



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

KONSTRUKCE DVOUOSÉHO MANIPULÁTORU

THE DESIGN OF A TWO-AXIS MANIPULATOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. VOJTĚCH SOJÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. RADEK KNOFLÍČEK, Dr.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Vojtěch Soják

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Konstrukce dvouosého manipulátoru

v anglickém jazyce:

The Design of two-axis manipulator

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Zhodnocení současného stavu manipulace se součástkami ve společnosti JCEE Lanškroun
2. Návrh konstrukce (včetně sestavení výkresové dokumentace) dvouosého manipulátoru pro manipulaci s břemenem, dle těchto parametrů:
 - pohyb svislé osy zajišťuje lineární pneumatický motor s vedením, zdvih 45mm, pracovní poloha dojíždí na pevný doraz.
 - pohyb vodorovné osy zajišťuje lineární vedení, kuličkový šroub s elektrickým servomotorem, zdvih 1200 mm.
 - hmotnost břemene: 2 kg; - požadovaný čas manipulace (včetně pohybu zpět): 6 sec
 - přesnost polohování: $\pm 0,2$ mm; odebírací výška: 200 mm
3. Zhotovení časového schématu cyklu manipulace
4. Kalkulace pořizovací ceny manipulátoru a porovnání s podobnou nakupovanou sestavou

Cíle diplomové práce:

Cílem je:

- Analýza dané problematiky stávající manipulace
- Návrh variant řešení (alespoň dvě)
- Výběr vhodné varianty metodou multikriteriálního hodnocení
- Výpočtová zpráva (návrh pohonů)
- Konstrukční návrh vybrané varianty řešení
- Vytvoření 3D modelu
- Vytvoření výkresové dokumentace sestavy a vybraných součástí (dílenské výrobní výkresy)
- Ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení

Zadání diplomové práce je řešeno ve spolupráci se společností JCEE, s. r. o. v Lanškrouně.

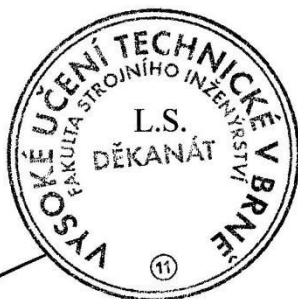
Seznam odborné literatury:

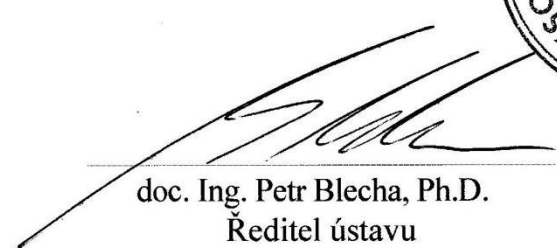
- (1) Kolíbal Z., Knoflíček R.: Morfologická analýza stavby průmyslových robotů, VIENALA Košice, 2000
- (2) Skařupa J., Mostýn V.: Metody a prostředky návrhu průmyslových a servisních robotů, VIENALA Košice, 2000
- (3) Skařupa J., Mostýn V.: Teorie průmyslových a servisních robotů, VIENALA Košice, 2000
- (4) Internet
- (5) Firemní materiály

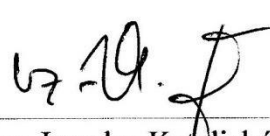
Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 25.10.2014




doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu


doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

Abstrakt

Tato diplomová práce se věnuje konstrukci dvouosého manipulátoru dle zadaných parametrů. V úvodní kapitole jsou popsány kinematické struktury průmyslových robotů a manipulátorů a jejich pracovní prostory. Dále se práce věnuje řešení v oblasti používaných komponent, výrobců manipulátorů a současných konstrukcí manipulátorů ve společnosti JCEE s.r.o. Lanškroun. Praktická část se zabývá návrhem a vlastní konstrukcí manipulátoru a jeho cenovou kalkulací.

Klíčová slova

Dvouosý manipulátor, lineární manipulátor, elektrický pohon, pneumatický pohon, vedení, odměřování, konstrukce.

Abstract

This master thesis deals with the design of a two-axis manipulator according to entered parameters. In the first chapter provides description of kinematics structures of industrial robots and manipulators and their workspaces. Next parts focus on search in the used components, producers of manipulators and of current design manipulators at JCEE s.r.o. Lanškroun. The practical part deals with the design and construction of custom manipulator and its price calculation.

Keywords

Two-axis manipulator, linear manipulator, electric drive, pneumatic drive, guideline, measuring the position, design.

Bibliografická citace

SOJÁK, V. *Konstrukce dvouosého manipulátoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 99 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr..

Čestné prohlášení

Já, Bc. Vojtěch Soják, prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr., a že jsem uvedl všechny prameny a literaturu, ze které jsem čerpal.

V Brně dne 28.5.2015

.....

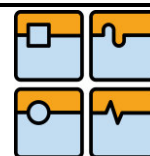
Vojtěch Soják

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr. za jeho rady a připomínky při řešení problémů mé diplomové práce. Také děkuji pracovníkům z oddělení konstrukce JCEE s. r. o. za ochotu a vstřícnost. Dále bych chtěl poděkovat mým rodičům a přátelům za podporu při studiu.

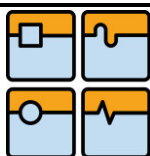
Obsah

1 Úvod	17
2 Kinematická struktura průmyslových robotů a manipulátorů.....	19
2.1 Rozdělení kinematických dvojic	19
2.1.1 Translační kinematické dvojice	19
2.1.2 Rotační kinematické dvojice	19
2.2 Polohovací ústrojí.....	20
3 Komponenty lineárních manipulátorů	21
3.1 Pohony a mechanismy	21
3.1.1 Elektrický pohon s kuličkovým šroubem	21
3.1.2 Elektrický pohon s řemenem	23
3.1.3 Elektrický pohon s pastorkem a ozubeným hřebenem	23
3.1.4 Elektrický lineární motor.....	24
3.1.5 Pneumatický pohon	24
3.1.6 Hydraulické pohony	25
3.2 Vedení ve stavbě manipulátorů	26
3.2.1 Kluzné vedení.....	26
3.2.2 Valivé vedení.....	27
3.3 Snímání a odměřování polohy	29
3.3.1 Snímání polohy pomocí snímačů	30
3.3.2 Přímé odměřování	31
3.3.3 Nepřímé odměřování.....	33
3.4 Krytování	34
3.4.1 Krytování a vedení vodičů a hadic	34
3.4.2 Krytování kuličkových šroubů a vedení	35
4 Výrobci manipulátorů	37
4.1 Kartézské manipulátory FESTO	37
4.2 Řemenový manipulátor MACRON DYNAMICS.....	38
5 Stávající manipulace v JCEE s. r. o.	39
5.1 Pneumatický dvouosý manipulátor	39
5.2 Pneumatický dvouosý lineární manipulátor se dvěma válci na každé ose	41
5.3 Tříosý lineární manipulátor s elektrickým pohonem	42
6 Návrh a výběr vhodné varianty řešení	43
6.1 1. Varianta – manipulátor s pneumatickými pohony.....	43
6.2 2. Varianta – manipulátor s kuličkovým šroubem	44



6.3	Metoda multikriteriálního hodnocení	45
6.3.1	Bazická bodovací metoda	45
6.4	Výběr konstrukční varianty	47
6.5	Závěr hodnocení.....	47
7	Konstrukce koncového efektoru	49
7.1	Manipulovaná součást	49
7.2	Ustavování součásti	49
7.3	Uchopování součásti	50
7.4	Popis konstrukce koncového efektoru	52
8	Konstrukce manipulátoru	55
8.1	Výpočet svislé osy Z	55
8.2	Popis konstrukce osy z	58
8.3	Výpočet vodorovné osy X.....	60
8.3.1	Výpočet valivého kuličkového vedení	60
8.3.2	Výpočet parametrů servomotoru.....	62
8.3.3	Kontrolní výpočet kuličkového šroubu	65
8.3.4	Výpočet únosnosti ložisek	67
8.4	Kontrola namáhání rámu	69
8.4.1	Prvotní návrh konstrukce.....	69
8.4.2	Konečné konstrukční řešení.....	70
8.5	Popis konstrukce vodorovné osy X	71
9	Časové schéma cyklu manipulace	73
10	Ekonomické zhodnocení	75
10.1	Ekonomické zhodnocení koncového efektoru	75
10.2	Ekonomické zhodnocení manipulátoru	76
10.3	Celková cena navrhovaného manipulátoru.....	77
11	Posouzení rizika strojního zařízení.....	79
11.1	Popis stroje	79
11.2	Vstupy a výstupy médií ze zařízení	80
11.3	Blokový diagram manipulátoru	80
11.4	Identifikace nebezpečí	81
11.5	Maticová metoda.....	82
11.5.1	Závažnost následků rizika.....	82
11.5.2	Pravděpodobnost výskytu rizika	82
11.5.3	Úroveň rizika	82

11.5.4	Matice pro odhad rizika	83
11.6	Počáteční posouzení rizika	83
11.7	Posouzení zbytkového rizika	84
11.8	Závěr analýzy rizik	85
12	Závěr	87
13	Seznam použitých zdrojů	89
14	Seznam použitých symbolů	93
15	Seznam obrázků	97
16	Seznam tabulek	99
17	Seznam grafů	99
18	Seznam příloh	99
18.1	Tištěné přílohy	99
18.2	Elektronické přílohy na CD	99



1 Úvod

Potřebu usnadnění manipulace s předměty má člověk již po staletí. Jde o usnadnění opakovaného přemisťování předmětů či nástrojů z jednoho místa na jiné místo. S postupnou mechanizací a automatizací se tato manipulace provádí opakovaně bez zásahů člověka. Například zakládání součástí do základacích lůžek, manipulace mezi různými technologickými operacemi.

Každý manipulátor se skládá z několika řízených os, koncového efektoru (chapadla), řídicí jednotky a řídicího systému. Jednotlivé osy, obsahující vedení a pohon, které tvoří kinematické schéma manipulátoru. S rostoucím stupněm řízení je umožněno přesného polohování a ustavování několika os najednou. Pro pohon os se používá buď stlačeného vzduchu, hydraulické tlakové kapaliny nebo elektrického proudu. Z nichž elektrický pohon obsahuje nejrozmanitější paletu mechanických převodů z rotačního pohybu na pohyb lineární, pouze při použití lineárních elektrických motorů odpadá nutnost mechanického převodu. Mezi nepoužívanější patří elektrické pohony, mají výhodu snadného řízení, při použití přímého odměřování a pohonu s kuličkovým šroubem a maticí jsou také nejpřesnější. Navíc elektrická energie je na většině výrobních hal nejdostupnější. Hydraulické a pneumatické manipulátory mají srovnatelnou přednost, hydraulické pohony vyvinou větší sílu při menším zástavbovém prostoru oproti pohonům pneumatickým.

Diplomová práce je zpracována ve spolupráci se společností JCEE s. r. o. Lanškroun. Tato společnost se věnuje vývoji a výrobě jednoúčelových strojů pro široké spektrum průmyslu. Společnost s japonskými kořeny figuruje na trhu již od roku 1992. Stroje jsou vyráběny na míru, dle požadavků zákazníka. Jedná se buď o celé výrobní linky, nebo jednotlivá technologická pracoviště, případně testovací stanice a podobné. Tyto stroje bývají často vybaveny nějakým druhem manipulace s výrobky. Proto je pro společnost výhodné znát nabídku manipulátorů a veškerých komponent na trhu a jejich finanční srovnání s manipulátory vlastní konstrukce. Cílem této práce bude mimo jiné i finanční analýza navrženého řešení.

2 Kinematická struktura průmyslových robotů a manipulátorů

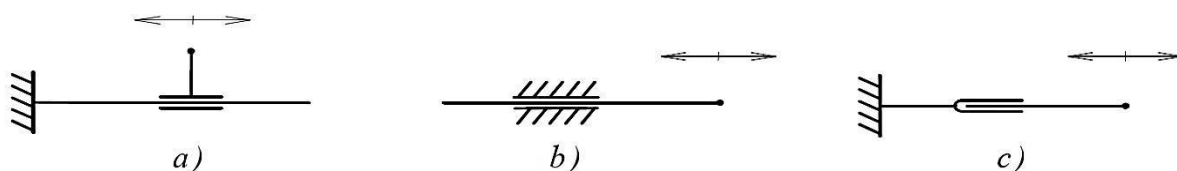
2.1 Rozdělení kinematických dvojic

Akční systém průmyslových robotů a manipulátorů je ve své podstatě pohybovým mechanismem, který se skládá z jednotlivých členů, vázaných mezi sebou prostřednictvím kinematických dvojic (KD). Každé z těchto KD přísluší většinou jeden stupeň volnosti, KD o více stupních volnosti nejsou ve stavbě průmyslových robotů a manipulátorů typické. Ani spojení dvou otočných KD do jednoho kloubu, tedy jako sférická KD, se běžně nevyskytuje, neboť taková soustava se jen velmi těžko osazuje pohony.

Při stavbě průmyslových robotů a manipulátorů se nejčastěji používají KD posuvné (translační) a točné (rotační). Kinematické dvojice vytvářejí kinematickou strukturu, kterou je nutné znázorňovat v různých postaveních. Za tímto účelem vznikla schématická označení, která vychází z jejich konstrukční podstaty.[1]

2.1.1 Translační kinematické dvojice

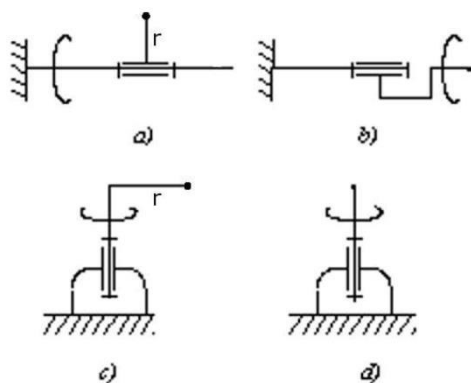
Znázornění této KD obsahuje tři základní provedení. Buď se pohybuje kratší těleso po delším vedení – suportové provedení (Obr. 2.1.1a). Nebo delší těleso se pohybuje po kratším vedení – smykadlové provedení (Obr. 2.1.1b). Nebo teleskopické provedení (Obr. 2.1.1c).[1]



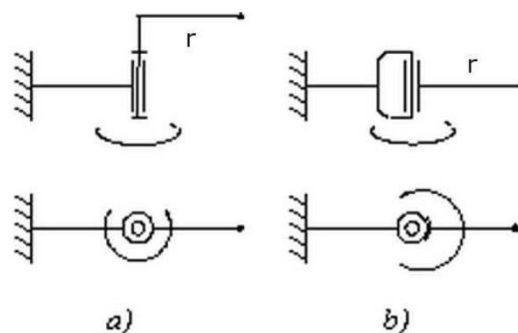
Obr. 2.1.1 Translační kinematické dvojice: a) suportové, b) smykadlové, c) teleskopické

2.1.2 Rotační kinematické dvojice

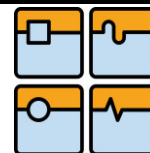
Při znázorňování těchto KD je nutné respektovat jejich specifika. To znamená, jestli se otáčí kolem vlastní osy nebo na určitém rameni. Dále pak jestli je jejich pohyb nějak omezen (Obr. 2.1.3) nebo lze s nimi otáčet bez omezení (Obr. 2.1.2).[1]



Obr. 2.1.2 Otočné kinematické dvojice bez omezení úhlu otáčení



Obr. 2.1.3 Rotační kinematické dvojice s omezeným otáčením

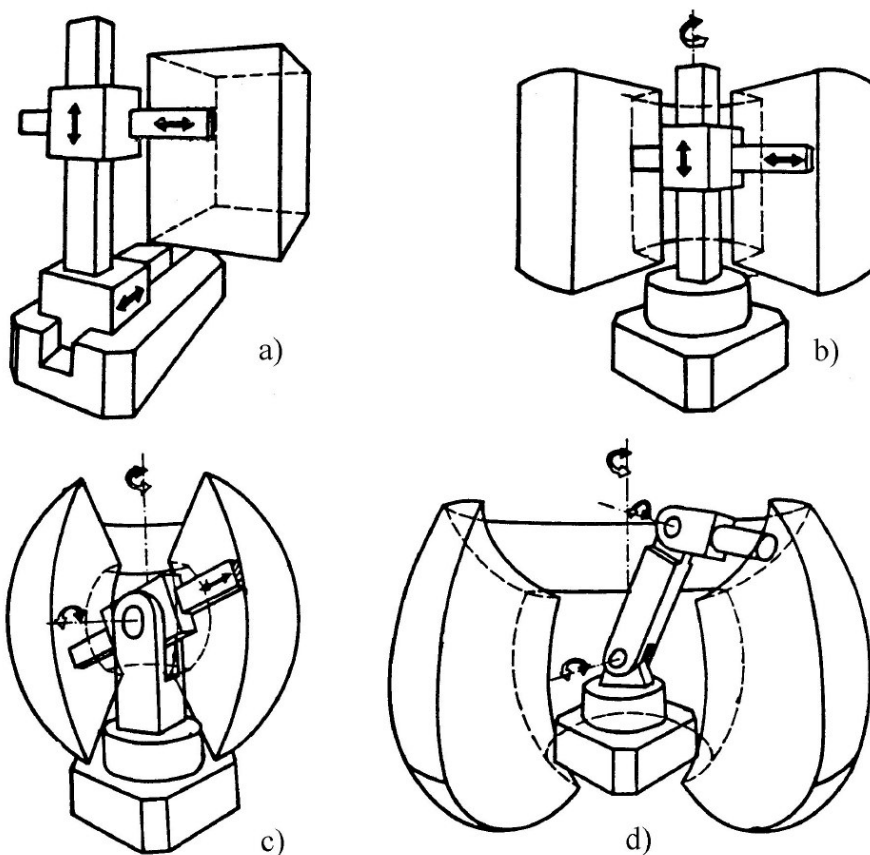


2.2 Polohovací ústrojí

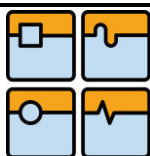
Polohovací ústrojí slouží k požadovanému ustavení referenčního bodu. Požaduje-li se jeho postavení a pohyb po přímce (úsečce), nebo křivce (kružnici) postačí k tomu jeden stupeň volnosti a to buď translační, nebo rotační. Přičemž rotační kinematická dvojice (KD) vymezuje právě kruhový oblouk o daném poloměru a translační KD vymezuje úsek na přímkové dráze. K polohování referenčního bodu v rovině, případně ploše, je zapotřebí již určitého spojení dvou KD. Vzhledem k jejich posuvnému a rotačnímu charakteru se bude referenční bod pohybovat buď po rovinném obdélníku o stranách daných úseky jednotlivých posuvů translačních KD, po kruhové výseči, nebo po válcové ploše při spojení jedné translace a jedné rotace, popřípadě po kulové ploše, půjde-li o spojení dvou rotačních KD.

Přidáním třetí KD může pohyb referenčního bodu základního kinematického řetězce obsáhnout i určitý prostor, závislý na celkovém spojení KD v základním kinematickém řetězci. V praxi se na počátku rozvoje robotiky nejvíce rozšířily čtyři, možno říci základní typy spojení KD, obsluhující příslušný prostor (Obr. 2.2.1). [1]

- | | | |
|---|-----|------------------------------------|
| 1) Spojení tří translačních KD | TTT | Kvadr (kartézský pracovní prostor) |
| 2) Spojení jedné rotační a dvou translačních KD | RTT | Válcový (cylindrický) segment |
| 3) Spojení dvou rotačních a jedné translační KD | RRT | Kulový (sférický) segment |
| 4) Spojení tří rotačních KD | RRR | Anthropomorfní segment |



Obr. 2.2.1 Znáznornění pracovních prostorů: a) Kartézský, b) Cylindrický, c) Sférický, d) Anthropomorfní



3 Komponenty lineárních manipulátorů

3.1 Pohony a mechanismy

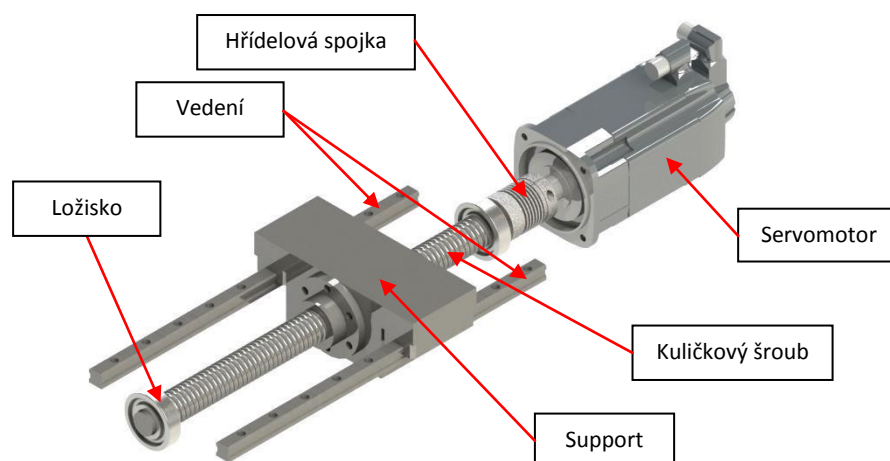
Pohony slouží pro přeměnu elektrické energie, energie stlačeného vzduchu nebo energie tlakové hydraulické kapaliny na mechanickou energii. Využívá se řada elektrických motorů a převodových mechanismů, nebo lineární hydraulické či pneumatické motory. Hlavní požadavky na pohony jsou: Přesnost a rychlost polohování v jednotlivých osách, opakovatelná přesnost polohování, velmi vysoká dynamika. Pohony manipulátorů můžeme rozdělit podle média, které udává jednotlivé osy do pohybu.

3.1.1 Elektrický pohon s kuličkovým šroubem

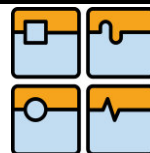
Elektrické pohony můžeme rozdělit na přímé a nepřímé. Přímý pohon znamená, že elektromotor je spojen s hřídelem nebo s kuličkovým šroubem přímo bez vloženého převodu. Tedy převodový poměr je 1:1. Nepřímý pohon obsahuje vložený převod mezi motorem a kuličkovým šroubem. Nejčastěji je využitý převod pomocí ozubeného řemene, případně ozubenými koly. Ve většině případů, se ke změně rotačního pohybu elektromotoru na pohyb lineární přímočarý, používá kuličkový šroub a matice. Ne vždy tomu tak je, existují aplikace, kde se nevyužívá kuličkový šroub, ale je použit ozubený řemen, který je pevně připojen k pohyblivému členu manipulátoru mezi dvě řemenice, z nichž jedna je poháněná pomocí elektromotoru.

Přímý elektrický pohon

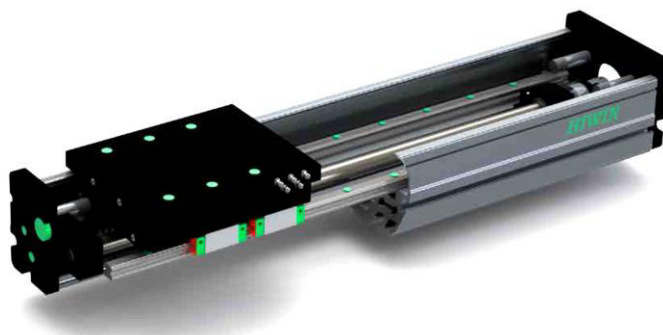
Přímý pohon se vyznačuje bezvúlovým spojením elektromotoru a kuličkového šroubu pomocí spojky (Obr. 3.1.1). Nejčastěji se používá pro menší a dynamičtější zatížení, neboť krouticí moment přenášený z motoru je stejný, jako moment na kuličkovém šroubu a to znamená vyšší namáhání elektromotoru. Dále pak je zapotřebí použít snímač otáček s vyšším rozlišením, protože převodový poměr je roven 1, takže na jednu otáčku elektromotoru se vykoná pohyb o jedno stoupání závitu šroubovice kuličkového šroubu. Případně použití odměřovacího pravítka (inkrementální lineární snímač polohy).



Obr. 3.1.1 Přímý elektrický pohon



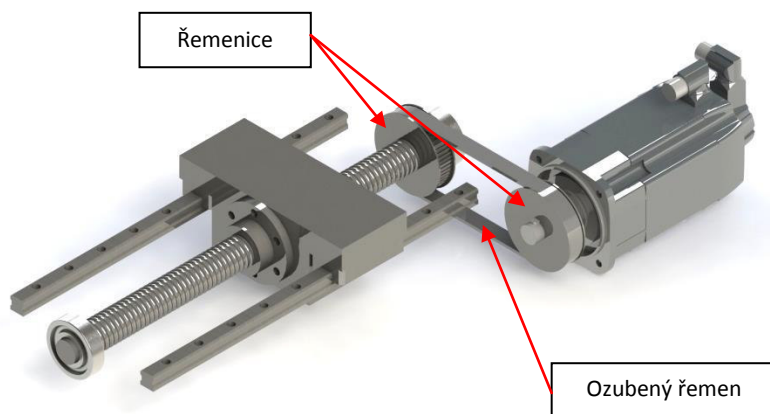
Jako příklad tohoto pohonu je uveden produkt společnosti Hiwin s označením BSU160 (Obr. 3.1.2). Lineární pohon s kuličkovým šroubem je určen pro méně náročné aplikace s požadavky na nižší dynamiku pohonu, která je závislá na kritických otáčkách použitého kuličkového šroubu v závislosti na délce osy až do 3 m. V ose je možné použít válcovaný kuličkový šroub s přesností IT7 (0,052/300 mm) nebo okružovaný kuličkový šroub s přesností IT5 (0,023/300 mm). Osu lze dodat včetně krokového motoru nebo servomotoru. V modulu je integrované dvojité kuličkové vedení řady HG15 se čtyřmi vozíky. Odměřování polohy pomocí magnetického inkrementálního nebo absolutního odměřovacího systému, je možné pro náročnější aplikace na přesnost nahradit optickým, kde výsledná přesnost může být až 0,002 mm v kombinaci s předepnutou maticí kuličkového šroubu. Díky volitelnému příslušenství je možné složení do křížových či portálových sestav. Dle pracovního prostředí lze osy zakrývat teleskopickým krytem nebo měchem. [2]



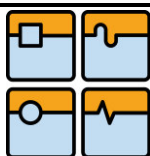
Obr. 3.1.2 Lineární jednotka Hiwin BSU160 [2]

Nepřímý elektrický pohon

Tento typ pohonu patří u lineárních manipulátorů k nejpoužívanějším. Pomocí převodu zde můžeme lépe využít rozsah otáček elektromotoru, pokud nepotřebujeme vysoké posuvy. Musí se dodržet podmínka bezvůlového převodu mezi motorem a kuličkovým šroubem. To zajišťuje nejčastěji ozubený řemen, který je také velice tichý při nižších otáčkách (Obr. 3.1.3).



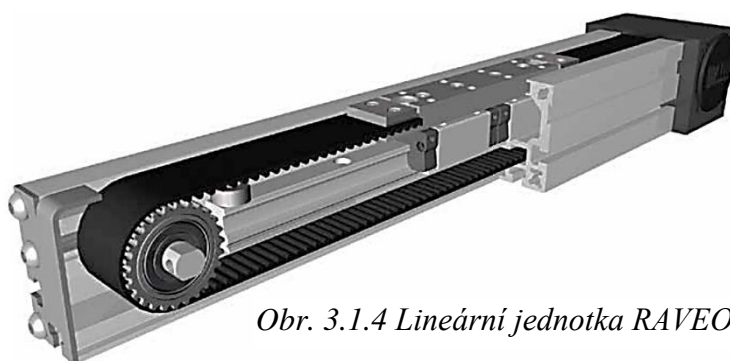
Obr. 3.1.3 Nepřímý elektrický pohon



3.1.2 Elektrický pohon s řemenem

Řemenový převod se používá v aplikacích, kde vyžaduje manipulace vysokou dynamiku pohybu, ale menší přesnost polohování. Výhodou je tichý chod, ale řemen se při zabíhání trošku rozpíná, takže je nutné po zabíhacím režimu provést korekce. Proto je nutné takovýto pohon vybavit napínacím mechanismem řemenu.

Společnost RAVEO s. r. o. nabízí řadu řešení lineárních jednotek (Obr. 3.1.4). Řemen jednotky je uložen na dvou řemenicích. Řemenice se nachází uvnitř hliníkového eloxovaného profilu. Jedna z řemenic je poháněna přes hřídelovou spojku servomotorem. Druhá je spojená s víkem na konci profilu, ke kterému je připevněn napínací mechanismus. Vedení se nachází mezi řemenicemi uvnitř profilu. Výrobce udává maximální možnou délku osy 6000mm, maximální rychlost pohybu 5m/s a opakovatelnou přesnost $\pm 0,1\text{mm}$. [3]

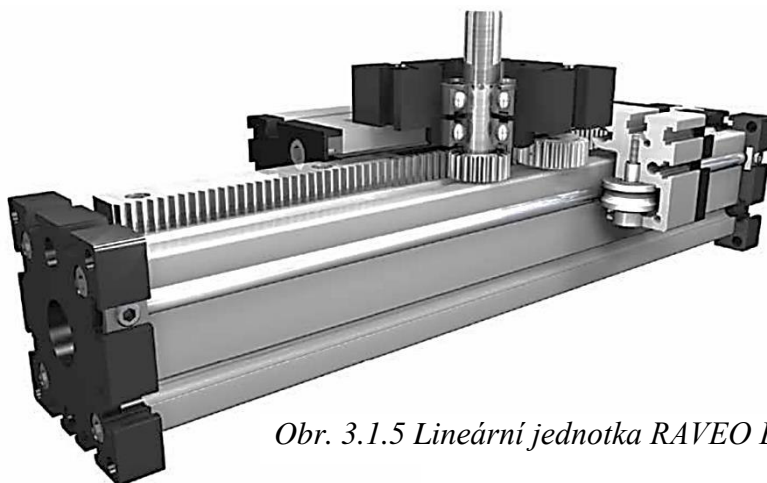


Obr. 3.1.4 Lineární jednotka RAVEO LSZ [3]

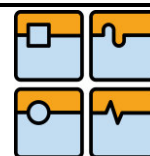
3.1.3 Elektrický pohon s pastorkem a ozubeným hřebenem

Tento typ pohonu nachází uplatnění při manipulaci na dlouhé vzdálenosti. Motor s pastorkem zabudovaný nejčastěji v saních osy negativně přispívá k celkové pohybuji se hmotě. Pro přesnější polohování lze v převodu vymezovat vůle, a to tak, že přidáme další motor s pastorkem na tentýž ozubený hřeben. Oba motory poté pracují v režimu Master-Slave. Další možností je použít dělený pastorek, kde jsou obě poloviny vůči sobě předepnuty zkrutnou pružinou.

Na obrázku (Obr. 3.1.5) vidíme lineární jednotku s ozubeným hřebenem a pastorkem s označením ELZQ od výrobce RAVEO s. r. o. Tato lineární jednotka se skládá z hliníkového profilu a paralelních vodících tyčí z kalené oceli. Výrobce udává maximální možnou délku osy 6000mm, maximální rychlost pohybu 4m/s a opakovatelnou přesnost $\pm 0,1\text{mm}$. [3]



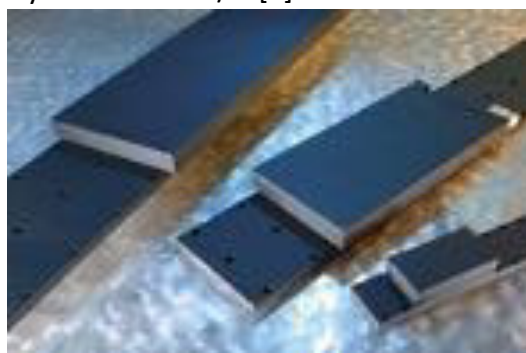
Obr. 3.1.5 Lineární jednotka RAVEO ELZQ [3]



3.1.4 Elektrický lineární motor

Mezi přímý elektrický pohon lze také zařadit lineární elektromotor. Ten se využívá pro vysoké rychlosti a vysokou dynamiku pohybu. Nevýhodou je elektromagnetické pole generované takovýmto motorem, které může negativně ovlivňovat odměřování a přitahuje feromagnetické kovové nečistoty. Lineární motory vytvářejí nové možnosti s ohledem na jejich velké zrychlení, přesnost a rychlost. Na rozdíl od konvenčních rotačních pohonů pracují bez jakýchkoliv přidavných mechanismů pro přenos síly z rotačního na lineární pohyb. Konstrukce stroje i jeho údržba se tím zjednodušují.

