Návrh konstrukce transportního manipulátoru

Bc. Jan Čiscoň

Diplomová práce
2020

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Bc. Jan Čiscoň**
Osobní číslo:	**T17572**
Studijní program:	**N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Výrobní inženýrství**
Forma studia:	**Kombinovaná**
Téma práce:	**Návrh konstrukce transportního manipulátoru**

Zásady pro vypracování

1. Zpracování literární rešerše.
2. Výběr vhodného řešení manipulátoru.
3. Návrh konstrukce manipulátoru.
4. Návrh konstrukce pojezdu.

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

Seznam doporučené literatury:

1. MATIČKA, Robert a Jaroslav TALÁCKO. Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1991, 269 s. ISBN 80-03-00567-1.
2. TALÁCKO, Jaroslav a Robert MATIČKA. Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů. Praha: ČVUT, 1995, 236 s. ISBN 8001012913.
3. MAŇAS, Miroslav. Základy robotiky. Brno: VUT, 1991, 99 s. ISBN 8021402792.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Bednařík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Ve Zlíně dne 15. dubna 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA
DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou 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);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta: Bc. Jan Čiscoň

……..
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem konstrukce pro transportní manipulátor na přepravu pilových pásů. Popisuje základní rozdělení průmyslových manipulačních zařízení.

Klíčová slova: manipulátor, konstrukce, pohon, dopravník.

ABSTRACT

This thesis deals with design of construction for the transport manipulator for transporting saw belts. It describes the basic division of industrial handling equipment.

Keywords: manipulator, construction, drive, conveyor.

Rád bych na tomto místě poděkoval panu Ing. Martinovi Bednaříkovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, za jeho poznámky a odborné vedení. Velké poděkování potom patří i mé manželce za zázemí, podporu a trpělivost během studia.

„Život je možná fraška, ale stojí za to jej žít. Jen nuda v něm nemá místa.“

François Rabelais

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

OBSAH

ÚVOD **9**
I TEORETICKÁ ČÁST **10**
1 HISTORIE MANIPULAČNÍ TECHNIKY **11**
2 PRŮMYLOVÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY **12**
2.1 JEDNOÚČELOVÉ MANIPULÁTORY 12
2.2 UNIVERZÁLNÍ MANIPULÁTORY 13
2.2.1 Synchronní manipulátory 13
2.2.2 Programovatelné manipulátory 13
2.3 ZÁKLADNÍ TYPY KINEMATICKÝCH ŘETĚZCŮ 15
2.3.1 Typ „K“ (TTT) 15
2.3.2 Typ „C“ (RTT) 16
2.3.3 Typ „S“ (RRT) 16
2.3.4 Typ „A“ (RRR) 16
2.4 KARTÉZSKÝ MANIPULÁTOR 16
3 POUŽITÍ MANIPULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ U VÝROBNÍCH STROJŮ **18**
3.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ VÝROBNÍCH STROJŮ 18
3.1.1 Dělení dle technologického procesu: 18
3.1.2 Dělení dle zpracovávaného materiálu: 18
3.1.3 Dělení dle pohonu a mechanismu užitého pro přenos energie: 18
3.1.4 Dělení dle působení výstupního členu (nástroje) na objekt: 18
4 POHONY PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ **19**
4.1 MECHANICKÉ POHONY 19
4.2 ELEKTRONICKÉ POHONY 20
4.2.1 Stejnosměrné motory 21
4.2.2 Asynchronní motory 22
4.2.3 Krokové motory 23
4.2.4 Elektromagnety 23
4.3 HYDRAULICKÉ POHONY 24
4.4 PNEUMATICKÉ POHONY 25
5 PRACOVNÍ HLAVICE (EFEKTORY) **26**
5.1 ÚCHOPNÉ HLAVICE PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ 26
5.1.1 Mechanické úchopné hlavice 28
5.1.2 Magnetické úchopné hlavice 30
5.1.3 Pneumatické úchopné hlavice 32
5.2 TECHNOLOGICKÉ HLAVICE PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ 35
5.3 KOMBINOVANÉ HLAVICE PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ 36
II PRAKTICKÁ ČÁST **38**

6 VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY 39
6.1 KRITÉRIA HODNOCENÍ 39
6.2 HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT 39
7 KONCEPČNÍ NÁVRH 41
8 PORTÁLOVÝ MANIPULÁTOR 42
8.1 NÁVRH EFEKTORU 42
8.1.1 Úchopná hlavice 43
8.2 NÁVRH POJEZDU 46
8.2.1 Osa X 46
8.2.2 Osa Y 50
ZÁVĚR 54
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 56
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 58
SEZNAM OBRÁZKŮ 59
SEZNAM TABULEK 61
SEZNAM PŘÍLOH 62

ÚVOD

Od doby, kdy Bůh stvořil Adama s Evou, si lidé začali zjednodušovat svojí každodenní námahu s přenášením břemen. Mezi první zařízení patřily zdvíhací plošiny, které byly zvedány lany a jako pohon sloužil člověk. Tato zdvihadla se využívala pro zvedání kamenných bloků v Egyptě při stavbě pyramid. Proto se stavba vlekla, zvedali bloky po jednom kuse.

Nároky na zdvíhací zařízení v dnešní době jsme schopni popsat v několika bodech: bezproblémový chod; snadné ovládaní, nejlépe automatické; maximální transportní výkon/minimální hmotnost stroje; standardizace pro zefektivnění produkce; uzpůsobení stroje s ohledem na celkovou pohyblivost přepravního zařízení. [1]

Použití průmyslových robotů a manipulátorů (PRaM) ve výrobě má za cíl ulehčit člověku práci. Zbavit ho monotónních operací při manipulaci s výrobkem a oprostit ho z nebezpečných míst pro lidské zdraví. Mezi výhody, proč se PRaM užívají je jejich přesnost. Používání manipulátorů a robotů nemá jen výhody. První otázkou použitelnosti je jejich pořizovací cena x návratnost. Dalším negativním faktorem bývá, v některých případech při volbě použití PRaM, že zaměstnavatel propustí osobu, která vykonávala danou práci.

Tématem této práce je vytvořit návrh konstrukce dopravního manipulátoru pro použití v kusové výrobě pro manipulaci s daným objektem dle požadavků. Při postupném zpracovávání bude návrh konstrukce nakonfigurován, tak aby byl manipulátor plně využitelný ve vybraném výrobním prostředí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE MANIPULAČNÍ TECHNIKY

Jako první s myšlenkou mít okolo sebe někoho, kdo by dělal práci za Vás, přišel asi 300 let př. n. l. řecký filosof Aristoteles. To ještě, ale neznal slovo „robot“, které na světlo světa přivedl český spisovatel Karel Čapek ve své hře R.U.R. - Rossum's Universal Robots roku 1920. O několik století po Aristotelovi se podařilo italskému všestrannému člověku Leonardu da Vinci sestrojit pohybující se mechanismus, přesněji řečeno kráčejícího rytíře. Tento mechanismus byl zkonstruován, jako by byl uvnitř opravdový člověk. Roku 1737 francouzský vynálezce Jacques de Vaucanson nejdříve sestrojil hráče na flétnu, poté o rok později hráče na tamburínu a jeho nejznámější výtvor kachnu. Kachna měla přes 400 pohyblivých částí jen v jednom křídle. Mohla mávat křídly, pít vodu, trávit obilí a vyprazdňovat se. Pár let na to, přesněji 1770, na přání evropské královské rodiny Pier Jaquet-Droz, švýcarský hodinář, se svým synem sestrojili tři zvláště složité a stále funkční panenky. Jedna kreslila, druhá hrála hudbu a třetí psala. Všechny tři panenky jsou stále k vidění v muzeu v Neuchâtel, Švýcarsko. Francouz Joseph Jacquard roku 1801 sestrojil programovatelný tkalcovský stav. K jeho ovládání se používaly děrné štítky. Této metody se hojně využívalo i ve 20. století.

Na počátku 40. let 20. století se začaly vyrábět tzv. teleoperátory - „dálkově ovládané manipulátory, ovládané ručně; musí pracovat s člověkem (synchronně), ale jeho činnost zesilují; pohyb kontrolován pomocí kamery.“[2] Koncem 40. let je bouřlivý rozvoj číslicově řízených strojů a jejich vývoj jde od té doby velice rychle dopředu. Jako první jednoúčelový manipulátor byl v roce 1950 vyvinut UNIMATE, americkým vynálezcem Georgem Devol, Jr., ale až roku 1961 byl firmou General Motors uveden do provozu po získání patentu. Už ve stejném roce se objevil manipulátor na vyšší úrovni, kterým byl Versa-Tran od vynálezců Harryho Johnsona a Veljka Milenkovice.

Koncem 70. let se pro automobilový průmysl stává používání robotů běžnou záležitostí. Využívali se především tam, kde by mohl člověk přijít nejčastěji k úrazu, což bylo svařování a lakování. Začínají se používat čidla a kamery. Postupem času se roboti stávají víc a víc samostatní. Nastupuje tzv. „umělá“ inteligence, kdy je řídicí systém naprogramován a z daných dat je schopný vyhodnotit jak nejlépe předmět přepravit z bodu A do bodu B. [2]

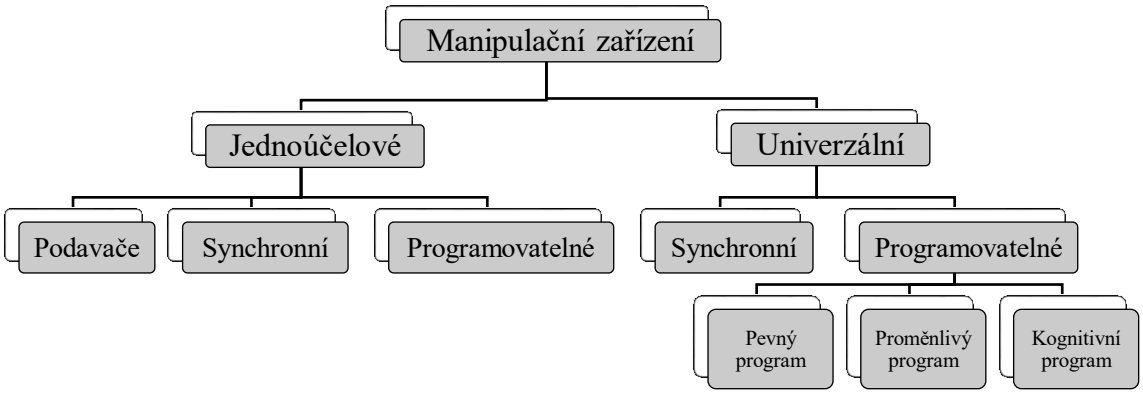
2 PRŮMYLOVÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY

PRaM jsou zařízení používány pro fyzickou činnost při manipulaci s materiálem, na rozdíl od počítačů, které slouží pro jejich řízení.

Zařízení pro manipulaci se dělí:

- manipulační - slouží především pro přemisťování objektů a jejich mechanickém ovládání,
- výrobně-technologické – ve výrobním procesu vykonávají některé technologické operace dosud realizované výrobním zařízením nebo člověkem,
- manipulační a technologické – manipulátor je vybaven jak ústrojím na uchopení manipulovaného předmětu, tak i nástrojem, který při uchopení předmětu provede nějaký technologický úkon,
- servisní – robotický systém zaměřený k dosažení vysoké úrovně flexibility, adaptivity a bezpečnosti v prostředí, které je zabydlené lidmi. Jsou to mobilní zařízení, která z části nebo zcela automaticky vykonávají činnosti, které nejsou výrobními a mohou být prováděny v průmyslovém sektoru nebo jako služby pro člověka. [3]

Z Obr. 1. je patrné základní rozdělení manipulačních zařízení do dvou skupin. Pohlíží se na to, k čemu jsou využívány, jak jsou zkonstruovány, složitosti obsluhy atd. [3]



Obr. 1 Rozdělení manipulačních zařízení

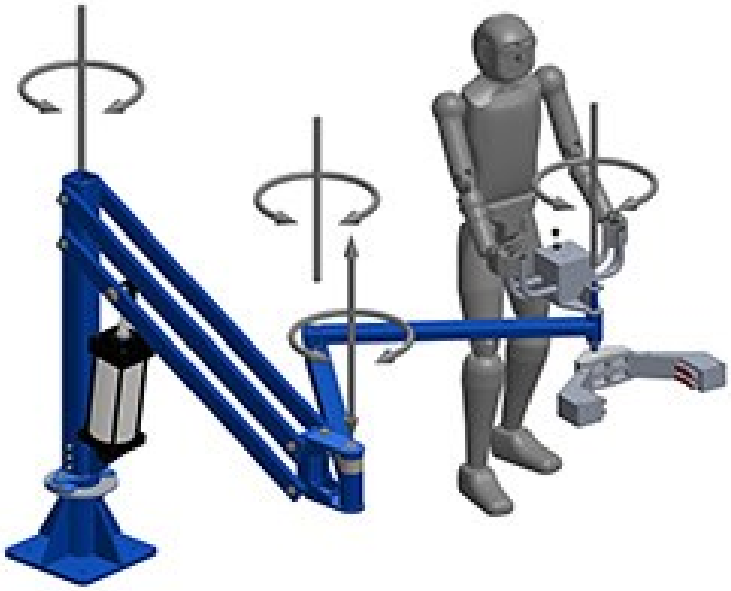
2.1 Jednoúčelové manipulátory

Jednoúčelové manipulátory mají tam, kde není zapotřebí složitých úkonů pro manipulaci většinou s jedním typem předmětu nebo více typů předmětů tvarově srovnatelných, např. výměna nástrojů. Konstrukčně, ovládáním a mobilitou jsou přizpůsobeny k tomu, aby

odváděly práci u obsluhovaného stroje. Obvykle bývají zakomponovány do těchto strojů, tzn. změny polohy, činnost, ovládání jsou vyvozeny z jednoúčelového stroje nebo linky pro které pracují. [3]

2.2 Univerzální manipulátory

Na rozdíl od jednoúčelových manipulátorů není problém u univerzálních manipulátorů, při potřebě změnit možnost přepravit nový typ předmětu. Za to jsou komplikovanější po konstrukční stránce, bývají odpoutáni od obsluhovaných strojů a ovládací hardware je jejich součástí. [3]



Obr. 2 Jednoúčelový teleoperátor pro manipulaci s břemeny [4]

2.2.1 Synchronní manipulátory

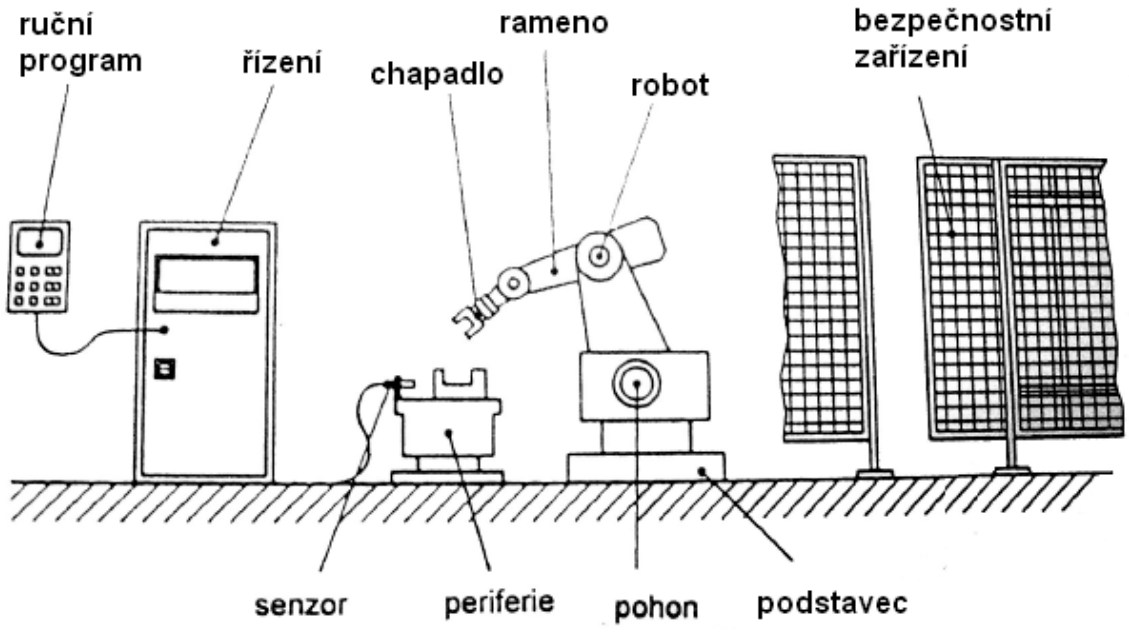
Synchronní manipulátory jsou určené pro přímé provázání s člověkem, který je propojen s činnou soustavou manipulátoru. Ten zesiluje a zvětšuje manipulační rozsah obsluhy. Pro správné polohování konečných prvků manipulátoru, využívá obsluha propojení s ovládacím systémem rovnou na rukách a prstech obsluhy. Řídící ústrojí bývá též na paži obsluhy, eventuálně se s ním lze pohybovat, nebo aplikovat zcela separátně od obsluhy. Tento způsob se nejčastěji používá v životu nevhodných oblastech výroby. [3]

2.2.2 Programovatelné manipulátory

Programovatelné manipulátory se ovládají naprogramovaným systémem. Konstrukcí, činností a pohonem nejsou svázány se strojem, pro který byly postaveny. [3]

a) Manipulátory s pevným programem

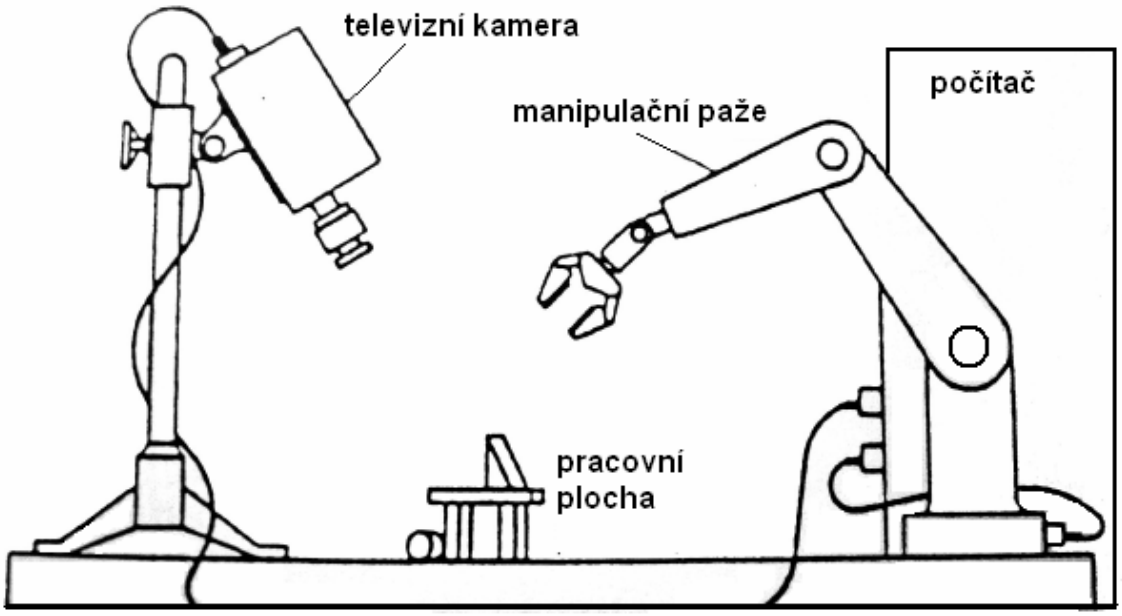
Je pevně dané co bude manipulátor provádět za operace. Případné změny se provádějí mechanicko-elektrickým ovládacím systémem. Systém dovoluje přemístění narážek a nastavení vhodných rozumných činností. Tyto manipulátory jsou hojně používány pro svoji jednoduchost a jistotu odvedené práce. V odborných kruzích se jim říká průmyslový roboty 1. generace. [3]



Obr. 3 Schéma průmyslového robota 1. generace. [5]

b) Manipulátory s proměnlivým programem

Na rozdíl od manipulátoru s pevným programem lze volit typ program dle aktuálních potřeb. Ovládání se projevuje velmi nezávislým chováním a je přizpůsobeno elektronickými obsluhujícími soustavami. Popisuji se jako průmyslové roboty 2. generace.[3]



Obr. 4 Schéma průmyslového robota 2. generace. [5]

c) Kognitivní roboty

Nazývaní průmyslové roboty 3. generace. *„Kognitivní proces = proces vnímání a racionálního myšlení.“* [3] Hybridní soustava s logickým postupem pro dosažení předurčených zadání. Jsou zkonstruováni specifickými celky, spojených v jeden komplet. Jejich poslání není jen ulehčit námahu obsluze, ale i k automatizaci jeho rozumových funkcí. [3]

2.3 Základní typy kinematických řetězců

Hlavní druhy průmyslových robotů a manipulátorů se vyvozují od kinematických dvojic řetězce, který je aplikovaný jako primární hybný systém. Pohyb průmyslových robotů a manipulátorů je založen na dvou pohybech – translace (T) a rotace (R). Jejich vzájemná kombinace umožňuje různé způsoby pohybu v pracovním prostoru. [7;8]

2.3.1 Typ „K“ (TTT)

Kartézský souřadnicový systém, pohybuje se po trojnásobné translaci v 3D prostoru (např. krychle nebo kvádr). PRaM jsou hlavními zástupci tohoto typu. Přepravují předmět s neměnící se polohou vzhledem k základním souřadnicím. [7;8]

2.3.2 Typ „C“ (RTT)

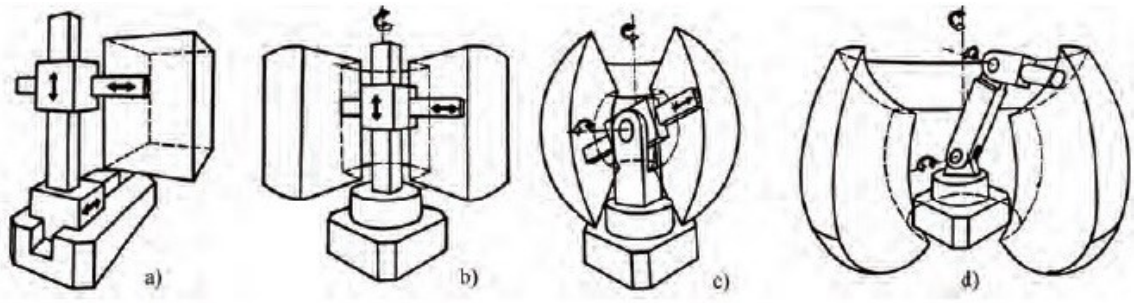
Pohyb v rotaci a dvojnásobné translaci v 3D prostoru (tvar válce), označovaný jako cylindrický souřadnicový systém. Nejběžnějšími zástupci jsou roboti. Ti se otáčí kolem své osy a jejich rameno lze polohovat v horizontálním a vertikálním směru, kdy se rameno vysouvá nebo zasouvá. [7;8]

2.3.3 Typ „S“ (RRT)

Sférický souřadnicový systém vykonává pohyb jedné translace a dvojnásobné rotace v 3D prostoru (např. převážně válcový prstenec). Zástupci jsou převážně roboti, kteří rotují kolem vertikální osy a zároveň se naklání kolem této osy. Posuvný pohyb provádí hlavní rameno vysouváním (zasouváním). [7;8]

2.3.4 Typ „A“ (RRR)

Antropomorfní nebo angulární souřadnicový systém. Pohybuje se po trojnásobné rotaci v 3D prostoru (kulový segment). U robotů s tímto typem pohybu je výhodou možnost práce v blízkosti své konstrukce. [7;8]



Obr. 5 Schéma základních typů PRaM s pracovními prostory [9]
a. Kartézský (pravoúhlý), (TYP „K“)
b. Cylindrický (válcový), (TYP „C“)
c. Sférický (kulový), (TYP „S“)
d. Multiúhlový (antropomorfní, torusový, angulární), (TYP „A“)

2.4 Kartézský manipulátor

Kartézský manipulátor používá jen lineární vazby. Touto vlastností definujeme jeho konstrukci, kinematiku a možnosti využití.

