREV. *Automatizácia technologických procesov priemyselnými robotmi a manipulátormi*. 2. vydání. Bratislava: Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1989. ISBN 80-05-00174-6.
- [15] BLECHA, Petr, Zdeněk KOLÍBAL, Radek KNOFLÍČEK, Aleš POCHYLÝ, Tomáš KUBELA, Radim BLECHA a Tomáš BŘEZINA. *Mechatronika: Modul 10: Robotika*. Brno, Česká Republika: VUT Brno, 2008.
- [16] Systémy navádění hořáku / sledování svaru. *BOKI: Robotizované systémy* [online]. Dobrovíz: BOKI Robotizované systémy, 2017 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <http://www.boki.cz/produkty/systemy-pro-navadeni-horaku/>
- [17] Současné možnosti optického navádění svařovacích robotů. *Svět svaru: Časopis o moderních trendech ve svařování a řezání kovů* [online]. Ostrava, Česká republika: Hadyna - International, 2014 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z:

- http://www.svetsvaru.cz/wp-content/uploads/2014/11/2014-3_MoznostiOpt.Navadeni.pdf
- [18] Bodové sváření. *KUKA* [online]. Německo: KUKA, 2017 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/technologie/technologies/2016/07/bodov%C3%A9-sv%C3%A1%C5%99en%C3%AD/>
- [19] Nýtování plnými lisovacími nýty. *TOX PRESSOTECHNIK* [online]. Brno, Česká republika: TOX® PRESSOTECHNIK GmbH & Co.KG, 2017 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://www.tox-cz.com/aplikace/referencni-projekty/podrobnosti-zakaznickeho-projektu/news/solid-punch-riveting-of-car-door/>
- [20] KUKA ready2_spray. *KUKA* [online]. Německo: KUKA, 2017 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/ready2_use/kuka-ready2_spray
- [21] Robotizované obrábění kašny Koloděje. In: *Art stone: Kámen v architektuře k užitku i kráse* [online]. Červená Třemešná: Art Stone, 2017 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <http://www.artstone.cz/kategorie/obrabeni-robotem>
- [22] KUKA LBR iiwa. *KUKA* [online]. Německo: KUKA, 2017 [cit. 2017-12-28]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/lbr%C2%A0iiwa/>
- [23] PRŮMYSL 4.0 PŘEDURČUJE NOVOU ÚLOHU ROBOTŮM. *Http://docplayer.cz* [online]. Liberec: Technická Univerzita v Liberci, 2017 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/50764754-Predurcuje-novou-ulohu-robotum.html>
- [24] SCHUNK: Modulare und Mobile Greifsysteme. *SCHUNK* [online]. Lauffen/Neckar, Německo: SCHUNK, 2017 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: http://www.schunk-modular-robotics.com/fileadmin/user_upload/PDF_Downloads/Mobile_Greifsysteme_2014_DE_WEB-PDF.pdf

- [25] KUKA LBR. *KUKA* [online]. Německo: KUKA, 2017 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/periferie-robot%C5%AF/koncov%C3%A9-efektory/podava%C4%8D-lbr-od-firmy-kuka>
- [26] Roboter Greifer mit Automobil-Seitenteil. *F.EE* [online]. Neunburg v. W., Německo: F.EE-Unternehmensgruppe, 2017 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <https://www.fee.de/automation-robotik/aluminiumprofilsystem-und-roboter-greifer.html>
- [27] Manipulace - Greifery. *KOPTA: Komponenty-Technologie-Automatizace* [online]. Hradec Králové, Česká Republika: KOPTA, 2017 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <https://www.upinace.eu/inpage/manipulace-greifery/>
- [28] Tünkens Rundrohr System. Německo: *Tünkens: Maschinenbau GmbH* [online]. TÜNKERS Maschinenbau, 2017 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.tuenkers.de/d3import/img/P000025004.JPG>
- [29] Euro-Greifer-Tooling System. Německo: *Tünkens: Maschinenbau GmbH* [online]. TÜNKERS Maschinenbau, 2017 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.tuenkers.de/d3import/img/P000024960.JPG>
- [30] Tünkens One Screw System. Německo: *Tünkens: Maschinenbau GmbH* [online]. TÜNKERS Maschinenbau, 2017 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.tuenkers.de/d3import/img/P000024964.JPG>
- [31] Products - Gripper Technology. *Tünkens: Maschinenbau GmbH* [online]. Německo: TÜNKERS Maschinenbau, 2017 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: http://www.tuenkers.com/publish/fd9aae13_e081_515d_7467c307aead3d6a.cfm?m_id=135
- [32] Carbon Tube System. Německo: *Tünkens: Maschinenbau GmbH* [online]. TÜNKERS Maschinenbau, 2017 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.tuenkers.de/d3import/img/P000024967.JPG>
- [33] Modular End Effectors - Body Builder End Effectors. *Destaco* [online]. North America: A Dover Company., 2016 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <https://www.destaco.com/bodybuilder-end-effector.html>