Společnost FANUC nabízí lineární motory pro nejrozmanitější použití (Obr. 3.1.6). Lineární motory dosahují špičkové síly od 300 N, až do 17 000 N. Jsou k dispozici různé tvary lineárních motorů, aby se přizpůsobily mechanickým požadavkům, které vyplývají z konstrukce stroje. Spolu s digitálními zesilovači FANUC dosahují lineární motory maximálního zrychlení až do 340 m/s^2 a rychlostí až 4 m/s . [4]



Obr. 3.1.6 Lineární motor FANUC LiS [4]

3.1.5 Pneumatický pohon

Pneumatické pohony se využívají pro svoji jednoduchost, malý zástavbový prostor a vysokou dynamiku pohybu. Pro pohon je nutné mít zdroj tlakového vzduchu a úpravnou jednotku vzduchu (Obr. 3.1.7). Ovládání pohybu zajišťuje elektro-pneumatický ventil (Obr. 3.1.8), napojený na PLC řízení stroje. Nejčastější využití nachází tento pohon tam, kde jsou potřeba pouze dvě polohy, tj. poloha pístu zasunuto a vysunuto. Pohon dojíždí na pevný doraz, kde je umístěn také tlumič nárazu (Obr. 3.1.11). Na lineárním pneumotoru (Obr. 3.1.9) jsou umístěná magnetická čidla (Obr. 3.1.10) pro bezkontaktní snímání dané polohy pístu, který obsahuje magnetický kroužek. Tlumič nárazu musí být nastaven pro konkrétní sílu a energii nárazu. Prodávají se v několika variantách. Pro vyrovnání nepřesností mezi upevněním válce a upevněním pístnice se používá pružných spojek (Obr. 3.1.12). Dorovnávají úhlovou nepřesnost $\pm 4^\circ$ a radiální nepřesnost $\pm 2 \text{ mm}$. Takovýto pohon může být vybaven také vysouvacím dorazem (Obr. 3.1.13), který se musí konfigurovat podle energie nárazu.



Obr. 3.1.7 Úpravná jednotka [5]



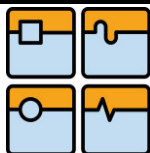
Obr. 3.1.8 Elektro-pneumatický ventil [5]



Obr. 3.1.9 Pneumatický lineární motor [5]



Obr. 3.1.10 Čidlo pro snímání polohy pístu [5]



KONSTRUKCE DVOUOSÉHO MANIPULÁTORU

Doraz se vysune vždy, pokud chceme najet na danou polohu (v jednom směru), pokud dojíždíme na jinou polohu je doraz zasunutý.



Obr. 3.1.11 Tlumič
nárazu [5]



Obr. 3.1.12
Pružná spojka [5]



Obr. 3.1.13
Zarážkový válec [5]

Další možností, jak zvýšit počet poloh, je použití dvou pneumotorů (Obr. 3.1.14) s rozdílným zdvihem, spojených za sebou. Zde je nutné dodržet podmínku rozdílu průměru pístů obou pneumotorů, aby se navzájem nepřetlačovaly. Tímto způsobem jsou vytvořeny celkem 4 polohy.

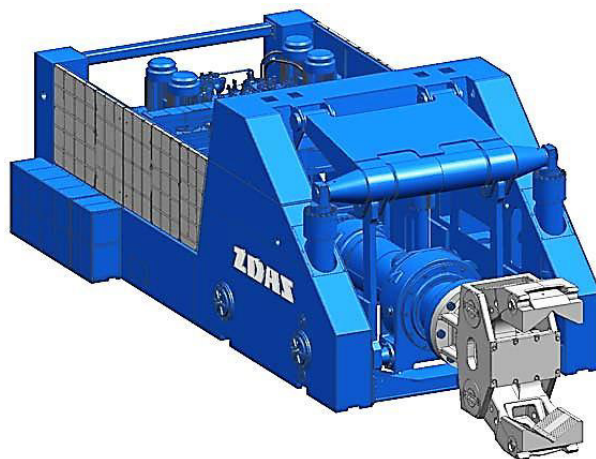


Obr. 3.1.14 Použití spojení dvou pneumotorů

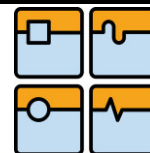
Poslední možností polohování tohoto typu pohonu se provádí pomocí servoventilu. Zde je nutné použít odměřování nejčastěji pomocí lineárního odměřovacího snímače. Servoventil reguluje průtok vzduchu do pneumotoru tak, aby se docílilo správného nastavení polohy.

3.1.6 Hydraulické pohony

Jako významnou přednost manipulátorů poháněných hydraulickou tlakovou kapalinou lze uvést vysoké síly, které lze snadno dosáhnout při stejném zástavbovém prostoru, jako pneumatický pohon. U tohoto pohonu musí být připojena zpětná větev pro odvod nevyužívané hydraulické kapaliny zpět do nádrže. Nutné je také zajistit, zejména při spouštění takového zařízení v provozu, aby v hydraulickém okruhu nebyl žádný vzduch, všude by měla být pouze hydraulická kapalina.



Obr. 3.1.15 Kovací manipulátor ŽDAS QKK [6]



Manipulátory s hydraulickým pohonem nacházejí uplatnění většinou v těžkém průmyslu, jako jsou například kovací manipulátory (Obr. 3.1.15). Větší část hydraulických pohonů se využívá zejména ve stavebnictví a stavební technice, kde zpravidla nebývá žádný druh automatického řízení, jedná se spíše o teleoperátory.

3.2 Vedení ve stavbě manipulátorů

Úkolem lineárního vedení je udržet trajektorii pohybu smykadla (vozíku) v přímém směru v požadovaných geometrických tolerancích, zejména pak přímochařost. Mezi další vlastnosti patří tuhost, která zamezuje úhlovému natočení a posunům vozíku v jednotlivých osách vůči základu stroje, když je manipulátor zatížen manipulovaným objektem.

3.2.1 Kluzné vedení

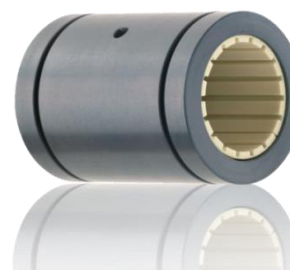
Kluzné vedení využívá vlastností kluzných materiálů jako je například bronz. Kolejnice má požadovaný profil a pohybuje se po ní vozík, vybavený pouzdry z kluzného materiálu. Dle profilu vedení lze vypočítat mezní zatížení a životnost vedení. Mezi významné výrobce kluzných vedení patří společnost HENNLICH s. r. o. Nabízí široké spektrum výrobků pro nejrůznější aplikace.

Vedení typu R

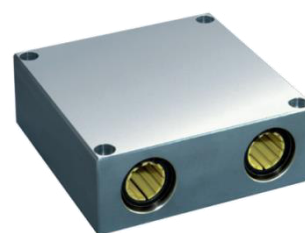
Nejjzákladnějším typem vedení je kluzné pouzdro kruhového průřezu pohybující se po tyči. Lineární kluzná pouzdra drylin® R jsou vyrobená z pevného polymeru, rozměrově odpovídají standardním valivým pouzdrům. Vyrobeny výhradně z materiálů iglidur® odolných proti opotřebení. Nabízejí technické výhody a zároveň jsou cenově příznivé. Lze je použít v kruhovém domku (Obr. 3.2.1), který se upevňuje v otvoru pomocí pojistných kroužků, nebo jako dvouřadé vedení ve čtvercovém domku (Obr. 3.2.2), upevněným pomocí šroubů.[7]

Výhody pouzder drylin® R, jsou:

- samomazná
- bezúdržbová
- mohou být používána v extrémně znečištěném prostředí / pod vodou / při oplachování
- rozměrově zaměnitelné se standardními ložisky s oběhem kuliček
- umožňují tlumení vibrací
- nejsou třeba těsnění ani stěrky
- dovoluje kompenzace pro vychýlení hřídele z osy



Obr. 3.2.1 Kluzné pouzdro [7]



Obr. 3.2.2 Čtvercový domek [7]

Vedení typu T

Jako další typ kluzného vedení lze uvést drylin® T (Obr. 3.2.3). Jedná se o vozík s polymerovým pouzdem, který se pohybuje po kolejnici ve tvaru T. [7]

Zvláštní vlastnosti:

- díky malé setrvačnosti pohybových hmot je možné dosahovat vysokých zrychlení a vysokých krátkodobých rychlostí až do 30 m/s.

- lineární kluzné vedení drylin® T pracují nasucho, tzn. bez přítomnosti maziv. Nečistoty se nemohou usazovat v mazacím prostředku.
- doporučeno pro potravinářství, zdravotnictví, technologie s čistým prostředím, protože nejsou přítomny žádné mazací prostředky
- lineární kluzné vedení drylin® T je díky své odolnosti proti korozi vhodné také pro použití pod vodou
- tlumení vibrací a extrémně tichý chod
- hliníkové kolejnice zajišťují dobrý odvod tepla. Hliník pouze udržuje teplo při trvale vysokých rychlostech.
- kombinace hliníku a iglidur® J vede k nízké počáteční rozběhové síle
- drylin® T je rozměrově zaměnitelný se standardními kuličkovými systémy



Obr. 3.2.3 Vedení typ T [7]

Vedení typu W

Poslední uvedený systém společnosti Hennlich drylin® W představuje cenově výhodnou, plně sestavenou pohybovou soustavu (Obr. 3.2.4). Konstrukce drylin® W podporuje flexibilitu konstrukce a jednoduchost montáže jak v jednořadém, tak i v dvouřadém uspořádání. Jako materiál kolejnice se používá tvrdě eloxovaný hliník. Drylin® W tedy nabízí nízké opotřebení, nízké tření bez mazání, odolnost proti nečistotám a prachu, nízkou hmotnost a tichý chod.[7]

Výhody drylin® W jsou:

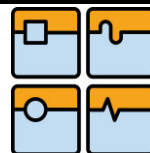
- snadná instalace, bezúdržbovost
- cenově výhodný vozík odlitý ze zinku, s kluznými vložkami JUM
- díky běhu nasucho je systém odolný proti nečistotám
- nízká hmotnost a tichý chod
- snáší vysoké momenty
- vhodný pro jednoosé systémy



Obr. 3.2.4 Vedení typ W [7]

3.2.2 Valivé vedení

Stejně jako kluzné vedení, tak i valivé vedení využívá několik typů profilů. Z nichž nejzákladnější je kuličkové pouzdro, které se odvaluje po vodící tyči. Zde se ovšem nepohybuje kluzný materiál po tvrdém profilu, ale vozík se odvaluje po kolejnici pomocí valivých elementů. Nejčastěji jsou použity kalené kuličky nebo pro větší únosnost válečky. Kuličky se odvalují v kleci jedním směrem, proto v tělese vozíku musí být vytvořeny vratné dráhy, kudy se kuličky vracejí. Mezi největší prodejce valivých vedení patří společnost HIWIN s.r.o.



Kuličková pouzdra a vodící tyče

Kuličková pouzdra HIWIN mají masivní a díky tomu i velmi odolný a tuhý vnější plášť z ložiskové oceli. Klec je vyrobena z vysoce teplotně a mechanicky odolného plastu. Vysoké tlumící vlastnosti plastu umožňují zvláště tichý chod kuličkových pouzder. Kuličková pouzdra se dodávají standardně s dvěma těsněními pod označením WW. Mohou být uzavřená (Obr. 3.2.5), otevřená (Obr. 3.2.7) nebo nastavitelná (Obr. 3.2.6). Uzavřená znamená, že pouzdro je uloženo v domku s otvorem o toleranci H7. Otevřená pouzdra se používají u vedení na kalených vodících tyčích s podpěrou. A nastavitelná pouzdra jsou podélně rozříznutá s domečkem se stavitelným šroubem pro nastavení jejich předepnutí. Kalené vodící tyče jsou standardně vyrobené v toleranci h6 až h7. Mazání pouzder můžeme provádět buď tukem podle DIN 51 825, hydraulickým olejem podle DIN 51 524 nebo mazacím olejem podle DIN 51 517. [2]



Obr. 3.2.5 Kuličkové pouzdro uzavřené [2]



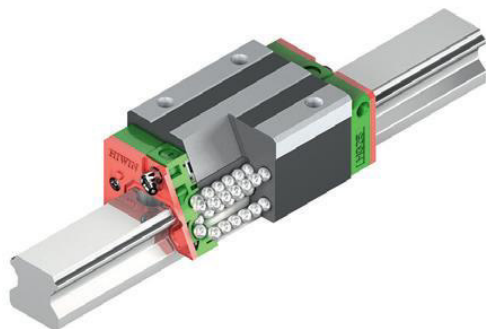
Obr. 3.2.6 Kuličkové pouzdro s nastavitelným předepnutím [2]



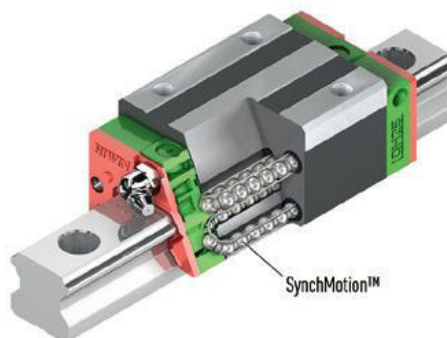
Obr. 3.2.7 Kuličkové pouzdro otevřené [2]

Profilová valivá vedení

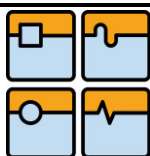
Lineární vedení s profilovou kolejničí umožňuje lineární pohyb pomocí valivých elementů - kuliček nebo válečků. Použití těchto valivých elementů mezi kolejničí a vozíkem umožňuje dosáhnout velmi přesného lineárního pohybu. V porovnání s běžným kluzným vedením je koeficient tření u valivých vedení jen asi 2%. Díky profilové kolejniči může vozík zachytávat síly ve vertikálním i horizontálním směru. Lineární vedení typu HG/ EG se čtyřmi kuličkovými oběžnými drahami je dimenzováno pro zatížení s tuhostí o 30 % vyšší než u



Obr. 3.2.8 Kuličkové profilové vedení HG/EG [2]

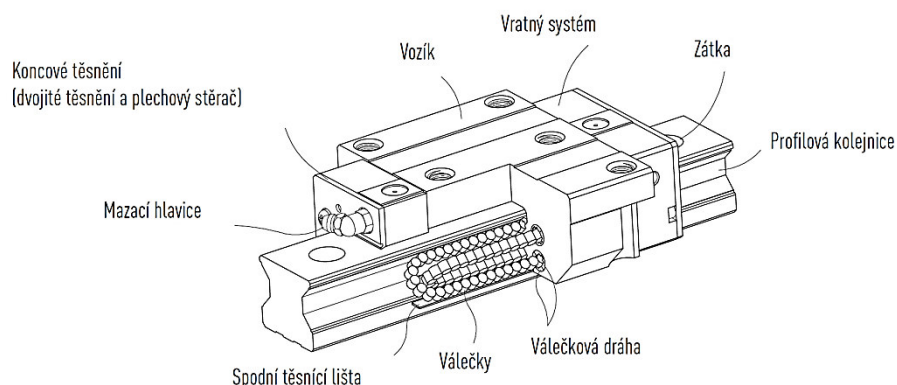


Obr. 3.2.9 Kuličkové profilové vedení QH/QE [2]



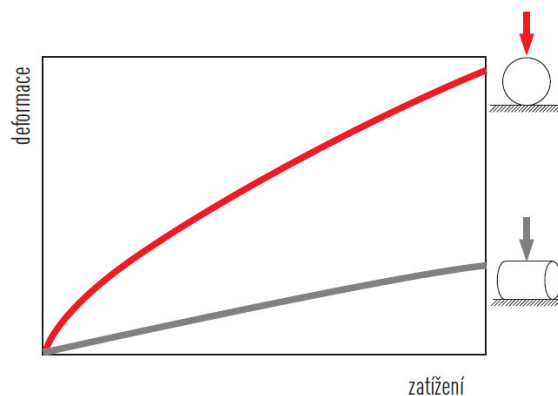
staršího provedení se dvěma oběžnými drahami (Obr. 3.2.8). Vysoká únosnost a tuhost systému je dosažena díky optimalizaci kruhového oblouku oběžné dráhy a její speciální konstrukcí. Tento systém konstrukčního řešení zaručuje i lehký chod lineárních vedení. Vypadnutí kuliček z vozíku (pokud není vozík nasazen na kolejnici) zabraňuje ochranná lišta, která zadržuje kuličky v oběžné dráze vozíku. Modely typu QH a QE (Obr. 3.2.9) se systémem SynchMotion™ nabízí všechny pozitivní vlastnosti řady HG/EG. Díky kontrolovanému pohybu kuliček v definovaných rozestupech vykazují dodatečné vyšší dovolené rychlosti, prodloužené domazávací intervaly stejně jako nižší hlučnost. Připojovací rozměry vozíků QH a QE jsou identické s typy HG a EG, takže mohou být namontovány na standardní kolejnici HGR a mohou být jednoduše vyměněny. [2]

V profilovém kolejnicovém vedení typu RG (Obr. 3.2.10) jsou použity jako valivé elementy místo kuliček válečky, které obíhají ve valivých drahách. Válečkové RG provedení



Obr. 3.2.10 Struktura válečkového vedení RG [2]

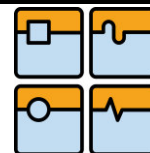
nabízí velmi vysokou tuhost a únosnost. RG provedení je konstruováno tak, že dráhy válečků svírají vůči sobě úhel 45° , přímkový povrchový kontakt výrazně snižuje jakoukoliv deformaci a to je příčinou velmi vysoké tuhosti a únosnosti při zatěžování ve všech čtyřech směrech. RG provedení umožňuje dosáhnout velmi vysokých výkonů ve velmi přesných provozech a zároveň docílit velmi dlouhou životnost. Pro srovnání deformace kuličkového a válečkového vedení (Graf 1). [2]



Graf 1) Porovnání tuhosti kuličkového a válečkového valivého vedení [2]

3.3 Snímání a odměřování polohy

Odměřování polohy můžeme provádět několika způsoby. U jednoúčelových manipulátorů se nejčastěji využívá snímání nepřímé pomocí snímače na servomotoru, referenční a koncové pozice zajišťují bezkontaktní snímače v jednotlivých polohách. Pokud používáme pneumatický pohon, zde stačí umístit snímače v pozicích, kdy pneumatický motor dojde na doraz. Druhá varianta odměřování spočívá v měření pomocí lineárního odměřovacího pravítka přímo na dané ose. Tím jsou eliminovány veškeré vůle v převodu a nepřesnosti stoupání kuličkového šroubu. Tento způsob se využívá u univerzálních



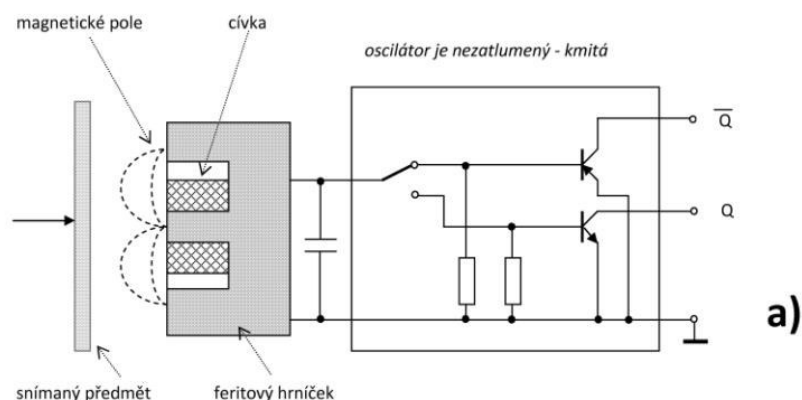
manipulátorů, které tím získávají možnost změny dráhy pohybu podle potřeb uživatele, bez toho aniž by bylo nutné mechanicky zasahovat do konstrukce manipulátoru.

3.3.1 Snímání polohy pomocí snímačů

Určování polohy pomocí snímačů slouží jako zpětná vazba pro řídicí systém, aby věděl, ve které pozici se jednotlivé pohybující se části manipulátoru nachází. Zejména u jednoúčelových pneumatických manipulátorů, kde jednotlivé pozice poloh určují pevné dorazy. To znamená, že přesnost polohy je daná nastavením dorazu. Odpadá tak nutnost odměřování celého rozsahu dané osy.

Indukční snímače

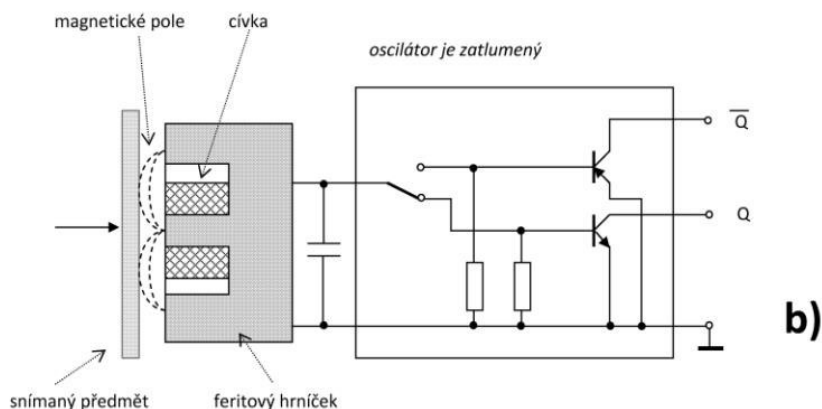
Indukční snímače se řadí do kategorie pasivních bezdotykových snímačů. Měřená veličina je převáděna na změnu indukčnosti nebo vzájemné indukčnosti. Indukční snímače pracují tak, že na jádru feritového hrníčku je umístěna cívka, která tvoří aktivní prvek snímače. Cívkou protéká vysokofrekvenční střídavý proud generovaný oscilátorem a tím vytváří magnetické pole, které vystupuje z otevřené strany hrníčku. To je také aktivní plocha snímače. Pokud k aktivní ploše snímače přiblížíme nějaký předmět z elektricky vodivého materiálu, dojde k deformaci magnetického pole a tím ovlivníme i oscilátor (Obr. 3.3.1). [8]



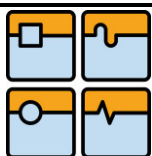
Obr. 3.3.1 Princip funkce indukčního snímače [8]:

a) Nezatlumený oscilátor

b) Zatlumený oscilátor

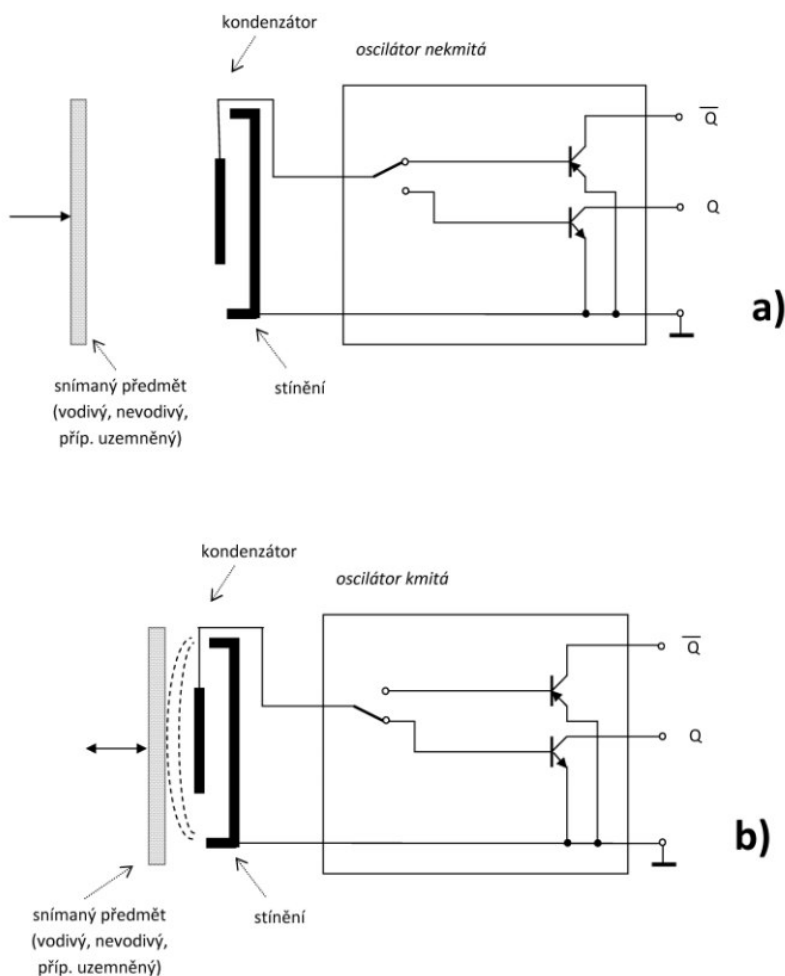


Indukční snímače nejčastěji válcovitý tvar, kde čelní plocha tvoří aktivní plochu snímače. Snímače jsou vyráběny vzhledem k nutnosti rozličného použití v provedení se závitovým pouzdem nebo s uchycovacími otvory. Snímače jsou převážně zalaty do jednoho celku, kdy na jedné straně je snímač a na druhé straně vývod pro připojení. Drobnou zajímavostí je, že na snímačích ještě bývá zpravidla umístěna LED, která indikuje sepnutí. [8]



Kapacitní snímače

Tyto snímače jsou vhodné pro měření veličin, které ovlivňují kapacitu kondenzátoru. Kapacitní snímače se vyrábí v dotykovém a bezdotykovém provedení. U dotykových neboli kontaktních snímačů je měřený objekt spojen s elektrodou, která je součástí snímače. Bezdotykové (Obr. 3.3.2) neboli bezkontaktní provedení detekují přítomnost objektů díky deformaci elektrického pole. Jde o snímače, které detekují vodivé i nevodivé předměty. Označují se jako snímače přiblížení nebo polohové spínače. [8]



Obr. 3.3.2 Princip funkce kapacitního snímače[8]

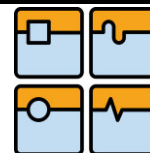
a) Oscilátor kmitá

b) Oscilátor nekmitá

Aktivním prvkem kapacitního snímače je kotoučová elektroda uvnitř válcového pouzdra, které působí jako stínění. Obě tyto elektrody vytvářejí kondenzátor se základní kapacitou. Přiblížením clonky ke snímací ploše snímače se změní kapacita. Kondenzátor je součástí RC oscilátoru, jehož výstupní napětí je závislé na aktivní kapacitě mezi elektrodou snímače a stíněním. Výstupní napětí oscilátoru je usměrněno, vyfiltrováno a přivedeno do obvodu, který potlačí případné poruchy signálu. Tím je k dispozici řídicí signál pro koncový stupeň. [8]

3.3.2 Přímé odměřování

K přímému odměřování se nejčastěji používá lineární snímač polohy. Jedná se o dvě základní komponenty. Jednou z nich je senzor a druhou určitý pásek s rastrem nebo magnetický pásek. Takto odměřovat můžeme několika způsoby. Můžeme využít lineárního potenciometru, kdy se změnou vzdálenosti měníme odpor, ale tento způsob se již moc

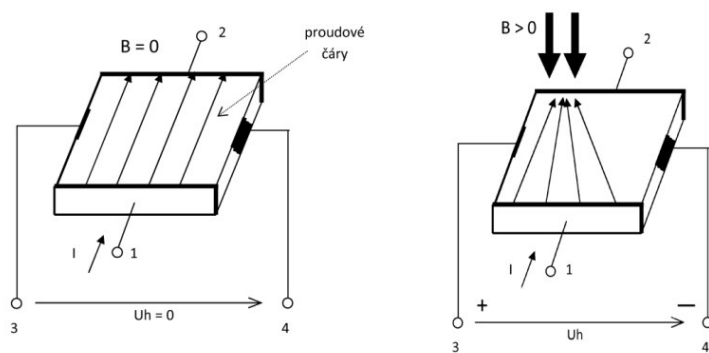


nevyužívá, zejména proto, že nemá dostatečnou přesnost. Další možností je použití optického nebo magnetického lineárního odměřování.

Magnetické lineární snímače

Magnetické snímače pracují na principu Hallova jevu (Obr. 3.3.3). Snímač obsahuje destičku, kterou prochází proud. V kolmé rovině měříme napětí a v další kolmé rovině prochází magnetické pole. Změnou magnetického pole dochází k změně směru toku elektronů a díky tomu se indukuje v kolmé rovině napětí. Magnetické pole zajišťuje magnetický pásek pohybující se pod snímačem. [8]

Magnetické lineární snímače (Obr. 3.3.4) nabízené společností RENISHAW, s označením LM, jsou schopné pracovat s rozlišením $1\mu\text{m}$ při 7 m/s. Maximální přípustná rychlost je 80 m/s a maximální rozsah měření 100m. [9]



Obr. 3.3.3 Princip Hallova jevu [8]



Obr. 3.3.4 Magnetický lineární snímač RENISHAW LM [9]

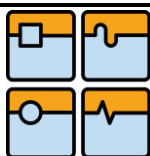
Optické lineární snímače

Princip těchto senzorů spočívá v clonění světelného toku mezi zdrojem a fotocitlivými prvky, pravitkem pravidelně rozděleným na úseky pro světlo propustné a nepropustné (kroky). Posuv pravitka o 1 krok vyvolá přerušení světelného svazku a výstupní signál fotocitlivého detektoru po úpravě na impuls unifikovaného tvaru inkrementuje obsah čítače. Měřený posuv (plocha) je tedy dán obsahem čítače vynulovaného při referenční poloze. Stupnice na skleněném pravitku je vyleptána fotochemickým způsobem. [8]

Jako příklad je zde uveden optický lineární snímač od společnosti RENISHAW s označením SiGNUM™ RSLM (Obr. 3.3.5) schopný dosahovat přesnosti $\pm 4\mu\text{m}$ s maximálním rozlišením 5nm. Maximální předepsaná rychlost pohybu je 12,5 m/s a maximální rozsah měření 10 m. [9]

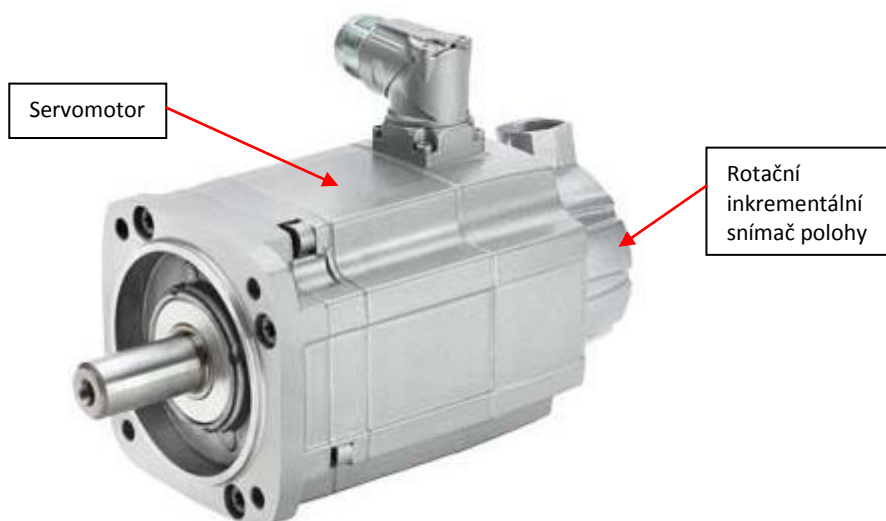


Obr. 3.3.5 Optický lineární snímač SiGNUM™ RSLM [9]



3.3.3 Nepřímé odměřování

Nepřímé odměřování znamená, že polohu supportu na lineární ose přepočítáváme z natočení osy motoru pomocí převodového poměru a stoupání kuličkového šroubu. Mezi hlavní nevýhody tohoto systému odměřování patří vliv vůlí převodového ústrojí a nepřesnosti stoupání šroubovice kuličkového šroubu, tato nevýhoda se částečně odstraňuje pomocí systémových kompenzací. Snímání natočení má na starosti rotační snímač polohy. Můžeme snímat polohu buď přírůstkově (inkrementálně) nebo absolutně. Inkrementální snímač odpočítává polohu od referenčního bodu, na který musí najet při každém zapnutí systému. Absolutní snímač udává pro každé natočení osy specifický kód pro polohu, a tudíž nepotřebuje při zapnutí najet na referenční polohu. U nepřímého odměřování lineární osy naráží absolutní snímač na problém, protože při pohybu po ose vykoná motor několik otáček, takže snímač musí být schopen rozlišovat několik otáček a ne pouze úhlové natočení v rámci jedné otáčky. Stejně jako u lineárních snímačů polohy, i zde můžeme odměřovat několika způsoby. Jako hlavní dva zástupci jsou magnetické a optické rotační snímače. Rotační snímače můžeme nalézt buď integrované přímo na servomotoru (Obr. 3.3.6), nebo přidělané na kuličkovém šroubu.