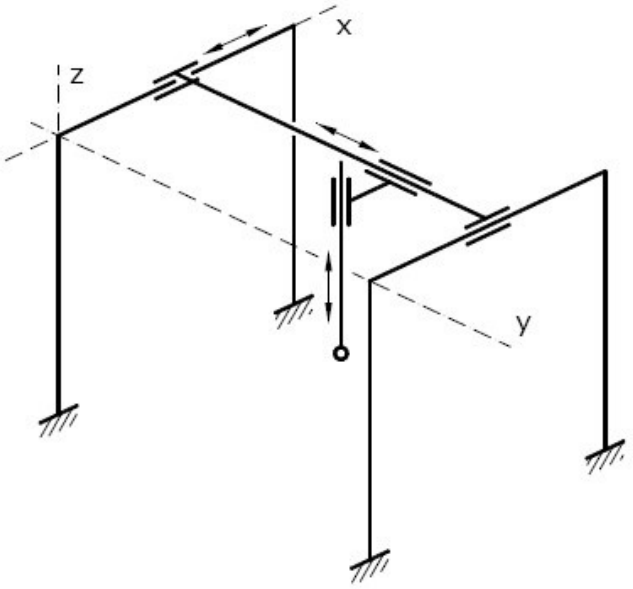
Z pohledu pohybu se jedná o sériový manipulátor. Sériový (otevřený) manipulátor je takový řetězec, mezi jehož vazbami existuje vždy maximálně jedna cesta. Pohyb v každé vazbě není vázán na pohyby v ostatních vazbách, jako u manipulátorů paralelních.

Maximální i operační prostor tříosého kartézského manipulátoru je tvaru hranolu a je dán třemi lineárními vazbami. Každá lineární vazba odebírá po jednom stupni volnosti (rotace kolem os x, y, z), proto má kartézský manipulátor tři stupně volnosti. U některých aplikací kartézského manipulátoru jsou doplněny navíc rotace kolem os. Přidáním tří rotačních vazeb pro rotaci kolem každé z os lze dosáhnout konfigurace univerzálního manipulátoru s šesti stupni volnosti. Této konfigurace využívají CNC obráběcí stroje.

Přímočarých pohybů kartézského manipulátoru lze dosáhnout elektrickými, hydraulickými nebo pneumatickými pohony. Jednotlivé pohony se mohou mezi sebou různě kombinovat a vytvářet tak hybridní systém těžící z výhod jednotlivých řešení.

Volba pohonu určuje přesnost, plynulost a rychlost polohování manipulátoru. Z těchto důvodů na pohon vyplývají požadavky na velký výkon a minimální moment setrvačnosti. Z montážního hlediska je podstatná hmotnost a tvarové rozložení.

Realizace přímočarého pohybu elektrickým motorem využívá točivých strojů nebo lineárních motorů. Pro převod točivého pohybu na lineární lze využít valivých šroubů, ozubených řemenů nebo hřebenu. Lineární elektrický motor je elektromotor, který vznikne rozložením statoru a rotoru do roviny. [2]



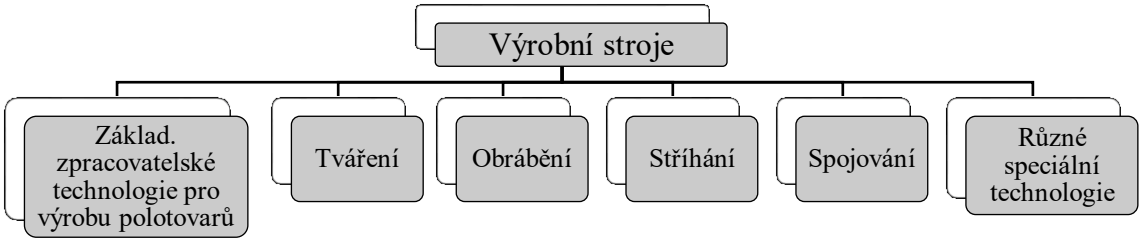
Obr. 6 Kartézský manipulátor [2]

3 POUŽITÍ MANIPULAČNÍCH ZAŘÍZENÍ U VÝROBNÍCH STROJŮ

3.1 Základní rozdělení výrobních strojů

„*Výrobní stroj je uměle vytvořená dynamická soustava, sloužící k realizaci úkonů technologického procesu-vedoucího k trvalému přetvoření výchozího materiálu.*“ [10]

3.1.1 Dělení dle technologického procesu:



Obr. 7 Rozdělení výrobních strojů dle technologického procesu

3.1.2 Dělení dle zpracovávaného materiálu:

- stroje na kov,
- stroje na dřevo,
- stroje na sklo a keramiku,
- stroje na plasty.

3.1.3 Dělení dle pohonu a mechanismu užitého pro přenos energie:

- elektrický stroj,
- mechanický stroj,
- hydraulický stroj,
- pneumatický stroj.

3.1.4 Dělení dle působení výstupního členu (nástroje) na objekt:

- bodové – soustružení, řezání kotoučem, obrážení, hoblování,
- přímkové, křivkové – tvarové broušení, válcování, ohýbání,
- povrchové – kování, tažení,
- objemové – chemické obrábění, tváření výbuchem.

4 POHONY PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ

PRaM pro pohyb pracovních součástí užívají pohony, které využívají vstupní energii k přeměně na mechanickou práci. Pohony se montují buď přímo nebo pomocí převodového ústrojí na manipulátor či průmyslového robota.

Základní požadavky co musí PRaM splňovat:

- Zajištění vysoké pracovní rychlosti.
- Plynulý, bez rázového rozběhu a zastavení.
- Vysoká přesnost polohování.
- Dostatečná tuhost.
- Velký poměr výkonu k vlastní hmotnosti.

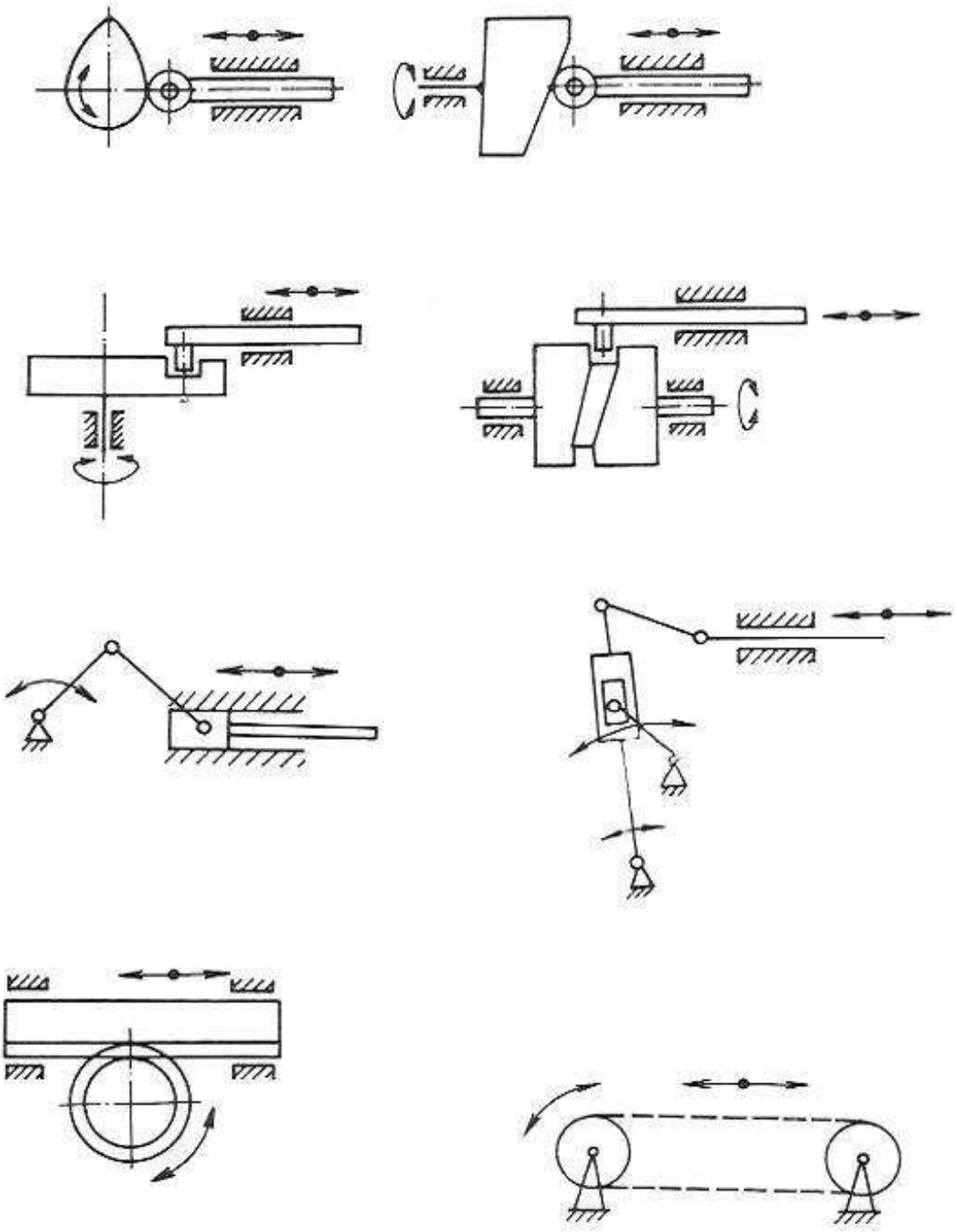
Mezi nejrozšířenější patří tyto druhy pohonů:

- Mechanický.
- Elektrický.
- Pneumatický
- Hydraulický.

Při výběru pohonu by se mělo brát v potaz, že zvolený typ má vliv na konstrukci a vlastnosti PRaM. Během porovnávání požadavků na pohon zjistíme klady a zápory u všech druhů pohonů, ale ne vždy budou mít stejnou váhu pro konečné rozhodnutí, který zvolit. [11;12]

4.1 Mechanické pohony

Mechanické stroje bývají zpravidla začleněny do konstrukce jednodušších manipulátorů (např. podavač polotovarů obráběcích strojů), které samy jsou většinou součástí stroje. Výhodami jsou především spolehlivost a jednoduchost. Na druhou stranu co se dá vytknout, že manipulátory s tímto pohonem jsou konstrukčně složité jako celek. To je dané tím, že pohybové ústrojí manipulátoru nemá vlastní pohon, ale je poháněno z jiného zařízení. Bývá to nejběžněji pohon stroje, který manipulátor obsluhuje. Přenos energie na pohybový mechanismus manipulátoru bývá pomocí různých spojovacích hřídelí, vaček, řemenů, řetězů atd. Uplatnění mechanické pohony naleznou u poměrně složitých manipulátorů konstruovaných pro velkosériovou výrobu. [11;12]



Obr. 8 Mechanické transformační členy druhu pohybu. [7]

4.2 Elektronické pohony

Elektrický pohon je označení pro soubor technických prostředků, který využívá pro pohon strojního mechanismu přeměnu elektrické energie na rotační či přímočarý pohyb pomocí nějakého elektromotoru.

Výhody a přednosti:

- jednoduché propojení,
- dynamické vlastnosti,
- snadná údržba => nízké provozní náklady,
- snadný přívod energie k motoru.

Nevýhody a nedostatky:

- vetší hmotnost a rozměry,
- složitější převod rotačního pohybu na přímočarý pohyb.

Jako další charakteristikou elektrických motorů jsou vysoké otáčky. Proto se pro jejich použití vkládá mezi motor a poháněnou část vhodný strojní element pro změnu otáček. Nejběžněji se používají převodové skříně (pomocí ozubených kol), dále potom převody přes klínové řemeny, ozubené řemeny atd.

PRaM využívají z elektrických pohonů stejnosměrné motory, střídavé (indukční) motory, krokové motory a elektromagnety. Ze střídavých elektromotorů používají jen asynchronní motory, protože synchronní jsou pro PRaM nepoužitelné. [11;12]

4.2.1 Stejnosměrné motory

Dle způsobu zapojení budícího vinutí dělíme stejnosměrné motory:

- derivační,
- sériové,
- s cizím buzením.

Ze závislosti otáček na momentu vyplývá otáčková charakteristika. Při nízkých otáčkách vzniká velký moment (např. při rozběhu) a obráceně. [11;12]

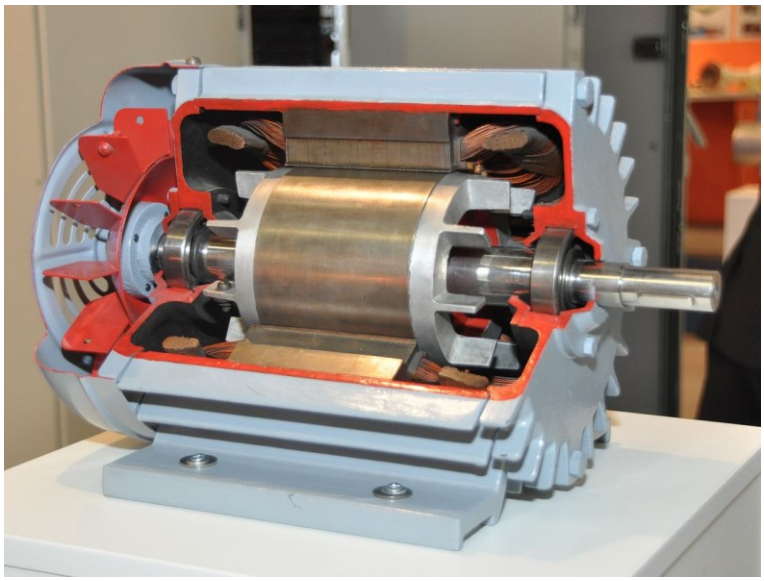
Obr. 9 Stejnosměrný motor [13]

4.2.2 Asynchronní motory

Bývají jednoduché konstrukce, mají velkou spolehlivost a vysokou životnost. Dle konstrukce rozlišujeme:

- s kotvou na krátko,
- s kroužkovou kotvou.

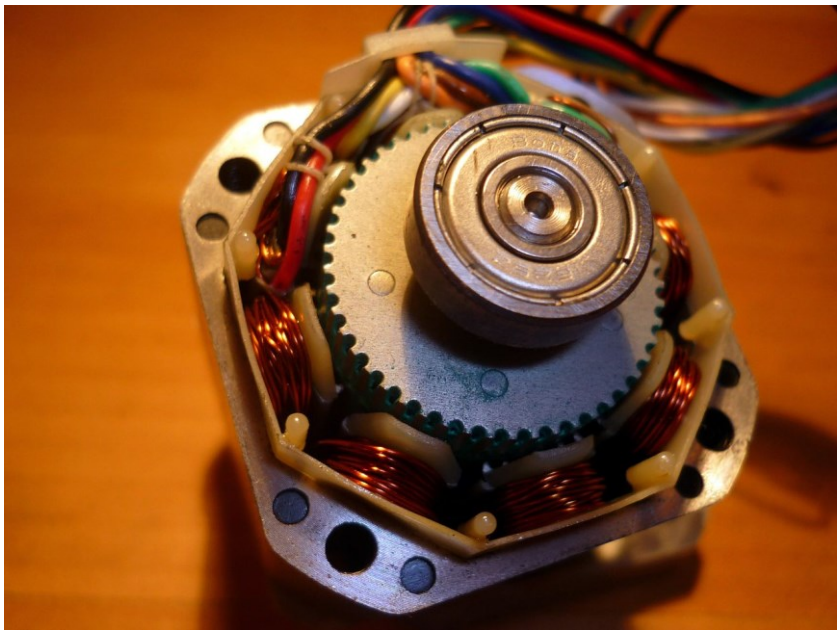
Obě varianty mají stejnou funkci. Při napájení trojfázovým proudem vytváří, statorové vynutí točivé magnetické pole. Toto pole má synchronní úhlovou rychlost nebo synchronní otáčky. [11;12]



Obr. 10 Asynchronní motor [14]

4.2.3 Krokové motory

Změnou frekvence vstupních impulsů se jednoduše řídí rychlost pohybu a registrací počtu impulsů se řídí polohy. Zvyšováním počtů impulsů hodnota krouticího momentu klesá. Díky tomuto jevu krokové motory nacházejí uplatnění v pohánění jednotek malých výkonů nebo ve spojení s polohovým mechanicky hydraulickým systémem. Rychlost pohybu a přesnost polohování se odvíjí od nastavení počtu kroků na jednu otáčku a pracovní frekvenci. [11;12]



Obr. 11 Krokový motoru [15]

4.2.4 Elektromagnety

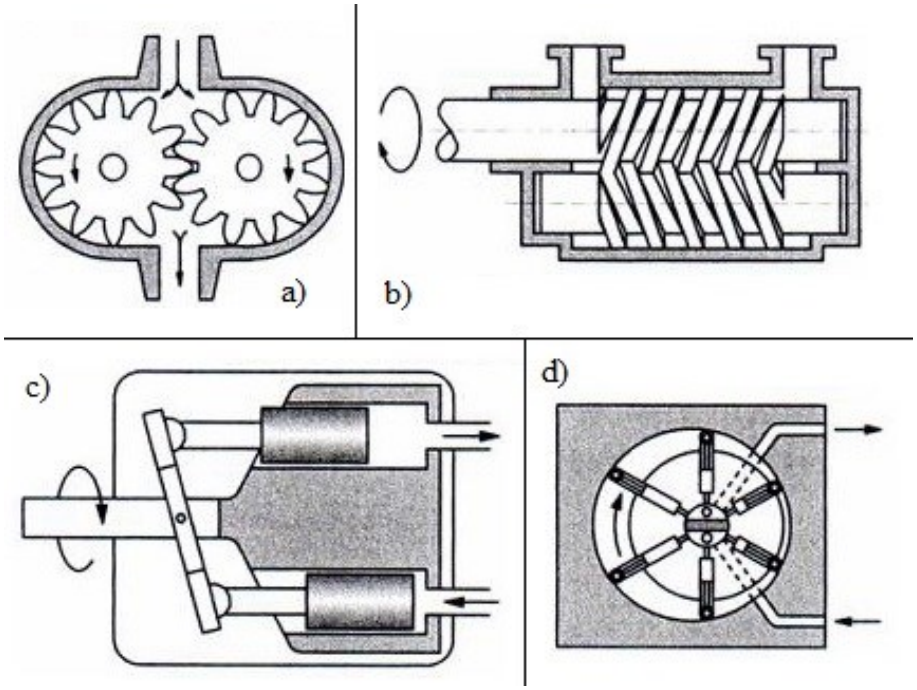
Elektromagnet je cívka s jádrem z magneticky měkké oceli, používaná k vytváření dočasného magnetického pole. Využití najdou při ovládaní úchopných prvků. Rozdělují se podle:

- Pohybu:
  - přímočaré,
  - rotační.
- Druhu budícího proudu:
  - stejnosměrný,
  - střídavý. [11;12]

4.3 Hydraulické pohony

Hydraulický pohon se dá rozdělit na dvě základní části. První je tvořena vstupními výkonnými prvky:

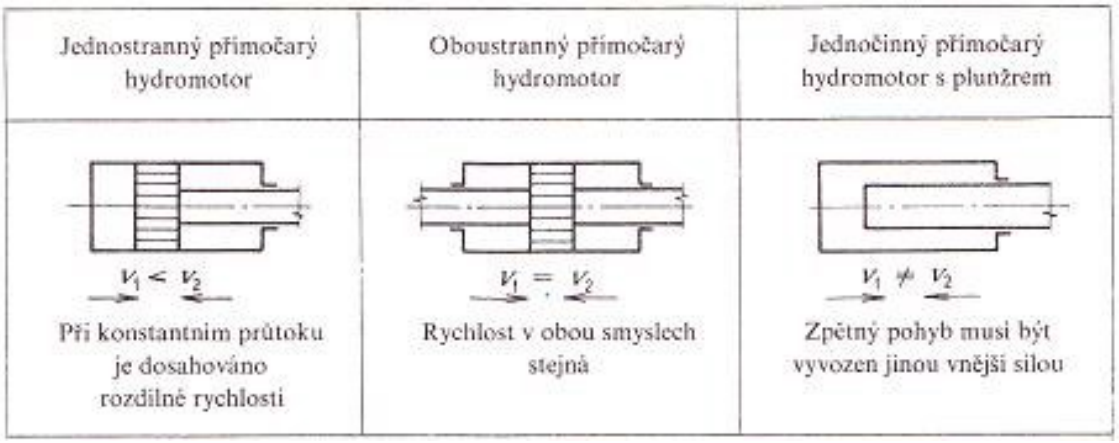
- hydrogenerátor (zubová, lamelová nebo šroubová čerpadla) poháněn elektromotorem,
- pomocné a řídicí prvky.