- [34] CHVÁLA, Břetislav, Robert MATIČKA a Jaroslav TALÁCKO. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-030-0361-X.
- [35] NOF, Shimon Y. *Springer handbook of automation*. Berlin: Springer, 2009, lxxvi, 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0.
- [36] Tomato and cherry tomato harvesting robot. *Bioproduction Systems Engineering* [online]. Okayama, Japonsko: Faculty of Agriculture, Okayama University, 2005 [cit. 2017-12-17]. Dostupné z: <http://mama.agr.okayama-u.ac.jp/lase/tomato.html>
- [37] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008 [cit. 2017-12-17]. ISBN isbn978-80-248-1522-0.
- [38] Destaco: 82M-3E Series. *DESTACO* [online]. USA: DESTACO, 2018, 2018 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <https://www.destaco.com/assets/docs/ds/82M-3E.pdf>
- [39] Destaco: 86P30. *DESTACO* [online]. USA: DESTACO, 2018, 2018 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <https://www.destaco.com/assets/docs/ds/86P30.pdf>
- [40] Induktivní sensor IG5588. *IFM* [online]. Praha: IFM electronic, 2018, 2018 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/product/IG5588>
- [41] Robotic tool changer MPS260. Stäubli [online]. Pfäffikon, Switzerland: Stäubli International, 2018 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/en/connectors/tool-changer/mps-260/>
- [42] KUKA AG: Download Center. *KUKA* [online]. Německo: KUKA, 2017 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/services/downloads>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AutoSAP	Sdružení automobilového průmyslu
ČR	Česká republika
OEM	Original Equipment Manufacturer
PC	Personal Computer
TCP	Tool Centre Point
TRR	Tünkers Rundrohr System
EGT	Euro Greifer Tooling System
BMW	automobilka Bayerische Motoren Werke
VW	automobilka Volkswagen
TOS	Tünkers One Screw System
TCR	Carbon Tube System

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Průmyslový robot Unimate #001 [5].....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 2 Průmyslový robot Fanuc řady M-2000iA [10].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 3 Diagram znázorňující 4 industriální revoluce včetně průmyslu 4.0 [11].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 4 Víceosý robot s manipulačním koncovým efektem [13].....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 5 Princip automatické výměny efektorů [15].....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 6 Obloukové svařování s optickým naváděcím systémem.[16].....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 7 Robotické pracoviště s koncovými efekty pro bodové odporové svařování [18]</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 8 Koncový efektor pro nýtování plnými lisovacími nýty.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 9 KUKA ready2_spray [20].....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 10 Robotizované obrábění kašny Koloděje [21].....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 11 Kuka LBR iiwa [22].....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 12 Adaptivní chapadla manipulačního efektoru z pružného materiálu [23].....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 13 Antropomorfní úchopný efektor [24].....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 14 Podavač KUKA LBR [25].....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 15 Speciální úchopný koncový efektor s bočním dílem karoserie automobilu [26]</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 16 Tüinkers Rundrohr System [28].....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 17 Euro-Greifer-Tooling System [29]</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 18 Tüinkers One Screw System [30].....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 19 Carbon Tube System [32].....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 20 Destaco – Bodybuilder End Effector [33]</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 21 Schéma aktivního (a) a pasivního (b) manipulačního koncového efektoru.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 22 Vlevo nahoře - robotický sběrač rajčat [36], vlevo dole – detail koncového efektoru [36], vpravo - schéma principu uchopení plodu [35].....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 23 Pasivní mechanická hlavice s odpruženými čelistmi [15].....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 24 Schéma manipulačního koncového efektoru s aktivním prvkem a transformačním blokem</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 25 Kinematické uspořádání úchopných hlavic s jedním aktivním a jedním pasivním prvkem [34]</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 26 Kinematické uspořádání úchopných hlavic se dvěma a více aktivními prvky [34]</i>	<i>42</i>