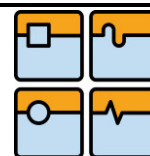
Obr. 3.3.6 Servomotor Siemens 1FK7 [10]

Magnetické rotační snímače

Pracují na principu Hallova jevu, stejně jako lineární magnetické snímače. S tím rozdílem, že snímaný objekt není magnetický pásek ale kotouček. K dispozici jsou bezkontaktní verze bez tření, ale také ložisková provedení. Snímač od společnosti RENISHAW s označením RM22 (Obr. 3.3.7) má přesnost do $\pm 0,5^\circ$. Rozlišení snímače až 8192 poloh na otáčku. A splňuje normu odolnosti proti nečistotám IP68. [9]

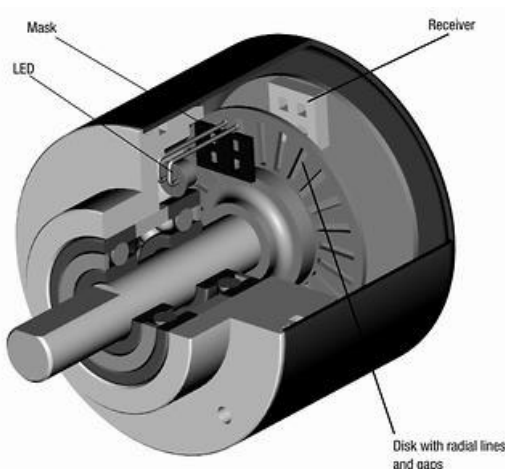


Obr. 3.3.7 Rotační magnetický snímač RENISHAW RM22 [9]

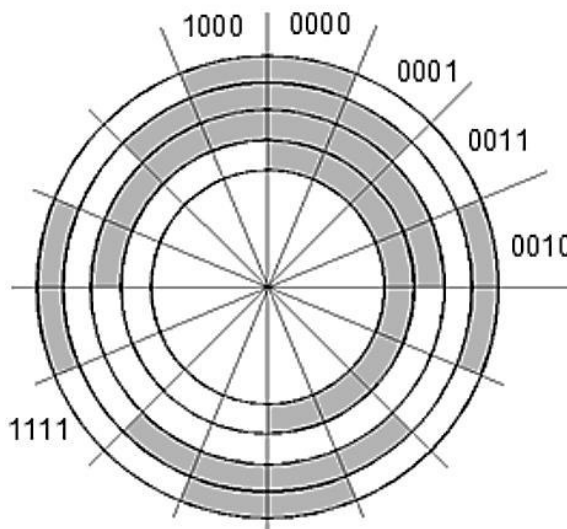


Optické rotační snímače

Princip funkce je stejný jako u lineárního optického snímače. Nesnímá se zde skleněné pravítko se stupnicí, ale kotouček, na kterém je vyleptaná stupnice. Pokud se jedná o absolutní odměřování (Obr. 3.3.9), tento kroužek obsahuje více stupnic, které v daných pozicích tvoří specifický kód. Aby se zajistila detekce chyb při odměřování, využívá se takzvaného Grayova kódu. To znamená, že mezi dvěma polohami se mění pouze hodnota jednoho bitu, takže pokud sensor vyhodnotí změnu ve více bitech najednou, vyhodnocuje to jako chybu. U inkrementálního odměřování (Obr. 3.3.8) je obvykle jedna stupnice se dvěma senzory, které jsou fázově posunuté a jedna referenční značka. [8]



Obr. 3.3.8 Inkrementální rotační optický snímač [11]



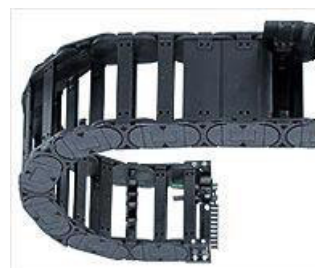
Obr. 3.3.9 Uspořádání značek u absolutního rotačního snímače [8]

3.4 Krytování

3.4.1 Krytování a vedení vodičů a hadic

U manipulátorů a průmyslových robotů často potřebujeme převést energii mezi dvěma pohybujícími se součástmi, například pro napájení další navazující osy nebo napájení koncového efektoru. Ať už se jedná o elektrickou energii, signály od snímačů nebo hadice se stlačeným vzduchem či hydraulickou kapalinou. Každý z vodičů má předepsaný poloměr ohybu, který je nutné dodržovat z důvodů životnosti a spolehlivosti vodiče.

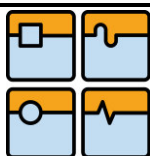
V konstrukci lineárních manipulátorů a řízených os se nejčastěji používají energetické řetězy (Obr. 3.4.1). Vyrábí se v různých variantách se specifickými vlastnostmi, jako například odolnost proti nečistotám, tichý chod, snadná montáž kabelů a poloměr ohybu. U průmyslových robotů lze použít 3D energetický řetěz (Obr. 3.4.2), ten umožňuje ohýbání v celém prostoru a ne jenom v jedné ose, jako je tomu u klasického energetického řetězu. U dlouhých rozsahů pohybu, kde není takové množství vodičů, se



Obr. 3.4.1 igus E-Chain® [12]



Obr. 3.4.2 igus Triflex® R 3D E-Chain® [12]



používá shrnovací kabelové vedení (Obr. 3.4.3). Tento systém obsahuje vozíky, ve kterých je vodič upevněn v určitých roztečích. Vozíky se pohybují po vedení a vodiče se shrnují díky gravitaci do smyček. Tento systém se používá nejčastěji u portálových jeřábů. [12],[13]

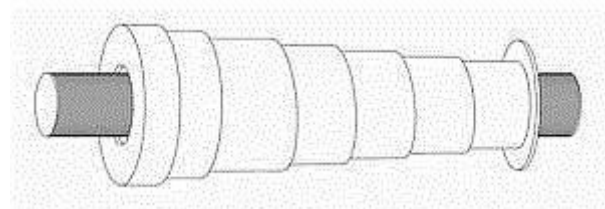


Obr. 3.4.3 ITECO Kabelový vozík s pojezdem po I-profilu [13]

3.4.2 Krytování kuličkových šroubů a vedení

Zakrytáním kuličkového šroubu zvyšujeme jeho odolnost proti nečistotám a kapalinám, které mohou snížit jeho životnost. Můžeme krytovat pouze kuličkový šroub nebo celou lineární osu i s vedením. K výrobě se používá buďto plech nebo tkanina potažená vrstvou ochranného materiálu. Tyto komponenty se pohybují mezi přírubami, které mají předepsané montážní rozměry.

Pro krytování kuličkových šroubů se používají plechové spirálové kryty nebo kruhové krycí měchy. Spirálové kryty (Obr. 3.4.4) se montují větším průměrem do otvoru a menším průměrem na osazení. Spirálové kryty jsou odolné proti hrubým nečistotám a třískám, a také jsou tepelně odolné. Kruhové krycí měchy (Obr. 3.4.5) mají menší odpor proti pohybu. Mohou se montovat buďto pomocí přírub nebo objímkami. Jsou vybavené omezovačem roztahu, vnitřními výztužemi a vodícími kluzáky. Vyrábí se z různých materiálů pro aplikace v odlišných podmínkách. [14]

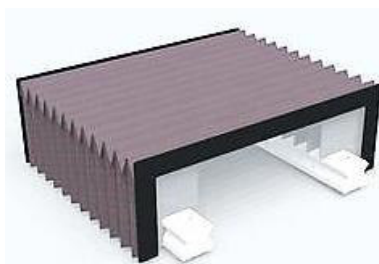


Obr. 3.4.4 Spirálový kryt [14]



Obr. 3.4.5 Kruhový krycí měch [14]

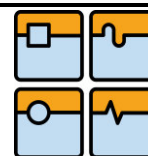
Lineární osy jsou nejčastěji zakrytovány pomocí krycích měchů, teleskopických krytů nebo roletových krytů. Krycí měchy (Obr. 3.4.6) fungují na stejném principu jako kruhové krycí měchy a používají se na ně stejné materiály, ale mají jiný tvar. Plechové teleskopické kryty (Obr. 3.4.7) nacházejí nejčastější využití u obráběcích strojů. Skládají se z plechů, které se přes sebe zasouvají. Pro rovnoměrný roztah se používá pantograf. Dále je tento systém vybavený tlumiči nárazu. U velkých a těžkých krytů jsou použity vodící prvky, které brání průhybu plechů. Posledním zde zmiňovaným způsobem krytování jsou roletové kryty (Obr. 3.4.8). Roletové kryty jsou vyrobeny z krycího materiálu, který je navinut na válec s vnitřním či vnějším pružinovým motorem. Tento motor zajišťuje zpětné navíjení krycího materiálu zpět na navíjecí válec. Krycí materiál lze zvolit dle prostředí a vlivů, které na roletový kryt působí. Otáčení navíjecího válce je zajištěno samomaznými ložisky, proto



Obr. 3.4.6 Krycí měch [14]



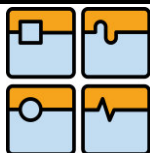
Obr. 3.4.7 Teleskopický kryt [14]



roletové kryty vyžadují zcela minimální nároky na údržbu. [14]



Obr. 3.4.8 Roletový kryt [14]

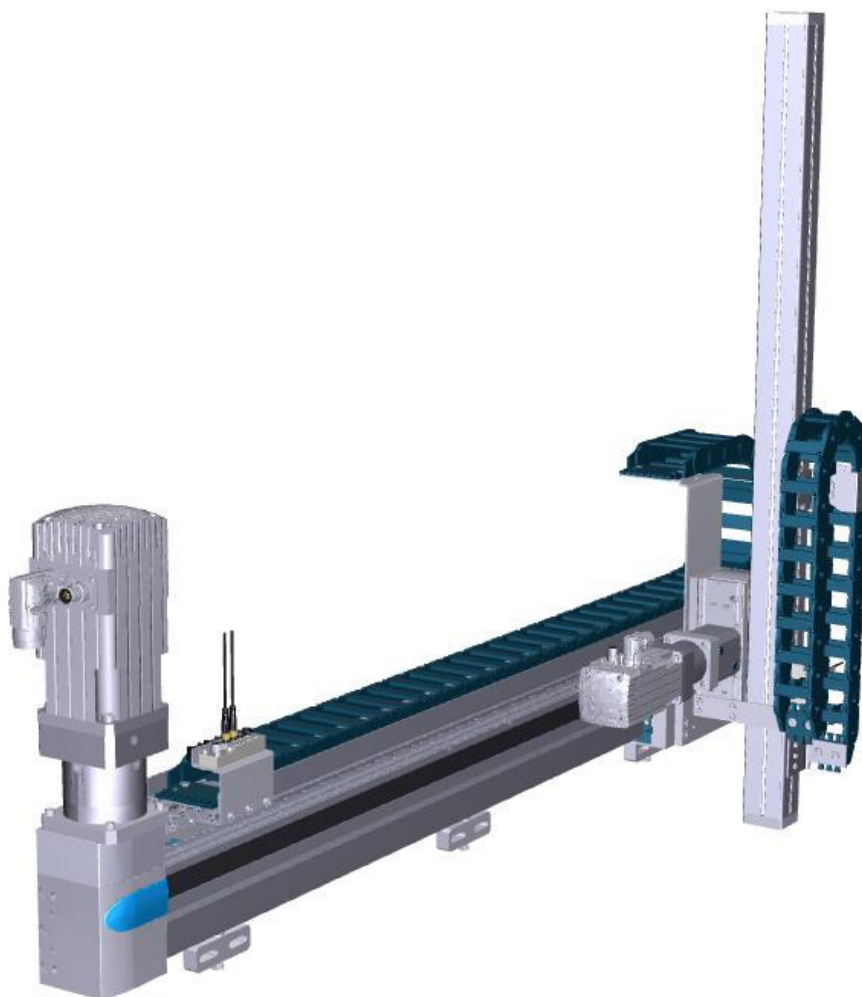


4 Výrobci manipulátorů

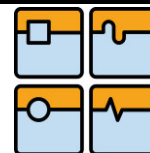
Tato kapitola se věnuje nejvýznamnějším výrobcům manipulátorů. Nejdůležitější vlastností je stavebnicová konstrukce, která je schopná přizpůsobit řešení pro konkrétní aplikaci.

4.1 Kartézské manipulátory FESTO

Společnost FESTO nabízí široké spektrum výrobků. Co se manipulátorů týče, z nabídky si lze vybrat jak jednoduché lineární jednotky až po dvouosé (Obr. 4.1.1) a tříosé manipulátory. Konkrétní řešení si lze konfigurovat pomocí internetového katalogu přímo na stránkách výrobce. Lze zvolit manipulátor poháněný čistě elektrickými, pneumatickými nebo kombinovanými pohony. Manipulátory jsou kompatibilní s dalším nabízeným sortimentem (chapadla, sklíčidla, svěráky, atd.). První parametr potřebný pro konfiguraci je hmotnost koncového efektoru s manipulovaným předmětem a vzdálenost těžiště od roviny příruby, případně další zatěžující síly. Další parametry jsou pak rozsah posuvů, doba cyklu manipulace a možnost napájení a řízení. Rámy jednotlivých os jsou nejčastěji z lehké hliníkové slitiny, vybaveny buďto kluzným nebo valivým vedením. [5]



Obr. 4.1.1 Dvouosý manipulátor FESTO [5]

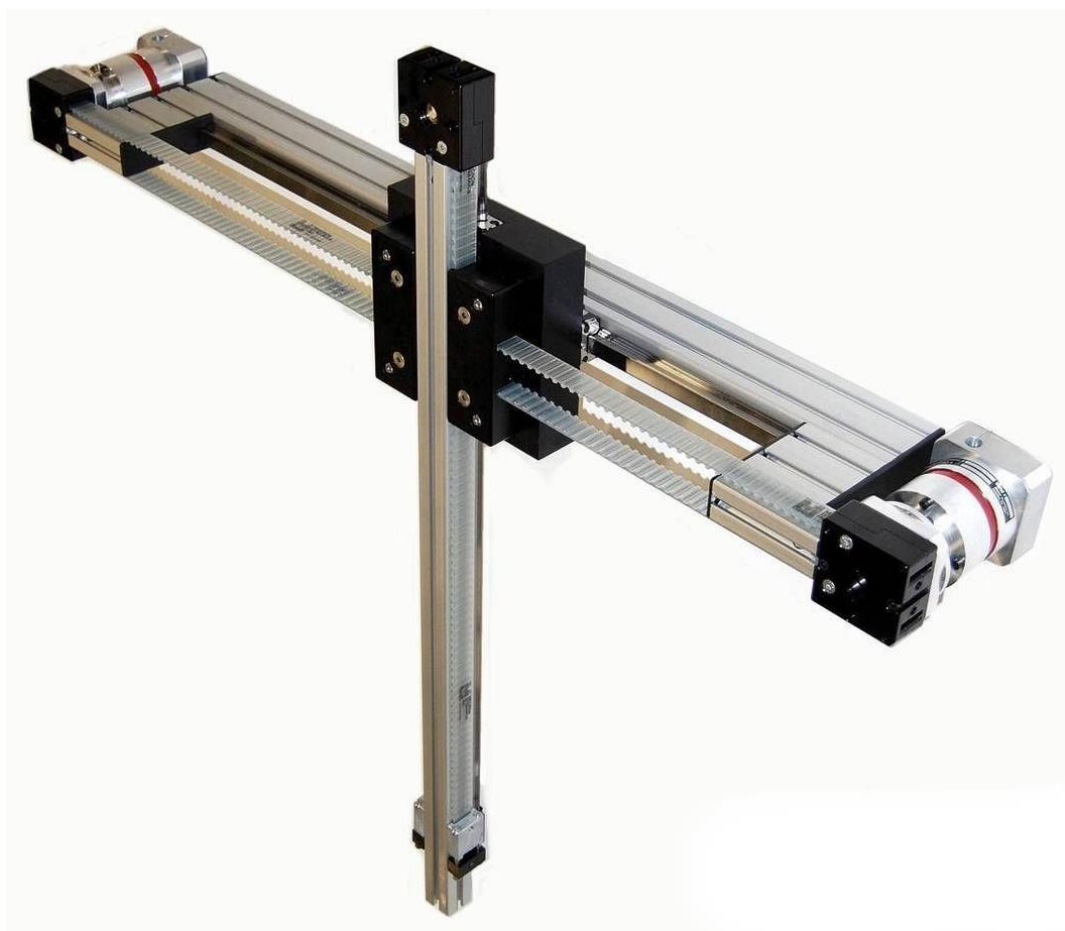


4.2 Řemenový manipulátor MACRON DYNAMICS

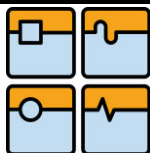
Méně známá společnost MACRON DYNAMICS, INC. Nabízí manipulátor netradiční konstrukce. Tento manipulátor nemá pohony zařazené na každém lineárním členu tak, jak je to zvykem, ale jsou umístěné na pevném rámu. Plynou z toho značné výhody, zejména malé přesouvající se hmoty. To znamená vyšší dynamiku pohybu, efektivitu a malou energetickou náročnost. Motory jsou umístěny na krajích první lineární jednotky a jsou spojeny jedním ozubeným řemenem pomocí řemenic. Pokud se motory otáčejí synchronně stejným směrem otáček, tak se manipulátor pohybuje ve vodorovné ose X. V případě opačného směru otáčení se manipulátor pohybuje pouze ve svislém směru Z. Při různých velikostech otáček se manipulátor přesouvá v obou směrech současně. Jako příklad je zde uveden manipulátor s označením TGB-12. [15]

Parametry TGB-12:

Opakovatelná přesnost:	+/- 0.05 mm
Přesnost polohování:	0,8 mm/m
Rozsah osy X:	250 až 1000 mm
Rozsah osy Z:	125 až 500 mm
Maximální rychlost:	1000 mm/s
Maximální zatížení:	10 lb.= 4,54 kg



Obr. 4.2.1 Dvouosý manipulátor MACRON DYNAMICS TGB-12 [15]

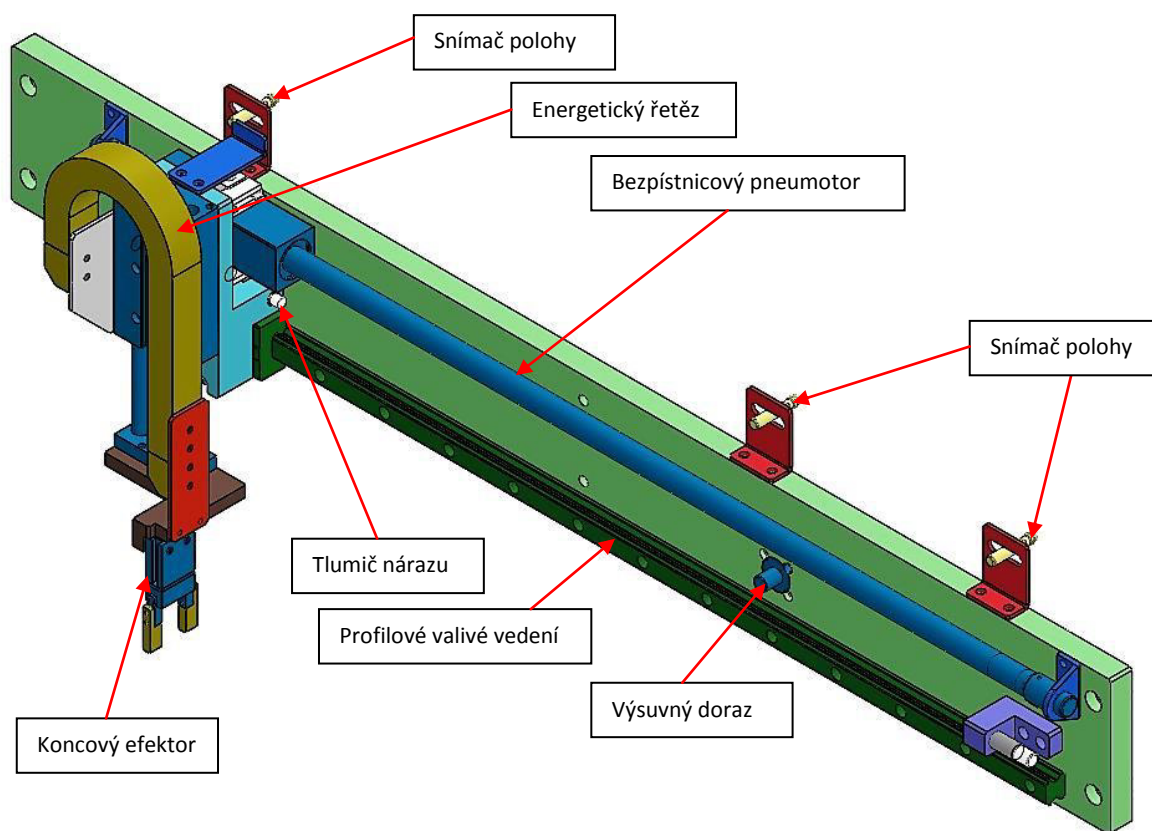


5 Stávající manipulace v JCEE s. r. o.

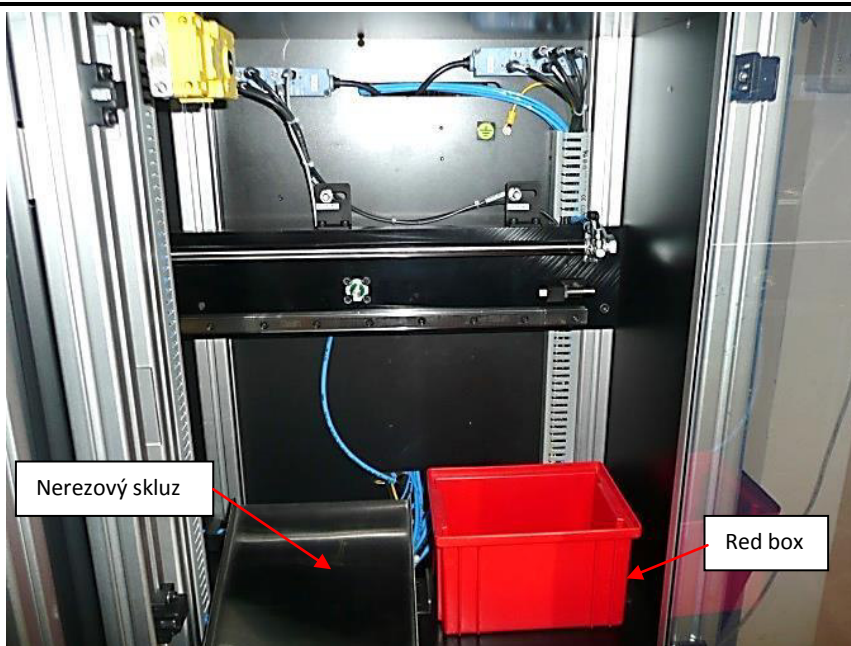
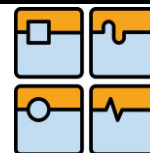
Tato část se věnuje současným způsobům řešení manipulace ve společnosti JCEE s.r.o. Lanškroun. Jsou zde uvedena tři rozdílná řešení, lišící se typem pohonu, velikostí a manipulovaným předmětem.

5.1 Pneumatický dvouosý manipulátor

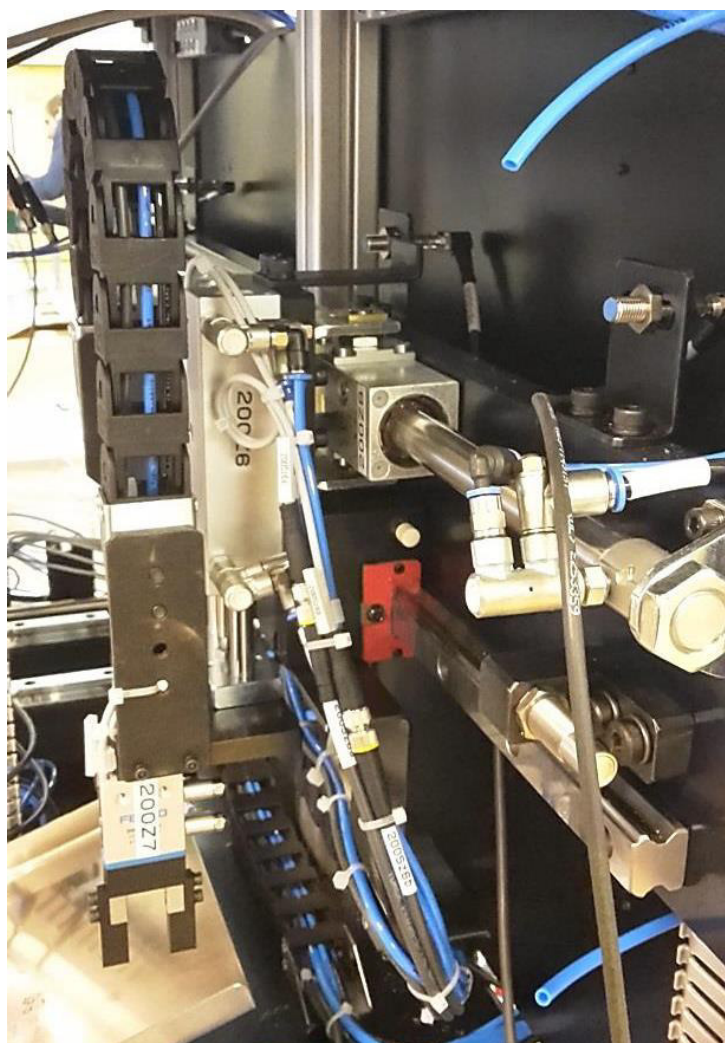
Tento manipulátor (Obr. 5.1.1) je použit v konstrukci stroje s typovým označením 2N1456. Stroj má za úkol montáž čtyř součástí, kontrolu smontovaného kusu pomocí průmyslové kamery a třídění správných a zmetkových kusů. Manipulátor je poháněn pneumaticky (Obr. 5.1.3). Osa X zajišťuje polohování ve třech pozicích pomocí bezpístnicového válce, z nichž druhé pozice se dosahuje pomocí zářžkového válce. Jsou zde použity pevné dorazy a tlumiče nárazu. Osa Z slouží pro polohování ve dvou pozicích (spodní a horní) použitím pneumatického válce s vedením. V 1. pozici manipulátor pomocí koncového efektoru, kterým je pneumatické chapadlo, odebere kus ze základacího lůžka. V 2. pozici se manipulátor zastaví na zářžkovém válci, provede se kontrola pomocí kamery a v případě OK kusu, položí díl na nerezový skluz (Obr. 5.1.2). Ve 3. pozici se manipulátor zastaví jen v případě NOK kusu a díl odloží do red boxu.



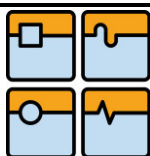
Obr. 5.1.1 Model manipulátoru ve stroji 2N1456 – konstrukce JCEE



Obr. 5.1.2 Umístění nerezového skluzu a red boxu

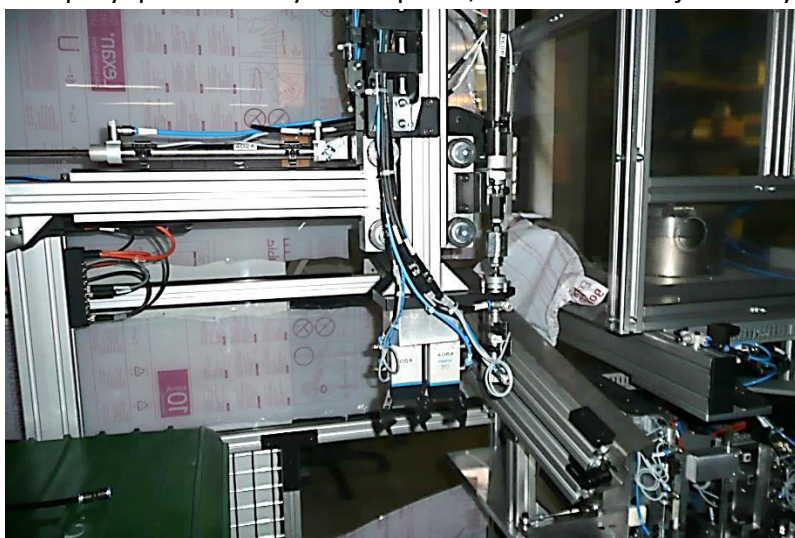


Obr. 5.1.3 Boční pohled

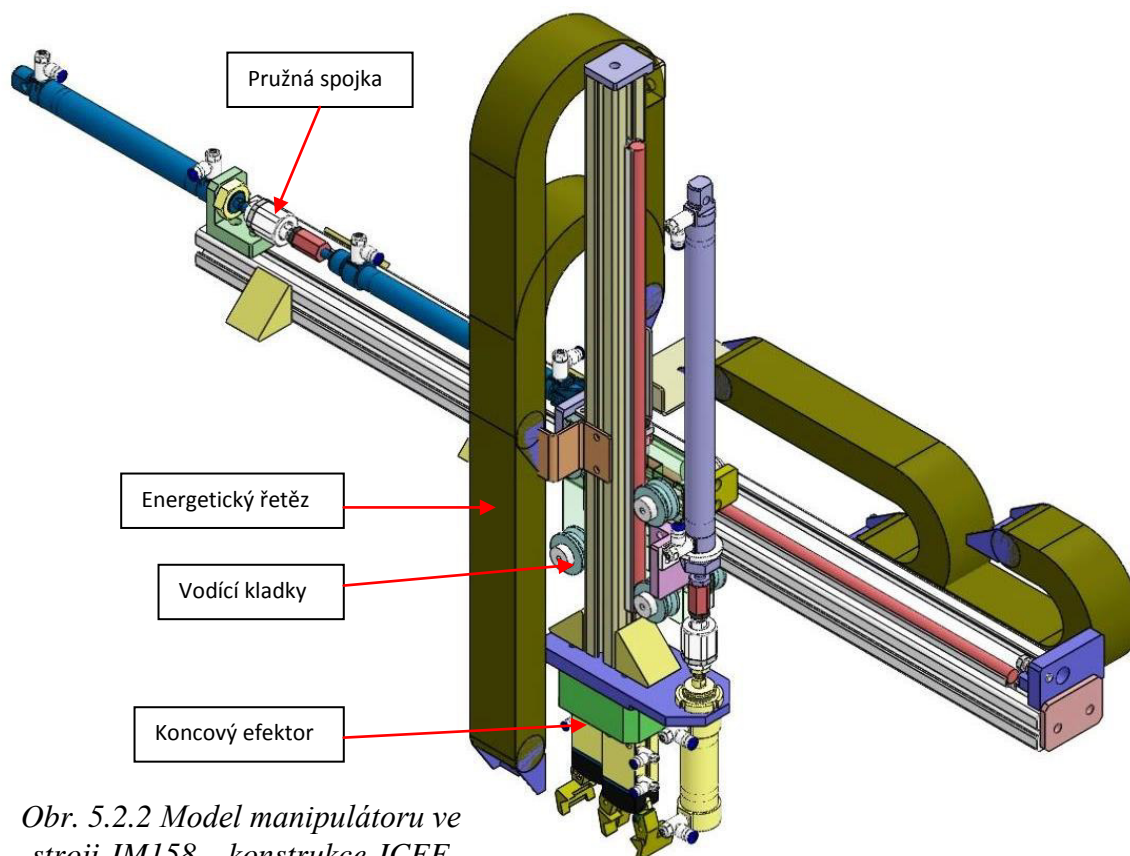


5.2 Pneumatický dvouosý lineární manipulátor se dvěma válci na každé ose

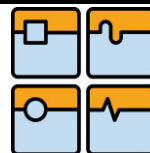
Tento manipulátor (Obr. 5.2.2) je použit v konstrukci stroje JM158, který slouží k montáži třibodové spojky. Manipulátor slouží k přemístění hotových výrobků z hřebenového dopravníku na výstupní dopravník (Obr. 5.2.1). Manipulátor se pohybuje v obou osách přes kladky po vodících tyčích pomocí pneumatických válců. Překladač má koncový efektor, kterým jsou dva páry pneumatických chapadel, které odebírají 2 kusy hotových výrobků a překládají je na výstupní dopravník. Podle toho, jestli je smontovaný výrobek OK nebo NOK kus, je výstupním překladačem přeložen buď na dopravník pro OK kusy, nebo na dopravník pro NOK kusy. Jelikož se dopravník pro NOK kusy nachází v jiné výšce než dopravník OK kusů, navíc je o určitou vzdálenost posunutý ve směru osy X, je nutné použít další polohu jak v ose X tak v ose Z.