Obr. 12 Hydrogenerátory: a) Zubové s vnějším ozubením; b) Šroubové; c) Axiální pístové; d) Radiální pístové [16]

Druhá je tvořena výstupními výkonnými prvky:

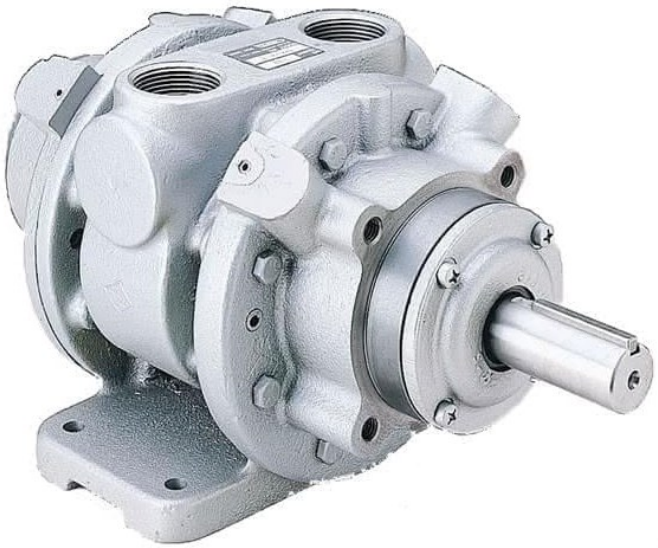
- hydromotor,
- řídící prvky pro řízení rychlosti a směru toku proudu hydraulické kapaliny. [11;12]



Obr. 13 Rozdělení hydromotorů podle konstrukčního provedení [16]

4.4 Pneumatické pohony

Využívají je jak PRaM, tak i jiná zařízení menších výkonů. Je to zapříčiněno nízkým pracovním tlakem, který bývá kolem 0,6 MPa. Pneumatický pohon je většinou napojený na společný zdroj stlačeného vzduchu. Dále zpravidla pokračuje zařízení na úpravu vzduchu (odlučovač vody s filtrem, redukční ventil, tlakoměr a maznice) a řídící prvky. [11;12]



Obr. 14 Lopatkovy vzduchový motor [17]

5 PRACOVNÍ HLAVICE (EFEKTORY)

Efektor je výstupní část celého zařízení robota či manipulátora, která provádí odpovídající úkon. Provedení pracovních hlavic se může lišit v důsledku způsobu použití průmyslových robotů a manipulátorů, při vykonávání nejrůznějších operací. Nejběžněji jsou průmysloví roboti a manipulátory používaní pro [18]:

- Vkládání předmětu do prostoru výrobního zařízení, následně vyjímání a ukládaní na palety.
- Přemísťování předmětů mezi jednotlivými pracovišti při realizaci technologického postupu – tzv. mezioperační manipulace.
- Provádění samotných technologických operací, případně celých operací kam patří svařovaní, montáž, lakovaní.

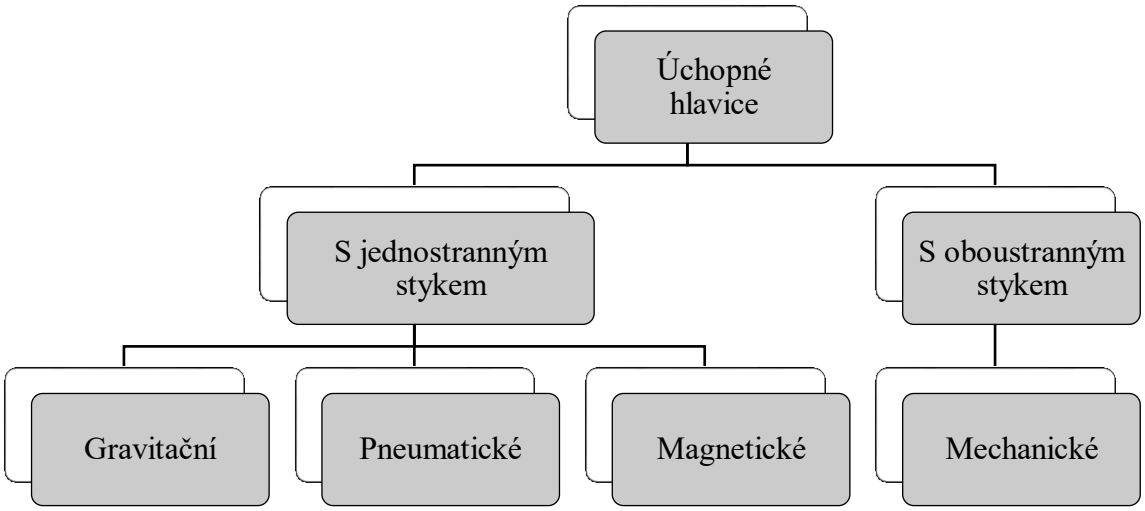
Ve výrobě se dělí pracovní hlavice na čtyři skupiny, dle využití průmyslových robotů a manipulátorů: [robotika]

- Úchopné.
- Technologické.
- Kontrolní.
- Speciální.

Pracovní hlavice musí být konstrukčně řešena tak, aby vstřebávala nepřesnosti při vlastním pohybu průmyslového robota a manipulátora i nepřesnosti působením přenášeného předmětu (orientaci a poloho). Vhodným řešením bývá začlenění mechanického, deformačního člena. Obvykle zakončují hlavní pohybový celek nebo jsou ovládaný sekundárním pohybovým celkem, který se označuje jako pohybový systém zápěstí. [18]

5.1 Úchopné hlavice průmyslových robotů a manipulátorů

V úchopné hlavici jsou vnější síly působící na objekt při jeho zachycení v rovnováze. Síly, jejichž působením je držen objekt, označujeme jako úchopné síly. [6]



Obr. 15 Rozdělení úchopných hlavic

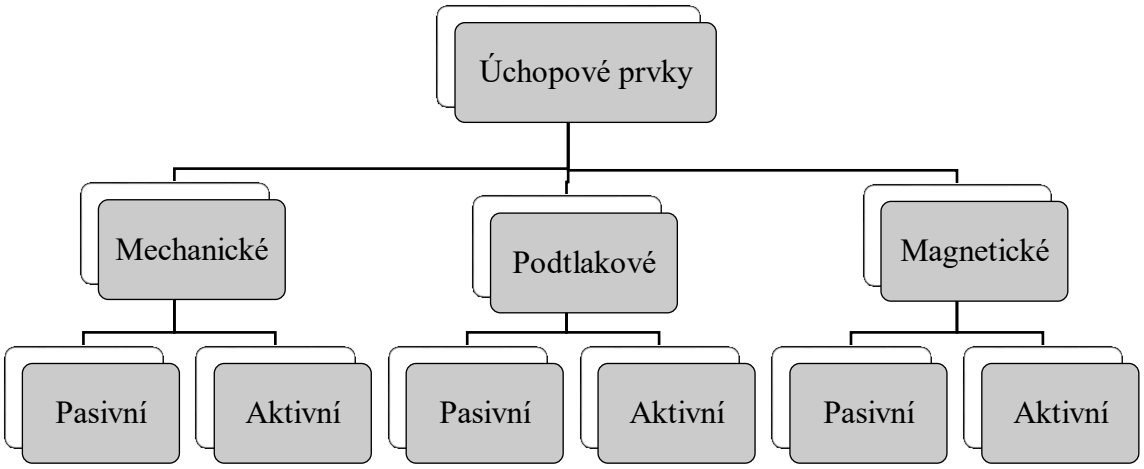
Zachycení objektu je provázeno mechanickým stykem tzv. úchopných prvků hlavice s povrchem objektu. V praxi to umožňuje dvojí způsob uchopení objektu použitelnými technickými prostředky.

Při jednostranném mechanickém styku s hlavicí se pro uchycení využívá působení podtlakových, gravitačních a magnetických sil. Druhý způsob využívá úchopné síly vyvolané mechanickými prostředky na povrch působíc protilehlé. Tento princip mechanického uchopení je odvozen od lidské ruky. Při realizaci průmyslového robota a manipulátora s úchopnou hlavicí se jedná o konstrukci s mechanickými čelistmi.

Během manipulačního cyklu úchopná hlavice vykonává funkci, která se projevuje dvěma stavy: uchopení - uvolnění. Tyto dva stavy mohou být prováděny buď přímým řízením úchopné síly vyvolané vlastní hlavicí, nebo uchopení - uvolnění objektu je ovlivněno vnějším silovým působením na objekt nebo hlavici. Funkce úchopné hlavice je mechanicky vázaná na polohu hlavice vůči spolupracujícímu zařízení (např. působení jednosměrných západek na zásobníku, kde uvolnění se provede nuceným stažením součásti z kleštiny). Podobným způsobem pracují hlavice s permanentním magnetem s deformačními přísavkami, volnými prizmatickými lůžky, apod. V prvním případě je úchopná hlavice řízena řídicím systémem manipulátoru (např. kleština, která musí najet nad povrch součásti, aby došlo k uchopení).

Hlavními stavebními kameny úchopné hlavice jsou tzv. úchopné prvky, které jsou součástí nosné části hlavice. Úchopné prvky se dostávají do kontaktu s povrchem objektu a vykonávají zachycení objektu v hlavici. [6]

Úchopné prvky, jejichž funkce bývá ovládána řídicím systémem, jsou označovány jako aktivní úchopné prvky. Pod označením pasivní úchopné prvky rozumějte prvky s možností uchopení objektu při manipulaci, ale úchopnou sílu neovládá přímo řídicí systém (úchopné prvky bez přímého). S uvažováním rozdělení podle možnosti ovládání úchopné síly a z principu uchopení objektů budeme rozlišovat úchopné prvky:



Obr. 16 Rozdělení úchopných prvků

Sestavení úchopné hlavice jen z mechanických prvků nazýváme mechanické úchopné hlavice, z prvků podtlakových podtlakové úchopné hlavice a z prvků magnetických magnetické úchopné hlavice. Jejich kombinací dostáváme různé druhy úchopných hlavic (mechanicko-podtlakové, mechanicko-magnetické, apod.). Pro daný okruh typů úchopných hlavic lze použít různé kombinace aktivních a pasivních prvků.

Množství úchopných prvků v konstrukci úchopné hlavice závisí na rozměrech, tuhosti, hmotnosti uchopeného objektu a prostorové náročnosti (počtu překážek). Podíl aktivních a pasivních prvků z celkového množství úchopných prvků závisí na požadavkách na přesnost uchycení objektu v hlavici. Úchopné hlavice se dle počtu úchopných prvků rozlišují: [6]

- jednoprvkové,
- více prvkové.

5.1.1 Mechanické úchopné hlavice

Mechanické úchopné hlavice mají minimálně dva úchopné prvky. Mohou být oba pohyblivé nebo jenom jeden a druhý je pevný. Pohyblivé prvky mohou provádět pohyby

otočné, posuvné nebo obecné. V návaznosti na způsobu vyvolání upínací síly rozlišujeme pasivní a aktivní mechanické úchopné hlavice. [6]

a) Pasivní úchopné mechanické hlavice

Používají se při přepravě s lehčími objekty jednoduchých tvarů, protože se vyznačují konstrukční jednoduchostí. Pří manipulaci jde zejména o kroužky, čepy, krabičky apod. Skládají se z pevných a odpružených prvků bez pohonu.

Pro menší rozměry soustavy pasivní úchopné hlavice - tj. tedy pro hlavici se dvěma úchopnými prvky - připadá k zvážení dvě koncepce.

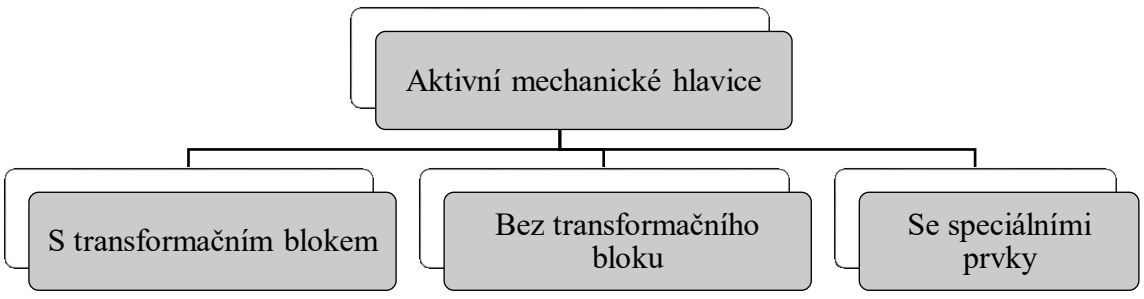
Množství prvků pasivních mechanických úchopných hlavic je běžně dáno převážně tvarem a rozměry manipulovaného objektu nebo i dle požadavků na přesnost jeho umístění v hlavici.

Hlavice s otevřenými lůžky patří mezi nejjednodušší a využívá se pro manipulaci v horizontální rovině. Aby nedošlo k vypadnutí přepravovaného objektu z lůžka, musí být pohyb plynulý.

b) Aktivní úchopné mechanické hlavice

Aktivní z toho důvodu, že mají aspoň jeden pohyblivý prvek s vlastním pohonem. Hlavice jsou nazývány jako mechanická chapadla podle způsobu uchopení manipulovaného objektu, který je podobný jako u lidské ruky (možnost ovládání pohyblivých čelistí). Skládají se z tzv. aktivních úchopných prvků, které tvoří ovládané pohyblivé čelisti a prvky pasivní mimo nosnou část.

Pro rozmanitost tvarů a typů manipulovaných objektů existuje i velké množství úchopných hlavic. Uchopení objektu lze několika způsoby, které jsou shodné s různými konstrukčními uspořádáními a variantami řešených hlavic. [6]



Obr. 17 Rozdělení aktivních mechanických hlavic

V univerzální situaci je vnitřní konstrukce části hlavice s aktivním prvkem tvořena třemi bloky: motor, transformační blok (mechanický převod) a aktivní úchopný prvek (čelist, prst).

Hlavice bez transformačního bloku mají zakončení motoru přímo spojené s úchopným prvkem. Tato varianta se využívá u hlavic s jedním aktivním prvkem, protože v situaci s více aktivními prvky má každý prvek svůj motor, a tak je téměř nemožné zaručit jejich synchronní činnost i polohu uchopeného předmětu v hlavici.

V situaci sloučené struktury bez mechanického převodu, není možné separovat pohon od úchopného prvku, poněvadž spolu tvoří jeden celek. Jedná se o speciálně vyvinuté prvky pro konstrukce úchopných hlavic, které lze nazývat nekonvenční. Úchopné prvky tohoto druhu provádí často všeobecný pohyb a zároveň se přizpůsobují tvaru předmětu. [4]

5.1.2 Magnetické úchopné hlavice

Přemísťovaný objekt musí být feromagnetického materiálu. [18]

a) Pasivní úchopné magnetické hlavice

Úchopné prvky jsou s permanentními magnety a nejčastěji se využívají pro přesun objektů menších rozměrů a hmotností (např. kovové podložky, kroužky apod.). Mezi obrovskou výhodu patří jednoduchá konstrukce, soustava sestavena z vložených tyčových permanentních magnetů. Podle požadované úchopné síly a podobě předmětu se jednoduše upraví množství a rozmístění magnetů. Mínusem jsou zvýšené nároky na přídavné mechanismy pro uvolnění uchopeného objektu z chapadel. Nejjednodušší možností oddělení uchopených objektů je využití tangenciálního stáhnutí chapadla z objektu pohnutím ramene robota a současně je objekt zachycen dorazem, zarážkou, nebo společně komunikujícím zařízením. Většina magnetických chapadel s permanentními magnety používají svůj mechanismus oddělení uchopených objektů. Tato pomocná činnost je programově řízená a tím se stádium uvolňování stává aktivní. Konstrukce chapadla má permanentní magnety umístěny v oddělených pouzdrech a připevněné k nosnému rámu chapadla. Stáhnutí probíhá za využití pneumatického válce, upevněného kolmo na uchopované těleso, válec má pístnici spojenou s výsuvnou deskou, umístěnou v pohyblivých vedeních nosného rámu. [9]

b) Aktivní úchopné magnetické hlavice

Jejich činnost je podobná jak u pasivních hlavic, k zachycení předmětu využívají permanentních magnetů (elektromagnetů) napájených převážně stejnosměrným proudem. K následnému uvolnění nepoužívají stahovacího pohybu, ale postačí pouze vypnutí přívodu proudu do elektromagnetu (v některých případech bývá vinutí zabudováno přímo do stykové desky). Vlivem stejnosměrného magnetického pole se předmět při zachycení zmagnetizuje, tím může docházet k problémům při jeho uvolňování. Po vypnutí proudu se zpravidla provádí odmagnetizování krátkodobou změnou směru proudu v magnetických cívkách. Tím zmizí zbytkový magnetismus z předmětu a ulehčí se oddělení předmětu z hlavice. [9]

Obr. 18 Přichycení materiálu pomocí magnetů [19]

5.1.3 Pneumatické úchopné hlavice

Kategorie kam se řadí přetlakové a podtlakové úchopné hlavice. [18]

a) Pasivní úchopné pneumatické hlavice

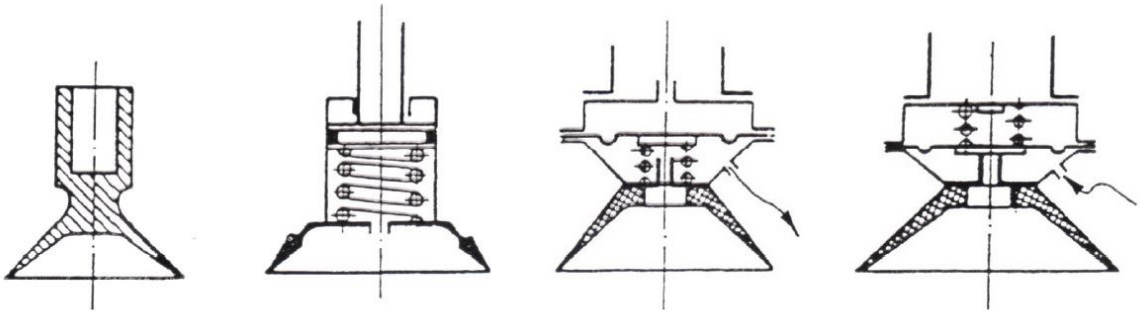
Pasivními podtlakovými úchopnými prvky jsou flexibilní deformační přísavky. K zachycení objektu dochází přitisknutím přísavky na jeho povrch anebo deformací přísavky zmenší objem jejího vnitřního prostoru, který se pružností stěn po uchopení zase do určité míry zvětší, tím vznikne požadovaný podtlak. Vyvolaná úchopná síla je závislá na styčné ploše objektu a také na tvaru a tuhosti přísavky. Konečné určení velikosti úchopné síly se neobejde bez testů. Při experimentování je zapotřebí vycházet z údajů výrobce přísavek.