<i>Obr. 27 Kinematické uspořádání úchopných hlavíc s a) pákovým převodem, b) pákovým převodem s paralelogramem, c) vačkovým převodem [34]</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 28 Kinematické uspořádání úchopných hlavíc s rotačním motorem a otočnými čelistmi [34]</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 29 Kinematické uspořádání úchopných hlavíc s rotačním motorem a posuvnými čelistmi [34]</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 30 a) Pryžová deformační přísavka, b) přísavka s odpruženým pístem, c) deformační přísavka s pomocným ventilem [15]</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 31 Aktivní přísavka s ejektorem [37]</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 32 Pasivní magnetický efektor s pneumatiky pro odejmutí objektu manipulace [37]</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 33 Koncový efektor s elektromagnetickými úchopnými prvky [15]</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 34 Zobrazení modelu objektu manipulace – kapoty</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 35 Půdorys robotického pracoviště</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 36 Náhled na nekompletní robotické pracoviště</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 37 Upínač Destaco z řady 82M-3E, řez transformačním blokem v uzavřené poloze upínače [38]</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 38 Graf maximální hmotnosti nástroje upínače Destaco 82M-3E030040 [38]</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 39 Isometrický pohled na model zvoleného upínače se součástmi od výrobce Destaco</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 40 Graf maximální hmotnosti nástroje upínače Destaco 82M-3E030050 [38]</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 41 Graf maximální upínací síly upínače Destaco 82M-3E030050 [38]</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 42 Určení kontaktních ploch kapoty, modře – otvory pro ustavení polohy, červeně – plochy pro uchopení</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 43 Pneumatický motor Destaco 86P30-105B8002 [39]</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 44 Indukční snímač IFM IG5588 [40]</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 45 Stäubli MPS260 s přídatnými moduly, vlevo spodní část pro umístění na koncový efektor, vpravo horní část k robotu [41]</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 46 Vlevo - konstrukční body na kapotě, vpravo publikovaná část pro podsestavu upínače</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 47 Tvarové díly navázané na konstrukční bod, distanční podložky</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 48 Distanční podložka tl.2mm</i>	<i>65</i>

<i>Obr. 49 Podsestava upínače s tvarovými díly, distančními podložkami a spojovacím materiálem</i>	66
<i>Obr. 50 Vlevo - podsestava centrovače, vpravo - naváděcí kolík (pin)</i>	66
<i>Obr. 51 Hlavní nosný rám koncového efektoru</i>	67
<i>Obr. 52 Pohled na podsestavy upínačů a centrovače navázané na hlavní rám (pouze polovina modelu)</i>	68
<i>Obr. 53 Pohled na koncové polohy (žlutě) pohyblivých částí efektoru</i>	68
<i>Obr. 54 Pohled na kompletní model koncového efektoru (1)</i>	69
<i>Obr. 55 Pohled na kompletní model koncového efektoru (2)</i>	70
<i>Obr. 56 Kontrola kolizí koncového efektoru a výstupního základacího přípravku</i>	71
<i>Obr. 57 Kontrola kolizí koncového efektoru a odkládacího stojanu</i>	72
<i>Obr. 58 Příruba robotu na koncovém efektoru - osový kříž souřadného systému pro odměření hodnot zátěže robota</i>	73
<i>Obr. 59 KukaLoad - výběr robota dle zadanych parametrů</i>	74
<i>Obr. 60 Popis os robotu Kuka KR</i>	74
<i>Obr. 61 Statické zatížení os robotu KUKA KR 120 R1800 nano</i>	75
<i>Obr. 62 Dynamické zatížení os KR 120 R1800 nano</i>	75

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Srovnání počtu vyrobených vozidel v ČR za rok 2017 a 2016 [4].....</i>	<i>13</i>
<i>Tab. 2 Schéma vztahu pohonu a druhu čelistí mechanické hlavice [34]</i>	<i>40</i>

SEZNAM PŘÍLOH

P I 3D model navrženého koncového efektoru. Data jsou na CD ve formátech Catia V5 a STP