Obr. 5.2.1 Umístění manipulátoru ve stroji



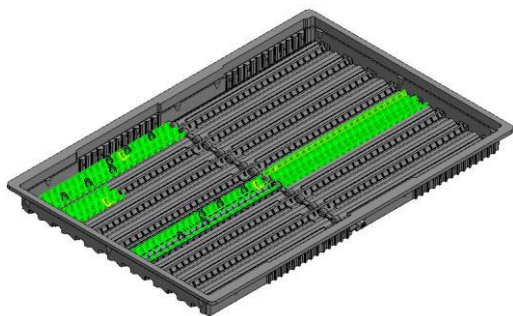
Obr. 5.2.2 Model manipulátoru ve stroji JM158 – konstrukce JCEE



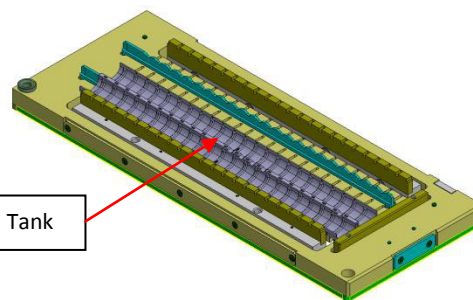
5.3 Tříosý lineární manipulátor s elektrickým pohonem

Tento manipulátor (Obr. 5.3.1) se nachází v konstrukci stroje s označením JM139. Stroj slouží k montáži a lisování dílů. U něj použitý manipulátor slouží k přesunutí tácu (Obr. 5.3.2) s prázdnými tanky (Obr. 5.3.3) ze vstupních boxů na stůl táců, k přesunu prázdných boxů na jinou pozici na stole a k přesunutí táců s plnými tanky ze stolu táců do výstupních boxů.

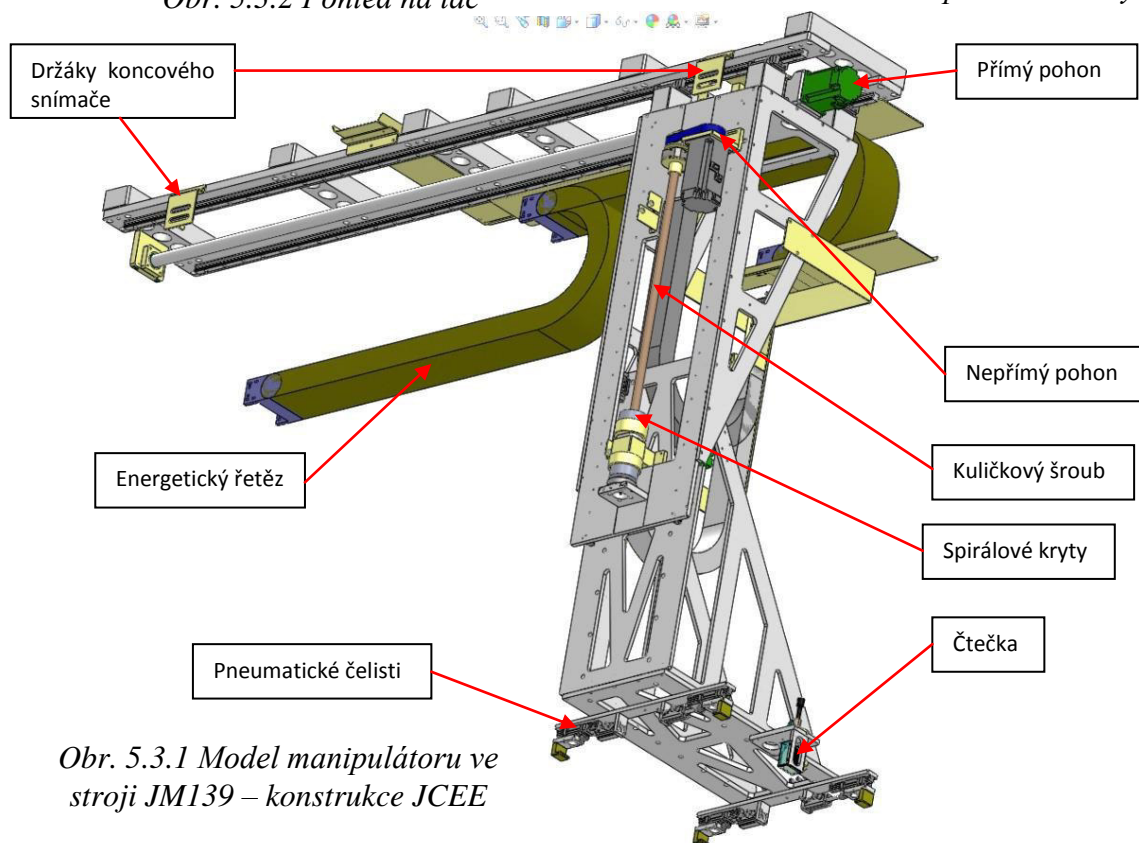
Tříosý manipulátor je přimontovaný k hornímu rámu stroje. Smontovaný z odlehčených hliníkových desek. Manipulátor má dva páry pneumatických čelistí. Jeho pohyb ve dvou osách zajišťuje servomotor s podporou lineárního vedení a kuličkového šroubu. Kuličkové šrouby jsou kryty teleskopickými pružinami. V ose X se pohybuje pomocí pneumatického válce. Tácy ve vstupních boxech jsou uchopeny do pneumatických čelistí a přeloženy na 1. a 2. pozici stolu táců. Přítomnost táců mezi čelistmi je snímána indukčním čidlem. Zároveň RFID čtečka snímá RFID čip táců. Po vyprázdnění jsou tácy manipulátorem přesunuty z 1. pozice do 3. pozice stolu a z 2. pozice do 4. pozice stolu. Po naplnění tanky jsou tácy přeloženy do výstupních boxů. Síla přitlaku čelistí se nastavuje pomocí regulačního ventilu.



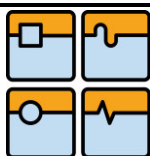
Obr. 5.3.2 Pohled na tácu



Obr. 5.3.3 Zakládací paletka s tanky



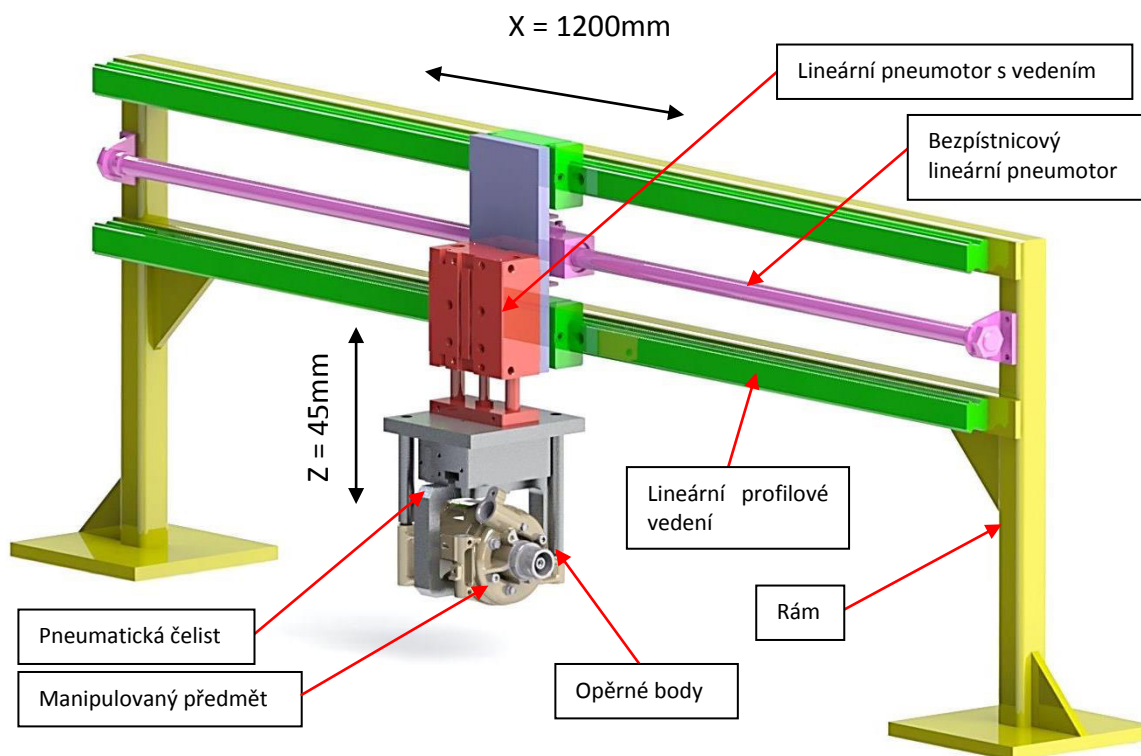
Obr. 5.3.1 Model manipulátoru ve stroji JM139 – konstrukce JCEE



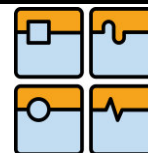
6 Návrh a výběr vhodné varianty řešení

6.1 1. Varianta – manipulátor s pneumatickými pohony

Tato varianta (Obr. 6.1.1) využívá k pohonu celého manipulátoru výhradně stlačený vzduch. Je to jednoduché řešení s detekcí koncových poloh. Nevýhodou je vysoká cena pohonného média, nerovnoměrný chod, zejména v ose X, kde dochází k velkému zrychlení a prudkému zpomalení, to by mohlo zapříčinit vypadnutí manipulovaného předmětu. U tohoto řešení není možné softwarově změnit manipulační vzdálenost. To lze provést pouze mechanickým přenastavením dorazu. Snadná změna dráhy v ose X je nutná, neboť se do budoucna počítá se změnou typu manipulovaného výrobku. Pro velký rozsah osy X je použitý bezpístnicový lineární pneumotor. Lineární vedení je usazeno na svařeném rámu s frézovanými plochami v odpovídající geometrické přesnosti.

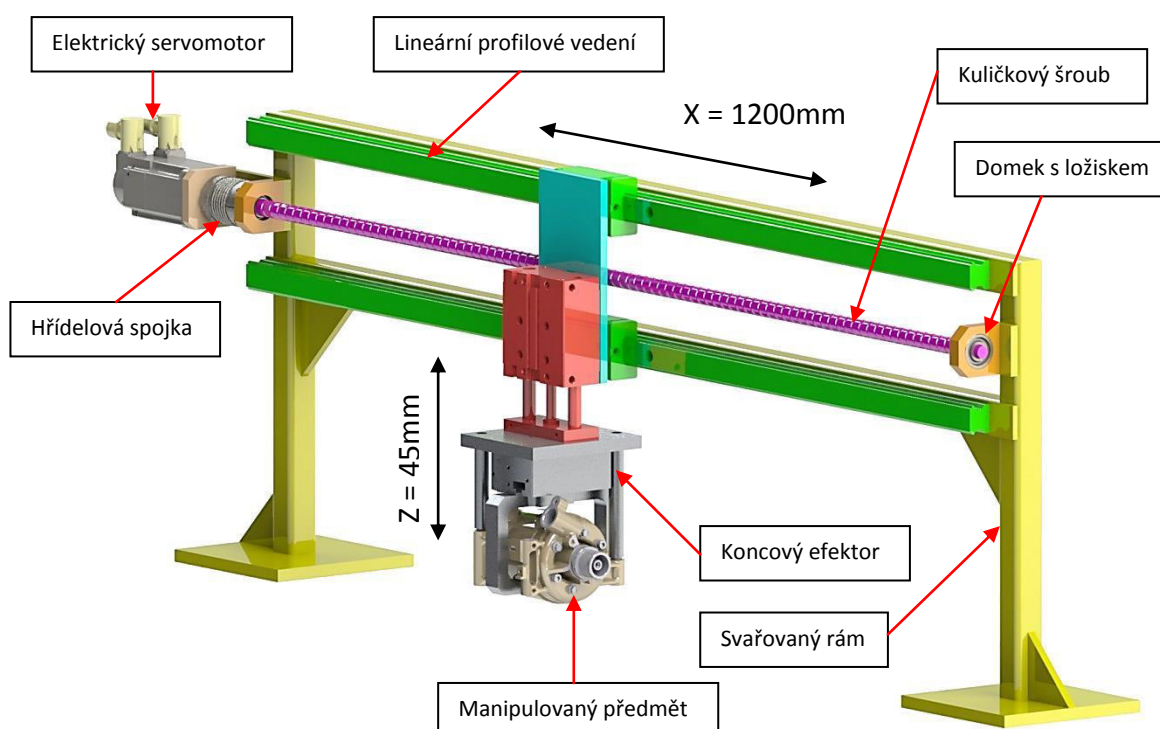


Obr. 6.1.1 Náčrt první varianty konstrukce manipulátoru

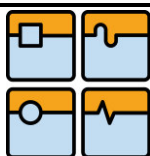


6.2 2. Varianta – manipulátor s kuličkovým šroubem

Tato varianta používá pro dlouhý pohyb v ose x kuličkového šroubu poháněného servomotorem. Velkou výhodou je snadná změna vzdálenosti posuvu (při změně typu výrobku), a to změnou hodnoty v řídicím softwaru stroje. Jako další výhodu lze uvést plynulý chod zrychlení a brždění. Pro osu Z je také použitý lineární pneumotor s vedením jako v předchozím řešení, neboť rozsah osy má být pouze 45 mm.



Obr. 6.2.1 Náčrt druhé varianty konstrukčního řešení



6.3 Metoda multikriteriálního hodnocení

Při výběru nového zařízení, výrobku či obecně technického objektu, stojíme často před otázkou, který zvolit ze široké nabídky trhu a následně zda jsme zvolili správně. K tomuto problému můžeme přistupovat buď subjektivně (nadřazená restrikce naznačí, „kdo by měl vyhrát“ po vyhlášení hospodářské soutěže a ukončení výběru dodavatele) nebo si necháme zpracovat expertní posudky od nezávislých odborníků. Ovšem jako seriózní se jeví skutečnost, že uijeme systematických a racionálních metod práce využívající objektivizující matematický aparát. V našem případě využijeme poslední možnost, kdy za využití metod systémového přístupu můžeme paralelně srovnávat například několik nabídkových projektů na dodávku výrobku (stroje, zařízení apod.), nebo provádět výběr z množství několika variantních řešení (například projekty). [16]

Cílem hodnocení například nabídkových projektů je souhrnně vyjádřit technicko-ekonomickou (dále je TE) úroveň jednotlivých návrhů a určit pořadí jejich výhodnosti. Porovnání TE úrovně technických objektů (nejen výrobků ale i technologických procesů, racionalizačních návrhů hodnotové analýzy ap.). Je obtížné proto, že TE úroveň je popisována soustavou TE parametrů, o různých jednotkách. Problém přímé nesčitatelnosti hodnot parametrů se musí řešit různými způsoby agregace těchto hodnot tak, aby bylo možné vyjádřit TE úroveň jedinou hodnotou. K tomuto účelu bylo vypracováno několik postupů, souhrnně označovaných jako metody multikriteriálního hodnocení. [16]

Každý předkládaný projekt má obvykle dvě stránky:

- Technickou, která vyjadřuje funkční vlastnosti projektu a její úroveň je definována stupněm plnění všech funkcí projektu $S^{\circ}F_j$.
- Ekonomickou, která vyjadřuje náklady na zabezpečení těchto funkcí. N

Zatímco náklady A lze poměrně snadno zjistit, neboť jednotlivé nákladové položky mají stejné jednotky a jsou tedy sčitatelné, stupeň plnění funkcí je třeba určit právě pomocí některé metody multikriteriálního hodnocení. Pak teprve lze určit poměrnou efektivní hodnotu (PEH) každého projektu a podle klesající hodnoty PEH projekty seřadit.

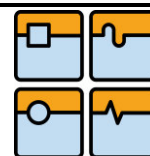
$$PEH = S^{\circ}F_j/A$$

Nejužívanější metody multikriteriálního hodnocení jsou:

- bazická bodovací metoda
- metoda pořadí
- metoda PATTERN

6.3.1 Bazická bodovací metoda

Protože se obvykle předkládané varianty posuzují na základě většího počtu různých kritérií, patří tato metoda mezi metody multikriteriálního hodnocení. Hodnocená hlediska jsou vyčíslitelná a to významně zjednodušuje proces hodnocení. Použitím bazické bodovací metody se porovnává hodnocená varianta se vzorovým řešením – vzorovým etalonem – bází. [16]



Hodnocení konkrétní varianty probíhá jak po stránce technické (označení τ), tak i po ekonomické (označení ξ). Technická i ekonomická hodnota varianty se posléze umísťuje do roviny hodnotícího diagramu ($\xi = f(\tau)$), kde je její výhodnost patrná ze vztahu k jiným, rovněž zaneseným variantám. [16]

Stručnou podstatu metody a postup při aplikaci lze uvést v následujících bodech:

- nejprve je třeba provést reprezentativní výběr parametrů (vlastností). Je třeba vyloučit vzájemně závislé parametry. Jejich počet by měl být omezen na podstatné a spolehlivě zjistitelné.
- stanoví se bodovací stupnice, která hodnotí buď kvalitativní, nebo kvantitativní hodnoty parametrů.
- určí se významnost (váha) parametrů.
- provede se hodnocení

Technická hodnota τ

A) Při identifikaci varianty se hodí celá řada faktorů, parametrů a vlastností, které označíme jako $T_1, T_2, \dots, T_n$, tj. $T (1, \dots, n)$

kde: n = maximální počet faktorů, parametrů, vlastností
 n = obvykle (1-100)

B) Hodnotu každého faktoru, parametru a technické vlastnosti vyjádříme pomocí tříděníku $t_1, t_2, \dots, t_j$ se stanovenou (zvolenou) stupnicí, tj. $t (1, \dots, j)$

kde: t_1 = maximální hodnota faktoru, parametru, vlastnosti

t_j = maximální hodnota

s kvantifikací a se slovním hodnocením: $t_1 = 0$ = nevyhovující (min)

$t_2 = 1$ = velmi slabé

$t_3 = 2$ = vyhovující

$t_4 = 3$ = dobré

$t_5 = 4$ = velmi dobré

$t_6 = 5$ = výborné (tj. vzorové, ideální, 100%), (max.)

Doporučený rozsah stupnice tříděníku: $t (1, 6)$ nebo $t (1, 10)$ atd. I když je hodnocení faktorů subjektivní, je však podloženo objektivně zjistitelnými parametry a vlastnostmi.

C) Hodnocený faktor, parametr, vlastnost lze vyjádřit i procentuálně:

$$p_\tau = \frac{100}{t_j} [\%] \quad (1)$$

D) Relativní technická hodnota n -tého faktoru, parametru, vlastnosti je pak:

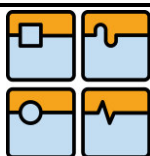
$$T_n * t_j \quad (2)$$

E) Význam (váhu) jednotlivých faktorů, parametrů, vlastností pak dle důležitosti rozlišíme koeficienty $g_n (\leq 1)$, tedy:

$$0 \leq g_n \leq 1 \quad (3)$$

F) Technický stav hodnocené varianty dle a různých hledisek je pak:

$$(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_j, \dots, \tau_n) = (g_1 * t_1, g_2 * t_2, \dots, g_j * t_j, \dots, g_n * t_n) \quad (4)$$



G) Konečná technická hodnota varianty je pak vyjádřena:

$$\tau = \frac{\sum_{j=1}^n (g_j * t_j)}{\sum_{j=1}^n g_j * t_{max}} = \frac{g_1 * t_1 + g_2 * t_2 + \dots + g_n * t_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) * t_j} \leq 1 \quad (5)$$

kde: g_j = koeficient rozlišující významnost hodnocených faktorů, parametrů, vlastností

t_j = hodnota i-tého faktoru, parametru, vlastnosti

n = počet hodnocených faktorů, parametrů, vlastností

V procentuálním vyjádření: $\tau \leq 100 \%$

Konečná technická hodnota (např. zcela nového, továrně vyrobeného produktu) činí: $\tau = 100 \%$

6.4 Výběr konstrukční varianty

Posuzované vlastnosti:

T1) Technická jednoduchost konstrukce

T2) Hmotnost konstrukce

T3) Přestavitelnost

T4) Ekonomičnost

T5) Energetická náročnost

T6) Plynulost pohybu

T7) Hlučnost

Tabulka 1) hodnocení:

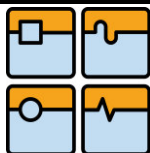
n	VLASTNOST	Varianta 1				Varianta 2			
		t_j	g_n	p_τ	τ_n	t_j	g_n	p_τ	τ_n
1	T1	4	0,8	25	3,2	3	0,8	33,33	2,4
2	T2	5	0,1	20	0,5	4	0,1	25	0,4
3	T3	1	0,6	100	0,6	3	0,6	33,33	1,8
4	T4	4	0,9	25	3,6	1	0,9	100	0,9
5	T5	2	0,4	50	0,8	4	0,4	25	1,6
6	T6	3	0,3	33,33	0,9	4	0,3	25	1,2
7	T7	2	0,5	50	1	3	0,5	33,33	1,5

Tabulka 2) Konečné technické hodnocení τ :

Varianta	τ
1	0,589
2	0,681

6.5 Závěr hodnocení

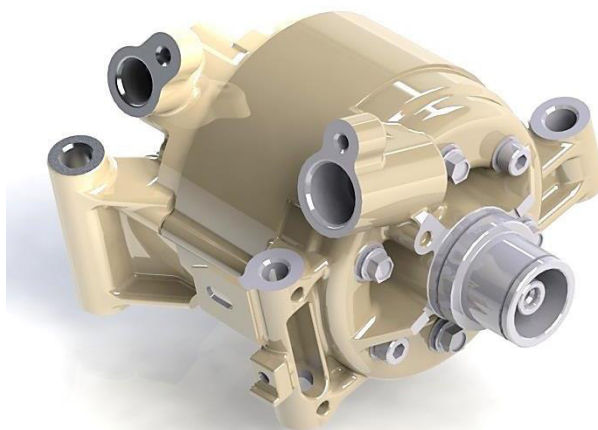
Z výsledků plyne (Tabulka 2), že nejvhodnější variantou je manipulátor s pohonem pomocí kuličkového šroubu. A to i přes to, že pneumatický pohon je levnější a také jednodušší pro konstrukci. Velká výhoda manipulátoru s pohonem pomocí kuličkového šroubu je zejména možnost nastavování několika pracovních poloh, například pokud bychom chtěli kontrolovat manipulovaný objekt pomocí průmyslové kamery, případně jiný typ kontroly prováděný v cyklu manipulace.



7 Konstrukce koncového efektoru

7.1 Manipulovaná součást

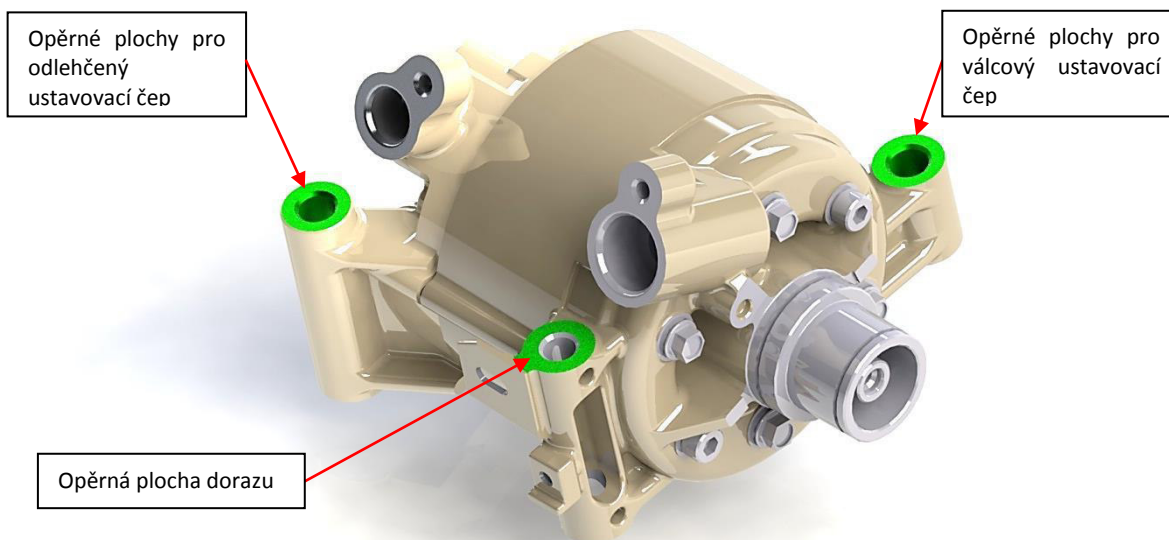
Součást, se kterou se bude manipulovat, je lamelové čerpadlo (Obr. 7.1.1). Skládá se ze dvou odlitých hliníkových těles sešroubovaných šrouby a kolíky. Na odlitcích jsou vstupní a výstupní otvory. Dále obsahuje hřídel, rotační a stacionární tělo a také lamely. Na odlitcích se nachází montážní otvory.



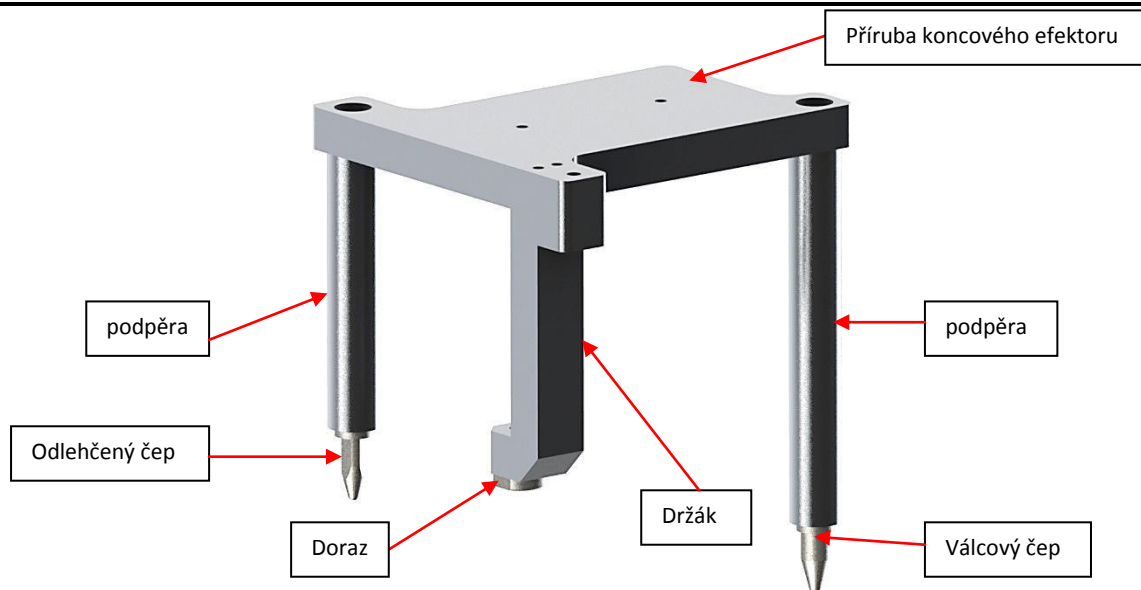
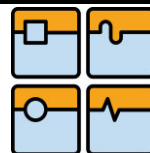
Obr. 7.1.1 Předmět manipulace - čerpadlo

7.2 Ustavování součástí

Čerpadlo bude ustaveno za montážní otvory (Obr. 7.2.1) pomocí středících čepů z katalogu Misumi [17], ty zabrání čerpadlu proti rotaci kolem svislé osy a posuvu. Jeden z čepů je válcový a druhý odlehčený (s odfrézovanými plochami na obvodu). Třetí bod se bude pouze opírat o plochu dorazu. Válcový čep slouží jako rotační vazba a odstraňuje možné posuvy ve dvou rovinách. Odlehčený čep zabráňuje rotaci kolem válcového trnu.



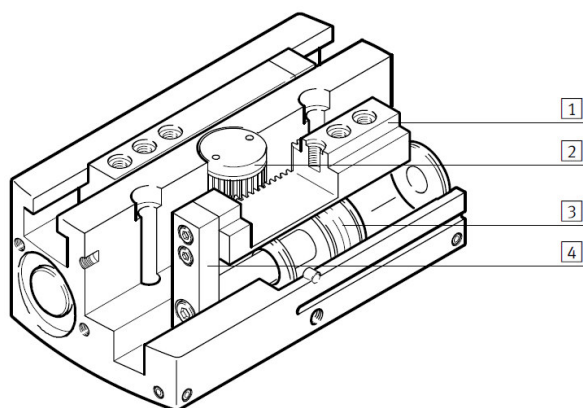
Obr. 7.2.1 Znázornění ploch pro ustavení čerpadla



Obr. 7.3.1 Ustavovací a středící část koncového efektoru

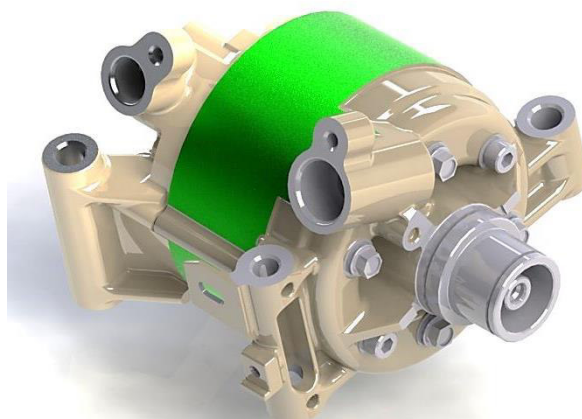
7.3 Uchopování součástí

Uchopování čerpadla je vyřešeno pneumatickým chapadlem HGPL 25-40 (Obr. 7.3.2) od společnosti FESTO. V chapadlu jsou umístěné dva pneumaty, které jsou synchronizovány pomocí ozubených hřebenů a ozubeného kola. Čerpadlo bude uchopováno pomocí válcové plochy (Obr. 7.3.3), kdy čelisti působí na čerpadlo pod úhlem 30° a vyvíjí sílu působící směrem vzhůru proti opěrným bodům. [18]



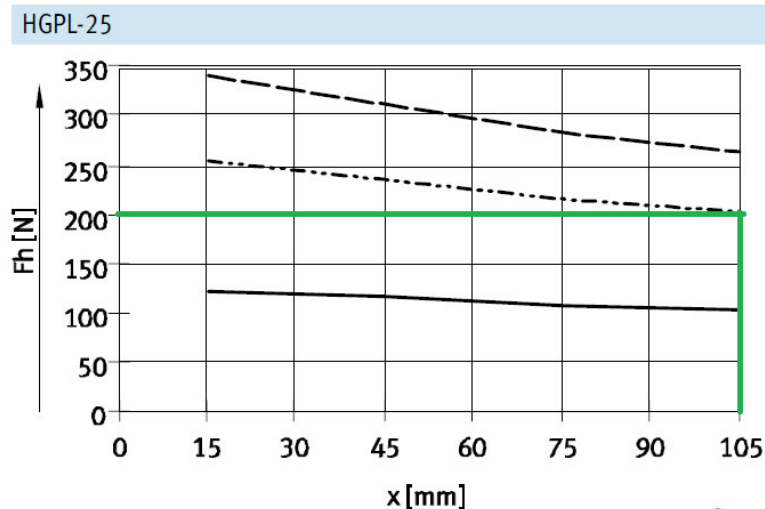
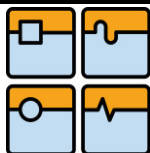
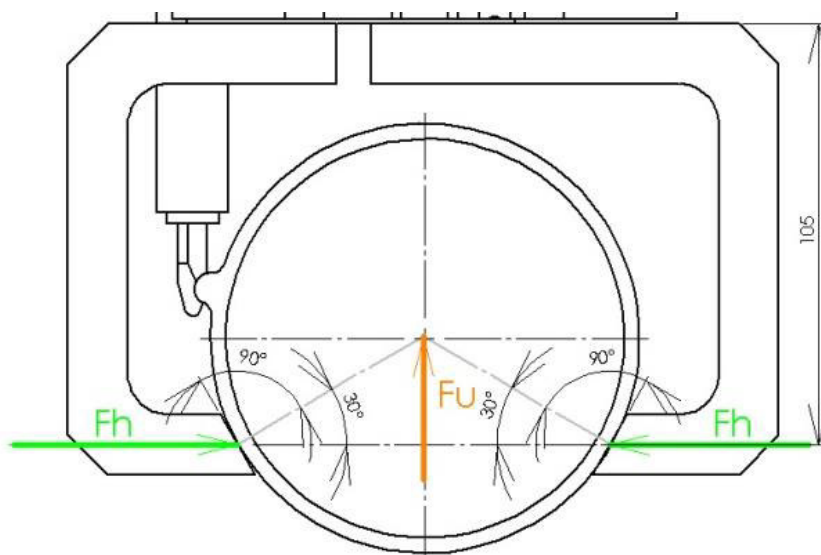
- | | |
|------------------------|-------------------|
| 1 čelisti | 3 píst s magnetem |
| 2 synchronizační prvek | 4 unášec |

Obr. 7.3.2 Chapadlo HGPL 25-40



Obr. 7.3.3 Plocha pro uchopení čerpadla

Jelikož se na čerpadle nachází překážky pro čelisti, například nálitky pro montážní otvory, bylo zvoleno pneumatické chapadlo s maximálním působícím ramenem páky 105 mm a zdvihem 40 mm. Maximální působící síla úchopu jedné čelisti podle Graf 2 je pak 200 N při tlaku 6 barů.