Pro spolehlivé uchopení objektu je nutné dodržet podmínky vysoké těsnosti styku. Ta je podmíněná v prvé řadě hladkým a nezávadným povrchem. Z těchto důvodů se deformační přísavky využívají u úchopných hlavic při přepravě s objekty druhu rovných desek (plastových, plechových a skleněných tabulí apod.). K zajištění bezpečného přitisknutí přísavky na povrch objektu se občas využije viskosních tekutých látek. Ty se před přiblížením přísavek rozstřikují do prostoru styku.

Aplikovat lze dvě základní provedení deformačních přísavek. Na Obr. 17 a. je zobrazen příklad řešení pryžové deformační přísavky s upevněním na čep. Delší pružná válcová část dovoluje přizpůsobení i lehce zakřivenému povrchu dopravovaného předmětu.

Pokud nelze zajistit dostatečně hladký povrch předmětu, dá se aplikovat provedení dle Obr. 17 b. Proměnlivý vnitřní objem je vytvořen jako válec s odpruženým pístem. V závislosti na velikost kolísavého objemu lze udržovat podtlak i při určitých netěsnostech styku pryžové planžety s povrchem předmětu. Intenzita úchopné síly je možné nastavit při zachování aktivní plochy manžety úpravou tuhosti pružiny.

Uvolnění objektu od přísavek probíhá shodným způsobem jako u jiných typů pasivních úchopných prvků, nejlépe stáhnutím v tangenciálním směru. Uvolnění předmětu u deformačních přísavek lze řešit i některou metodou znázorněnou na Obr. 17 c-d (přísavka obsahuje pomocný ventil). [6]

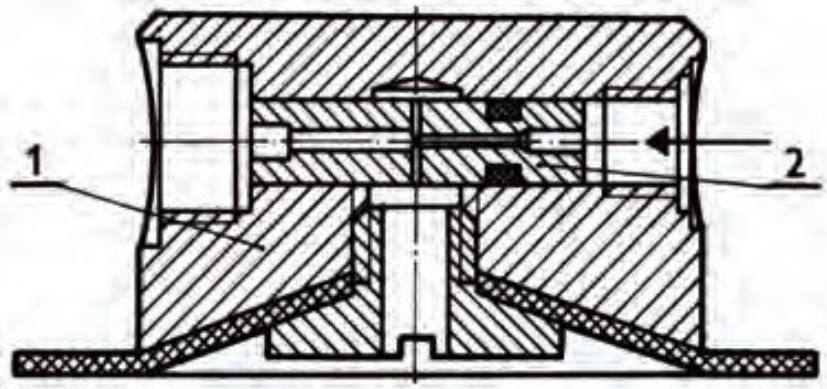


Obr. 19 a. Pryžová deformační přísavka s uchycením na čep, b. Přísavka s odpruženým pístem, c. Uvolnění objektu zrušením ovládacího signálu ovládacího signálu d. Uvolnění objektu přivedením [9]

Provedení podle Obr. 17 c. má doplněný pomocný ventil, ovládaný pomocí membrány, která je tlakem vzduchu prohnutá směrem dolů a uzavírá tak proti síle pružiny podtlakovou dutinu přísavky. Přerušením pneumatického ovládacího signálu nad membránou se ona následně napřímí a tím se uvolní cesta (naznačená šipkou) pro vyrovnání tlaku uvnitř přísavky s okolním prostředím a odezní působení úchopné síly na objekt bez potřeby ho odtrhávat z přísavky. Podobným způsobem lze vyřešit provedení s ventilem, řízeným elektromagnetem. Na Obr. 17 d. probíhá uvolnění předmětu, tak že se přivede pneumatický tlakový impulz pod membránu. Vyjma zastavení působení podtlaku uvnitř přísavky se současně docílí uvolnění převážně lehčích objektů, které by na přísavce mohly uváznout. [6]

b) Aktivní úchopné pneumatické hlavice

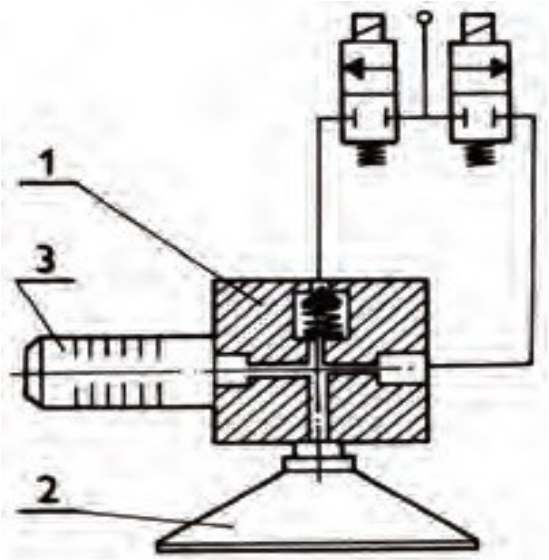
Podtlakové systémy, které jsou nazývány také jako podtlakové komory, ke své funkci používají vývěvy nebo ejektory. Ejektor je odsávací nebo čerpací tryskové zařízení, které je poháněno proudem vody, plynu nebo páry. Při aplikaci vývěvy se připojuje na stejné odsávací vedení i více podtlakových komor. Intenzita podtlaku je dána typem vývěvy, obvyklý rozsah je 30 až 80 kPa. Úchopné hlavice s ejektorem využívají z části zapojení několika podtlakových komor na společný ejektor nebo každá obsahuje svůj ejektor. V opačném případě vytváří podtlaková komora s ejektorem převážně jeden komplet (viz. Obr. 18).



Obr. 20 Integrovaná podtlaková přísavka s ejektorem [9]*:*

1 – přísavková hlavice, 2 – ejektor

Výhodou ejektorových podtlakových hlavic ve srovnání s vývěvou je nižší cena, v opačném případě je nepříznivě veliká spotřeba stlačeného vzduchu. Vhodné využití ejektorů je u menších úchopných hlavic. Ovládaní ejektorové podtlakové hlavice, doplněné na výfuku tlumičem hluku, je na Obr. 19; ejektorový celek má navíc vstup, kterým lze vést do podtlakové komory tlakový vzduch pro situaci rychlého uvolnění uchopeného předmětu. [6]



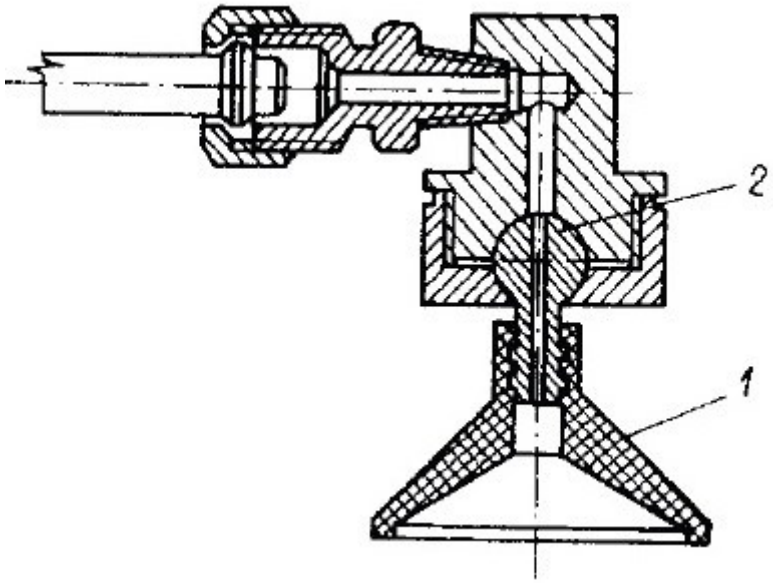
Obr. 21 Příklad ovládání ejektorové přísavky [9]:

1 - ejektorová hlavice, 2 – uchopovací manžeta,

3 – tlumič hluku

Samotná skladba podtlakových komor je snadná. Při realizaci jednodušší podtlakové komory ji lze zhotovit z pryžového disku, který se sevřením mezi kovové vložky zdeformuje do trychtýřovitého tvaru. Odváděcí vedení se připojí na montážní šroub

s průchozím otvorem. Ideální podtlakové komory, pokud jde o těsnost, jsou zformované průmyslově ve vulkanizačních formách. Podtlaková úchopná hlavice se skládá z jedné nebo více podtlakových komor s patřičným uložením a vybavením. Příklad zhotovení podtlakového prvku je na Obr. 20. Základní díl je podtlaková komora (1), která je zde řešena jako pryžová manžeta, nastrčena na dřík kulového čepu (2), který dovoluje přizpůsobení pozice vůči povrchu objektu. [6]



Obr. 22 Provedení aktivního podtlakového prvku s vyrovnáním polohy na kulovém čepu [9]

5.2 Technologické hlavice průmyslových robotů a manipulátorů

Technologické hlavice jsou konečným výrobním uzlem převážně u průmyslových robotů a přímo vykonávají požadovanou technologickou operaci. Rozdělují se dle druhu vykonávané práce (svařovací, montážní, lakovací aj.).

Konstrukce robota umožňuje nastavování pozice technologické hlavice v prostoru dle vyžadované technologické operace. Samotná funkce technologické hlavice je většinou obstarávána nezávislým systémem. Když je robot osazený svařovací hlavicí pro obloukové svařování, je na této hlavici systém pro dodání svařovacího drátu a hlavice je propojena s regulačním systémem pro zachování ideálních parametrů při svařování.

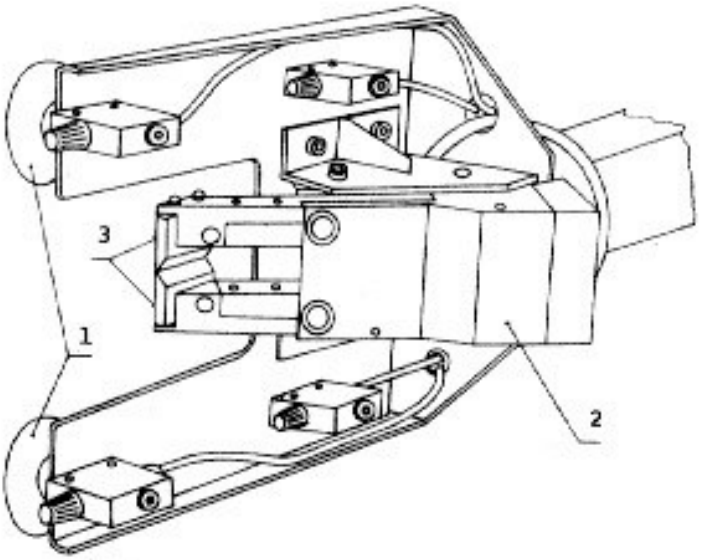
Obr. 23 Technologická hlavice - svařování [20]

Obrovský zájem při použití průmyslových robotů je o provedení automatické montáže. Tato automatizace montáže klade velké požadavky na konstrukci speciálních montážních hlavic. Při řešení montážní hlavice se dodržují tyto podmínky:

- Schopnost přizpůsobení relativní polohy při montážním pohybu součástí.
- Řízení montážní síly. [9;11]

5.3 Kombinované hlavice průmyslových robotů a manipulátorů

Konstrukce kombinované hlavice umožňuje vykonávat dvě i více funkcí najednou. Například kombinaci úchopné a technologické funkce (Obr. 16). [9;11]



Obr. 24 Příklad kombinované hlavice (1 – přísavky, 2 – schopná hlavice, 3 – střihací čelisti [9]

Hlavice zajišťuje manipulaci s výstřižky s paralelním provedením technologické operace odstřižení vtoku. Uchopení obstarávají čtyři podtlakové ejektorové komory (Poz. 1 na Obr. 22) pneumaticky ovládané, nůžky jsou technologický úsek (Poz. 2), ukončeny břity (Poz. 3). Jednou z výhod vysvětleného příkladu kombinované pracovní hlavice je zkrácení pracovního cyklu, protože se sloučí čas manipulace při vyjímaní výstřižku ze stroje s časem pro odstřižení vtoku. Dalším důsledkem je zjednodušení organizace pracoviště. Ostřihovací stanice je nepotřebná, protože ostřihování je začleněno do pracovní hlavice. Zásadní je i fakt, že se nemusí řešit vkládání výstřižku do ostřihovací stanice a následné vytahování. [9;11]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

Výběr optimální varianty řešení byl proveden na základě analýzy hodnocení jednotlivých variant v jednotlivých požadavcích na konstrukční řešení a nevyčíslitelných účinků tohoto řešení. Ekonomická nákladnost je řešena odděleně od nevyčíslitelných účinků.

Hodnocení je na stupnici od 1 do 5, přičemž 1 odpovídá velmi dobrému řešení, 2 dobrému řešení, 3 vyhovujícímu řešení, 4 dostatečnému řešení a 5 nevyhovujícímu řešení. Na závěr jsou body u jednotlivých variant sečteny a ta s nejnižším počtem bodů je vyhodnocena jako nejlepší. Tato varianta bude následně podrobně zpracována.

6.1 Kritéria hodnocení

1) Počet poháněných os – každá poháněná osa odpovídá jednomu bodu.

2) Náročnost řízení polohy – hodnocení náročnosti programového řízení polohy os jednotlivých variant jako je složitost pohybu manipulátoru a návaznosti jednotlivých pohybů. Nejsložitější varianta 5 bodů, nejjednodušší 1 bod.

3) Ulička mezi stroji a přístup k hydraulickému agregátu – hodnocení, zda je dosaženo jednoho ze základních požadavků na manipulátor a to zachování uličky mezi stroji a přístupu k hydraulickému agregátu. Ulička zachována, přístup k agregátu umožněn 1 bod, průchod mezi stroji a k agregátu znemožněn 5 bodů.

4) Přístup k pohonným jednotkám – přístup obsluhy a servisu k hydraulickému agregátu, ale také k panelu s pneumatickými prvky. Přístup zachován 1 bod, přístup omezen částečně 3 body, přístup znemožněn 5 bodů.

5) Přesnost polohování – hodnocení, jak je možné přesně najet na dané souřadnice opakovaně. Velmi dobrá přesnost 1 bod, nevyhovující přesnost 5 bodů

6.2 Hodnocení jednotlivých variant

Jednotlivé varianty a výběrová kritéria byly přehledně utříděny do tabulky. Bylo jim přiřazeno příslušné bodové ohodnocení. Následně byly body pro každou navrhovanou variantu sečteny a zvýrazněn sloupec, který z tohoto porovnání vyšel vítězně. Toto kinematické uspořádání bude dále zpracováno do finální podoby.

Tabulka 1 Hodnocení variant

	1. varianta – podvěsný manipulátor s lineárním vertikálním posuvem	**2. varianta – podvěsný manipulátor s teleskopickým vertikálním posuvem**	**3. varianta – kartézský manipulátor**	**4. varianta – sloupový manipulátor**	**5. varianta – manipulátor s lineárním vertikálním posuvem zavěšeným na stěně**	**6. varianta – dvouosý manipulátor s lineárním vertikálním posuvem**
Počet poháněných os	3	3	3	3	3	2
Náročnost řízení polohy	3	3	1	3	2	2
Volný prostor před strojem	1	1	5	1	1	2
Volný prostor za strojem	1	1	5	3	3	3
Přesnost polohování	5	2	2	3	2	2
Suma bodů	13	10	16	13	11	11

Z tabulky vyplývá, že nejvhodnější variantou je varianta číslo 2 – „podvěsný manipulátor s teleskopickým vertikálním posuvem“. Tato varianta bude dále zpracována.

7 KONCEPČNÍ NÁVRH

Podmínky pro návrh manipulátoru jsou tedy následující:

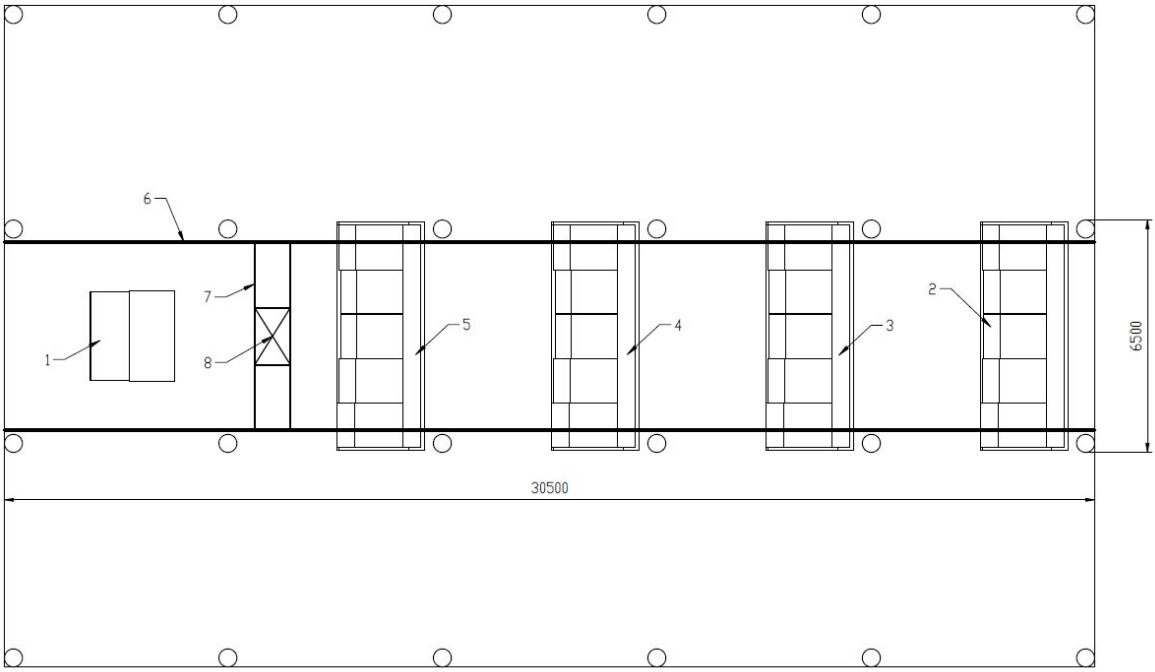
1. Manipulace s předmětem (pilový pás) z bodu A (skladovací zásobník) do bodu B (strojům) a nazpět.

2. K uchopení pásu by měl sloužit mechanický efektor.

3. Maximální váha největšího pásu je 50 kg.

4. Výška stropu 3,75 m, uchycení man ke kulatým sloupům. Osa Z by měla dosahovat zdvihu minimálně 2300 mm, aby byl možný přejezd nad stroji.

5. Aktuátor manipulátoru musí umožňovat sklonění o 90°, pásy jsou obráběny v horizontální poloze



Obr. 25 Manipulační prostor (1- zásobník, 2 - stroj 1, 3 - stroj 2, 4 - stroj 3, 5 - stroj 4, 6 - osa X, 7 - osa Y, 8 osa Z s efektorem)

8 PORTÁLOVÝ MANIPULÁTOR

Na mysli je manipulátor typu TTT (kartézský), který se pohybuje lineárně po osách XYZ.

Konstrukce manipulátoru je rozdělaná na tři podsystémy. Pro zjednodušení navrhování jsou některé díly konstrukce použity z katalogu firmy DEMAG, firma nabízejí zákazníkům produkty k použití z oblasti manipulačních technologií.

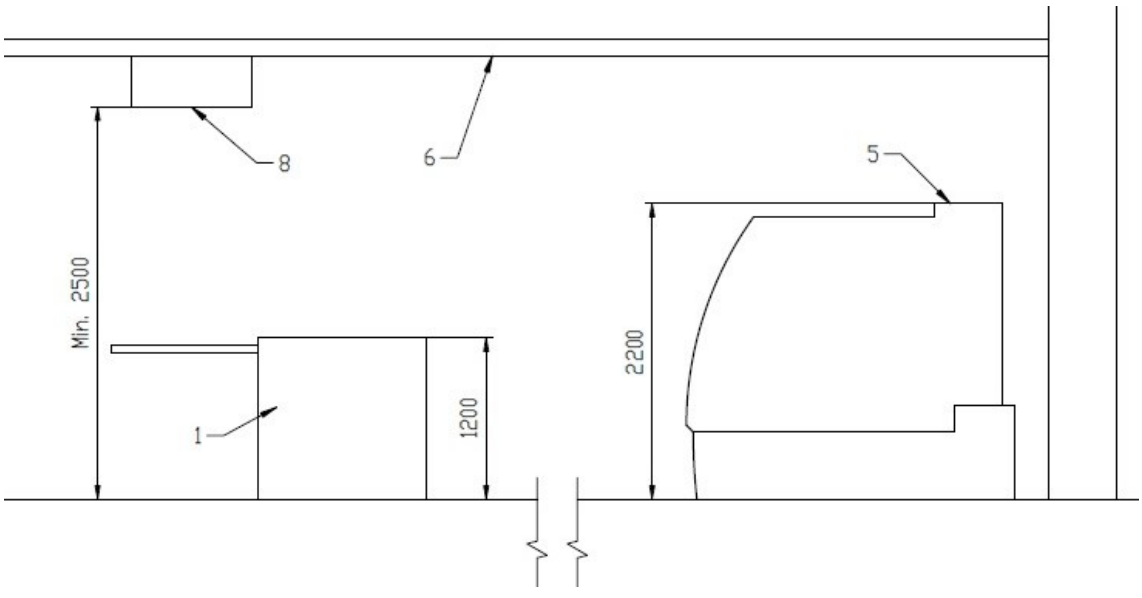
- Návrh pojezdu
- Návrh těla spouštění
- Návrh efektoru

8.1 Návrh efektoru

Osa Z zajištuje vertikální pohyb s předmětem. Na její spodní části se nachází efektor, pomocí kterého je předmět uchopen.