Graf 2) Znárodnění závislosti síly F_h na rameni x 

Obr. 7.3.4 Působení sil od čelistí a upínací síly

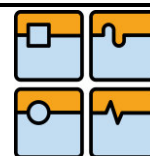
Výpočet uchopovací síly

Do výpočtu zavádím bezpečnostní koeficient upnutí z důvodu možného uvolnění čerpadla při zrychlování a zpomalování manipulátoru. Plocha čelistí je vůči tělu odlitku tečná a síla působí pod úhlem 30° na střed oblouku (Obr. 7.3.4).

Síla úchopu: $F_h = 200 \text{ N}$
Úhel působení síly upnutí: $\alpha = 30^\circ$
Bezpečnostní koeficient upnutí: $k_u = 5$
Hmotnost součásti: $m_s = 2 \text{ kg}$

Tíhová síla součásti:

$$F_{gs} = m_s * g = 2 * 10 = 20 \text{ N} \quad (6)$$



Potřebná síla upnutí:

$$F_u = \frac{2 * \tan(\alpha) * F_h}{k_u} = \frac{2 * \tan(30^\circ) * 200}{5} = 46,19 \text{ N} \quad (7)$$

Při podmínce:

$$F_u \geq F_{gs} \quad (8)$$

Z výsledků rovnice (8) je patrné, že potřebná síla upnutí je přibližně dvakrát větší než tíhová síla čerpadla. To znamená, že pro tuto aplikaci bych mohl použít chapadlo s menší silou, tedy s menším průměrem pneumotorů, musím však brát v potaz nutné rozměrové parametry čelistí, proto síla úchopu čelistí bude redukována pomocí redukčního ventilu.

Podle tabulky (Tabulka 3) Závislost času rozevření/sevření na tíze čelistí lze snadno odečíst čas rozevření a sevření čelistí. Tabulka je konfigurována pro tlak 0,6 barů při použití

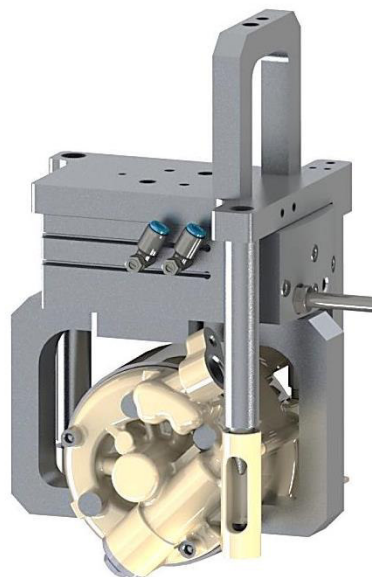
Tabulka 3) Závislost času rozevření/sevření na tíze čelistí

velikost		14				25			
zdvih mm		20	40	60	80	20	40	60	80
bez vnějších palců									
čas rozevření		120	171	270	286	170	225	370	423
čas sevření		110	163	230	270	150	230	370	418
max. přípustné časy rozevření a sevření s externími palci chapadla v závislosti na tíze									
tíha palce chapadla		1 N	123	108	257	243	–	–	–
		2 N	174	136	364	343	–	–	–
		3 N	213	167	445	420	164	210	405
		4 N	246	192	514	485	190	243	468
		5 N	–	–	–	–	212	272	523

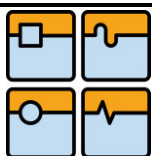
ve vodorovné poloze za teploty 20°C. Hodnoty v tabulce jsou uvedeny v [ms]. Hmotnost čelistí 400g.

7.4 Popis konstrukce koncového efektoru

Koncový efektor (Obr. 7.4.1) je konstruován převážně z hliníkové slitiny z důvodů úspory hmotnosti. Skládá se z příruby, která je následně připevněna na manipulátor. Na přírubu je připevněno pneumatické chapadlo pomocí 2 šroubů a 2 středících dutinek (Obr. 7.4.2). K chapadlu jsou pak připevněny čelisti (Obr. 7.4.3), také pomocí šroubů a dutinek. Dutinky jsou součástí balení s pneumatickým chapadlem, mají stejnou funkci jako kolíky a navíc šetří místo v desce neboť šrouby prochází skrz ně. Dále je k chapadlu připevněno omezení zdvihu (Obr. 7.4.4), které Festo nabízí jako příslušenství. Držák plochého dorazu (Obr. 7.4.5) je pak připevněn k přírubě pomocí kolíků a šroubu. Středící čepy jsou uloženy v podpěrách (Obr. 7.4.6) v otvorech o toleranci H7 a přitaženy pomocí

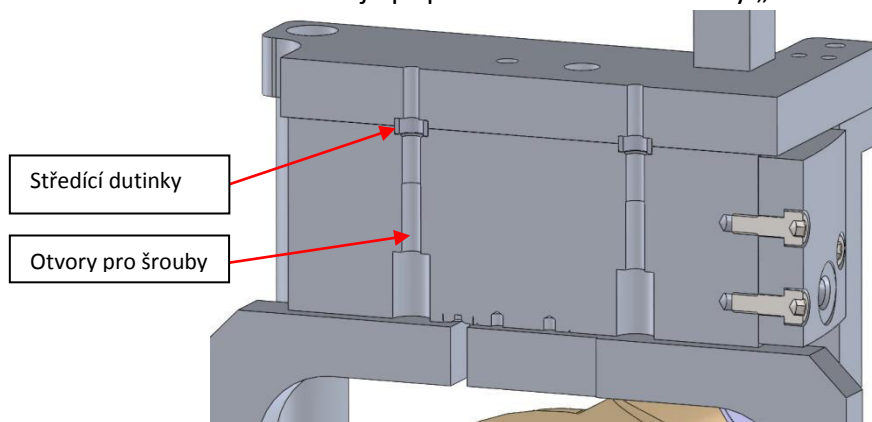
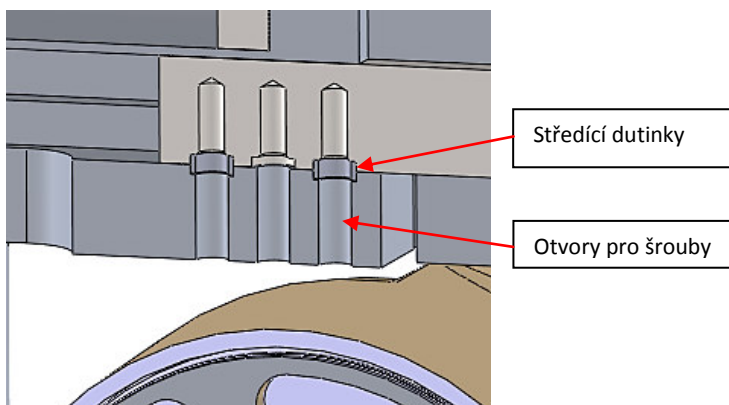
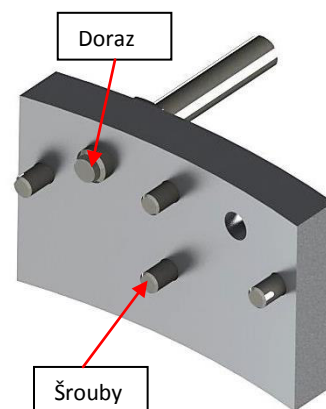
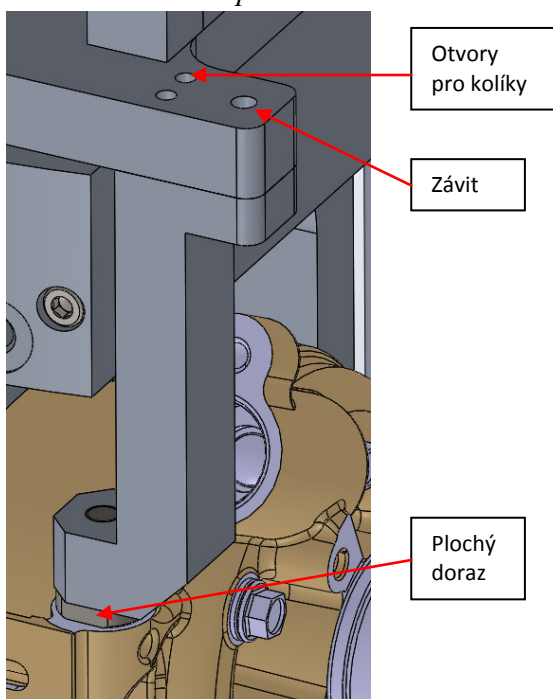
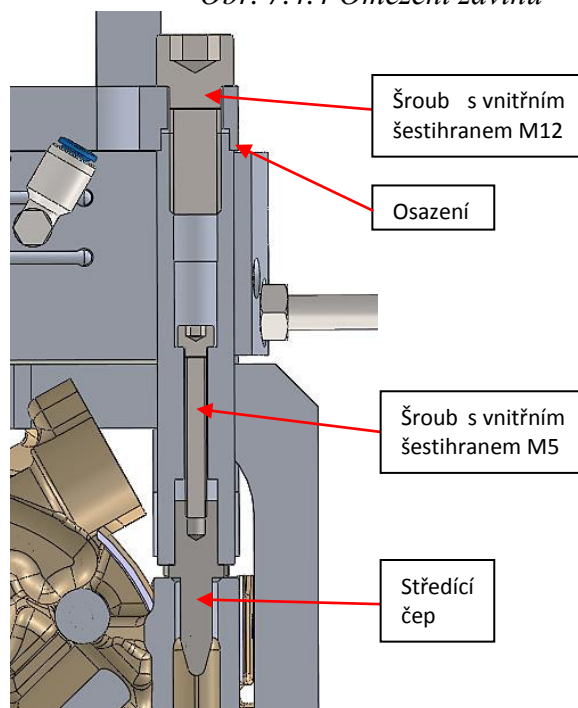


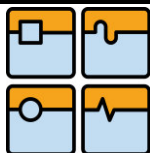
Obr. 7.4.1 Koncový efektor



KONSTRUKCE DVOUOSÉHO MANIPULÁTORU

šroubů M5. Podpěry jsou pak uloženy pomocí osazení v přírubě v toleranci H7/g7 a dotaženy pomocí šroubu M12. Na závěr je připevněn držák dorazu osy „Z“ z horní strany příruby.

*Obr. 7.4.2 Upevnění pneumatického chapadla**Obr. 7.4.3 Upevnění čelistí**Obr. 7.4.4 Omezení zdvihu**Obr. 7.4.5 Držák koncového dorazu**Obr. 7.4.6 Uložení podpory a čepu*



8 Konstrukce manipulátoru

8.1 Výpočet svislé osy Z

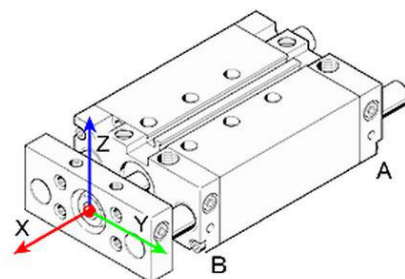
Svislá osa Z má požadovaný zdvih pouze 45mm a pohon pomocí lineárního pneumotoru. Proto jsem se rozhodl použít lineární pneumotor s vedením se zdvihem 50 mm, kde je omezen zdvih pomocí kaleného dorazového šroubu a nainstalovaného tlumiče. Konstruovat vedení zvlášť by bylo pro tak malý zdvih zbytečně drahým řešením. Jelikož je pneumotor umístěn ve svislé rovině, a během pohybu osy x se nachází v zasunuté poloze, zatížení vedení bude pouze od působení hmotnosti excentricky umístěného těžiště koncového efektoru, zvolil jsem kluzné vedení.

Pro výpočet tohoto pohonu jsem využil internetového výpočtového programu FESTO viz také odkaz: http://www.festo.com/cat/cs_cz/products_010000. [19]

Zvolený pneumotor je typu DFM-20-50-B-P-A-GF. [20]

Vstupní parametry:

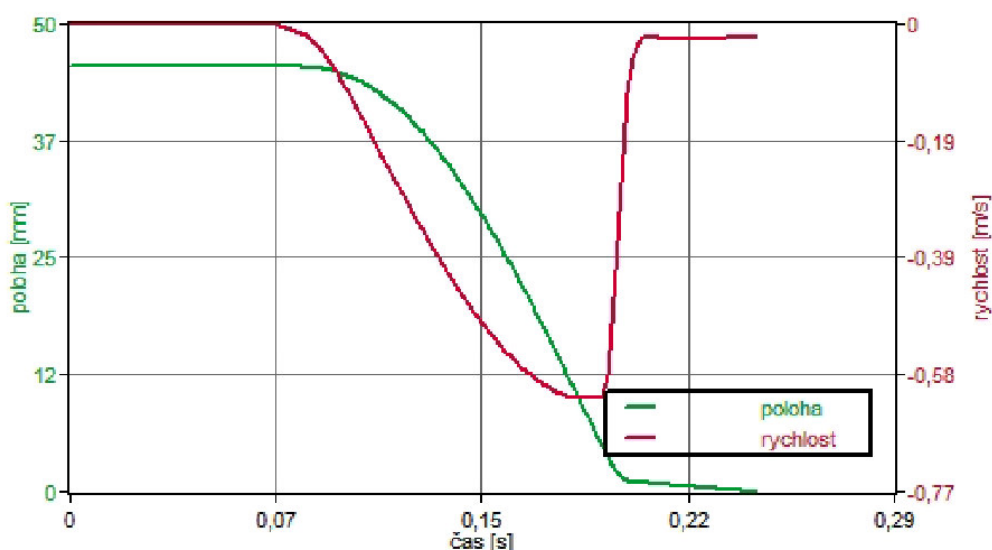
Hmotnost koncového efektoru a součásti: 5 kg
Vzdálenost těžiště v jednotlivých osách: X = 93 mm
Dle obrázku (Obr. 8.1.1) Y = 5 mm
Z = 5 mm
Provozní tlak: 6 bar
Požadovaný čas zdvihu: 2 s
Vybavený tlumičem nárazu: YSR-7-5-C



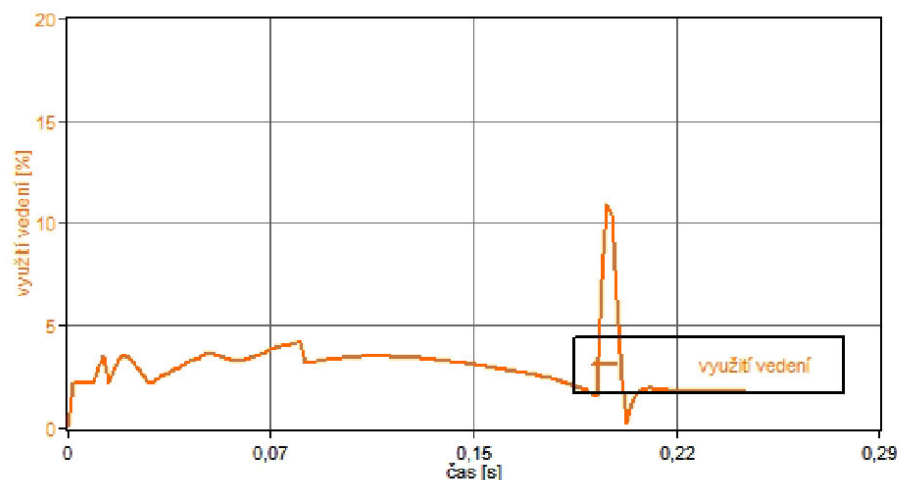
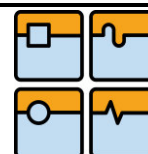
Obr. 8.1.1 Pozice těžiště

Výsledky z výpočtového programu FESTO:

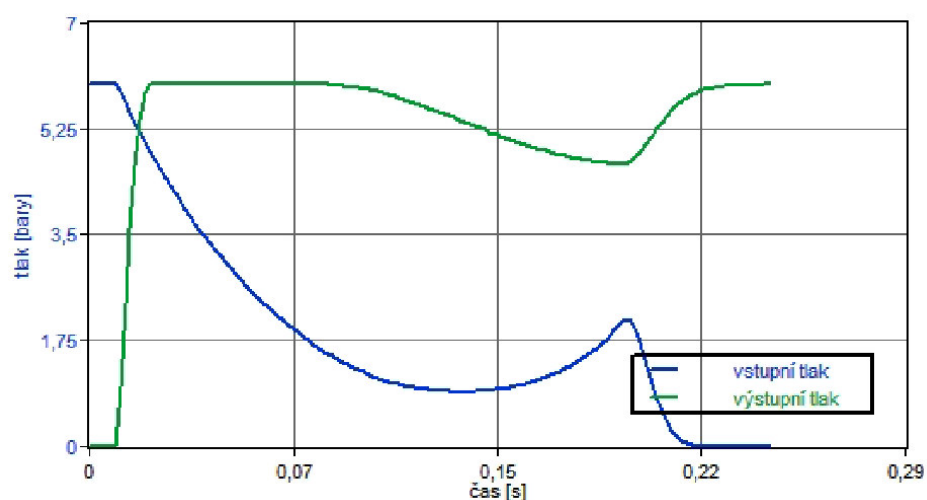
Doba zdvihu: 0,23 s
Průměrná rychlost: 0,2 m/s
Maximální rychlost: 0,616 m/s
Spotřeba vzduchu na zdvih: 0,213 l



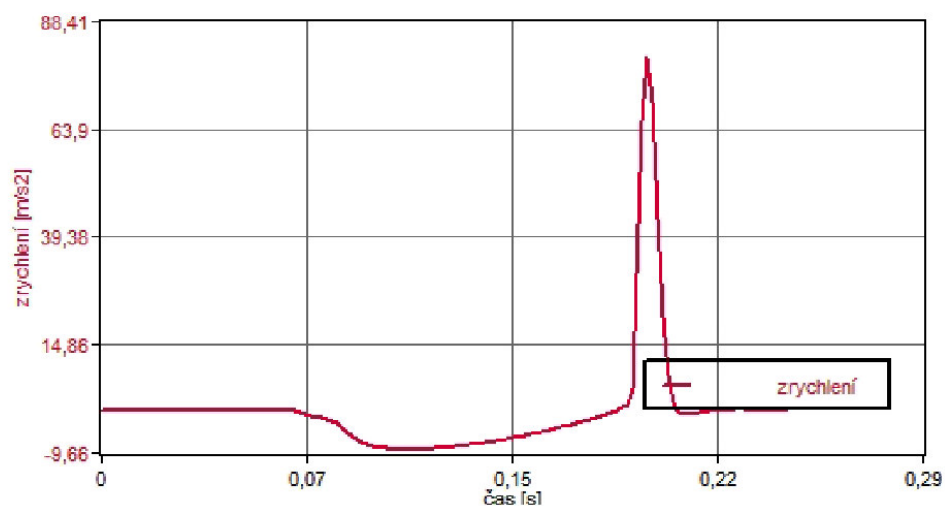
Graf 3) Průběh rychlosti a polohy v závislosti na čase



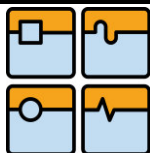
Graf 4) Využití vedení v průběhu zdvihu



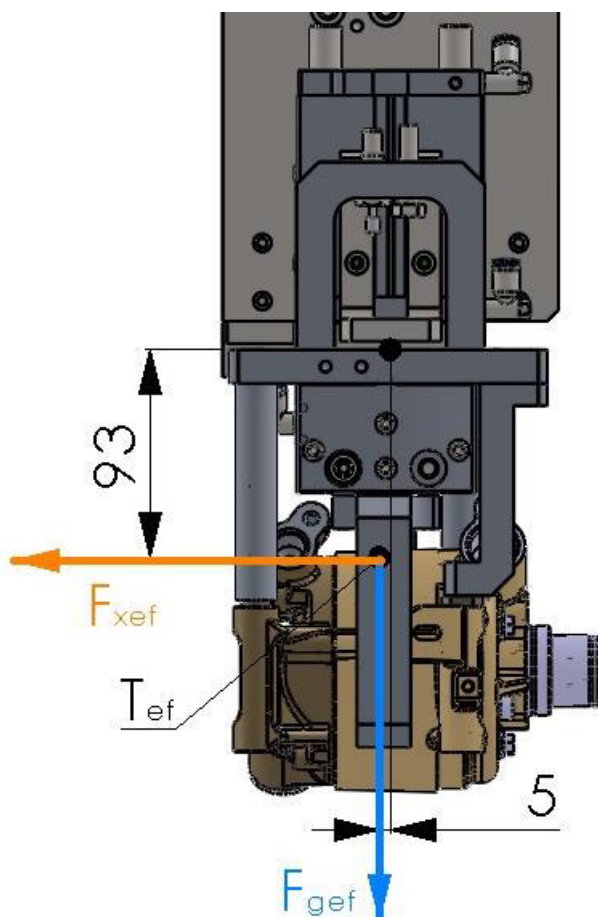
Graf 5) Průběh tlaků během zdvihu



Graf 6) Průběh zrychlení během zdvihu



Z grafů lze snadno odečíst chování lineárního pneumotoru a jeho parametry. Využití vedení je velice nízké, jak bylo předpokládáno již před výpočtem. Doba pohybu vyhovuje předběžným požadavkům a je zahrnuta do časového schématu manipulace. Dále je nutné zkontrolovat působení ohybového momentu působícího na pneumotor. Tento ohybový moment vzniká jednak při zrychlování a brždění manipulátoru v ose X a ve druhém směru od excentricky umístěného dorazu koncové polohy.



Obr. 8.1.2 Působení síly od zrychlení manipulátoru ve vodorovné ose

Provozní tlak:

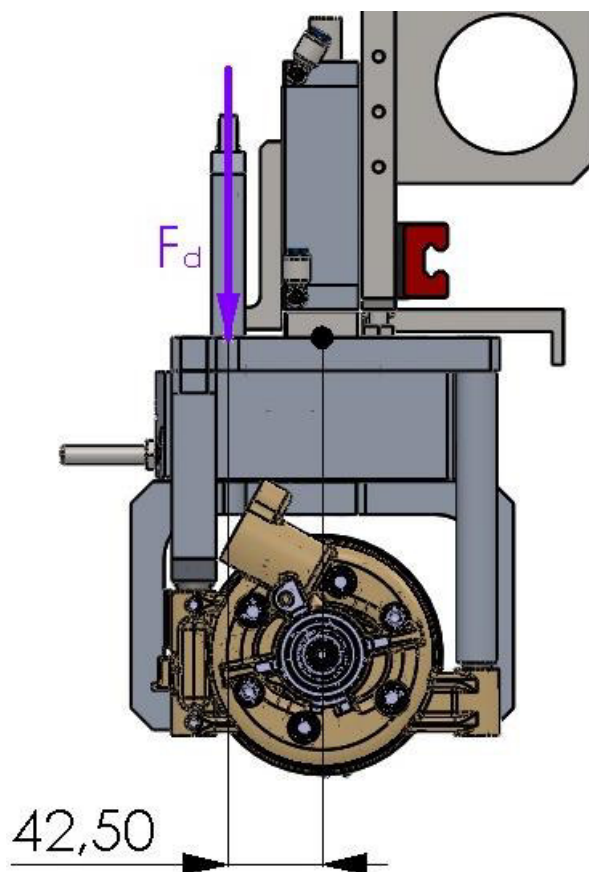
Průměr pístu:

Hmotnost manipulované součásti:

Hmotnost koncového efektoru:

Zrychlení manipulátoru ve vodorovné ose:

Maximální přípustný moment:



Obr. 8.1.3 Působení síly od excentricky umístěného dorazu

$p = 0,6 \text{ bar}$

$d = 20 \text{ mm}$

$m_g = 2 \text{ kg}$

$m_k = 3 \text{ kg}$

$a = 2 \text{ m/s}^2$

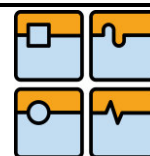
$M_{oydov} = 16 \text{ Nm}$

Síla ve vodorovném směru:

$$F_{xef} = (m_k * m_g) * a = 10 \text{ N} \quad (9)$$

Síla od excentricky umístěného těžiště koncového efektoru a součásti:

$$F_{xg} = (m_k * m_g) * g = 49 \text{ N} \quad (10)$$



Ohybový moment v ose Y:

$$M_{oy} = F_{x_{ef}} * 93 \text{ mm} + F_{x_g} * 5 \text{ mm} = 1,175 \text{ Nm} \quad (11)$$

Síla od excentricky umístěného koncového dorazu:

$$F_d = \left(\pi * \frac{d^2}{2} \right) * p = 188,5 \text{ N} \quad (12)$$

Ohybový moment v ose X:

$$M_{ox} = F_d * 42,5 \text{ mm} = 8 \text{ Nm} \quad (13)$$

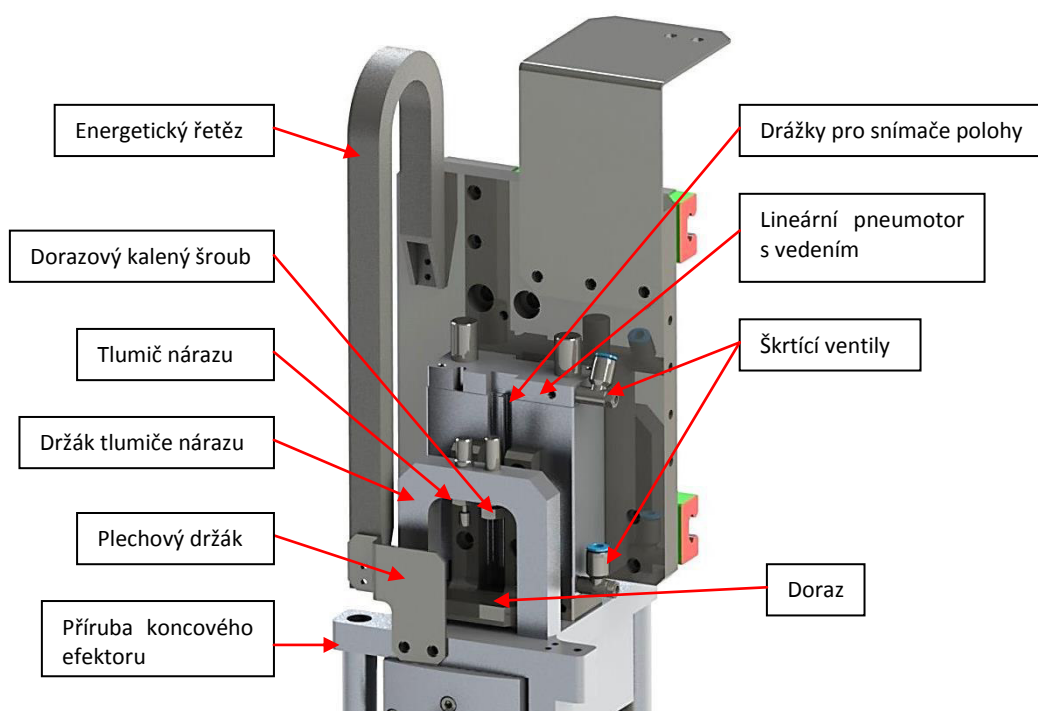
Platí podmínka:

$$M_{oydov} \geq M_{oy} \cap M_{ox} \quad (14)$$

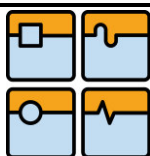
Z výsledků plyne, že lineární pneumotor s kluzným vedením vyhovuje v obou směrech na namáhání ohybovým momentem.

8.2 Popis konstrukce osy z

Hlavní součástí osy Z (Obr. 8.2.1) je lineární pneumotor s kluzným vedením umístěný ve vertikální poloze. Pro snímání poloh jsou zde použité bezdotykové snímače polohy pístu ve válci. Tato komponenta je přimontována pomocí šroubů a středících dutinek k pohyblivé desce supportu a na druhé straně je stejným způsobem přišroubována příruba koncového efektoru. Pro přenos stlačeného vzduchu a vodičů pro snímače na koncový efektor je zde umístěn energetický řetěz Lapp Group SR20012018KM1 [21] na jedné straně přidělán

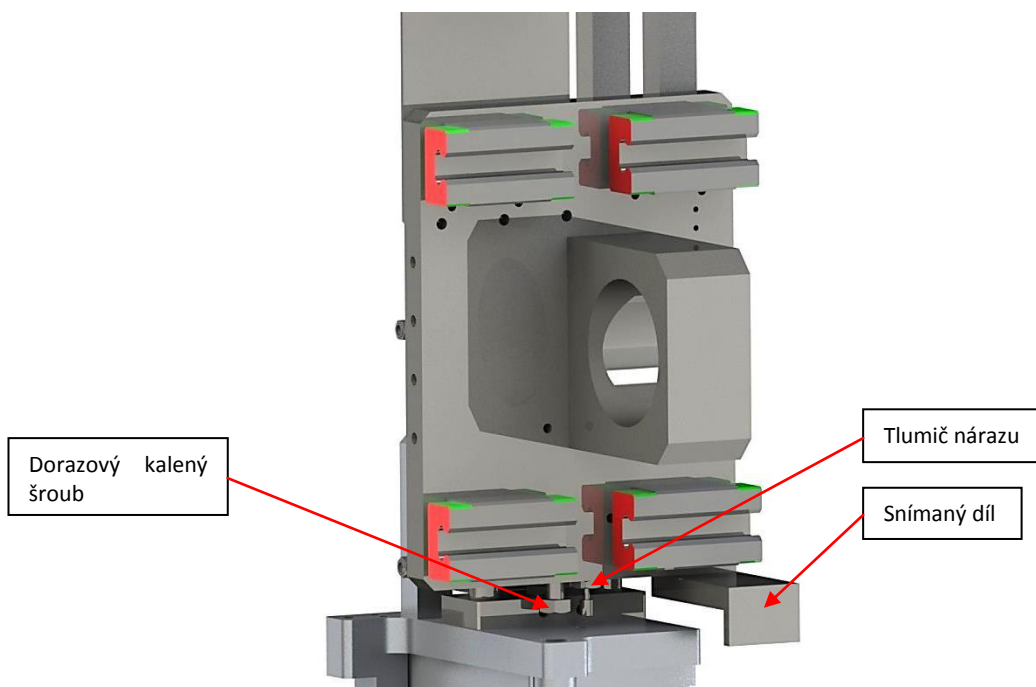


Obr. 8.2.1 Osa Z pohled zepředu

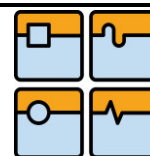


KONSTRUKCE DVOUOSÉHO MANIPULÁTORU

k desce supportu a na druhé straně přimontován k přírubě koncového efektoru pomocí plechového držáku. Doraz pro dolní polohu je upevněn na pneumotor šrouby, které prochází skrz až do desky supportu. Tlumič nárazu spolu s dorazovým kaleným šroubem MISUMI SSTRCB-LC36 [22] se nachází na držáku tlumiče připevněném na přírubu koncového efektoru. Pro horní polohu (Obr. 8.2.2) je tlumič nárazu a kalený dorazový šroub umístěn v desce supportu. Dále je k desce supportu umístěn díl, který slouží ke snímání referenční polohy a koncových poloh v ose X, pomocí indukčních snímačů.



Obr. 8.2.2 Osa Z pohled zezadu



8.3 Výpočet vodorovné osy X

Vodorovná osa X je konstruována s lineárním valivým vedením a s pohonem pomocí elektrického servomotoru a přímo poháněným kuličkovým šroubem.

8.3.1 Výpočet valivého kuličkového vedení

Vstupní parametry:

Hmotnost manipulované součásti:	$m_g = 2 \text{ kg}$
Hmotnost koncového efektoru:	$m_k = 3 \text{ kg}$
Hmotnost supportu s osou Z:	$m_s = 7 \text{ kg}$
Rychlost posuvu:	$v = 60 \text{ m/min}$
Zrychlení/zpomalení:	$a = 2 \text{ m/s}^2$
Vzdálenost těžiště od osy vedení:	$l_x = 34 \text{ mm}$
Rozteč vozíků ve směru posuvu:	$d_x = 86,6 \text{ mm}$
Rozteč vozíků ve svislém směru:	$c_x = 160 \text{ mm}$
Potřebná hodinová životnost:	$L_{\text{hod}} = 20\,000 \text{ hod}$
Doba jednoho cyklu:	$t_1 = 6 \text{ s}$
Dráha jednoho cyklu:	$s_1 = 2,4 \text{ m}$

Zvolené kuličkové vedení s označením HGH15CA z katalogu [23]. Velikost předpětí Z0.

Statická únosnost:	$C_0 = 16\,970 \text{ N}$
Dynamická únosnost:	$C_{\text{dyn}} = 11\,380 \text{ N}$
Součinitel teploty okolí:	$f_T = 1$
Součinitel tvrdosti vedení:	$f_H = 1$
Provozní součinitel:	$f_W = 1,5$

Celková hmotnost:

$$m_c = m_g + m_k + m_s = 12 \text{ kg} \quad (15)$$

Zátěžná síla:

$$F_c = m_c * g = 117,68 \text{ N} \quad (16)$$

Normálový směr

Zatížení vozíků vlivem klopného momentu. Na vozíky 1 a 2 působí síla v kladném směru a na vozíky 3 a 4 působí síla v záporném směru. Silové znázornění sil působících na vozíky je znázorněno na Obr. 8.3.1.

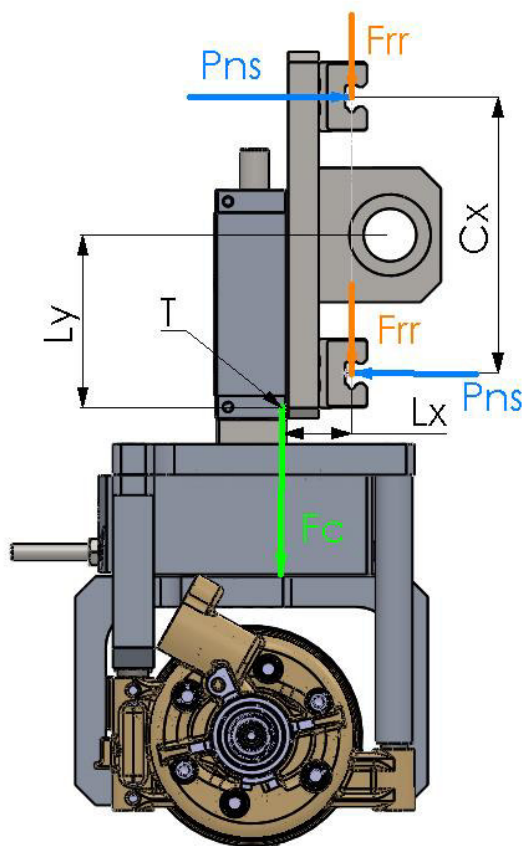
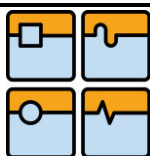
Síla od klopného momentu:

$$F_{nklop} = \frac{F_c * l_x}{2 * c_x} = 12,503 \text{ N} \quad (17)$$

Radiální směr

Zatížení vlivem hmotnosti na jeden vozík:

$$F_{rr} = \frac{F_c}{4} = 29,42 \text{ N} \quad (18)$$



Obr. 8.3.1 Silové působení na vozíky

Síla od předpětí:

$$F_p = 0,02 * C_{dyn} = 227,6 \text{ N} \quad (19)$$

Výsledné statické zatížení:

$$F_{sz} = F_{nklop} + F_{rr} + F_p = 269,5 \text{ N} \quad (20)$$

Statický bezpečnostní faktor:

Velikost statického bezpečnostního faktoru musí být větší než 2.

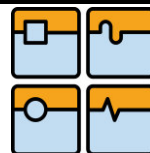
$$f_s = \frac{C_0}{F_{sz}} = 62,963 [-] \quad (21)$$

Výpočet dynamického ekvivalentního zatížení

Ke statickému zatížení vozíků přičteme zatížení vlivem setrvačné síly, stanovené podle katalogu HIWIN [23].

Zatížení vozíku:

$$P_{dyn} = F_{sz} + \frac{1}{2} * m_c * a * \frac{l_x}{d_x} + F_p = 501,835 \text{ N} \quad (22)$$



Střední hodnota vlivem střídavého zatížení:

$$P_{dyns} = 0,65 * P_{dyn} = 326,193 \text{ N} \quad (23)$$

Počet cyklů za plánovanou životnost:

$$n_1 = \frac{L_{hod}}{t_1} = 1,2 * 10^7 [-] \quad (24)$$

Ujetá dráha za plánovanou životnost:

$$s_{c1} = n_1 * s_1 = 2,88 * 10^7 \text{ m} \quad (25)$$

Nominální životnost:

$$L_{nom} = \left(\frac{f_T * f_H * C_{dyn}}{f_W * P_{dyns}} \right)^3 * 50000 \text{ m} = 6,291 * 10^8 \text{ m} \quad (26)$$

Hodnota nominální životnosti musí být vyšší nebo rovna celkové ujeté dráze, což tato varianta splňuje více než dvacetinásobně. Jelikož jsem za vedení zvolil nejmenší běžně používanou řadu kuličkového vedení, podle výsledků bych mohl zvolit dokonce i menší vedení. Mohl bych zvolit z řady speciálních miniaturních vedení, tato varianta by však byla dražší než běžná řada vedení, proto zvolený typ vedení považuji za optimální řešení.

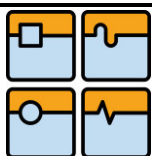
8.3.2 Výpočet parametrů servomotoru

Při výpočtech parametrů servomotoru byly předběžně použity parametry zvoleného kuličkového šroubu (dále jen KŠM). Po kontrole KŠM byly parametry upraveny a výpočet přepočítán. Je zde vypočítán redukovaný moment, který zahrnuje veškeré odpory a momenty setrvačnosti působící na pohybovanou soustavu. Na závěr je vypočítán efektivní moment, ve kterém je zahrnuto oteplení motoru v průběhu cyklu manipulace. [24]

Zvolený KŠM od společnosti HIWIN s označením R40-40K2-FSCDIN [26]

Vstupní parametry:

Zatěžující axiální síla	$F_a = 0 \text{ N}$
Rychlost posuvu	$v = 1 \text{ m/s}$
Požadovaná doba akcelerace	$t = 0,5 \text{ s}$
Požadované zrychlení	$a = 2 \text{ m/s}^2$
Hmotnost matice KŠM	$m_m = 1,6 \text{ kg}$
Požadovaná přesnost polohování	$akur = 0,2 \text{ mm}$
Moment setrvačnosti motoru	$J_m = 0,00005 \text{ m}^2 * \text{kg}$
Celková hmotnost	$m_c = 12 \text{ kg}$
Náklon vedení	$\alpha_1 = 0^\circ$
Převodový poměr	$i = 1$
Stoupání závitu	$s_s = 40 \text{ mm}$
Průměr šroubu	$d_k = 40 \text{ mm}$
Délka šroubu	$l_s = 1778 \text{ mm}$
Hustota oceli	$\rho = 7853 \text{ kg/m}^3$
Dynamická únosnost KŠM	$C_{dyn} = 23 \text{ 000 N}$
Vnitřní průměr ložiska	$d_L = 32,7 \text{ mm}$



Nutná minimální přesnost KŠM:

$$akur_{min} = \frac{akur}{1200} * 300 = 0,05 \text{ mm} \quad (27)$$

Z tohoto plyne, že požadovaná přesnost KŠM musí odpovídat třídě přesnosti IT7

Hmotnost kuličkového šroubu:

$$m_s = \pi * \left(\frac{d_k}{2}\right)^2 * l_s * \rho = 17,537 \text{ kg} \quad (28)$$

Redukovaný moment setrvačnosti posuvových hmot:

$$J_{red} = \left(\frac{s_s}{2 * \pi}\right)^2 * m_c = 4,863 * 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ kg} \quad (29)$$

Celkový moment setrvačnosti:

$$J_{rhm} = \frac{J_{red}}{i^2} + J_m + J_s = 4,044 * 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg} \quad (30)$$

Sekundové otáčky:

$$n_m = \frac{v * i}{s_s} = 25 \frac{1}{s} \quad (31)$$

Úhlové zrychlení:

$$\varepsilon_m = \frac{a * 2 * \pi * i}{s_s} = 314 \frac{1}{s^2} \quad (32)$$

Účinnosti a třecí odpory jednotlivých komponent:

Účinnost KŠM	$\eta_s = 0,92$
Účinnost valivého vedení	$\eta_v = 0,98$
Účinnost ložiska	$\eta_L = 0,99$
Tření ve vedení	$f_1 = 0,005$
Ekvivalentní tření KŠM	$f_2 = 0,003$
Ekvivalentní tření v ložisku	$f_3 = 0,003$

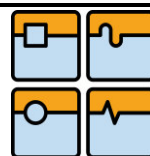
Statické hledisko

Celkový účinnost:

$$\eta_c = \eta_s * \eta_v * \eta_L = 0,893 [-] \quad (33)$$

Moment tíhové složky:

$$M_{GT} = \frac{m_c * g * \sin(\alpha_1) * s_s}{2 * \pi * i * \eta_c} = 0 \text{ Nm} \quad (34)$$



Moment potřebný k překonání odporu ve vedení:

$$M_G = \frac{m_c * g * f_1 * \cos(\alpha_1) * s_{\dot{s}}}{2 * \pi * i * (\eta_s * \eta_L)} = 4,113 * 10^{-3} \text{ Nm} \quad (35)$$

Moment třecích sil v ložisku:

$$M_L = 0,5 * \frac{((F_a + m_c * g * \cos(\alpha_1)) + m_c * g * \sin(\alpha_1)) * f_3 * d_L}{i} = 5,772 * 10^{-3} \text{ Nm} \quad (36)$$

Moment pro vyvození síly F_a :

$$M_{Fa} = \frac{F_a * s_{\dot{s}}}{2 * \pi * i * \eta_s} = 0 \text{ Nm} \quad (37)$$

Celkový statický moment redukováný na hřídel motoru:

$$M_{zrhm} = M_{GT} + M_G + M_L + M_{Fa} = 9,885 * 10^{-3} \text{ Nm} \quad (38)$$

Dynamické hledisko

Do výpočtu momentu k překonání odporů zahrneme setrvačnou sílu.

Výsledný dynamický moment motoru:

$$M_m = J_{rhm} * \varepsilon_m + M_{zrhm} = 1,28 \text{ Nm} \quad (39)$$

Doba akcelerace motoru: $t_{am} = 0,5 \text{ s}$

Doba chodu konstantní rychlostí $t_{kr} = 0,7 \text{ s}$

Celková doba cyklu: $t_{celk} = 6 \text{ s}$

Efektivní moment motoru:

$$M_{ef} = \sqrt{\frac{M_m^2 * 4 * t_{am} + M_m^2 * 2 * t_{kr}}{t_{celk}}} = 0,963 \text{ Nm} \quad (40)$$

Zvolený servomotor od společnosti Mitsubishi electric s označením HG-KR43 s nominálním momentem 1,3 Nm, nominální otáčky 3000 ot/min, rozlišení encodéru 4194304 pulzů/otáčku. [25]

Přesnost odměřování:

$$p = \frac{s_{\dot{s}}}{4194304} = 9,5 * 10^{-6} \text{ mm} \quad (41)$$

8.3.3 Kontrolní výpočet kuličkového šroubu

Kontrola kritických otáček

Požadované otáčky

$$n_m = 1500 \text{ 1/min}$$

Kritické otáčky:

$$n_k = k_d * \frac{d_k}{l_s^2} * 10^8 = 2379 \text{ 1/min} \quad (42)$$

Maximální dovolené otáčky:

$$n_{dov} = 0,8 * n_k = 1903 \text{ 1/min} \quad (43)$$

Požadované otáčky jsou menší než maximální dovolené otáčky. Kuličkový šroub vyhovuje.

Kontrola otáček z hlediska D_n faktoru

Hodnota D_n faktoru:

$$D_n = d_s * n_s = 60\,000 [-] \quad (44)$$

Maximální dovolená hodnota pro válcovaný profil je 70 000. Kuličkový šroub vyhovuje.

Kontrola na vzpěr

Axiální síla při zrychlení:

$$F_{axial} = m_c * a + m_c * f_1 * g = 24,588 \text{ N} \quad (45)$$

Axiální síla při konstantní rychlosti:

$$F_{axialstř} = m_c * f_1 * g = 0,588 \text{ N} \quad (46)$$

Kritická axiální zatěžující síla:

$$F_k = k_k * \frac{d_k^4}{l_s^2} * 10^5 = 166\,000 \text{ N} \quad (47)$$

Maximální provozní síla:

$$F_{max} = 0,5 * F_k = 83\,000 \text{ N} \quad (48)$$

Maximální provozní síla je mnohem vyšší než axiální působící síla. Je to způsobeno tím, že šroub při své délce neodpovídal na kritické otáčky a proto byl zvolen větší, který má na vzpěr mnohem větší únosnost.

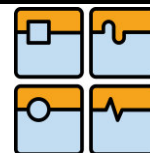
Životnost kuličkového šroubu

Délka zdvihu:

$$z_1 = 1,2 \text{ m}$$

Doba prostoje:

$$t_{b1} = 1,2 \text{ s}$$



Dráha pro zrychlení:

$$s_a = \frac{1}{2} a * t^2 = 0,25 \text{ m} \quad (49)$$

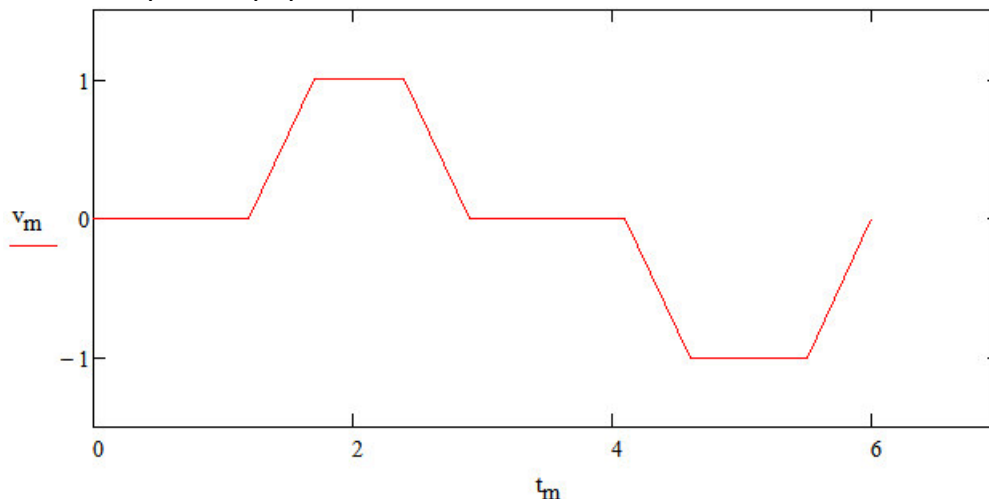
Délka úseku pro $v=\text{konst.}$:

$$s_{p1} = z_1 - 2 * s_a = 0,7 \text{ m} \quad (50)$$

Doba chodu plnou rychlostí:

$$t_{p1} = \frac{s_{p1}}{v} = 0,7 \text{ s} \quad (51)$$

Požadovaný zátěžný cyklus:



Graf 7) Průběh rychlosti během cyklu manipulace

Celková doba běhu

$$t_c = 6 \text{ s}$$

Podíl času při $v=\text{konst.}$:

$$t_{konst} = \frac{2 * t_{p1}}{t_c} = 0,233 [-] \quad (52)$$

Podíl času při zrychlování:

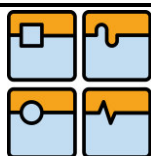
$$t_{akce} = \frac{4 * t}{t_c} = 0,333 [-] \quad (53)$$

Střední zatěžující síla:

$$F_{stř} = \sqrt[3]{F_{axial}^3 * \frac{t_{akce}}{100} + F_{axialstř}^3 * \frac{t_{konst}}{100}} = 3,673 \text{ N} \quad (54)$$

Koeficient bezpečnosti:

$$s_f = 1,5$$



Statická únosnost šroubu:

$$C_{0min} = s_f * F_{axial} = 36,883 \text{ N} \quad (55)$$

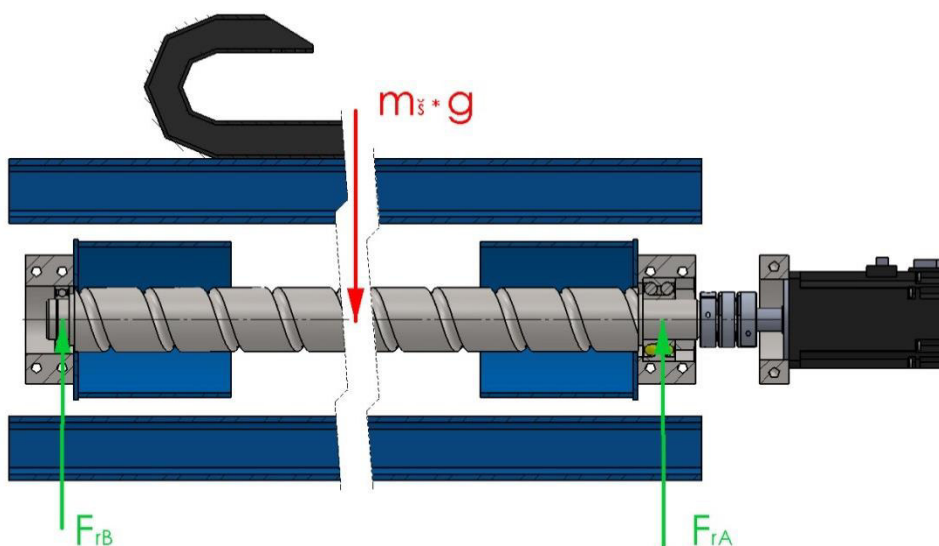
Dynamická únosnost šroubu:

$$C_{dynš} = 23\,000 \text{ N}$$

Výpočet životnosti v hodinách:

$$L_{hodš} = \left(\frac{C_{dynš}}{F_{stř}} \right) * \frac{10^6}{n_m} = 2,7 * 10^7 \text{ hod} \quad (56)$$

8.3.4 Výpočet únosnosti ložisek



Obr. 8.3.2 Znáznornění reakcí pod ložisky

Ložisko A: SKF typ 3205 A-2RS1 dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem, zakrytované. [27]

Ložisko je tvořeno vnějším a vnitřním neděleným kroužkem, bez možnosti seřizování předpětí. V radiálním směru na ložisko působí síla od hmotnosti kuličkového šroubu, axiální síla je tvořena zrychlováním a bržděním při manipulaci.

Výpočtové součinitele:

$$e_A = 0,8$$

$$X_a = 0,63$$

$$Y_{2A} = 1,24$$

Dynamická únosnost

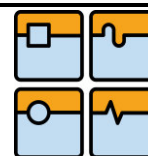
$$C_A = 21,6 \text{ kN}$$

Výsledná radiální síla pod ložiskem:

$$F_{rA} = \frac{m_s * g}{2} = 85,99 \text{ N} \quad (57)$$

Výsledná axiální síla působící na ložisko:

$$F_{aA} = F_{axial} = 24,588 \text{ N} \quad (58)$$



Porovnání sil pro volbu vzorce pro výpočet ekvivalentního zatížení:

$$\frac{F_{aA}}{F_{rA}} = 0,286 [-] \quad \frac{F_{aA}}{F_{rA}} > e_A = 0 [-]$$

Ekvivalentní dynamické zatížení ložiska:

$$P_1 = X_A * F_{rA} + Y_{2A} * F_{aA} = 84,663 \text{ N} \quad (59)$$

Trvanlivost ložiska se spolehlivostí 90%:

$$L_{10A} = \left(\frac{C_A}{P_1}\right)^3 * \frac{10^6}{n_1} = 184\,515\,760 \text{ hod} \quad (60)$$

Ložisko B: SKF typ 61905-2RS1 jednořadé kuličkové ložisko zakrytované [28]

Toto ložisko přenáší pouze radiální sílu. V axiálním směru se může v domku posouvat, tento pohyb je vyvolán nejčastěji tepelnou roztažností kuličkového šroubu.

Výpočtové součinitele: $e_B = 0,19$

Dynamická únosnost: $C_B = 16,5 \text{ kN}$

Výsledná radiální síla působící na ložisko:

$$F_{rB} = \frac{m_s * g}{2} = 85,99 \text{ N} \quad (61)$$

Výsledná axiální síla působící na ložisko:

$$F_{aB} = 0 \text{ N} \quad (62)$$

Porovnání sil pro volbu vzorce pro výpočet ekvivalentního zatížení:

$$\frac{F_{aB}}{F_{rB}} = 0 [-] \quad \frac{F_{aB}}{F_{rB}} \leq e_B = 1 [-]$$

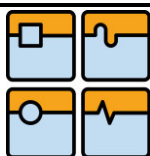
Ekvivalentní dynamické zatížení:

$$P_2 = F_{rB} = 85,99 \text{ N} \quad (63)$$

Trvanlivost ložiska se spolehlivostí 90%:

$$L_{10B} = \left(\frac{C_B}{P_2}\right)^3 * \frac{10^6}{n_1} = 6\,045\,410 \text{ hod} \quad (64)$$

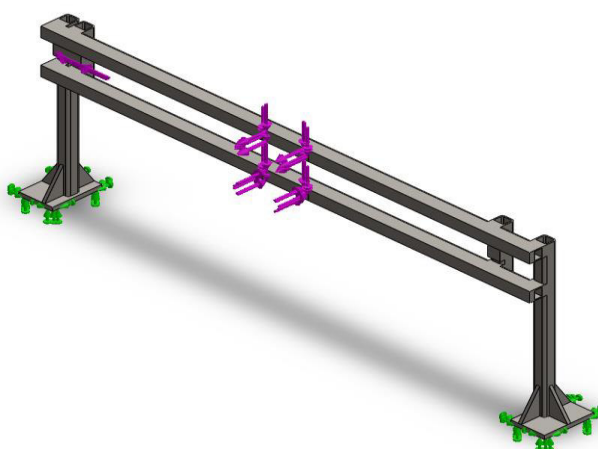
Ložiska byla zvolena předběžně pomocí potřebného průměru pro použití s kuličkovým šroubem. Z výsledků plyne, že ložiska jsou pro tuto aplikaci vyhovující.



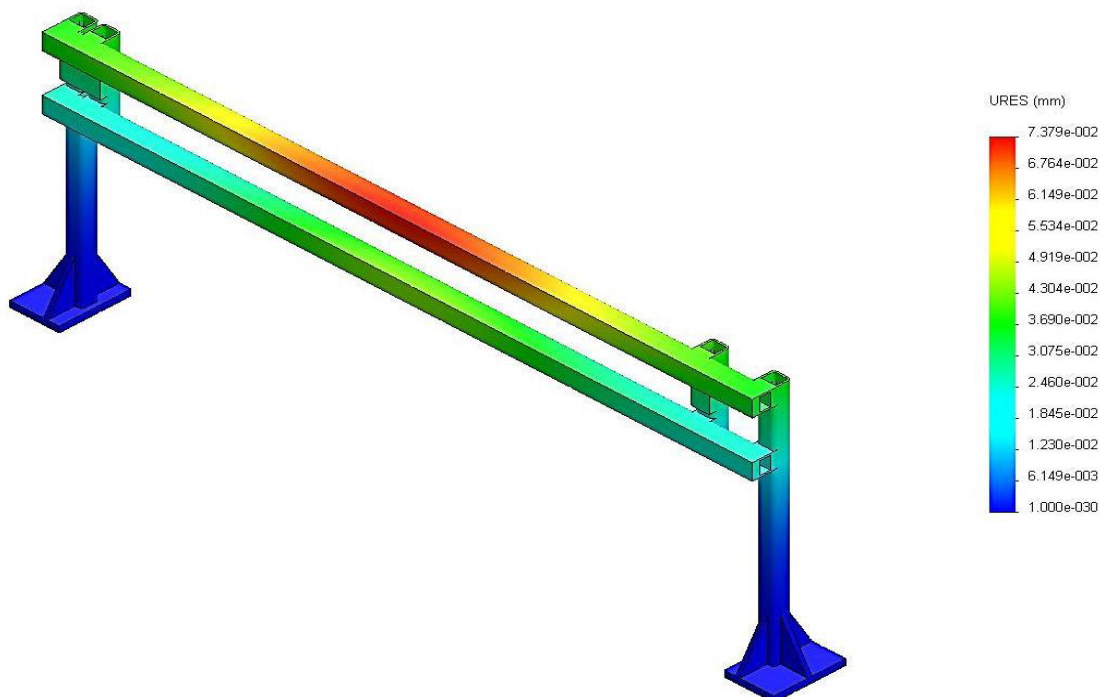
8.4 Kontrola namáhání rámu

8.4.1 Prvotní návrh konstrukce

Rám je navržen jako svařená konstrukce ze čtvercových profilů. V prvotním návrhu jsou použity dvě nohy a vzdálenost mezi nimi je 1350 mm. Síly působící na rám (Obr. 8.4.1) jsou jednak od lineárního vedení a to ve svislém směru od hmotnosti supportu a v normálovém směru od vyosení těžiště oproti ploše, na které je umístěno lineární vedení. Ve vodorovném směru pak působí axiální síla od zrychlování a zpomalování. Tuto sílu přenáší dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem, umístěné vlevo.

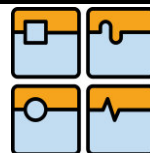


Obr. 8.4.1 Silové působení na rám



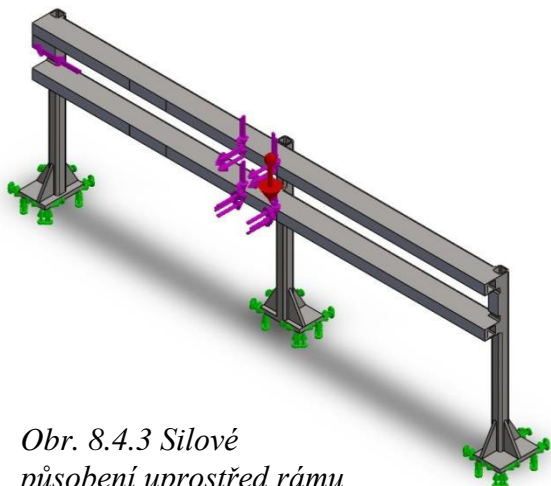
Obr. 8.4.2 Výpočet celkového posunutí (nedeformovaný model)

Výpočet byl proveden v programu SolidWorks 2011. Z výsledků vyplývá (Obr. 8.4.2), že největší posunutí je v horní části rámu uprostřed (0,07 mm). Celková bezpečnost rámu vychází 46,15. Zvolený materiál: ocel svařitelná 11 373 (označení dle ISO S235JRG1).

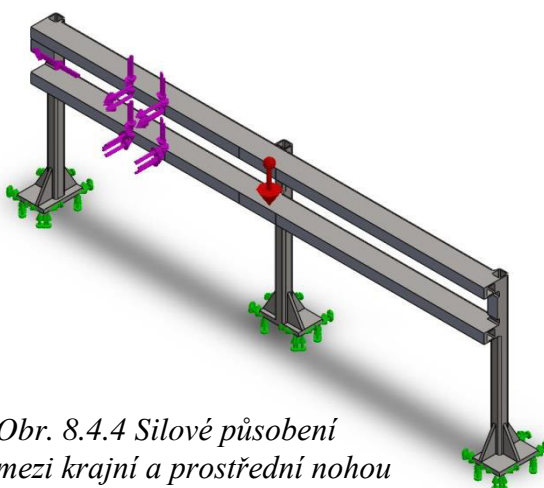


8.4.2 Konečné konstrukční řešení

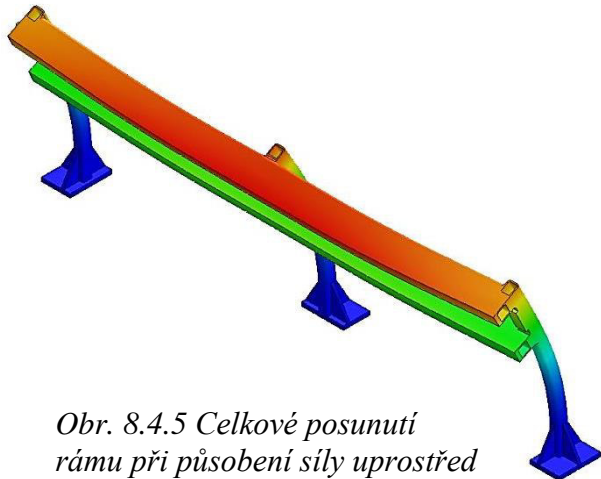
Jelikož bylo nutné rám zvětšit, z důvodů přidání krytu kuličkového šroubu (100 mm na každé straně) a doporučených roztečí mezi dorazem, koncovou, referenční a pracovní polohou (rozteč stoupání kuličkového šroubu 40 mm). Celková vzdálenost mezi krajními nohami rámu vzrostla na 1772 mm. Z toho důvodu byla přidána třetí noha uprostřed rámu. Silové působení zůstalo stejné jako u prvotního návrhu. Namáhání rámu bylo spočítáno nejprve uprostřed a potom mezi krajní a prostřední nohou.



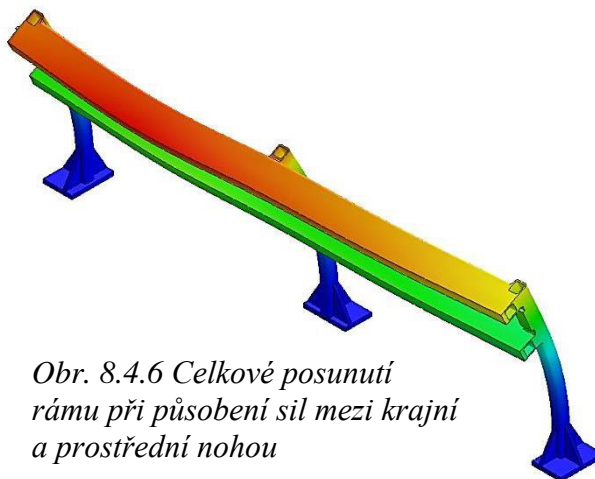
Obr. 8.4.3 Silové působení uprostřed rámu



Obr. 8.4.4 Silové působení mezi krajní a prostřední nohou

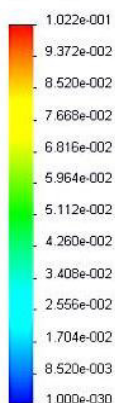


Obr. 8.4.5 Celkové posunutí rámu při působení síly uprostřed



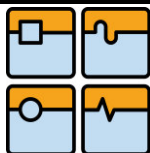
Obr. 8.4.6 Celkové posunutí rámu při působení sil mezi krajní a prostřední nohou

URES (mm)



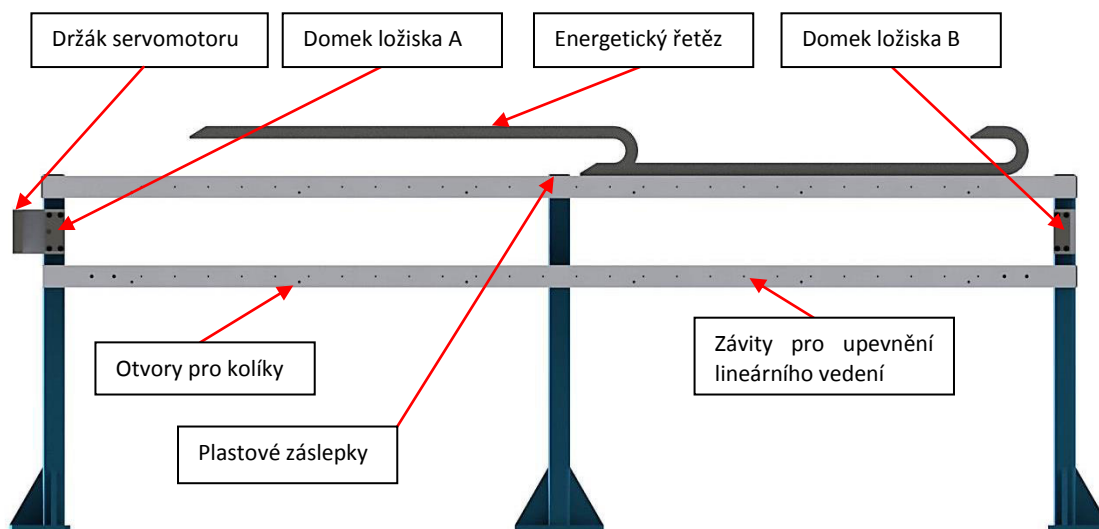
Obr. 8.4.7 Škála pro porovnání celkového posunutí

Pro výpočet byla upravena geometrie rámu. Byly odstraněny některá zaoblení a přechody mezi profily. Z výsledků plyne, že maximální celkové posunutí je při namáhání mezi krajní a prostřední nohou Obr. 8.4.6 (0,102 mm). Celková bezpečnost je pak 34,92.