V tomto případě by měla osa Z dosahovat zdvih:

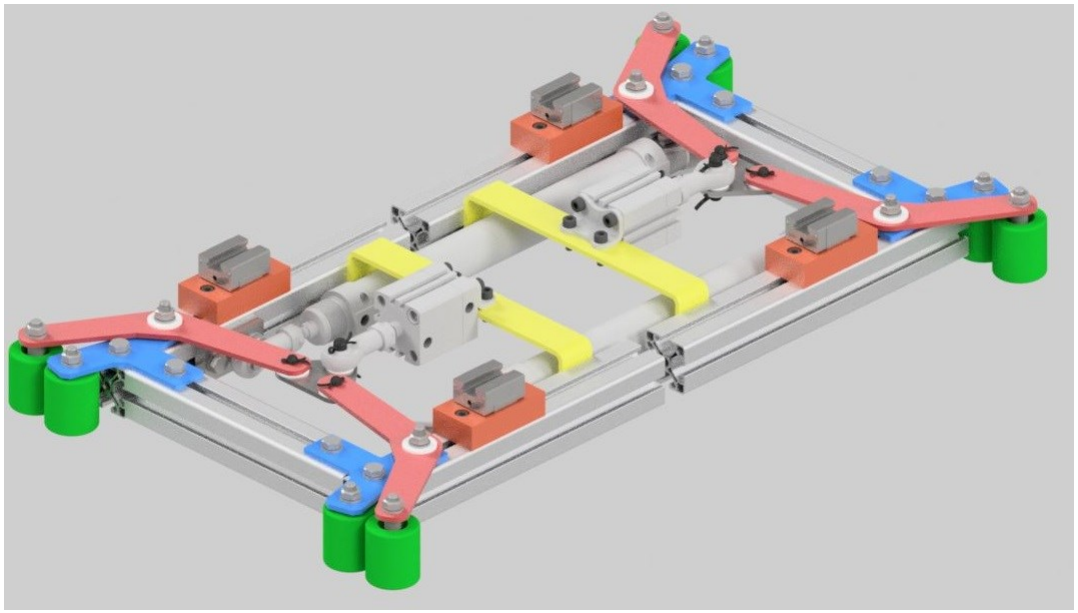
- pracovní minimálně 1250 mm. Kde 1200 mm je potřebných k zakládání pilových pásu do skladovacího zásobníku. Dalších 50 mm slouží jako rezerva pro přejezd nad skladovacím zásobníkem.
- bezpečný minimálně 2500 mm pro přejezd manipulátoru s předmětem nad stroji a obsluhou. Kde 2400 mm je dán Nařízením vlády č. 375/2017Sb. a 100 mm je rezerva.



Obr. 26 Výška pojezdu osy Z (1- zásobník, 5 - stroj 4, 6 - osa X, 8 osa Z s efektorem)

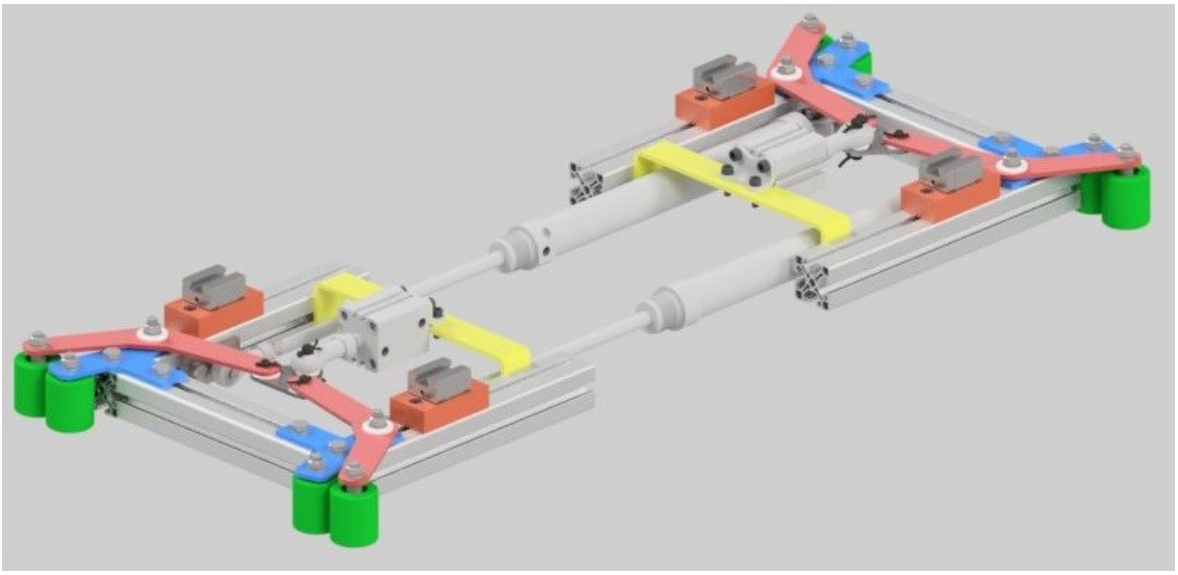
8.1.1 Úchopná hlavice

Pracovní hlavice zprostředkovává uchopovací pohyby manipulátoru. Skládá se z jednoduchého rámu, který je složený z hliníkových profilů firmy Alutec KK. Na tento rám jsou připevněny kladky, které plní funkci čelistí pro uchopení pilového pásu. Jsou čtyři pevné s možností otáčení kolem svojí vertikální osy a čtyři pohyblivé. Tyto pohyblivé kladky jsou propojeny s pneumatickým válcem, který dle potřeby uvolní nebo zachytí pás.



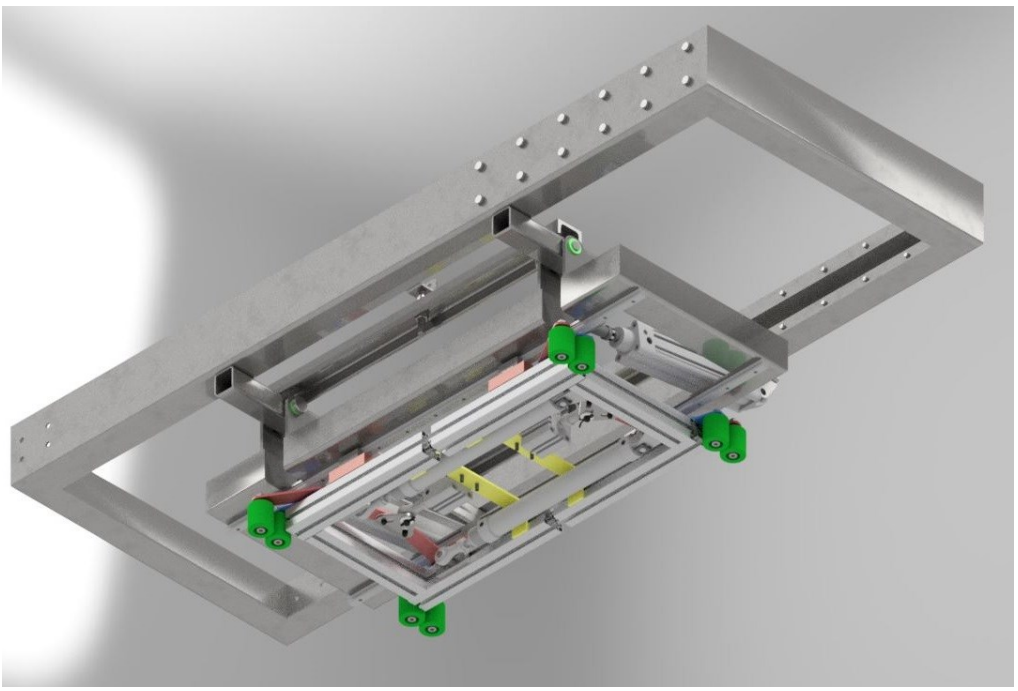
Obr. 27 Navržený efektor

Navrženy efektor má možnost roztažení do délky. Změny délky docílíme díky dělenému rámu, zabudovaných dvou pneumatických válců pro prodloužení a čtyř vozíčků lineárního kuličkového vedení. Prodloužením efektoru by mělo být poté snadnější uchopení pilových pásů větších délek.

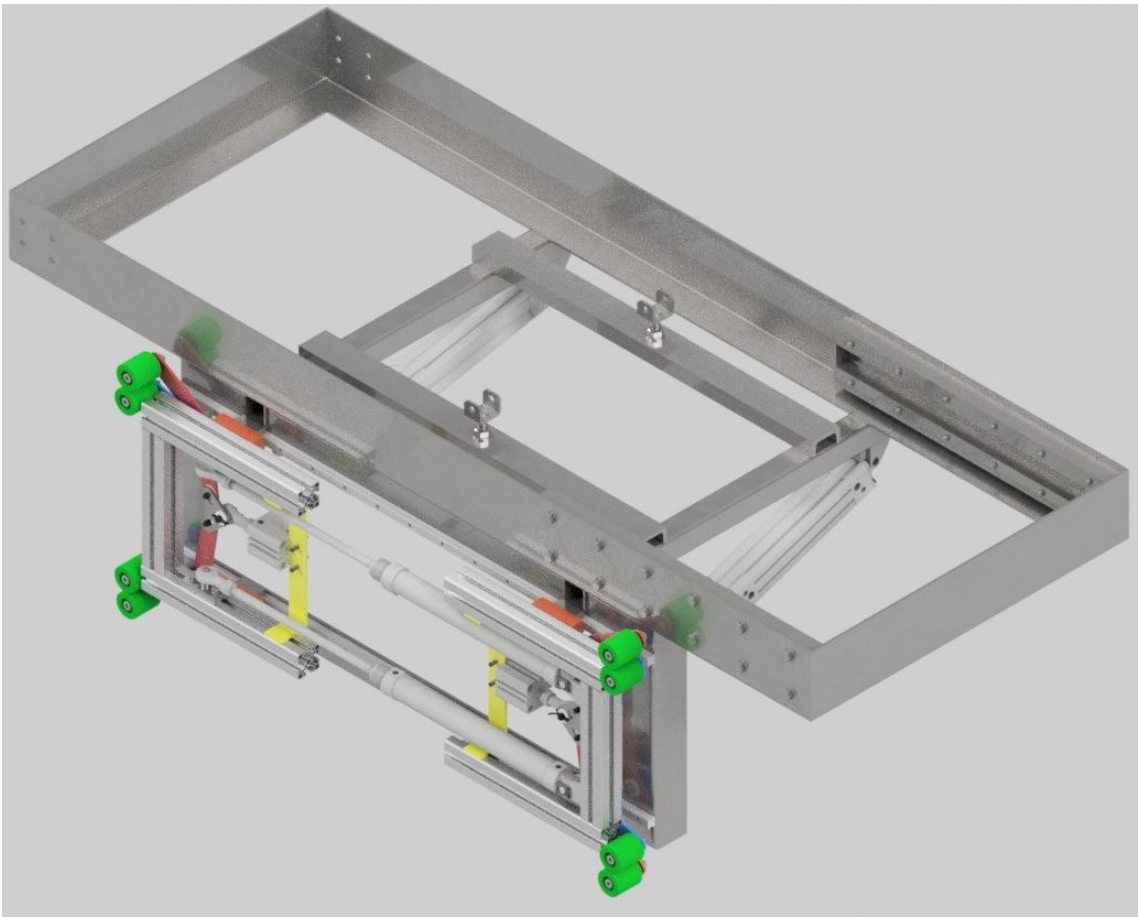


Obr. 28 Navržený efektor - roztažený

Pracovní hlavice je přes vozíčky lineárního kuličkového vedení nasunuta na kolejnici, která je namontována na nosný spodní rám. Takto utvořený celek poté vykonává požadovanou funkci vyklopení o 90°, aby bylo možné pilové pásy opracovávat ve strojích. Vyklopení zajišťují dva pneumatické válce



Obr. 29 Spodní rám s efektorem



Obr. 30 Spodní rám s efektorem ve vyklopené pozici

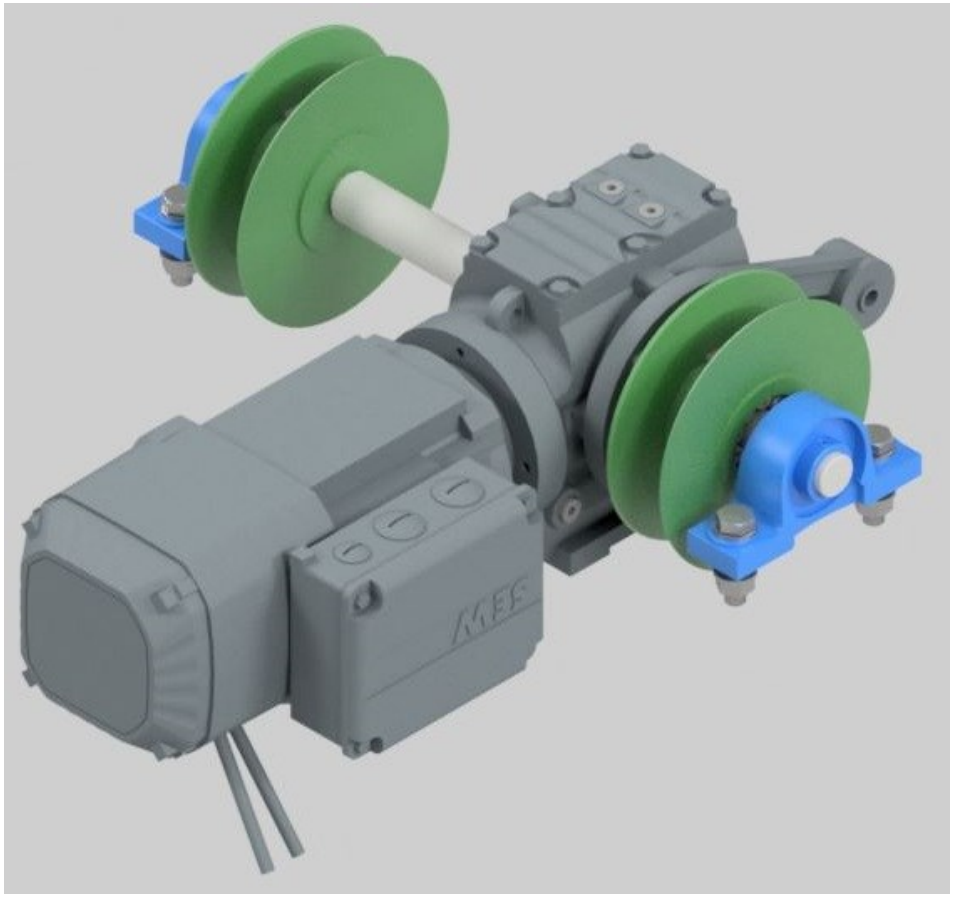
Pohon osy Z

Pro tento účel je vybrána šneková převodovka s třífázovým motorem od firmy SEW EURODRIVE s těmito parametry:

- jmenovité otáčky motoru: 1415 1/min,
- výstupní otáčky: 17 1/min,
- výstupní krouticí moment: 134 Nm,
- typ konstrukce: M1A,
- dutá hřídel: 25 mm,
- povolená výstupní radiální síla při n=1400: 4500 N,
- výkon motoru: 0,37 mm,
- napětí motoru: 230/400 V,
- brzdný moment: 5 Nm,

- brzdové napětí: 230 V.

Pohon je vybaven frekvenčním měničem, aby bylo dosaženo přesnějšího polohování.

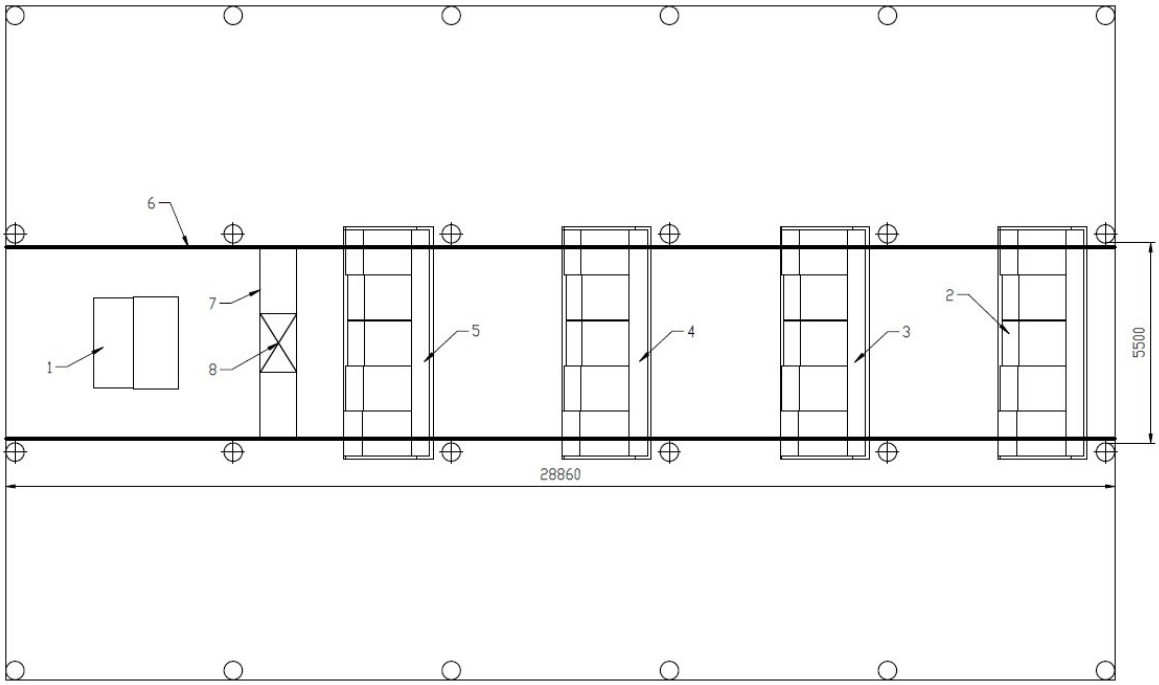


Obr. 31 Soustava zdvíhání osy Z

8.2 Návrh pojezdu

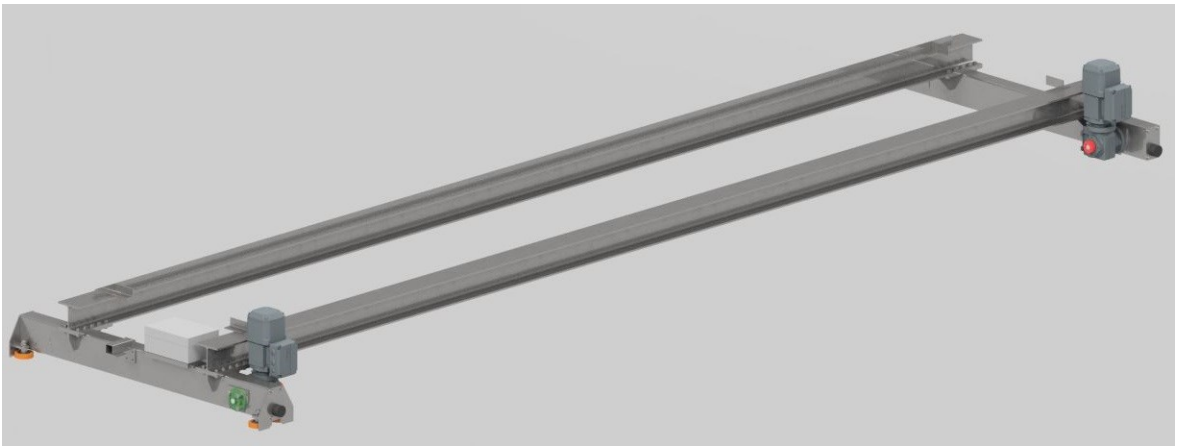
8.2.1 Osa X

Osa X zajišťuje jednu ze složek pohybu v horizontálním směru. Je k ní připojena osa Y, která se díky ní pohybuje. Osová vzdálenost pojezdu osy X je zvolena na 28860 mm. Pojezd osy X je řešen jako portál pojíždějící na 4 - kolovém podvozku. Podvozek je tvořen dvěma základními nosníky z jäklu 140x80 mm a dvěma příčníky z I-profilu HEA120.