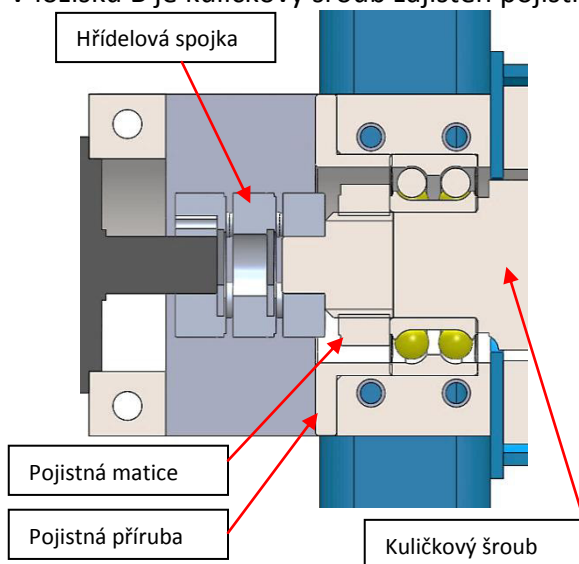
8.5 Popis konstrukce vodorovné osy X

Základ manipulátoru tvoří svařovaný rám (Obr. 8.5.1). Rám je svařený ze čtvercových profilů 40x40x4 mm, konce profilů jsou zakrytovány plastovými záslepkami EUROPLAST [29]. Nohy a potřebné funkční části jsou svařeny z přířezů a plochy pro vedení se nachází na pásech oceli 10x40 mm. Pro přesné uložení dílů na rámu je potřebné obrábění po svaření, proto je počítán na funkčních plochách přídavek materiálu 2 mm. Funkční plochy jsou na obrázku zobrazeny šedou barvou. Ostatní plochy jsou lakované (RAL 5015 - nebeská modrá). Vystředění dílů je zajištěno pomocí kolíků. Opěrnou plochu pro lineární vedení tvoří řada kolíků. Na rám jsou přimontovány domky ložisek, držák servomotoru, držáky snímačů a energetický řetěz. Energetický řetěz je v sestavě zobrazen ve svých krajních polohách.

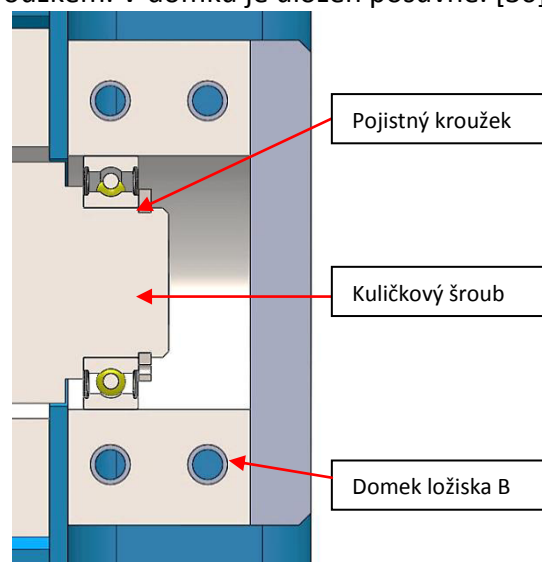


Obr. 8.5.1 Rám se základními komponentami

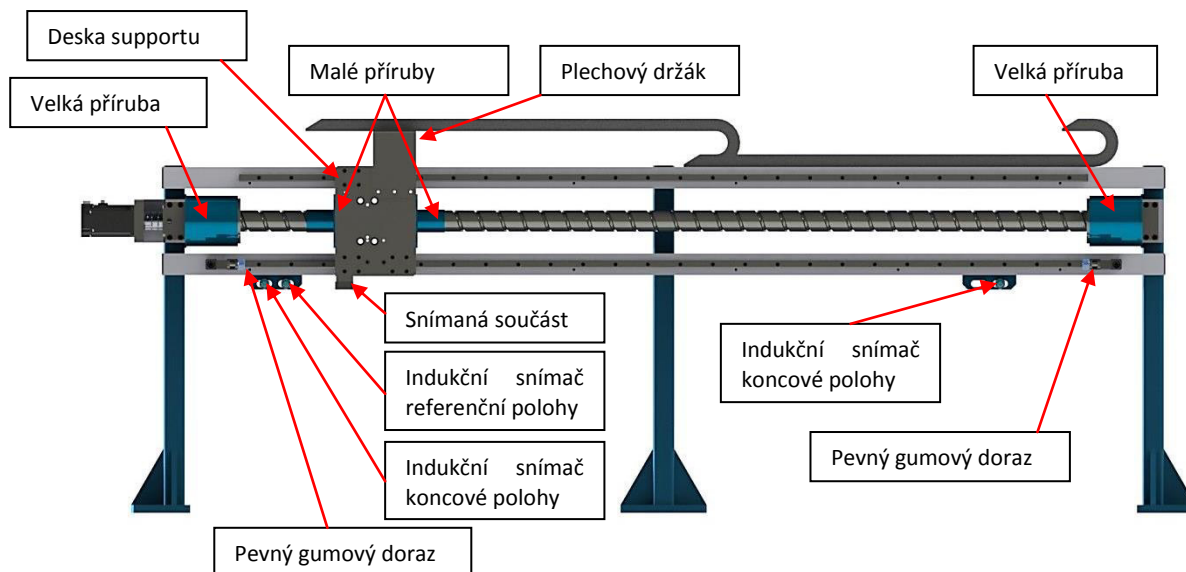
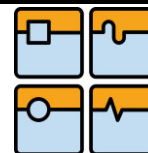
Kuličkový šroub je uložen v ložisku A pomocí pojistné matice a osazení. Vnější kroužek ložiska je v domku axiálně zajištěn pojistnou přírubou. Za ložiskem je kuličkový šroub spojen s motorem pomocí hřídelové spojky Misumi, která je na hřídelích zajištěna svěrným spojem. V ložisku B je kuličkový šroub zajištěn pojistným kroužkem. V domku je uložen posuvně. [30]



Obr. 8.5.2 Uložení ložiska A

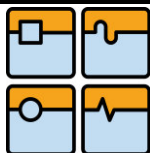


Obr. 8.5.3 Uložení ložiska B



Obr. 8.5.4 Sestava osy X

Kuličkový šroub je zakrytován pomocí spirálových pružin HESTEGO 45-1600-100 [31], které jsou upevněny v přírubách na každé straně. Velká příruba je převlečena přes šroub a upevněna k rámu. Malá příruba je připevněna k desce supportu. Na desce supportu se dále nachází plechový držák energetického řetězu a snímaný díl, na který reagují indukční snímače. Ze zadní strany je na desku supportu přidělán držák matice. Na úrovni dolního lineárního vedení se na každé straně nachází pevné gumové dorazy UNAHM8-30 [22], které slouží pro nouzové zastavení supportu. Ve vzdálenosti rozteče kuličkového šroubu jsou zde umístěny indukční snímače koncové polohy od firmy SICK s označením IM12-04-BNS-ZC1 [32]. Na levé straně je pak ještě o jednu rozteč dál umístěn indukční snímač referenční polohy. Najížděcí pozice jsou pak umístěny o další rozteč od indukčních snímačů. Tato vzdálenost mezi jednotlivými body byla doporučena po konzultaci v JCEE s.r.o.



9 Časové schéma cyklu manipulace

Časové schéma (Graf 8) bylo vytvořeno v programu Microsoft Excel 2010. Pro názornost jsou všechny pohyby sloučeny do jednoho grafu. Jedná se o pohyby koncového efektoru (chapadla), svislé osy Z a vodorovné osy X. Tabulka 4 je sestavena ze zjištěných časů pneumatického chapadla (0,243 [s]), lineárního pneumatického motoru s vedením (0,23 [s]) a z navrženého cyklu pro osu X (zrychlování 0,7 [s]; chod konstantní rychlostí 0,5 [s]; brzdění 0,7 [s]).

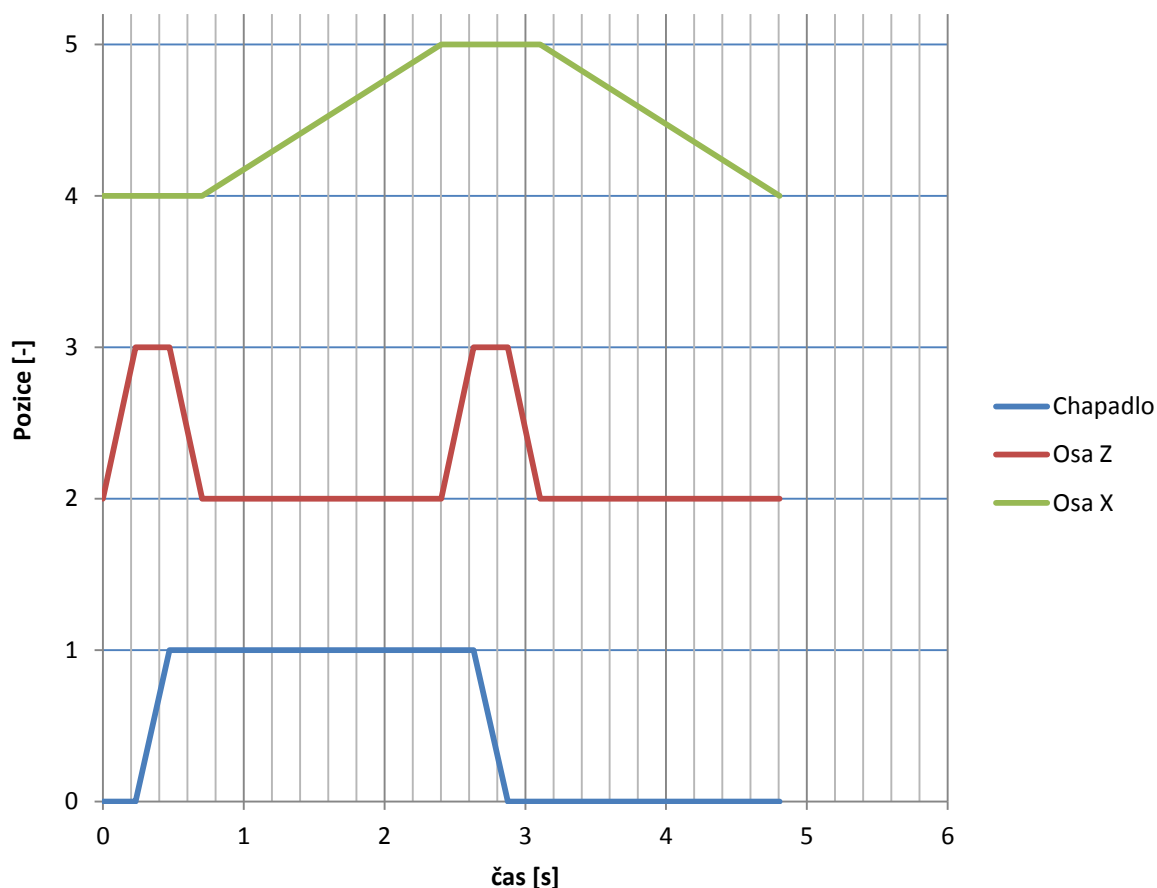
Tabulka 4) Průběh jednotlivých pozic

Čas [s]	Chapadlo	Osa Z	Osa X
0	0	2	4
0,23	0	3	4
0,473	1	3	4
0,703	1	2	4
2,403	1	2	5
2,633	1	3	5
2,876	0	3	5
3,106	0	2	5
4,806	0	2	4

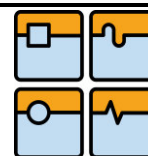
Vysvětlivky:

- 0 - Výchozí pozice chapadla (uvolnění)
- 1 - Pracovní pozice chapadla (uchopení)
- 2 - Výchozí pozice osy Z (horní poloha)
- 3 - Pracovní pozice osy Z (dolní poloha)
- 4 - Výchozí pozice osy X (poloha vlevo)
- 5 - Pracovní pozice osy X (poloha vpravo)

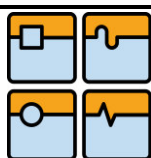
Časové schéma manipulace



Graf 8) Časové schéma manipulace



Z Graf 8 a také z Tabulka 4 vyplývá, že při optimálním nastavení škrtících ventilů a cyklu servomotoru bude dosaženo cyklu manipulace za 4,806 s. Toto nastavení vychází z tabulkových hodnot pneumatických komponent a zvoleného zátěžného cyklu servomotoru. Hodnotu času manipulace lze ještě snížit neboť použitý servomotor je schopný docílit maximálního krouticího momentu 4,5 Nm a maximálních otáček 6000 ot. /min. Zvolený zátěžný cyklus přitom využívá krouticí moment maximálně 1,28 Nm a maximálních otáček 1500 ot. /min. Maximální dovolené otáčky kuličkového šroubu jsou omezeny na 1903 ot./min. Nicméně navrhované řešení splňuje požadovaný čas manipulace 6 s, tudíž je pro tuto aplikaci vyhovující.



10 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení jsem rozdělil zvláště pro koncový efektor a pro samotný manipulátor. Jednotlivé položky jsou dále rozděleny na cenu vyráběných dílů a ceny nakupovaných dílů. Na závěr je vyhodnocena celková cena navrhovaného řešení manipulátoru pro zadanou součást. Částky pro nakupované díly byly stanoveny odborným odhadem technologa JCEE. Ceny nakupovaných dílů byly stanoveny na základě katalogových cen a nabídek od dodavatelů. Ceny uvedené v eurech jsou převedeny na české koruny při současném kurzu 27,5 Kč/€. Pozice dílů jsou přiřazeny podle kusovníku ve výkrese sestavy, některé komponenty nejsou uvedené ve výkrese sestavy, proto pozici nemají.

10.1 Ekonomické zhodnocení koncového efektoru

Do ceny koncového efektoru jsou započítány veškeré díly upevněné na jeho přírubě a vy užívané pro jeho funkci. Je také započítána cena elektromagnetického ventilu, která ovládá pneumatické chapadlo pro uchopování manipulovaného předmětu.

Tabulka 5) Ceny vyráběných dílů koncového efektoru

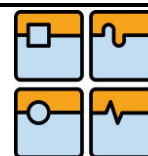
POZ.	NÁZEV	OZNAČENÍ/VÝKRES	DODAVATEL	KS	CENA/KUS	CENA CELK.
10	PŘÍRUBA	133829-2015-010		1	1 600,00 Kč	1 600,00 Kč
12	DRŽÁK DORAZU	133829-2015-012		1	1 000,00 Kč	1 000,00 Kč
13	PODPORA L101	133829-2015-013		1	400,00 Kč	400,00 Kč
14	PODPORA L136	133829-2015-014		1	400,00 Kč	400,00 Kč
15	RAMENO	133829-2015-015		2	1 900,00 Kč	3 800,00 Kč
16	DORAZ	133829-2015-016		1	400,00 Kč	400,00 Kč
Σ:						7 600,00 Kč

Tabulka 6) Ceny nakupovaných dílů koncového efektoru

POZ.	NÁZEV	OZNAČENÍ/VÝKRES	DOD.	KS	CENA/KUS	CENA CELK.
33	ŠKRTÍCÍ VENTIL	GRLA-M5-QS-6-D	FESTO	2	236,20 Kč	472,40 Kč
34	PNEUMATICKÉ CHAPADLO	HGPL-25-40-A	FESTO	1	21 940,90 Kč	21 940,90 Kč
35	OMEZENÍ ZDVIHU	HGPL-HR-25	FESTO	1	2 315,00 Kč	2 315,00 Kč
37	STŘEDÍCÍ ČEP	ELABD 10T-P10-B10-L15	MISUMI	1	612,40 Kč	612,40 Kč
38	STŘEDÍCÍ ČEP	ELABA 10-P10-B10-L15	MISUMI	1	449,00 Kč	449,00 Kč
	ČIDLO PŘIBLÍŽENÍ	SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M&	FESTO	2	230,20 Kč	460,40 Kč
	ELEKTOMAGNETICKÝ VENTIL	VUVG-L10-P53C-T-M7-1R1L	FESTO	1	1 840,00 Kč	1 840,00 Kč
	TLUMIČ HLUKU	UC-M7	FESTO	2	83,60 Kč	167,20 Kč
	NÁSTRČNÉ ŠROUBENÍ	QSM-M7-6-I	FESTO	3	34,40 Kč	103,20 Kč
	ŠROUBENÍ	QSL-1/8-6	FESTO	2	44,50 Kč	89,00 Kč
	REDUKČNÍ VENTIL	LR-1/8-D-7-I-MINI	FESTO	1	802,20 Kč	802,20 Kč
	UPEVŇOVACÍ ÚHELNÍK	HR-D-MINI	FESTO	1	35,80 Kč	35,80 Kč
	SPOJOVACÍ MATERIÁL			1	100,00 Kč	100,00 Kč
Σ:						29 387,50 Kč

Celková cena koncového efektoru:

CENA KONCOVÉHO EFEKTORU CELKEM: 36 987,50 Kč



10.2 Ekonomické zhodnocení manipulátoru

Tabulka 7) Ceny vyráběných dílů manipulátoru

POZ.	NÁZEV	OZNAČENÍ/VÝKRES	DODAVATEL	KS	CENA/KUS	CENA CELK.
1	RÁM	133829-2015-001		1	23 640,00 Kč	23 640,00 Kč
2	DRŽÁK MOTORU	133829-2015-002		1	1 300,00 Kč	1 300,00 Kč
3	DOMEK LOŽISKA A	133829-2015-003		1	1 500,00 Kč	1 500,00 Kč
4	DOMEK LOŽISKA B	133829-2015-004		1	1 400,00 Kč	1 400,00 Kč
5	ZAJIŠTĚNÍ LOŽISKA A	133829-2015-005		1	1 200,00 Kč	1 200,00 Kč
6	DRŽÁK MATICE	133829-2015-006		1	1 500,00 Kč	1 500,00 Kč
7	DESKA SUPPORTU	133829-2015-007		1	2 000,00 Kč	2 000,00 Kč
8	CLONA	133829-2015-008		1	700,00 Kč	700,00 Kč
9	SVISLÝ DORAZ	133829-2015-009		1	1 500,00 Kč	1 500,00 Kč
11	DRŽÁK TLUMIČE	133829-2015-011		1	1 000,00 Kč	1 000,00 Kč
17	DRŽÁK DORAZU	133829-2015-017		2	800,00 Kč	1 600,00 Kč
18	DRŽÁK KRYTU	133829-2015-018		2	1 600,00 Kč	3 200,00 Kč
19	DRŽÁK KRYTU 2	133829-2015-019		2	1 800,00 Kč	3 600,00 Kč
20	DRŽÁK SNÍMAČŮ	133829-2015-020		2	600,00 Kč	1 200,00 Kč
21	DRŽÁK ŘETĚZU 1	133829-2015-021		1	600,00 Kč	600,00 Kč
22	DRŽÁK ŘETĚZU 2	133829-2015-022		1	600,00 Kč	600,00 Kč
Σ:						46 540,00 Kč

Tabulka 8) Ceny nakupovaných dílů manipulátoru

POZ.	NÁZEV	OZNAČENÍ/VÝKRES	DODAVATEL	KS	CENA/KUS	CENA CELK.
26	SERVOMOTOR	HG-KR43	MITSUBISHI	1	15 500,00 Kč	15 500,00 Kč
27	HŘÍDELOVÁ SPOJKA	SCPW34-14-14	MISUMI	1	1 113,80 Kč	1 113,80 Kč
28	KULIČKOVÝ ŠROUB	R40-40FSCDIN-1838-0-T7	HIWIN	1	11 631,00 Kč	11 631,00 Kč
29	LINEÁRNÍ VEDENÍ	HGH15SA-2R-1572-20-H2-DD	HIWIN	1	4 506,60 Kč	4 506,60 Kč
30	SPIRÁLOVÁ PRUŽINA	45-1600-100	HESTEGO	2	3 465,00 Kč	6 930,00 Kč
31	LINEÁRNÍ PNEUMOTOR	DFM-20-50-B-P-A-GF 532316	FESTO	1	4 914,80 Kč	4 914,80 Kč
32	TLUMIČ NÁRAZU	YSR-7-5-C 160272	FESTO	2	1 240,00 Kč	2 480,00 Kč
33	ŠKRTÍCÍ VENTIL	GRLA-M5-QS-6-D	FESTO	2	236,20 Kč	472,40 Kč
36	DORAZOVÝ ŠROUB KALENÝ	SSTRCB-LC36	MISUMI	2	305,30 Kč	610,60 Kč
39	GUMOVÝ DORAZ	VNAHM8-30	MISUMI	2	203,00 Kč	406,00 Kč
40	ENERGETICKÝ ŘETĚZ	SR30091033KM2-L930	LAPP GROUP	1	341,00 Kč	341,00 Kč
41	ENERGETICKÝ ŘETĚZ	SR20012018KM1-L408	LAPP GROUP	1	108,00 Kč	108,00 Kč
42	POJISTNÁ MATICE	HIR-25	HIWIN	1	498,00 Kč	498,00 Kč
43	LOŽISKO	3205A-2RS1	SKF	1	851,00 Kč	851,00 Kč
44	LOŽISKO	61905-2RS1	SKF	1	474,00 Kč	474,00 Kč
45	KAPACITNÍ SNÍMAČ	IM12-04BNS-ZC1	SICK	3	950,00 Kč	2 850,00 Kč
46	PLASTOVÁ ZÁSLEPKA	E40x40x4-4,5	EUROPLAST	7	3,60 Kč	25,20 Kč
	ČIDLO PŘIBLÍŽENÍ	SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M&	FESTO	2	230,20 Kč	460,40 Kč
	ELEKTOMAGNETICKÝ VENTIL	VUVG-L10-P53C-T-M7-1R1L	FESTO	1	1 840,00 Kč	1 840,00 Kč

NÁSTRČNÉ ŠROUBENÍ	QSM-M7-6-I	FESTO	3	34,40 Kč	103,20 Kč
TLUMIČ HLUKU	UC-M7	FESTO	2	83,60 Kč	167,20 Kč
KOMB. Ú. VZDUCHU	MSB4-1/8:C4:J6:D4:A1:F12-WP	FESTO	1	8 292,00 Kč	8 292,00 Kč
ZÁSUVKA S KABLEM	KMEB-2-24-5-LED	FESTO	1	391,60 Kč	391,60 Kč
ZÁSLEPKA	B-1/8	FESTO	2	16,80 Kč	33,60 Kč
ROZDĚLOVAČ	QSLV2-1/8-6	FESTO	1	154,80 Kč	154,80 Kč
SERVOZESILOVAČ	MR-J4-40B-RJ	MITSUBISHI	1	18 000,00 Kč	18 000,00 Kč
SILOVÝ VODIČ		MITSUBISHI	1	1 700,00 Kč	1 700,00 Kč
VODIČ PRO ENCODER		MITSUBISHI	1	1 900,00 Kč	1 900,00 Kč
SPOJOVACÍ MATERIÁL			1	200,00 Kč	200,00 Kč
				Σ:	86 955,20 Kč

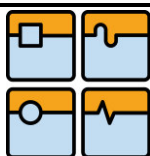
Celková cena manipulátoru (bez koncového efektoru):

CENA MANIPULÁTORU CELKEM: 133 495,20 Kč

10.3 Celková cena navrhovaného manipulátoru

CENA MANIPULÁTORU A KONCOVÉHO EFEKTORU CELKEM: 170 482,70 Kč

Celková cena nezahrnuje konstrukční práce, montážní práce, elektrikářské a programátorské práce, do ceny také není zahrnuta režie na provoz montážní dílny.



11 Posouzení rizika strojního zařízení

11.1 Popis stroje

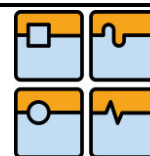
Dvouosý manipulátor, jako součást strojního zařízení, slouží k mezioperační manipulaci mezi jednotlivými výrobními procesy stroje. Konkrétní aplikace manipulátoru závisí na technologických požadavcích strojního zařízení. Manipulátor je navržen pro manipulování se zadaným dílem v daném rozsahu a to v cyklu dlouhém maximálně 6 sekund. Základem manipulátoru jsou dvě pohyblivé lineární osy, které se pohybují ve vodorovném a svislém směru (osa X a osa Z). Pohyb ve vodorovném směru je zajištěn rotačním elektrickým servomotorem spojeným s kuličkovým šroubem pomocí spojky. Pohyb ve svislém směru zajišťuje lineární pneumotor s integrovaným kluzným vedením, který dojíždí na nastavitelné dorazy. Pro ustavení a vystředění manipulovaného objektu (čerpadla) v koncovém efektoru jsou použity středící čepy a dorazy. Uchopení čerpadla zajišťuje pneumatické chapadlo. Média pro pohon koncového efektoru a signály od snímačů jsou převáděny do koncového efektoru energetickými řetězy.

Posouzení rizika je provedeno podle normy ČSN EN ISO 12100. Účelem této mezinárodní normy je vést konstruktéry takovým směrem, aby byla prováděna konstrukce a vývoj strojů tak, aby jejich používání a provoz byl bezpečný. [33]

Navrhovaný manipulátor je z hlediska analýzy rizik posuzovaný jako podsestava stroje. Proto analyzovaná fáze životního cyklu je seřizování a provoz této podsestavy. Ostatní fáze životního cyklu stroje by se pak řešily pro celý stroj společně.

Tabulka 9) Základní parametry manipulátoru

Parametr	Hodnota	Jednotka
Hmotnost manipulovaného předmětu	2	kg
Hmotnost pohyblivého supportu	12	kg
Rychlost pohybu v ose X	1	m/s
Zrychlení pohybu v ose X	2	m/s ²
Výkon servomotoru	400	W
Maximální krouticí moment servomotoru	4,5	Nm
Otáčky kuličkového šroubu	1500	ot./min
Doba pracovního cyklu	4,806	s
Tlak vzduchu	6	bar
Rychlost pohybu v ose Z	0,77	m/s
Síla pneumotoru v ose Z	188,5	N
Síla čelistí	200	N



11.2 Vstupy a výstupy médií ze zařízení

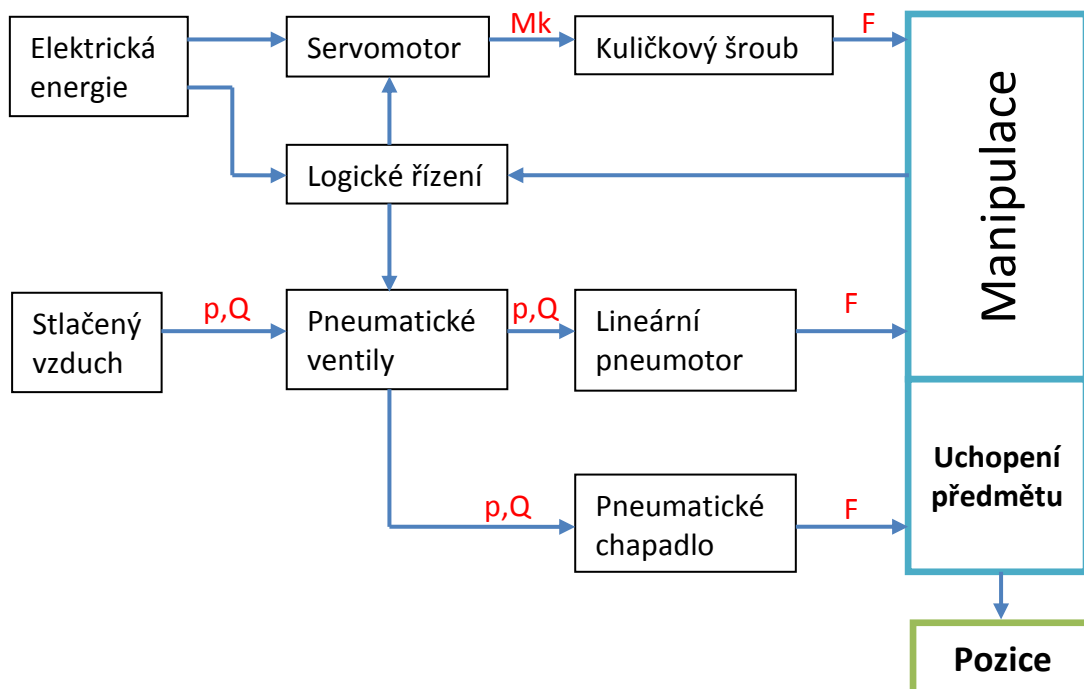
Do manipulátoru vstupují veličiny, které slouží pro pohon a technologické operace. Výstupem je určitá činnost systémů (pohyb) a ztrátová energie (negativní veličiny).



Obr. 11.2.1 Znárodnění vstupů a výstupů médií

11.3 Blokový diagram manipulátoru

Blokový diagram znázorňuje jednotlivé součásti manipulátoru a jejich vzájemné působení. Vstupem do procesu jsou jednotlivé energie a výstupem z procesu je najetí na požadovanou pozici. Blokový diagram slouží pro usnadnění identifikace jednotlivých rizik.



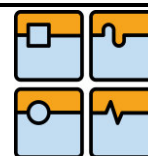
Obr. 11.3.2 Blokový diagram manipulátoru

11.4 Identifikace nebezpečí

Základním krokem při posouzení rizika každého stroje je systematická identifikace rozumně předvídatelných nebezpečí (trvalá nebezpečí a taková nebezpečí, která se mohou vyskytnout neočekávaně), nebezpečných situací a nebezpečných událostí ve fázích životního cyklu stroje.[33]

Tabulka 10) Identifikace nebezpečí

Re f. č.	Nebezpečný prostor	Úloha / činnost	Scénář nehody		
			Nebezpečí	Nebezpečná situace	Nebezpečná událost
1	Pracovní prostor stroje	Obsluha stroje	Mechanické nebezpečí: Zrychlení, zpomalení: Zachycení, stlačení, rozdrčení.	Provádění pracovních úkonů v blízkosti pohyblivých částí stroje	Kontakt s pohyblivou částí stroje.
2	Pracovní prostor stroje	Obsluha stroje	Mechanické nebezpečí: Přiblížení pohybujících se prvků k pevné části: Stlačení, naražení.	Provádění pracovních úkonů v blízkosti pohyblivých částí stroje	Kontakt s pohyblivou částí stroje.
3	Pracovní prostor stroje	Obsluha stroje	Mechanické nebezpečí: Rotující a pohyblivé části: Navinutí.	Provádění pracovních úkonů v blízkosti pohyblivých částí stroje	Kontakt s pohyblivou částí stroje.
4	Pracovní prostor stroje	Obsluha stroje	Elektrické nebezpečí: Elektromagnetické jevy: Účinky na lékařské implantáty	Provádění pracovních úkonů v bezprostřední blízkosti elektrického pohonu stroje.	Bezprostřední přiblížení k elektrickému rotačnímu pohonu.
5	Pracovní prostor stroje	Obsluha stroje	Nebezpečí hluku: Pohybující se části: Nepohodlí	Pohyb v okolí stroje.	Dlouhodobé vystavení.
6	Pracovní prostor stroje	Obsluha stroje	Ergonomická nebezpečí: Přístup: nepohodlí	Provádění pracovních úkonů.	Dlouhodobé vystavení.
7	Manipulační a obslužný prostor stroje	Přístup ke stroji	Mechanické nebezpečí: Zakopnutí a pád.	Pohyb v okolí stroje.	Zakopnutí osoby o překážku nebo na kluzké podlaze a následný pád



8	Prostor stroje v okolí manipulátoru	Seřizování stroje	Mechanické nebezpečí: Zrychlení, zpomalení: Zachycení, stlačení, rozdrčení.	Seřizování dorazů osy Z, a dorazu pneumatického chapadla.	Kontakt s pohyblivou částí stroje.
9	Prostor stroje v okolí manipulátoru	Seřizování stroje	Mechanické nebezpečí: Rotující a pohyblivé části: Navinutí	Seřizování dorazů osy Z, a dorazu pneumatického chapadla.	Kontakt s pohyblivou částí stroje.

11.5 Maticová metoda

11.5.1 Závažnost následků rizika

Tabulka 11) Závažnost následků rizika

Katastrofická	Smrt nebo zranění nebo nemoc s trvalými následky
Kritická	Závažné zranění nebo nemoc s hospitalizací.
Střední	Významné zranění nebo nemoc s pracovní neschopností
Malá	Žádné nebo lehké zranění bez pracovní neschopnosti

11.5.2 Pravděpodobnost výskytu rizika

Tabulka 12) Pravděpodobnost výskytu rizika

Velmi vysoká	Vznik nežádoucí události je téměř jistý.
Pravděpodobná	Vznik nežádoucí události je pravděpodobný.
Možná	Ke vzniku nežádoucí události může dojít příležitostně, náhodně.
Výjimečná	Vznik nežádoucí události není pravděpodobný, ale nelze nežádoucí událost vyloučit
Zanedbatelná	Pravděpodobnost vzniku nežádoucí události se blíží nule.

11.5.3 Úroveň rizika

Tabulka 13) Úroveň rizika

Velké	Nepřípustné riziko
Střední	Nežádoucí riziko, přípustné pouze v případě, že snížení rizika je neproveditelné nebo v případě, že náklady jsou výrazně neúměrné dosaženému zlepšení.
Malé	Přípustné riziko v případě, že náklady na snížení rizika by přesáhly dosažené zlepšení.
Zanedbatelné	Zanedbatelné riziko.

11.5.4 Matice pro odhad rizika

Tabulka 14) Odhad rizika

Pravděpodobnost výskytu rizika	Závažnost následků rizika			
	Katastrofická	Kritická	Střední	Malá
Velmi vysoká	velké	velké	velké	střední
Pravděpodobná	velké	velké	střední	malé
Možná	velké	střední	střední	malé
Výjimečná	střední	střední	malé	zanedbatelné
Zanedbatelná	malé	malé	zanedbatelné	zanedbatelné

11.6 Počáteční posouzení rizika

Po identifikaci nebezpečí musí být pro každou situaci proveden odhad rizika určením prvku rizika. Poté musí být provedeno zhodnocení rizika pro určení, zda je požadováno snížení rizika. Jestliže je požadováno snížení rizika, musí být zvolena a použita vhodná ochranná opatření. [33]

Tabulka 15) Počáteční posouzení rizika

Ref. č.	Úloha/ činnost	Nebezpečí	Počáteční posouzení		Opatření ke snížení rizika
			Závažnost/ Pravděpodobnost	Úroveň rizika	
1	Obsluha stroje	Mechanické nebezpečí: Zrychlení, zpomalení: Zachycení, stlačení, rozdrčení.	Kritická	velké	• pevný kryt • kontrola ochranných zařízení. (návod k používání) • vyškolená a zacvičená obsluha. (návod k používání)
			Pravděpodobná		
2	Obsluha stroje	Mechanické nebezpečí: Přiblížení pohybujících se prvků k pevné části: Stlačení, naražení	Kritická	Střední	• Pevný kryt • Kontrola ochranných zařízení. (návod k používání)
			Výjimečná		
3	Obsluha stroje	Mechanické nebezpečí: Rotující a pohyblivé části: Navinutí	Kritická	velké	• Teleskopické pružiny • Kontrola ochranných zařízení. (návod k používání) • Kontrola ochranných zařízení. (návod k používání)
			Velmi vysoká		
4	Obsluha stroje	Elektrické nebezpečí: Elektromagnetické jevy: Účinky na lékařské implantáty	Katastrofální	malé	• Vyznačení míst s nebezpečným elektromagnetickým zářením. • Vyškolená a zacvičená obsluha. (návod k používání)
			Zanedbatelná		

5	Obsluha stroje	Nebezpečí hluku: Pohybující se části: Nepohodlí	Malá	malé	- Používat vhodné ochranné pomůcky. (návod k používání) - Vyškolená a zacvičená obsluha. (návod k používání)
			Pravděpodobná		
6	Obsluha stroje	Ergonomická nebezpečí: Přístup: nepohodlí	Malá	malé	Vhodná konstrukce výšky obsluhovaného prostoru s dodatečným nastavením výšky. (návod k používání)
			Pravděpodobná		
7	Přístup ke stroji	Mechanické nebezpečí: Zakopnutí a pád.	Střední	malé	- Udržovat pořádek na pracovišti - Používat předepsanou obuv - Udržovat dostatečný volný prostor pro bezpečnou obsluhu a údržbu stroje. (návod k používání)
			výjimečná		
8	Seřizování stroje	Mechanické nebezpečí: Zrychlení, zpomalení: Zachycení, stlačení, rozdrčení.	Kritická	Střední	- Vyškolený pracovník (návod k používání) - Stroj přepnout do režimu seřizování (není možné ovládat více pohybů najednou, pohyb omezenou rychlostí)
			možná		
9	Seřizování stroje	Mechanické nebezpečí: Rotující a pohyblivé části: Navinutí	Kritická	Střední	- Teleskopické pružiny - Vyškolený pracovník (návod k používání) - Stroj přepnout do režimu seřizování (není možné ovládat více pohybů najednou, pohyb omezenou rychlostí)
			možná		

11.7 Posouzení zbytkového rizika

Dosažení odpovídajícího snížení rizika a příznivý výsledek porovnání rizika, je-li to prakticky možné, dává důvěru, že riziko bylo náležitě sníženo. [33]

Tabulka 16) Posouzení zbytkového rizika

Ref . č.	Úloha/ činnost	Nebezpečí	Posouzení zbytkového rizika		Stav rizika
			Závažnost/ Pravděpodobnost	Úroveň rizika	
1	Obsluha stroje	Mechanické nebezpečí: Zrychlení, zpomalení: Zachycení, stlačení, rozdrčení.	Kritická	malé	přijatelné
			Pravděpodobná		

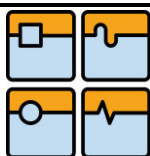
2	Obsluha stroje	Mechanické nebezpečí: Přiblížení pohybujících se prvků k pevné části: Stlačení, naražení	Kritická	malé	přijatelné
			Výjimečná		
3	Obsluha stroje	Mechanické nebezpečí: Rotující a pohyblivé části: Navinutí	Kritická	malé	přijatelné
			Velmi vysoká		
4	Obsluha stroje	Elektrické nebezpečí: Elektromagnetické jevy: Účinky na lékařské implantáty	Katastrofální	Zanedbatelné	přijatelné
			Zanedbatelná		
5	Obsluha stroje	Nebezpečí hluku: Pohybující se části: Nepohodlí	Malá	Zanedbatelné	přijatelné
			Pravděpodobná		
6	Obsluha stroje	Ergonomická nebezpečí: Přístup: nepohodlí	Malá	Zanedbatelné	přijatelné
			Pravděpodobná		
7	Přístup ke stroji	Mechanické nebezpečí: Zakopnutí a pád.	Střední	Zanedbatelné	přijatelné
			výjimečná		
8	Seřizování stroje	Mechanické nebezpečí: Zrychlení, zpomalení: Zachycení, stlačení, rozdrčení.	Kritická	malé	přijatelné
			možná		
9	Seřizování stroje	Mechanické nebezpečí: Rotující a pohyblivé části: Navinutí	Kritická	malé	přijatelné
			možná		

11.8 Závěr analýzy rizik

Po stanovení vhodných bezpečnostních opatření jsou rizika manipulátoru na přijatelné úrovni. Je uvažováno, že se manipulátor nachází zakrytován ve stroji a obsluha k němu nebude mít přímý přístup.

Vzhledem k tomu, že posuzovaný manipulátor je brán jako podsestava pro konečný stroj, je nutné dodržet při konstrukci části stroje, ve které bude manipulátor umístěn, navržená opatření pro snížení rizik. Rizika jsou snížena pomocí konstrukčních bezpečnostních opatření.

V případě, kdy nebude možné použít konstrukční bezpečnostní opatření (například pokud bude muset obsluha zakládat součásti do základacího lůžka pod manipulátor), může být použita ke snížení rizika vhodně zvolená bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření, která budou vzhledem k bezpečnosti přijatelná.



12 Závěr

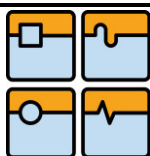
První část této diplomové práce se zabývá teoretickými znalostmi z oblasti lineárních manipulátorů, jednotlivých komponent a prvků, které se používají při konstrukci. Řada firem se také specializuje přímo na konstrukci celých manipulátorů vyráběných na míru, jedná se zejména o stavebnicové konstrukce nebo parametricky odstupňované manipulátory. Trhu dominuje společnost FESTO, která nabízí jak jednotlivé komponenty, lineární osy, dvouosé a tříosé manipulátory, tak i manipulátory s paralelní kinematikou pro vysokou dynamiku pohybu.

Ve druhé části jsou uvedeny dvě možné varianty řešení a z nich vybráno vhodné řešení metodou multikriteriálního hodnocení. U vybraného řešení jsou postupně zkonstruovány a vypočítány všechny nutné parametry konstrukce. Výpočty jsou rozděleny na část zabývající se konstrukcí koncového efektoru, která má za úkol uchopit a ustavit zadanou součást. Na konci této části je popsána samotná konstrukce, doplněná řadou obrázků modelu. V další části jsou spočítány veškeré části pro samotný manipulátor a popsána jeho konstrukce a technické řešení. Kuličkový šroub vychází značně předimenzovaný z hlediska únosnosti zatížení, ale je to způsobeno jeho délkou, kdy šroub s menším průměrem nevychází na kritické otáčky. Po provedení výpočtů bylo sestaveno časové schéma cyklu manipulace, ze zjištěných hodnot časů pro jednotlivé pohyby.

Dalším bodem zadání byla finanční analýza, kde se cena manipulátorů vyšplhala na 170 482,7 Kč. Do ceny jsou zahrnuty odhady cen vyráběných dílů a ceny nakupovaných dílů. Tento odhad byl proveden technology ve společnosti JCEE s.r.o. Lanškroun. Jsou zde uvedeny i komponenty potřebné pro funkci pneumatických prvků a ovládání servomotoru, které nejsou zobrazeny v modelu sestavy.

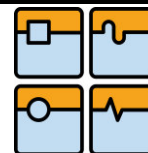
Poslední kapitola se zabývá posouzením rizik strojního zařízení (dle normy 12 100), kde se zjišťují všechna možná rizika, která se mohou na navrženém manipulátoru vyskytnout a poté stanovení jejich závažnosti a možnosti odstranění buď konstrukčními opatřeními, bezpečnostními ochrannými opatřeními nebo informacemi pro používání.

K práci je dále v přílohách přiložena výkresová dokumentace, model manipulátoru a pneumatické schéma. Tímto byly splněny všechny body zadání.

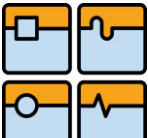


13 Seznam použitých zdrojů

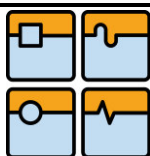
- [1] KOLÍBAL, Zdeněk a Radek KNOFLÍČEK. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů*. 1. vyd. Košice: Viena, 2000, 178 s. Edice vědecké a odborné literatury. ISBN 80-889-2227-5.
- [2] HIWIN: Inteligence v pohybu. HIWIN S.R.O. *Lineární technika, vedení, motory, pohony, kuličkové šrouby* [online]. 2002, 11.2.2015 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/cz/produkty>
- [3] RAVEO: word of motion. RAVEO S.R.O. *RAVEO s.r.o. | WORLD OF MOTION* [online]. 2010 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://www.raveo.cz/>
- [4] FANUC: Factory Automation. FANUC. *Lineární motory | FANUC FA* [online]. 2010 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://www.fanucfa.cz/cz-cz/broker?uMen=43b58e3d-40a5-01e5-945c-c948b7234fed>
- [5] FESTO. FESTO, s.r.o. *Festo Czech Republic* [online]. 2010 [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: http://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm
- [6] ŽĐAS. ŽĐAS a.s.: *QKK* [online]. 2015 [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?id=21>
- [7] LIN-TECH: LINEÁRNÍ KLUZNÁ VEDENÍ. O.Z. LIN-TECH, HENNLICH s.r.o. *Lineární kluzná vedení : Produkty* [online]. 2015 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: <http://lin-tech.hennlich.cz/produkty/linearni-kluzna-vedeni-44.html>
- [8] ŠÍPULA, M. *Zařízení pro lineární odměřování polohy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Káňa.
- [9] RENISHAW. RENISHAW PLC. *Renishaw: zvyšování efektivnosti výroby a zdravotní péče* [online]. 2015 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/renishaw-zvysovani-efektivnosti-vyroby-a-zdravotni-pece--1030>
- [10] SIEMENS. © SIEMENS AG. *Siemens Global Website* [online]. 1996 - 2015 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: <http://www.siemens.com/entry/cc/en/>
- [11] Inkrementální rotační senzory firmy Kubler. *Automatizace.HW.cz* [online]. 2007, č. 1 [cit. 2015-03-28]. DOI: 2007020401. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2007020401>
- [12] IGUS: plastics for long life. IGUS® INC. *Igus* [online]. 2015 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://www.igus.cz/>
- [13] Shrnovací kabelová vedení. © ITECO S.R.O. *Shrnovací kabelová vedení, jeřábů servis, jeřábů výroba, jeřábů prodej, jeřáb | iteco.cz* [online]. 2006-2012 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://www.iteco.cz/komponenty/shrnovaci-kabelova-vedeni/>
- [14] KRYTOVÁNÍ STROJŮ. O.Z. LIN-TECH, HENNLICH s.r.o. *Krytování strojů : Produkty* [online]. 2015 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://lin-tech.hennlich.cz/produkty/krytovani-stroju->



- 2475.html?gclid=Cj0KEQjwxd6oBRCRoMrWmLOCvI4BEiQAYyZdkSKkwI40p3Qo0yXUA5Te6w0pW6KibUyWR7jqYEK5IUaAjiB8P8HAQ
- [15] MACRON DYNAMICS, INC. *TBG-12 T-Bot Gantry System / X/Z T-Bot Linear Robot* [online]. 2015 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.macrondynamics.com/linear-robot/tbg-12>
- [16] KNOFLÍČEK, Radek. *Mobilní robotické systémy*. [Brno: Vysoké učení technické], 1996, [111] s.
- [17] Locating Pins, Bushings. *MISUMI* [online]. 2015 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://uk.misumi-ec.com/vona2/mech/M0300000000/M0301000000/>
- [18] Paralelní chapadla HGPL, robustní s dlouhým zdvihem. 2013. *FESTO* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/HGPL_CZ.PDF
- [19] Pohony s vodicími tyčemi. 2015. *Pohony s vodicími tyčemi / Festo Czech Republic* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://www.festo.com/cat/cs_cz/products_PP_AN_FUEH
- [20] Vodicí jednotky DFM/DFM-B. 2006. *FESTO* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DFM_CZ.PDF
- [21] Nylonové energetické řetězy. 2015. *LAPP GROUP* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://content.lappgroup.com/fileadmin/DAM/Lapp_Czech/SLUZBY/KE_STAZENI/SILVYN_CHAIN/SilvynChain_2010_-_Nylonove.pdf
- [22] Stopper Bolts. 2015. *Find Stopper Bolts products and many other industrial components / MISUMI* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.misumi-europe.com/uk/catalog/vona2/mech/M0300000000/M0311000000/M0311100000/>
- [23] Lineární vedení: HGH. 2015. *HGH / hiwin.cz* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/kulickove-vedeni/rada-hg/17_hgh
- [24] MAREK, Jiří. 2014. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 684 s. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [25] Průmyslová automatizace: MR-J4-A /B (400V). 2013. *Průmyslová automatizace* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.accs.cz/FAList?dept=100059>
- [26] Kuličkové šrouby: Jednoduchá matice přírubová dle DIN 69051. 2015. *Jednoduchá matice přírubová dle DIN 69051 | hiwin.cz* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://www.hiwin.cz/cz/produkty/kulickove-srouby/valcovane-srouby/53_jednoducha-matice-prirubova-dle-din-69051
- [27] Kuličková ložiska s kosoúhlým stykem. 2015. *EXVALOS s.r.o.* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://www.exvalos.cz/soubory/File/Hlavni_katalog_SKF/6000_CS_02_Kulickova%20oziska%20s%20kosouhlym%20stykem.pdf

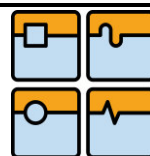
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 91
	KONSTRUKCE DVOUOSÉHO MANIPULÁTORU	

- [28] Kuličková ložiska. 2015. *EXVALOS s.r.o.* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://www.exvalos.cz/soubory/File/Hlavni_katalog_SKF/6000_CS_01_Kulickova%20oziska.pdf
- [29] Záslepka čtvercová. 2015. *Série E | EUROPLAST CZ s.r.o.* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.europlast-beran.cz/4873-zaslepky-hranate/9417-serie-e/>
- [30] Flexible Shaft Couplings. 2015. *Find Flexible Shaft Couplings products and many other industrial components / MISUMI* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.misumi-europe.com/uk/catalog/vona2/mech/M1000000000/M1001000000/M1001090000/>
- [31] Teleskopické pružiny. 2015. *HESTEGO a.s.* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://www.hestego.cz/fileadmin/user_upload/produkty/teleskopicke_pruziny/teleskopicke_pruziny_cz_new.pdf
- [32] SICK Partner Portal. 2014. *SICK Partner Portal* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <https://www.mysick.com/eCat.aspx?go=FinderSearch&Cat=Row&At=Fa&Cult=Czech&FamilyID=424&Category=Produktfinder&Selections=55382>
- [33] ČSN EN ISO 12100. *Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika*. 2011. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.



14 Seznam použitých symbolů

a	[m/s ²]	Požadované zrychlení
$akur$	[mm]	Požadovaná přesnost polohování
$akur_{min}$	[-]	Nutná minimální přesnost kuličkového šroubu
C_0	[N]	Statické únosnost lineárního vedení
C_{0min}	[N]	Statická únosnost šroubu
C_A	[N]	Dynamická únosnost ložiska A
C_B	[N]	Dynamická únosnost ložiska B
C_{dyn}	[N]	Dynamická únosnost lineárního vedení
C_{dyn}	[N]	Dynamická únosnost kuličkového šroubu
$C_{dynš}$	[N]	Dynamická únosnost šroubu
c_x	[mm]	Rozteč vozíků ve svislém směru
d_k	[mm]	Průměr šroubu
d_L	[mm]	Vnitřní průměr ložiska
D_n	[-]	Hodnota D_n faktoru
d_x	[mm]	Rozteč vozíků ve směru posuvu
f_1	[-]	Tření ve vedení
f_2	[-]	Ekvivalentní tření kuličkového šroubu a matice
f_3	[-]	Ekvivalentní tření v ložisku
F_a	[N]	Zatěžující axiální síla
F_{aA}	[N]	Výsledná axiální síla působící na ložisko A
F_{aB}	[N]	Výsledná axiální síla působící na ložisko B
F_{axial}	[N]	Axiální síla při zrychlení
$F_{axialstř}$	[N]	Axiální síla při konstantní rychlosti
F_c	[N]	Zátěžná síla
F_{gs}	[N]	Tíhová síla součásti
F_h	[N]	Síla úchopu
f_H	[-]	Součinitel tvrdosti vedení
F_k	[N]	Kritická axiální zatěžující síla
F_{max}	[N]	Maximální provozní síla
F_{nklop}	[N]	Síla od klopného momentu
F_p	[N]	Síla od předpětí
F_{rA}	[N]	Výsledná radiální síla pod ložiskem A
F_{rB}	[N]	Výsledná radiální síla pod ložiskem B
F_{rr}	[N]	Zatížení vlivem hmotnosti na jeden vozík
f_s	[-]	Statický bezpečnostní faktor
$F_{stř}$	[N]	Střední zatěžující síla
F_{sz}	[N]	Výsledné statické zatížení
f_t	[-]	Součinitel teploty okolí
F_u	[N]	Potřebná síla upnutí
f_W	[-]	Provozní součinitel
g_n	[-]	Význam jednotlivých faktorů
i	[-]	Převodový poměr
J_m	[m ² *kg]	Moment setrvačnosti motoru
J_{red}	[m ² *kg]	Redukovaný moment setrvačnosti posuvových hmot
J_{rhm}	[m ² *kg]	Celkový moment setrvačnosti

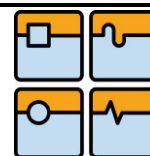


k_u	[-]	Bezpečnostní koeficient upnutí
L_{10A}	[hod]	Trvanlivost ložiska A se spolehlivostí 90%
L_{10B}	[hod]	Trvanlivost ložiska B se spolehlivostí 90%
L_{hod}	[hod]	Potřebná hodinová životnost
$L_{hodš}$	[hod]	Životnost kuličkového šroubu
L_{nom}	[m]	Nominální životnost
l_{ξ}	[mm]	Délka šroubu
l_x	[mm]	Vzdálenost těžiště od osy vedení
m_c	[kg]	Celková hmotnost
M_{ef}	[Nm]	Efektivní moment motoru
M_{Fa}	[Nm]	Moment pro vyvození síly F_a
m_g	[kg]	Hmotnost manipulované součásti
M_G	[Nm]	Moment potřebný k překonání odporu ve vedení
M_{GT}	[Nm]	Moment tíhové složky
m_k	[kg]	Hmotnost koncového efektoru
M_L	[Nm]	Moment třecích sil v ložisku
m_m	[kg]	Hmotnost matice kuličkového šroubu
M_m	[Nm]	Výsledný dynamický moment motoru
m_s	[kg]	Hmotnost součásti
m_s	[kg]	Hmotnost supportu s osou Z
m_{ξ}	[kg]	Hmotnost kuličkového šroubu
n_1	[-]	Počet cyklů za plánovanou životnost
n_{dov}	[1/min]	Maximální dovolené otáčky
n_k	[1/min]	Kritické otáčky
n_m	[1/s]	Sekundové otáčky
n_m	[1/min]	Požadované otáčky
p	[mm]	Přesnost odměřování
P_1	[N]	Ekvivalentní dynamické zatížení ložiska A
P_2	[N]	Ekvivalentní dynamické zatížení ložiska B
P_{dyn}	[N]	Zatížení vozíku
P_{dyns}	[N]	Střední hodnota vlivem střídavého zatížení
p_t	[%]	Hodnocený faktor
s_1	[m]	Dráha jednoho cyklu
s_a	[m]	Dráha pro zrychlení
s_{c1}	[m]	Ujetá dráha za plánovanou životnost
s_f	[-]	Koeficient bezpečnosti
s_{p1}	[m]	Délka úseku pro konstantní rychlost
s_{ξ}	[mm]	Stoupání závitu
t	[s]	Požadovaná doba akcelerace
t_1	[s]	Doba jednoho cyklu
t_{akce}	[-]	Podíl času při zrychlování
t_{am}	[s]	Doba akcelerace motoru
t_{b1}	[s]	Doba prostoje
t_c	[s]	Celková doba běhu
t_{celk}	[s]	Celková doba cyklu
t_j	[-]	Hodnota posuzované vlastnosti
t_{konst}	[-]	Podíl času při konstantní rychlosti

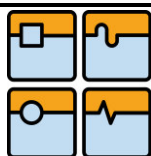
t_{kr}	[s]	Doba chodu konstantní rychlostí
T_n	[-]	Posuzovaná vlastnost
t_{p1}	[s]	Doba chodu plnou rychlostí
v	[m/min]	Rychlost posuvu
z_1	[m]	Délka zdvihu
α	[°]	Úhel působení síly upnutí
α_1	[°]	Náklon vedení
ε_m	[1/s ²]	Úhlové zrychlení
η_c	[-]	Celková účinnost
η_L	[-]	Účinnost ložiska
η_s	[-]	Účinnost kuličkového šroubu a matice
η_v	[-]	Účinnost valivého vedení
ρ	[kg/m ³]	Hustota oceli
τ	[-]	Konečná technická hodnota varianty
τ_n	[-]	Technický stav hodnocené varianty

15 Seznam obrázků

Obr. 2.1.1 Translační kinematické dvojice	19
Obr. 2.1.2 Otočné kinematické dvojice bez omezení úhlu otáčení	19
Obr. 2.1.3 Rotační kinematické dvojice s omezeným otáčením	19
Obr. 2.2.1 Znáznornění pracovních prostorů	20
Obr. 3.1.1 Přímý elektrický pohon	21
Obr. 3.1.2 Lineární jednotka Hiwin BSU160 [2]	22
Obr. 3.1.3 Nepřímý elektrický pohon	22
Obr. 3.1.4 Lineární jednotka RAVEO LSZ [3]	23
Obr. 3.1.5 Lineární jednotka RAVEO ELZQ [3]	23
Obr. 3.1.6 Lineární motor FANUC LiS [4]	24
Obr. 3.1.7 Úpravná jednotka [5]	24
Obr. 3.1.8 Elektro-pneumatický ventil [5]	24
Obr. 3.1.9 Pneumatický lineární motor [5]	24
Obr. 3.1.10 Čidlo pro snímání polohy pístu [5]	24
Obr. 3.1.11 Tlumič nárazu [5]	25
Obr. 3.1.12 Pružná spojka [5]	25
Obr. 3.1.13 Zarážkový válec [5]	25
Obr. 3.1.14 Použití spojení dvou pneumotorů	25
Obr. 3.1.15 Kovací manipulátor ŽĐAS QKK [6]	25
Obr. 3.2.1 Kluzné pouzdro [7]	26
Obr. 3.2.2 Čtvercový domek [7]	26
Obr. 3.2.3 Vedení typ T [7]	27
Obr. 3.2.4 Vedení typ W [7]	27
Obr. 3.2.5 Kuličkové pouzdro uzavřené [2]	28
Obr. 3.2.6 Kuličkové pouzdro s nastavitelným předepnutím [2]	28
Obr. 3.2.7 Kuličkové pouzdro otevřené [2]	28
Obr. 3.2.8 Kuličkové profilové vedení HG/EG [2]	28
Obr. 3.2.9 Kuličkové profilové vedení QH/QE [2]	28
Obr. 3.2.10 Struktura válečkového vedení RG [2]	29
Obr. 3.3.1 Princip funkce indukčního snímače [8]:	30
Obr. 3.3.2 Princip funkce kapacitního snímače [8]	31
Obr. 3.3.3 Princip Hallova jevu [8]	32
Obr. 3.3.4 Magnetický lineární snímač RENISHAW LM [9]	32
Obr. 3.3.5 Optický lineární snímač SiGNUM™ RSLM [9]	32
Obr. 3.3.6 Servomotor Siemens 1FK7 [10]	33
Obr. 3.3.7 Rotační magnetický snímač RENISHAW RM22 [9]	33
Obr. 3.3.8 Inkrementální rotační optický snímač [11]	34
Obr. 3.3.9 Uspořádání značek u absolutního rotačního snímače [8]	34
Obr. 3.4.1 igus E-Chain® [12]	34
Obr. 3.4.2 igus Triflex® R 3D E-Chain® [12]	34
Obr. 3.4.3 ITECO Kabelový vozík s pojezdem po I-profilu [13]	35
Obr. 3.4.4 Spirálový kryt [14]	35
Obr. 3.4.5 Kruhový krycí měch [14]	35
Obr. 3.4.7 Krycí měch [14]	35
Obr. 3.4.6 Teleskopický kryt [14]	35



Obr. 3.4.8 Roletový kryt [14].....	36
Obr. 4.1.1 Dvouosý manipulátor FESTO [5]	37
Obr. 4.2.1 Dvouosý manipulátor MACRON DYNAMICS TGB-12 [15].....	38
Obr. 5.1.1 Model manipulátoru ve stroji 2N1456 – konstrukce JCEE	39
Obr. 5.1.2 Umístění nerezového skluzu a red boxu.....	40
Obr. 5.1.3 Boční pohled	40
Obr. 5.2.1 Umístění manipulátoru ve stroji	41
Obr. 5.2.2 Model manipulátoru ve stroji JM158 – konstrukce JCEE	41
Obr. 5.3.1 Model manipulátoru ve stroji JM139 – konstrukce JCEE	42
Obr. 5.3.2 Pohled na táč	42
Obr. 5.3.3 Zakládací paletka s tanky	42
Obr. 6.1.1 Náčrt první varianty konstrukce manipulátoru	43
Obr. 6.2.1 Náčrt druhé varianty konstrukčního řešení	44
Obr. 7.1.1 Předmět manipulace - čerpadlo	49
Obr. 7.2.1 Znázornění ploch pro ustavení čerpadla	49
Obr. 7.3.1 Ustavovací a středící část koncového efektoru	50
Obr. 7.3.2 Chapadlo HGPL 25-40	50
Obr. 7.3.3 Plocha pro uchopení čerpadla	50
Obr. 7.3.4 Působení sil od čelistí a upínací síly	51
Obr. 7.4.1 Koncový efektor	52
Obr. 7.4.2 Upevnění pneumatického chapadla	53
Obr. 7.4.3 Upevnění čelistí.....	53
Obr. 7.4.4 Omezení zdvihu	53
Obr. 7.4.5 Držák koncového dorazu	53
Obr. 7.4.6 Uložení podpory a čepu	53
Obr. 8.1.1 Pozice těžiště	55
Obr. 8.1.2 Působení síly od zrychlení manipulátoru ve vodorovné ose	57
Obr. 8.1.3 Působení síly od excentricky umístěného dorazu	57
Obr. 8.2.1 Osa Z pohled zepředu	58
Obr. 8.2.2 Osa Z pohled zezadu	59
Obr. 8.3.1 Silové působení na vozíky	61
Obr. 8.3.2 Znázornění reakcí pod ložiska	67
Obr. 8.4.1 Silové působení na rám.....	69
Obr. 8.4.2 Výpočet celkového posunutí (nedeformovaný model)	69
Obr. 8.4.3 Silové působení uprostřed rámu	70
Obr. 8.4.4 Silové působení mezi krajní a prostřední nohou	70
Obr. 8.4.5 Celkové posunutí rámu při působení síly uprostřed.....	70
Obr. 8.4.6 Celkové posunutí rámu při působení sil mezi krajní a prostřední nohou....	70
Obr. 8.4.7 Škála pro porovnání celkového posunutí	70
Obr. 8.5.1 Rám se základními komponentami.....	71
Obr. 8.5.2 Uložení ložiska A	71
Obr. 8.5.3 Uložení ložiska B	71
Obr. 8.5.4 Sestava osy X.....	72
Obr. 11.2.1 Znázornění vstupů a výstupů médií.....	80
Obr. 11.3.2 Blokový diagram manipulátoru	80



Seznam tabulek

Tabulka 1) hodnocení:.....	47
Tabulka 2) Konečné technické hodnocení τ :.....	47
Tabulka 3) Závislost času rozevření/sevření na tíže čelistí	52
Tabulka 4) Průběh jednotlivých pozic	73
Tabulka 5) Ceny vyráběných dílů koncového efektoru.....	75
Tabulka 6) Ceny nakupovaných dílů koncového efektoru.....	75
Tabulka 7) Ceny vyráběných dílů manipulátoru	76
Tabulka 8) Ceny nakupovaných dílů manipulátoru	76
Tabulka 9) Základní parametry manipulátoru	79
Tabulka 10) Identifikace nebezpečí	81
Tabulka 11) Závažnost následků rizika	82
Tabulka 12) Pravděpodobnost výskytu rizika	82
Tabulka 13) Úroveň rizika	82
Tabulka 14) Odhad rizika.....	83
Tabulka 15) Počáteční posouzení rizika	83
Tabulka 16) Posouzení zbytkového rizika	84

16 Seznam grafů

Graf 1) Porovnání tuhosti kuličkového a válečkového valivého vedení [2].....	29
Graf 2) Znázornění závislosti síly F_h na rameni x	51
Graf 3) Průběh rychlosti a polohy v závislosti na čase	55
Graf 4) Využití vedení v průběhu zdvihu	56
Graf 5) Průběh tlaků během zdvihu	56
Graf 6) Průběh zrychlení během zdvihu.....	56
Graf 7) Průběh rychlosti během cyklu manipulace.....	66
Graf 8) Časové schéma manipulace	73

17 Seznam příloh

17.1 Tištěné přílohy

Výrobní výkresy
Výkres sestavy dvouosého manipulátoru
Pneumatické schéma

17.2 Elektronické přílohy na CD

Model dvouosého manipulátoru ve formátu .step
Výkres sestavy dvouosého manipulátoru ve formátu .pdf
Výrobní výkresy ve formátu .pdf
Pneumatické schéma ve formátu .pdf