Obr. 32 Délka pojezdu osy X(1- zásobník, 2 - stroj 1, 3 - stroj 2, 4 - stroj 3, 5 - stroj 4, 6 - osa X, 7 - osa Y, 8 osa Z s efektorem)

Pojezd pojíždí po horní ploše dráhy, která je tvořena dvěma nosníky složených z profilu I IPE120 a ploché tyče 40x25 o rozteči 5120 mm. Navařená plochá tyč na jedné straně tvoří vedení vodících kladek pojezdu osy X. Základní rám dále nese obě pohonné jednotky (elekropřevodovky) pro pojezd včetně hřídelů s pojezdovými koly. Pojezd je vybaven výsuvnou konzolou (ramenem) sloužící k tahání kabelových „koček“ (může být dle potřeby umístěna na obou stranách dopravníku) nebo k připojení energetického řetězu. Pro připojení a propojení elektroinstalace slouží rozvodná skříň umístěná na konzole a připevněná k pojezdu.



Obr. 33 Konstrukce pojezdu osy X

Zatěžující síla Fy

Tato síla je vyvolána hmotností jednotek os Z a Y (pohony, motory, převodovky, pracovní hlavice, energetické řetězy atd.) a působí na I-profil HEA120.

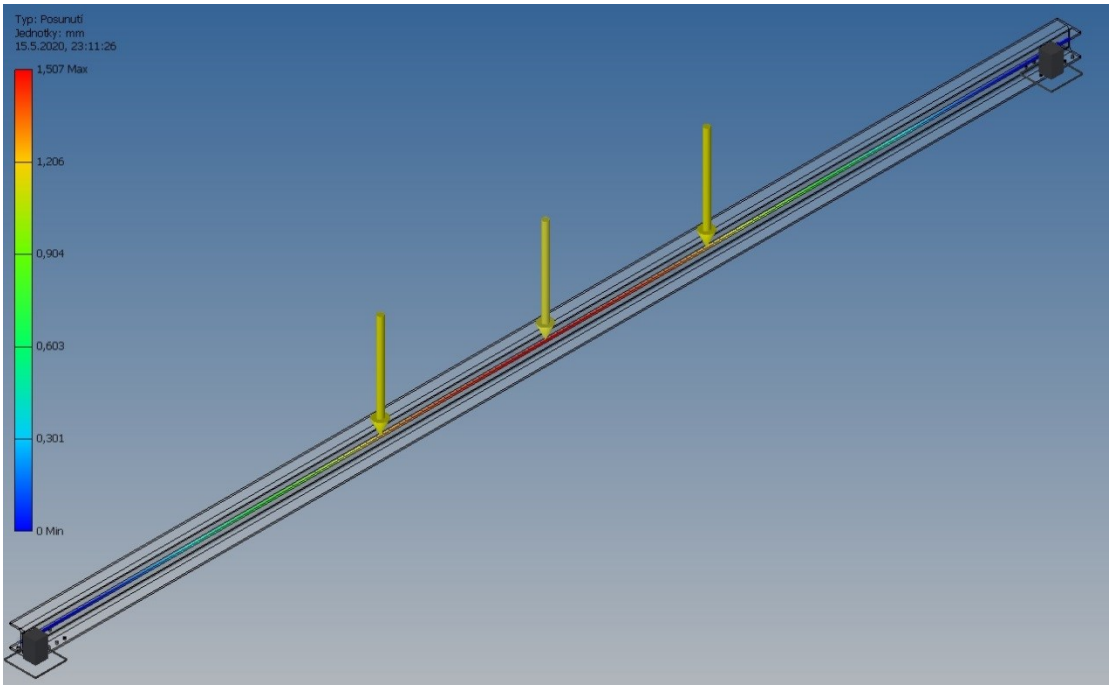
m= 180 kg + 140 kg = 320 kg

F = m. g = 320 . 9,81 = 3139,2 N

Síla vyvolaná hmotností jednotek os Z a Y je 3139,2 N, hodnotu zatížení povýším o bezpečnost k=2 pro výpočet průhybu profilů pojezdu. Zatížení na rám pojezdu osy X bude tedy 6278,4 N.

Průhyb profilu HEA120

Kontrolní výpočet je provedený v 3D kreslícím programu Inventor 2019.



Obr. 34 Výsledek výpočtu průhybu I-profilu HEA120

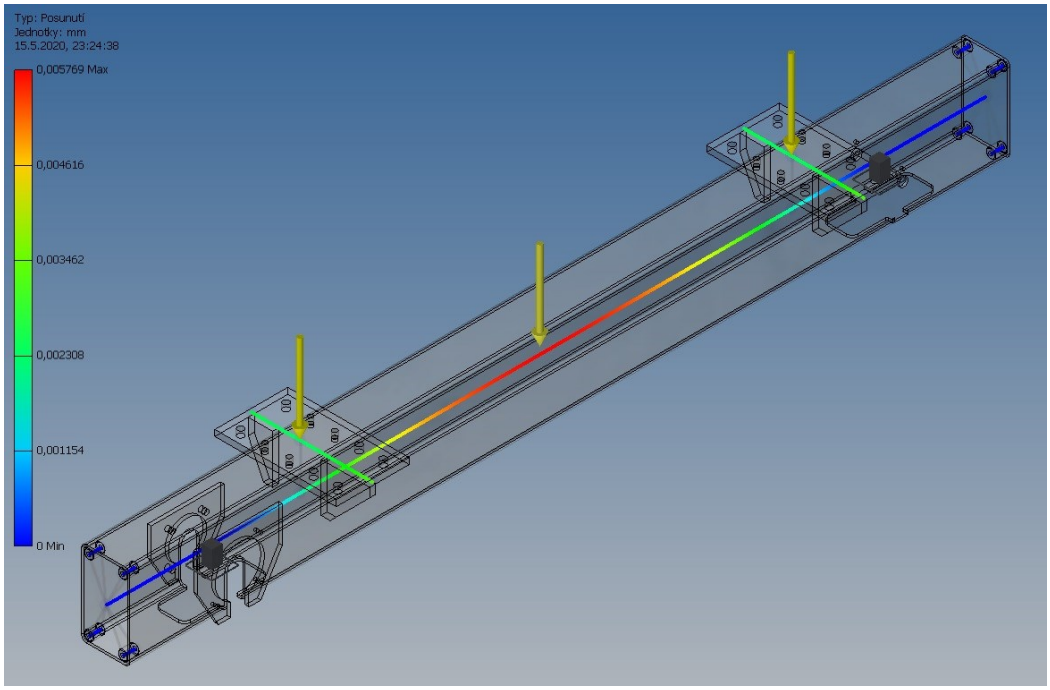
Maximální průhyb profilu dosahuje 1,5 mm, což vyhovuje maximální dovolené hodnotě 2 mm.

Zatěžující síla Fy2

Tato síla je vyvolána z výpočtu průhybu I-profilu HEA120 jako reakce na působení hmotností osy Z a Y. Síla vyvolaná reakcí na hmotnosti jednotek os Z a Y je 2066 N.

Průhyb profilu jäkl 140x80x4

Kontrolní výpočet je provedený v 3D kreslícím programu Inventor 2019.



Obr. 35 Výsledek výpočtu průhybu jäkl 140x80x40

Maximální průhyb profilu dosahuje 0,005 mm, což vyhovuje maximální dovolené hodnotě 2 mm.

Pohon osy X

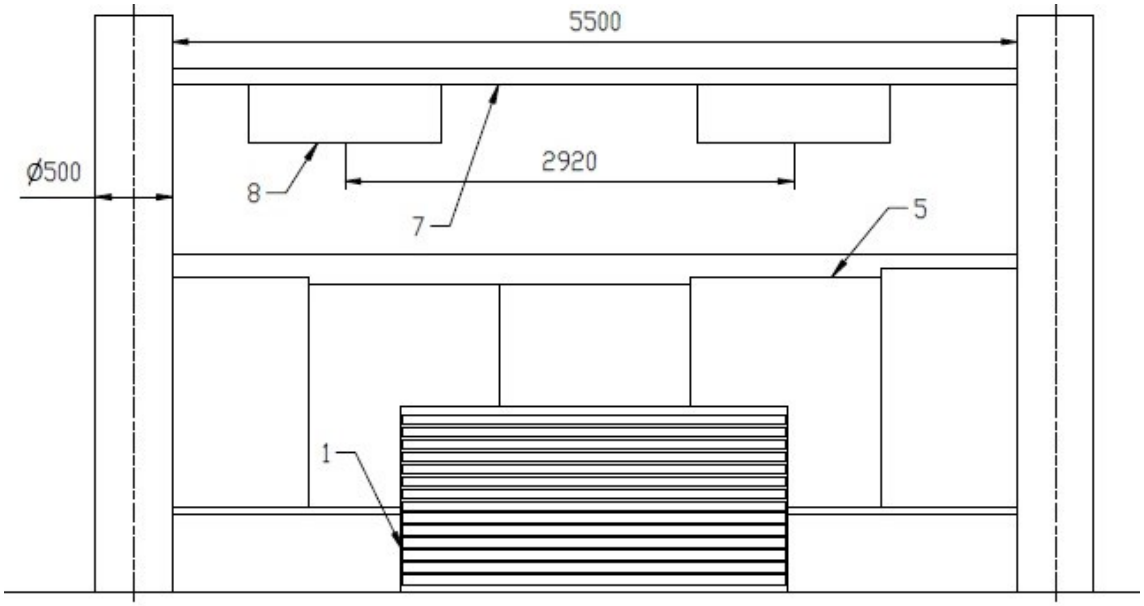
Pro tento účel je vybrána 2x šneková převodovka s třífázovým motorem od firmy SEW EURODRIVE s těmito parametry:

- jmenovité otáčky motoru: 1415 1/min,
- výstupní otáčky: 38 1/min,
- výstupní krouticí moment: 74 Nm
- typ konstrukce: M4A a M4B
- dutá hřídel: 20 mm
- výkon motoru: 0,37 mm
- napětí motoru: 230/400 V
- brzdný moment: 5 Nm
- brzdové napětí: 230 V

Pohon je vybaven frekvenčním měničem pro plynulejší pohyb po dráze, a aby bylo dosaženo přesného polohování.

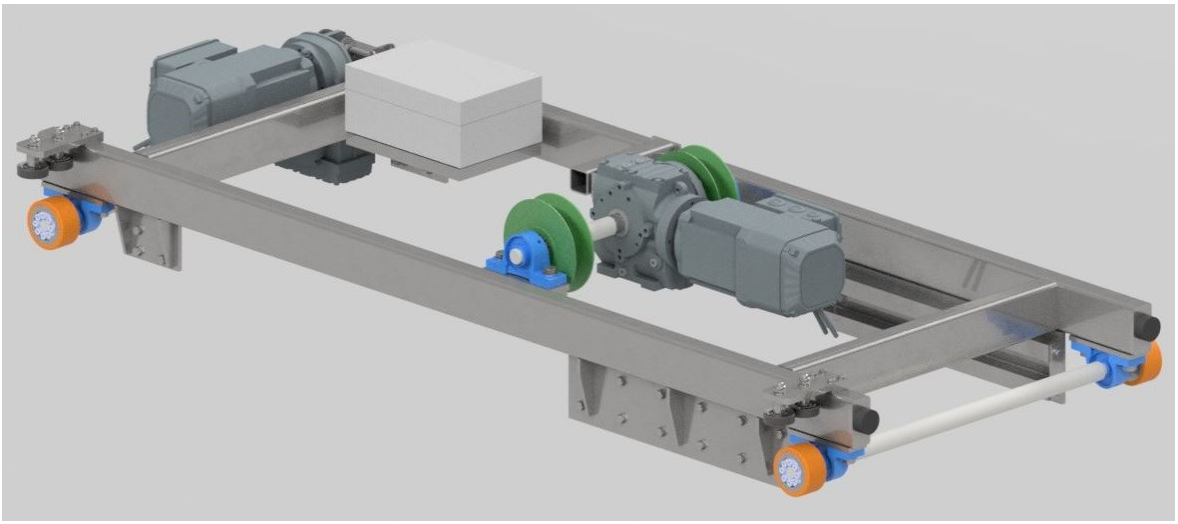
8.2.2 Osa Y

Osa Y zajišťuje druhou ze složek pohybu v horizontálním směru. Je k ní připojena osa Z, která se díky ní pohybuje. Osová vzdálenost pojezdu osy Y je 2920 mm.



Obr. 36 Délka pojezdu osy Y (1- zásobník, 5 - stroj 4, 7 - osa Y, 8 osa Z s efektorem)

Pojezd pojíždí po vnitřních spodních přírubách příčníku pojezdu osy X, která je tvořena dvěma profily I HEA120 o rozteči 810 mm. Na jednom z profilů je navařený nerovnoměrný L-profil, který slouží, jako vedení vodících kladek pro pojezd osy Y. Rám pojezdu je řešen jako 4 - kolový se základním obdélníkovým rámem, na který je připevněn svislý nůžkový rám a rám s efektorem. Základní rám dále nese pohonné jednotky pro zdvih a pojezd včetně hřídelí s pojezdovými koly a kladkami pro zdvih. Pojezd je také vybaven výsuvnou konzolou (ramenem) sloužící k tahání energetického řetězu. Pro připojení a propojení elektroinstalace slouží rozvodná skříň umístěná na konzole na boku manipulátoru.



Obr. 37 Konstrukce pojezdu osy Y

Kompletní nastrojená osa Z dosahuje hmotnosti cca 130 kg + maximální váha břemene 50kg, což dohromady je 180 kg.

Zatěžující síla Fy

Tato síla je vyvolána hmotností celé jednotky osy Z (pohon, motor, převodovka,

pracovní hlavice atd.).

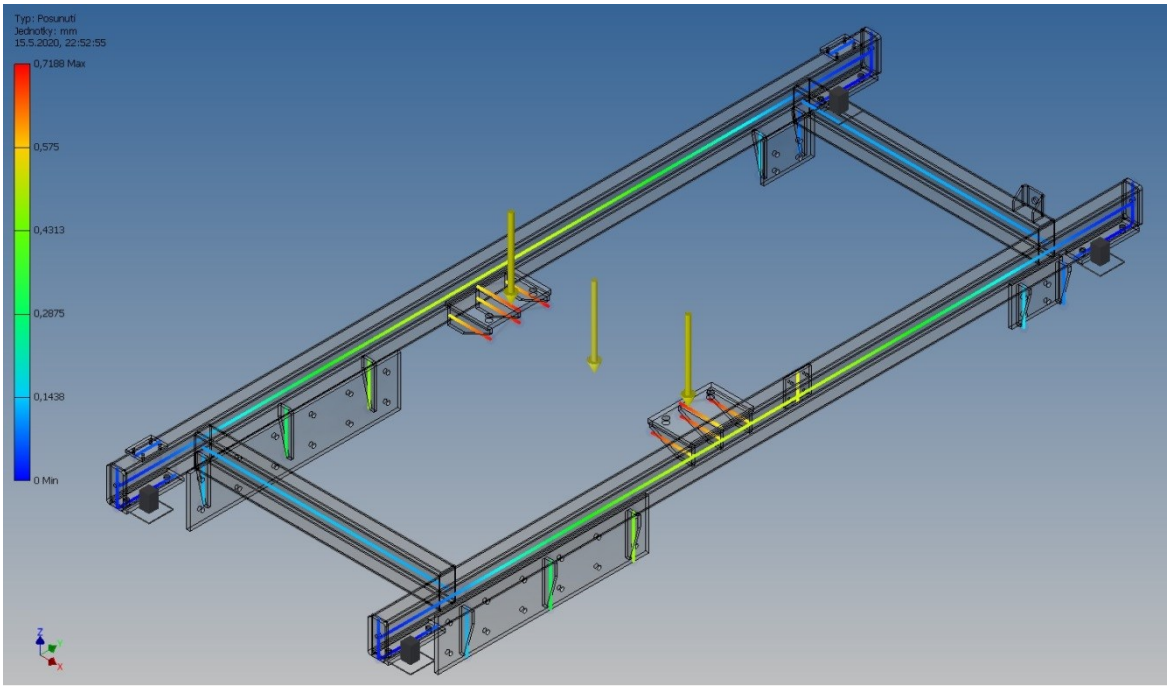
m= 180 kg

F = m. g = 180 . 9,81 = 1765,8 N

Síla vyvolaná hmotností jednotky osy Z je 1765,8 N, hodnotu zatížení povýším o bezpečnost k=2 pro výpočet průhybu profilu pojezdu. Zatížení na rám pojezdu osy Y bude tedy 3531,6 N.

Průhyb profilu jäkl 80x40x3

Kontrolní výpočet je provedený v 3D kreslícím programu Inventor 2019.



Obr. 38 Výsledek výpočtu průhybu profilu

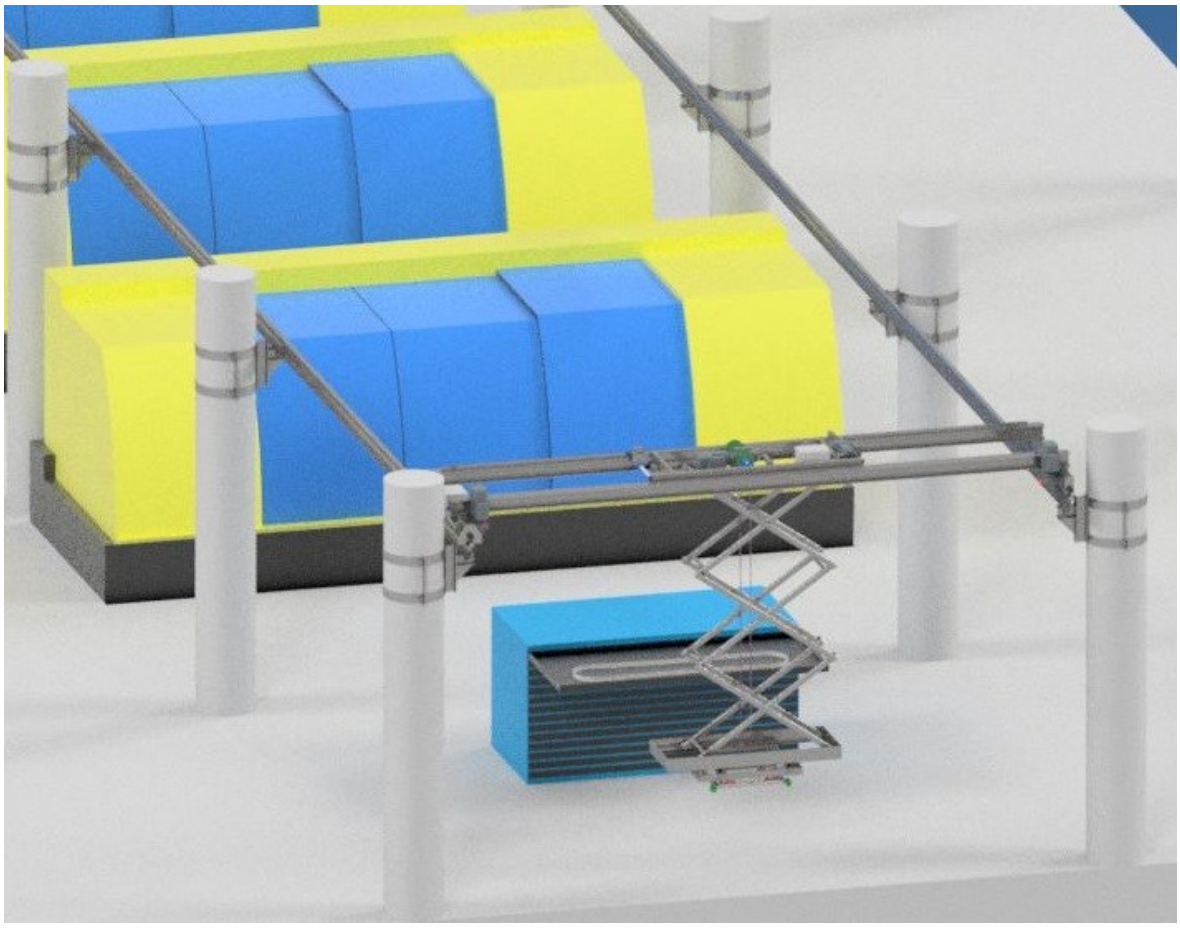
Maximální průhyb profilu dosahuje 0,718 mm, což vyhovuje maximální dovolené hodnotě 2 mm.

Pohon osy Y

Pro tento účel je vybrána plochá převodovka s třífázovým motorem od firmy SEW EURODRIVE s těmito parametry:

- jmenovité otáčky motoru: 1415 1/min,
- výstupní otáčky: 30 1/min,
- výstupní krouticí moment: 116 Nm
- typ konstrukce: M1
- dutá hřídel: 25 mm
- povolená výstupní radiální síla při n=1400: 4500 N
- výkon motoru: 0,37 mm
- napětí motoru: 230/400 V
- brzdný moment: 5 Nm
- brzdové napětí: 230 V

Pohon je vybaven frekvenčním měničem pro plynulejší pohyb po dráze, a aby bylo dosaženo přesného polohování.



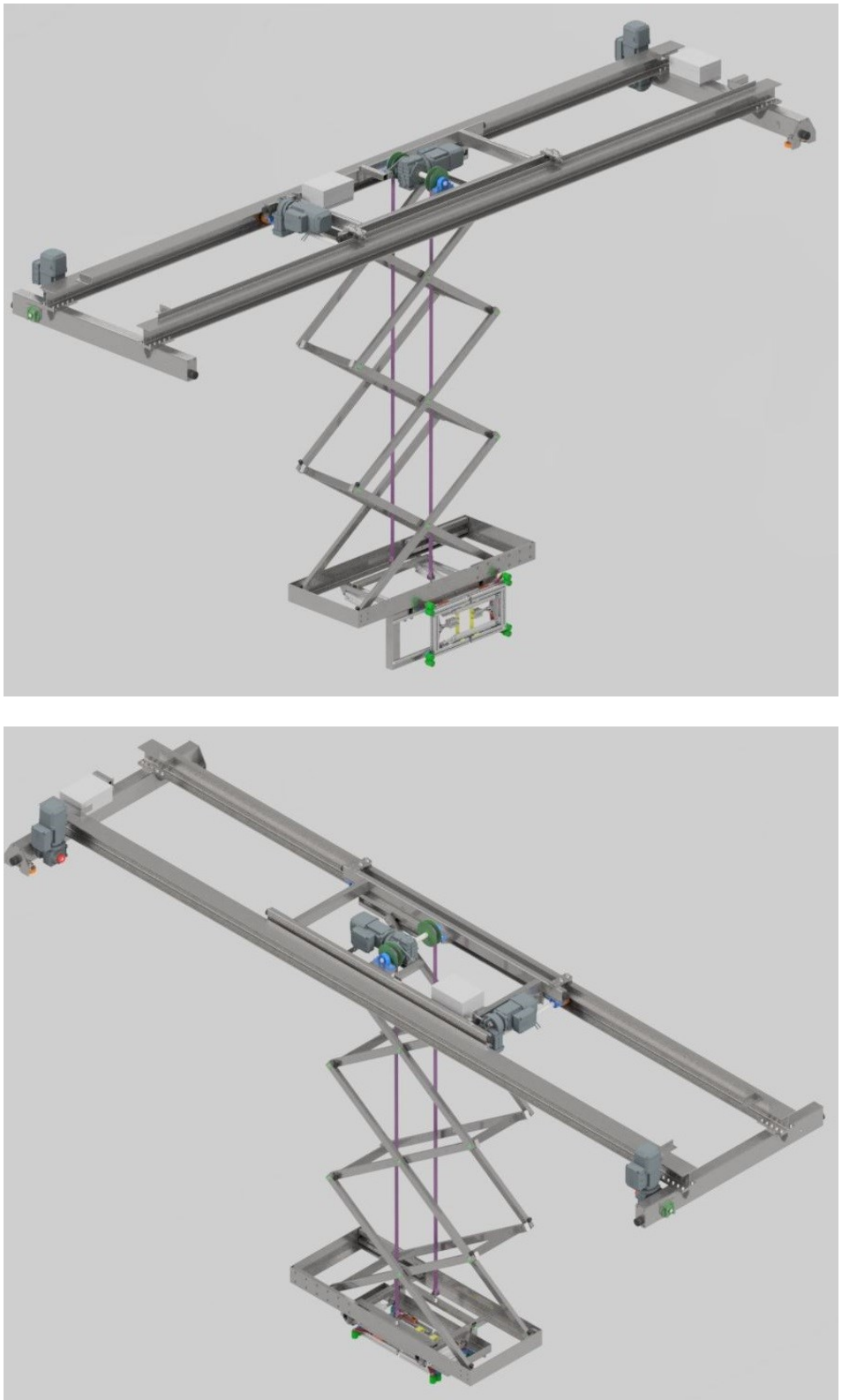
Obr. 39 Zobrazení provozovny

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout konstrukci transportního manipulátoru s uchopovací hlavicí na pilové pásy.

V obecné části jsou popsány základní druhy průmyslových robotů a manipulátorů, jejich rozdělení dle použití a vlastností. Dále pohony jaké jsou možné použít pro oživení PRaM a nakonec rozdělení pracovních hlavic

Samotný manipulátor se pohybuje ve třech osách. Zdvihová soustava umožňuje svislý pohyb spodního rámu s efektorem s plynulou změnou rychlosti. Tvoří jej převodovka s brzdovým elektromotorem upevněná na hřídeli, navíjecími kladkami a nosnými polyesterovými pásy. Převodovka s brzdovým motorem je vybavena záchytem reakce krouticího momentu. Hřídel je k rámu přišroubována pomocí ložiskových domků. Na hřídeli jsou pomocí svěrného spojení typu TOLLOK upevněny navíjecí kladky s polyesterovými pásy. Nosné pasy jsou jedním koncem upevněné v navíjecích kladkách. Okem na druhém konci pásu prochází čep úchytu na spodním rámu. K rámu osy Y je též připevněný nůžkový mechanismus, který plní funkci vedení spodního rámu. Osa Y ve formě pojezdového vozíku má možnost pojíždět po vnitřní straně příčníku pojezdu osy X. Pojezd osy Y činní 2920 mm. Pohon je tvořen převodovkou s brzdovým elektromotorem, navlečenou na hnací pojezdovou hřídel, kde krouticí moment z převodovky se na hřídel přenáší těsným perem. Hřídel je pomocí ložiskových těles (domků) přišroubována k pojezdovému rámu. Na obou koncích hřídele jsou pomocí svěrných spojení TOLLOK upevněna pojezdová kola. Pojezdová kola jsou ocelová s polyuretanovou kontaktní plochou. Na protilehlé straně rámu je obdobně uchycena hnaná pojezdová hřídel. Osu X pohánějí dvě převodovky s brzdovým elektromotorem. Osa X disponuje také energetickým řetězem pro vedení kabeláže. Celý manipulátor je převážně postaven z materiálů S235, který je opatřen základním nátěrem a dvěma vrchními nátěry dvousložkovou barvou. Nosným elementem je tkaný polyesterový popruh s pevností nad 20 kN



Obr. 40 Manipulátor

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] ČISCOŇ, J. *Příčník mostu jeřábu 36000 kg.*, Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Břetislav Mynář.

[2] SKAŘUPA, J. Průmyslové roboty a manipulátory. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1522-0.

[3] KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty I: Konstrukce PRaM*. Brno: VUT Brno, 1993. ISBN 80-214-0526-0.

[4] Triple Articulated Manipulator. In: Ergonomic Partners [online]. Bridgeton: Ergonomic Partners, c2018 [cit. 2020-05-08].

Dostupné z: https://www.ergonomicpartners.com/manipulator-arms.aspx

[5] HAVEL, I. M. *Robotika: Úvod do teorie kognitivních robot*ů., 1980. 234 s.

[6] RUMÍŠEK, P. *Automatizace - Roboty a manipulátory.* [online]. Brno: VUT, 2003 [cit. 2020-04-13]. Dostupnost z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/emm_mechanizace_a_automatizace_roboty_rumisek.pdf

[7] MATIČKA, R. a TALÁCKO J. *Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1991, 269 s. ISBN 80-03-00567-1.

[8] KOLÍBAL, Zdeněk, KNOFLÍČEK, Radek. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů.* vyd. Košice: VIENALA, 2000. 185 s.

ISBN 80-88922-27-5.

[9] BLECHA, P., et al. *Mechatronika : Modul 10: Robotika* [online]. Brno: VUT, 2008 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/FRM/Robotika.pdf

[10] *Výrobní stroje: obráběcí* [online]. [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobni_stroje/obrabeci.pdf

[11] VOLEK, F. *Základy konstruování a částí strojů II. Mechanizmy strojů*. Zlín: UTB, 2003. ISBN 80-7318-111-8

[12] TALÁCKO, J. a MATIČKA R. *Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1995, 236 s. ISBN 8001012913.

[13] *Stejnosměrný motor DOGA*. CONRAD E-shop [online]. [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://www.conrad.cz/motory-na-stejnosmerny-proud.c1101101

[14] *Asynchronní motor*. Wikipedia The Free Encyclopedia [online]. [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor

[15] *Krokový motor*. Wikipedia The Free Encyclopedia [online]. [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Krokov%C3%BD_motor

[16] *HYDRAULICKÉ A PNEUMATICKÉ MECHANISMY* [online]. Příbram: Střední průmyslová škola [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: http://www.spspb.cz/wp-content/uploads/dumy/str/VY_32_INOVACE_BE_STR_04.pdf

[17] *Lopatkovy vzduchový motor.* BIBUS s.r.o. [online]. [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://www.bibus.cz/prehled-produktu/pneumatika/vzduchove-motory/lopatkovy-vzduchovy-motor/

[18] MAŇAS, M. Základy robotiky. Brno: VUT Brno, 1991. ISBN:80-214-0279-2

[19] Magnetické úchopové prvky. Goudsmit magnetics [online]. 2019, 2018(1) [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: https://www.goudsmitmagnets.com/cz/

[20] Svařovací robot. FERIER s.r.o [online]. 2019, 2019(1) [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: http://www.ferier.cz/svarovaci-roboty-cloos/system-robotizace-mechanika/

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Fy	síla v ose y	[N]
k	koeficient bezpečnosti	[-]
RRR	tři rotační dvojice	
RRT	dvě rotační a jedna translační dvojice	
RTT	jedna rotační a dvě translační dvojice	
TTT	tři translační kinematické dvojice	

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Rozdělení manipulačních zařízení 12

Obr. 2 Jednoúčelový teleoperátor pro manipulaci s břemeny [4] 13

Obr. 3 Schéma průmyslového robota 1. generace. [5] 14

Obr. 4 Schéma průmyslového robota 2. generace. [5] 15

Obr. 5 Schéma základních typů PRaM s pracovními prostory [9] 16

Obr. 6 Kartézský manipulátor [2] 17

Obr. 7 Rozdělení výrobních strojů dle technologického procesu 18

Obr. 8 Mechanické transformační členy druhu pohybu. [7] 20

Obr. 9 Stejnosměrný motor [13] 22

Obr. 10 Asynchronní motor [14] 22

Obr. 11 Krokový motoru [15] 23

Obr. 12 Hydrogenerátory: a) Zubové s vnějším ozubením; b) Šroubové; c) Axiální pístové; d) Radiální pístové [16] 24

Obr. 13 Rozdělení hydromotorů podle konstrukčního provedení [16] 25

Obr. 14 Lopatkovy vzduchový motor [17] 25

Obr. 15 Rozdělení úchopných hlavic 27

Obr. 16 Rozdělení úchopných prvků 28

Obr. 17 Rozdělení aktivních mechanických hlavic 29

Obr. 18 Přichycení materiálu pomocí magnetů [19] 31

Obr. 19 a. Pryžová deformační přísavka s uchycením na čep, b. Přísavka s odpruženým pístem, c. Uvolnění objektu zrušením ovládacího signálu ovládacího signálu d. Uvolnění objektu přivedením [9] 33

Obr. 20 Integrovaná podtlaková přísavka s ejektorem [9]*:* 34

Obr. 21 Příklad ovládání ejektorové přísavky [9]: 34

Obr. 22 Provedení aktivního podtlakového prvku s vyrovnáním polohy na kulovém čepu [9] 35

Obr. 23 Technologická hlavice - svařování [20] 36

Obr. 24 Příklad kombinované hlavice (1 – přísavky, 2 – schopná hlavice, 3 – střihací čelisti [9] 37

Obr. 25 Manipulační prostor (1- zásobník, 2 - stroj 1, 3 - stroj 2, 4 - stroj 3, 5 - stroj 4, 6 - osa X, 7 - osa Y, 8 osa Z s efektorem) 41

Obr. 26 Výška pojezdu osy Z (1- zásobník, 5 - stroj 4, 6 - osa X, 8 osa Z s efektorem) 42

Obr. 27 Navržený efektor 43

Obr. 28 Navržený efektor - roztažený 44

Obr. 29 Spodní rám s efektorem 44

Obr. 30 Spodní rám s efektorem ve vyklopené pozici 45
Obr. 31 Soustava zdvíhání osy Z 46
Obr. 32 Délka pojezdu osy X(1- zásobník, 2 - stroj 1, 3 - stroj 2, 4 - stroj 3, 5 - stroj 4, 6 - osa X, 7 - osa Y, 8 osa Z s efektorem) 47
Obr. 33 Konstrukce pojezdu osy X 47
Obr. 34 Výsledek výpočtu průhybu I-profilu HEA120 48
Obr. 35 Výsledek výpočtu průhybu jäkl 140x80x40 49
Obr. 36 Délka pojezdu osy Y (1- zásobník, 5 - stroj 4, 7 - osa Y, 8 osa Z s efektorem) 50
Obr. 37 Konstrukce pojezdu osy Y 51
Obr. 38 Výsledek výpočtu průhybu profilu 52
Obr. 39 Zobrazení provozovny 53
Obr. 40 Manipulátor 55

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Hodnocení variant 40

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: DP2019-00_Transportní manipulátor

Příloha P II: DP2019-02-000_Horní rám transportéru

Příloha P III: DP2019-03-000_Pojezdový vozík

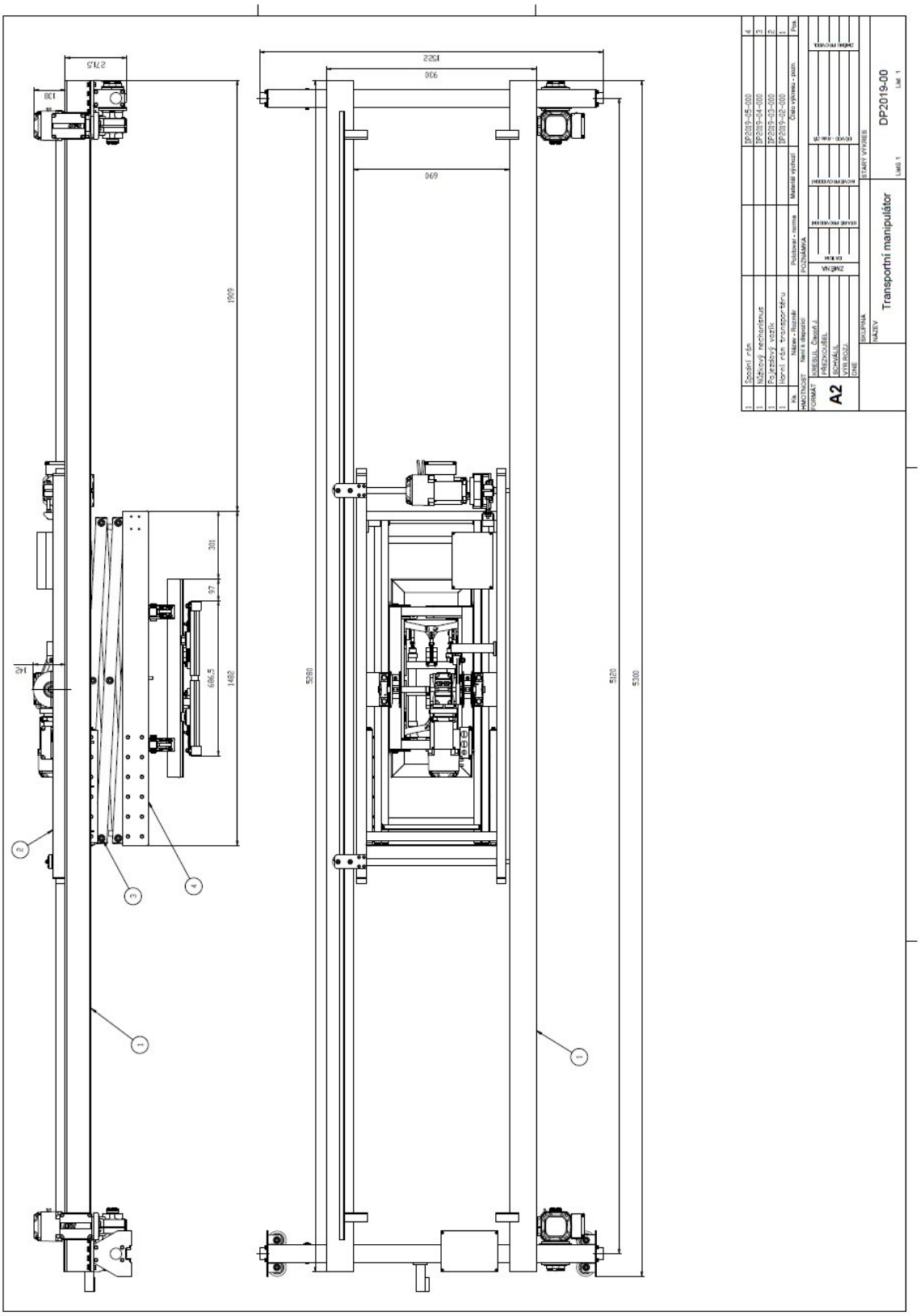
Příloha P IV: DP2019-05-000_Spodní rám

Příloha P V: DP2019-06-000_Efektor

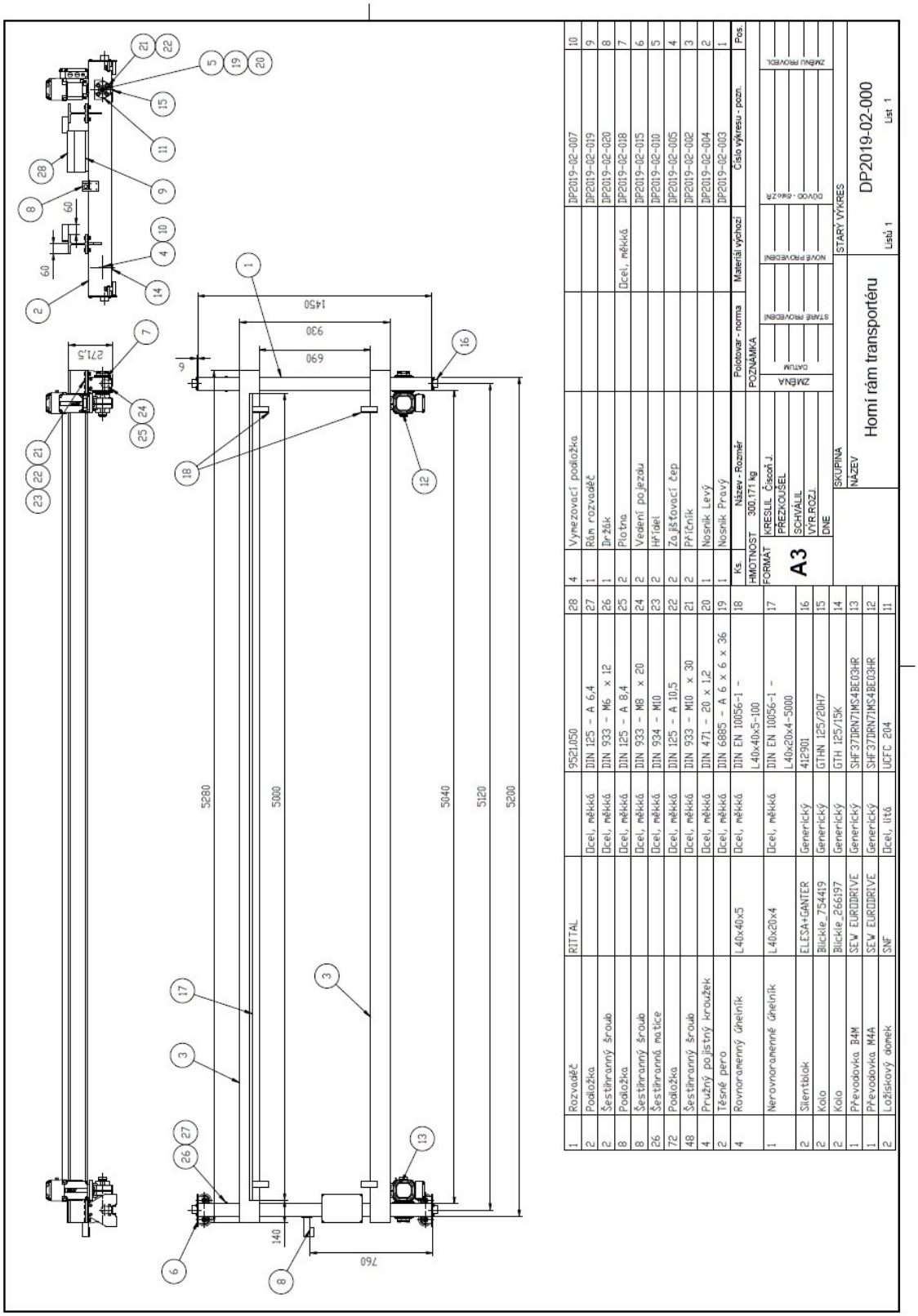
Příloha P VI: DP2019-01-000_Uchycení k sloupu

Příloha P VII: DP2019-01-006_Nosník

PŘÍLOHA P I: DP2019-00_TRANSPORTNÍ MANIPULÁTOR

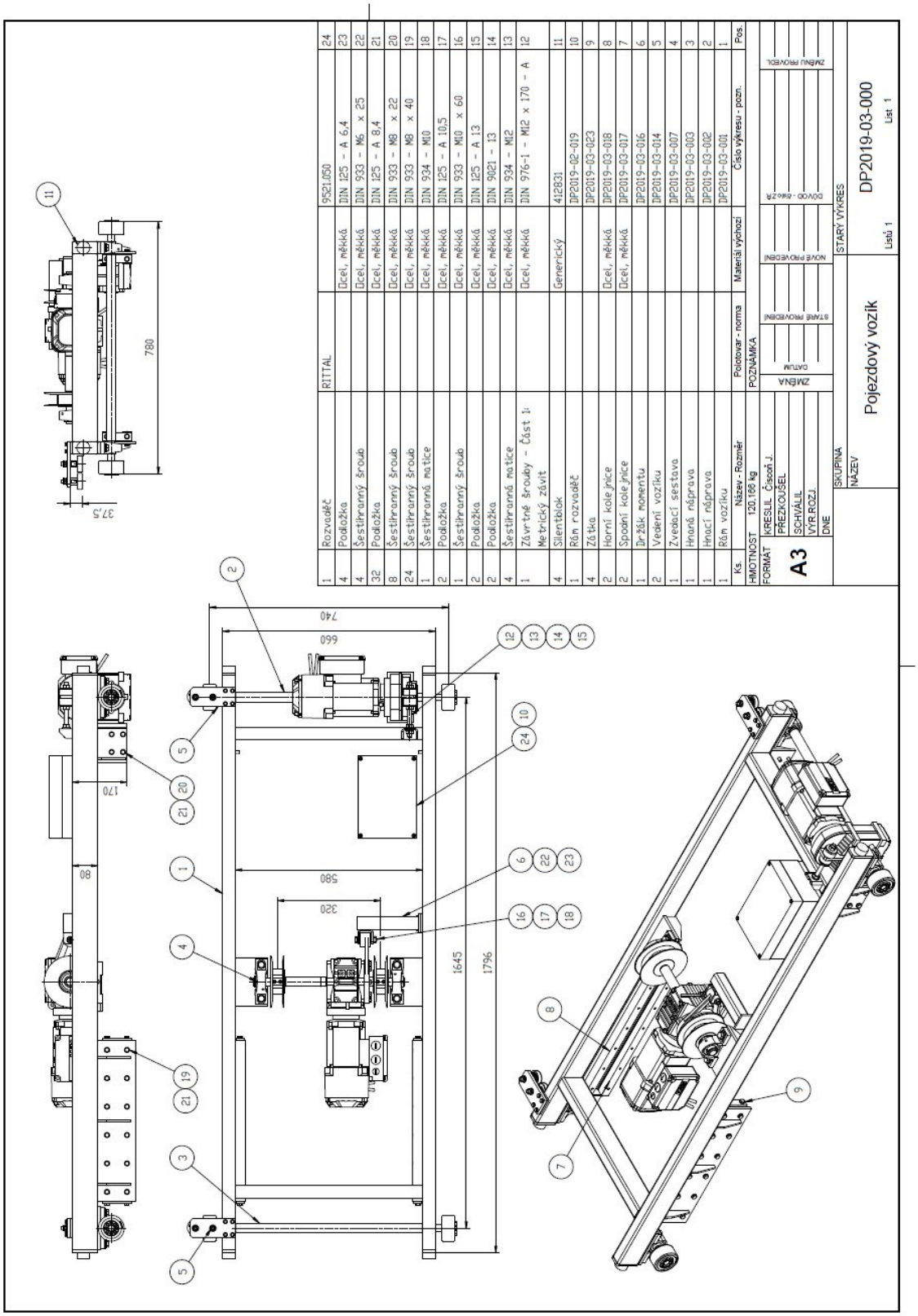


PŘÍLOHA P II: DP2019-02-000_HORNÍ RÁM TRANSPORTÉRU

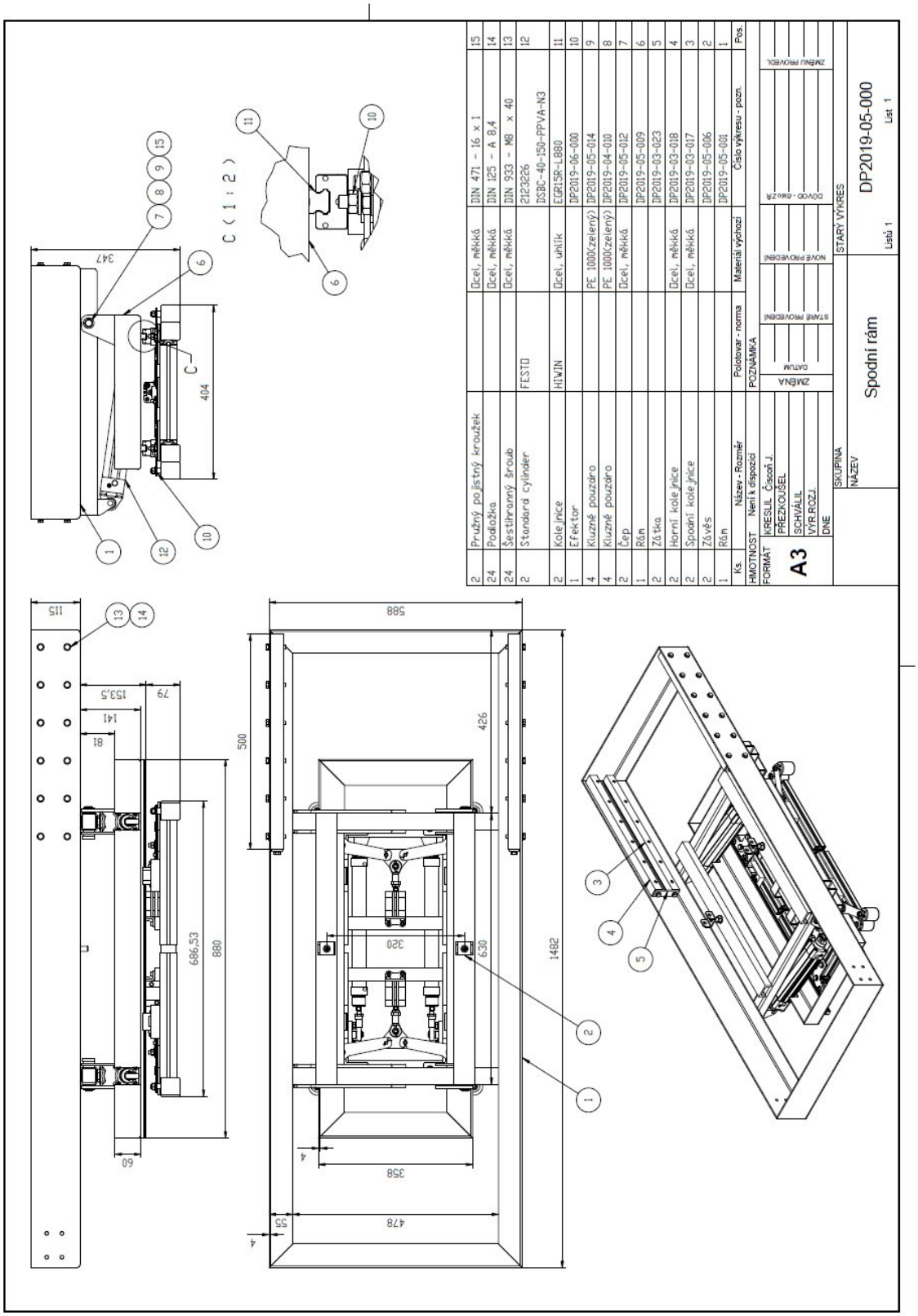


Pos.	Název - Rozměr	Polotovar - norma	Materiál výchozí	Číslo výkresu - pozn.	Ks
1	Rozvaděč	RITTAL		DP2019-02-007	1
2	Podložka		Ocel, měkká	DIN 125 - A 6,4	27
2	Šestihranný šroub		Ocel, měkká	DIN 933 - M6 x 12	26
8	Podložka		Ocel, měkká	DIN 125 - A 8,4	25
8	Šestihranný šroub		Ocel, měkká	DIN 933 - M8 x 20	24
26	Šestihranná matice		Ocel, měkká	DIN 934 - M10	23
72	Podložka		Ocel, měkká	DIN 125 - A 10,5	22
48	Šestihranný šroub		Ocel, měkká	DIN 933 - M10 x 30	21
4	Pružný pojistný kroužek		Ocel, měkká	DIN 471 - 20 x 1,2	20
2	Těsnění pero		Ocel, měkká	DIN 6885 - A 6 x 6 x 36	19
4	Rovnoramenný úhelník	L40x40x5	Ocel, měkká	DIN EN 10056-1 - L40x40x5-100	18
1	Nerovnoramenné úhelník	L40x20x4	Ocel, měkká	DIN EN 10056-1 - L40x20x4-5000	17
2	Silentblok	ELESA+GANTER	Generický	412901	16
2	Kolo	Blickle_754419	Generický	GTHN 125/20H7	15
2	Kolo	Blickle_266197	Generický	GTH 125/15K	14
1	Převodovka B4M	SEW EURODRIVE	Generický	SHF37BRN7IMS4BE03HR	13
1	Převodovka M4A	SEW EURODRIVE	Generický	SHF37BRN7IMS4BE03HR	12
2	Ložiskový domek	SNF	Ocel, litá	UCFC 204	11
4	Vymezovací podložka			DP2019-02-019	9
1	Rám rozvaděč			DP2019-02-020	8
1	Držák			DP2019-02-018	7
2	Plotna		Ocel, měkká	DP2019-02-015	6
2	Vedení pojezdu			DP2019-02-010	5
2	Hřídel			DP2019-02-005	4
2	Zajišťovací čep			DP2019-02-002	3
2	Příčník			DP2019-02-004	2
1	Nosník Levý			DP2019-02-003	1
1	Nosník Pravý				

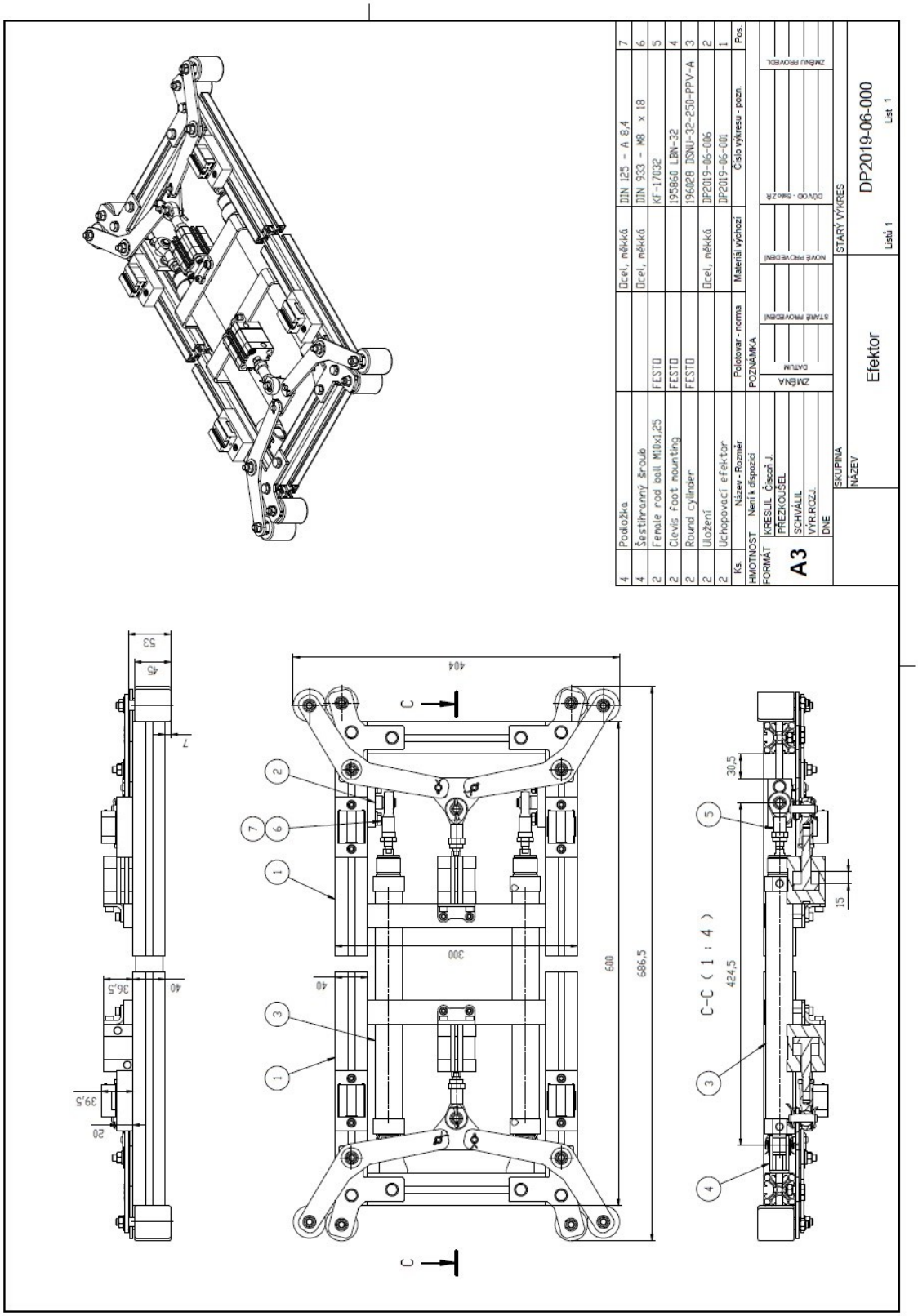
PŘÍLOHA P III: DP2019-03-000_POJEZDOVÝ VOZÍK



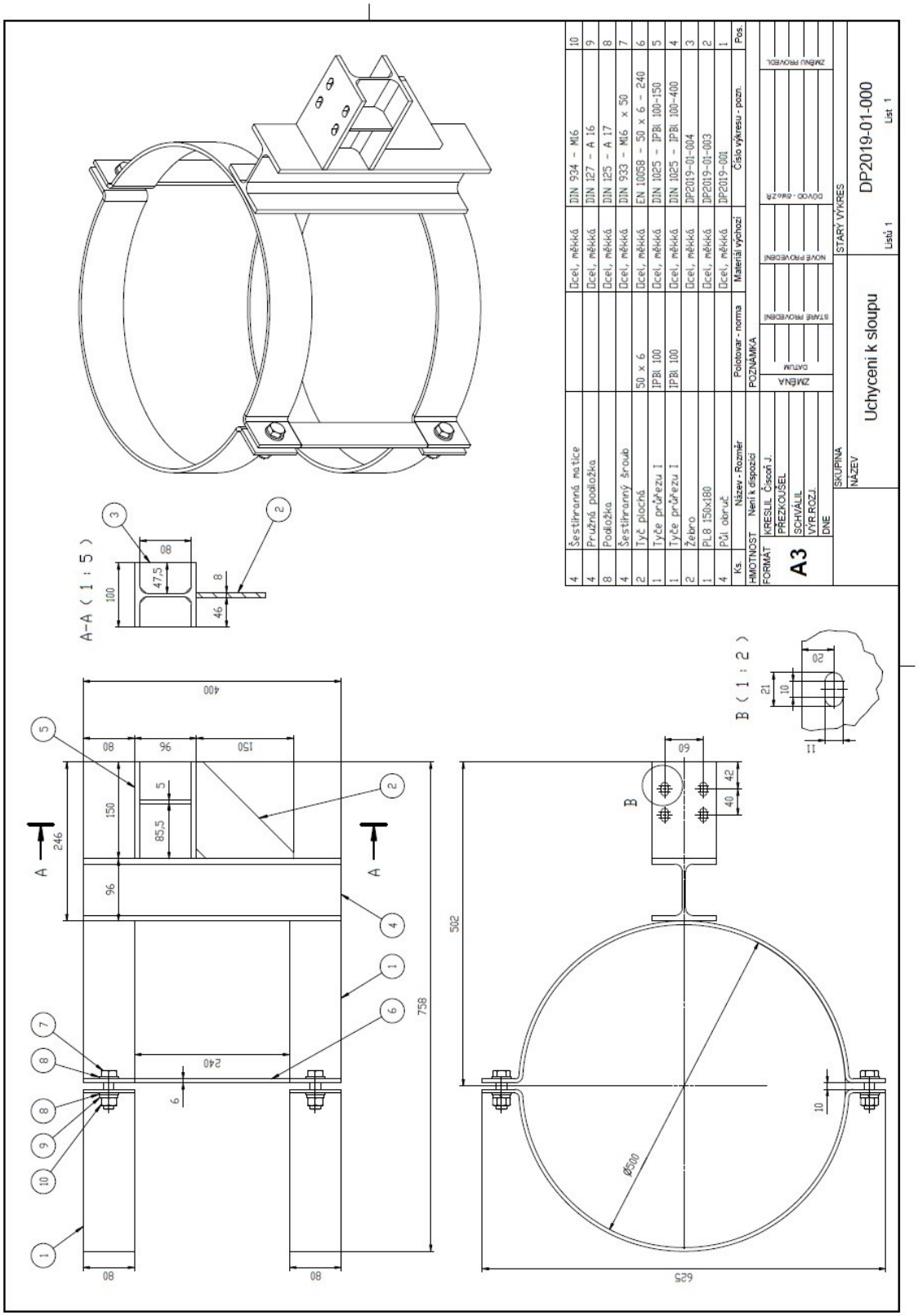
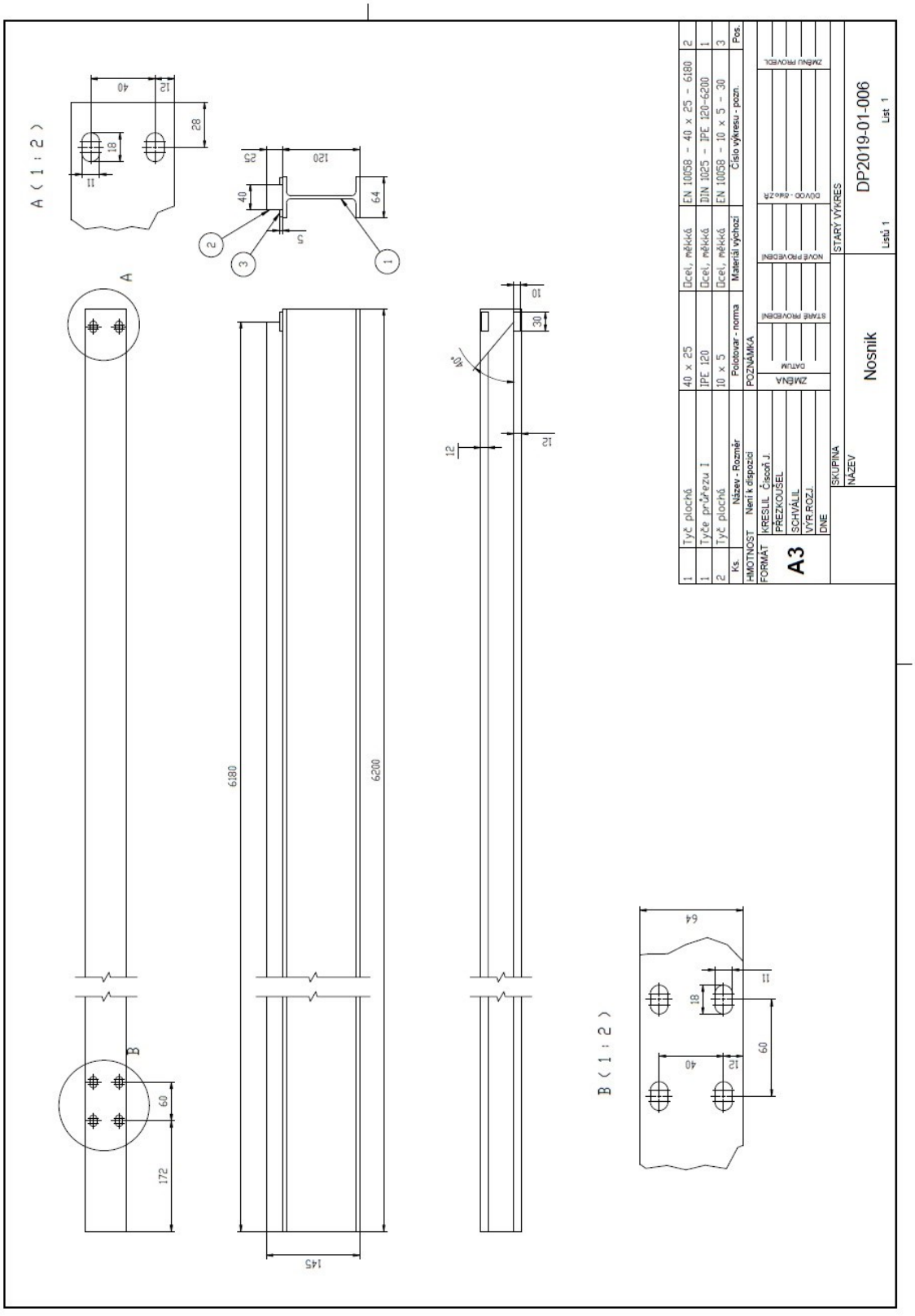
PŘÍLOHA P IV: DP2019-05-000_SPODNÍ RÁM



PŘÍLOHA P V: DP2019-06-000_EFEKTOR



PŘÍLOHA P VI: DP2019-01-000_UCHYCENÍ K SLOUPU



PŘÍLOHA P VII: DP2019-01-006_NOSNÍK