



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Návrh manipulátoru pro testování listových
pružin**

Design of manipulator for leaf spring testing

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

Kristina BITTMANNOVÁ

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Martin Havlíček

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Návrh manipulátoru pro testování listových pružin“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Martina Havlíčka, s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

- V Praze dne

podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat panu Ing. Martinu Havlíčkovi za vstřícnost, trpělivost a pevné nervy při vedení mé práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Petru Švingerovi za veškerý jeho čas, strávený nad pomocí a mými dotazy, díky kterým jsem svou bakalářskou práci mohla odevzdat včas a s čistým svědomím dobře odvedené práce. Chtěla bych poděkovat i ostatním kolegům v Žebráku a v Praze, kteří mi díky své dlouholeté praxi byli schopni poradit se vším, co bylo potřeba. Nakonec chci poděkovat své rodinně za jejich podporu během celého mého studia.

Anotační list

Jméno autora:	Kristina BITTMANNOVÁ
Název BP:	Návrh manipulátoru pro testování listových pružin
Anglický název:	Design of manipulator for leaf spring testing
Rok zpracování:	2019
Studijní program:	B2342 Teoretický základ strojního inženýrství
Obor studia:	2301R000 Studijní program je bezoborový
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí práce:	Ing. Martin Havlíček
Konzultant:	Ing. Petr Švinger
Bibliografické údaje:	Počet stran: 54 Počet obrázků: 51 Počet tabulek: 2 Počet příloh: 5
Klíčová slova:	manipulátor, lineární vedení, kompozitová listová pružina, Mubea
Key words:	manipulator, linear guides, composite leaf spring, Mubea
Anotace:	Tato bakalářská práce obsahuje konstrukční návrh manipulátoru k lince na speciální kompozitové listové pružiny firmy Mubea. Úvod práce se zaměřuje na rešerši, která zahrnuje základní informace o firmě Mubea, základy automatizace, typy pohonných zařízení a lineárních vedení, které následně aplikuji na manipulátor. Dále se práce zaměřuje na sestavení pracovišť AP2 a AP3 pro neoptimálnější výsledky. V práci jsou uvedeny výpočty všech pohonných zařízení a míst, na které firma kladla požadavky pro kontrolní výpočet. K práci jsou přiloženy sestavné výkresy manipulátoru.
Abstrakt:	This bachelor thesis contains a design of manipulator to line for special composite leaf springs for the company Mubea. The introduction focuses on a research that includes basic information about Mubea, the basics of an automation, types of propulsion and linear guides, which I then apply to the manipulator. Furthermore, the work focuses on the compilation of AP2 and AP3 workplaces for the best results. In this work are given calculations of all driving devices and places, where the company required that. The work includes attached drawings of the manipulator.

Obsah

1. Úvod	1
1.1 Společnost Mubea	2
1.2 Listová pružina	4
1.2.1 Pružiny z Prepregů	4
1.2.2 Kompozitová listová pružina s lineární charakteristikou	4
2. Možnosti dílčí automatizace	5
2.1 Úvod do automatizace	5
2.2 Typy automatizace	5
3. Robot (manipulátor)	6
3.1 Rozdělení manipulátorů	6
3.2 Stavba manipulátorů	7
4. Pohonná zařízení	8
4.1 Pneumatické válce	8
4.2 Servomotory	9
5. Vodící prvky	10
5.1 Lineární vedení	10
5.2 Kuličkový šroub	11
6. Návrh transportu mezi pracovišti AP2 a AP3	12
6.1 Popis pracoviště spolu s postupem práce	12
6.2 Popis výrobku na daném pracovišti	13
6.3 Důvod automatizace daného pracoviště	14
7. Jednotlivé varianty sestavení	15
7.1 Varianta A	15
7.1.1 Pohled na pracoviště – VARIANTA A	16
7.2 Varianta B	17
7.2.1 Pohled na pracoviště – VARIANTA B	18
7.3 Varianta C	19
7.3.1 Pohled na pracoviště – VARIANTA C	20
8. Návrh konkrétního řešení	21
8.1 Popis variant přidržovače	21
8.1.1 VARIANTA 1	21
8.1.2 VARIANTA 2	22
9. Detail jednotlivých prvků manipulátoru	24

9.1 Výpočet momentu pneumatického válce.....	25
9.2 Servomotor Beckhoff AM8051	27
9.3 Výpočet pro otočný pohyb.....	28
9.4 Výpočet celkového momentu na servomotor	29
10. Vedení.....	31
10.1 Servomotor Beckhoff AM8031	32
10.2 Rychlostní návrh pro výpočet kuličkového šroubu	33
10.3 Momentová kontrola.....	33
10.4 Kuličkový šroub HIWIN	34
10.5 Lineární vedení HIWIN.....	35
10.6 Horizontální pohyb celého manipulátoru	36
11. Ekonomické zhodnocení návratnosti investice.....	37
11.1 Úspora mzdových prostředků.....	37
11.2 Kapacitní úspory	37
11.2.1 Původní stav	37
11.2.2 Po úpravě na Variantu B.....	37
11.3 Úspory z hlediska možných reklamací	38
11.4 Náklady na přestavbu stroje.....	38
11.5 Návratnost do dvou let	39
Vyhodnocení projektu na pět let.....	39
12. Závěr.....	40
Seznam použité literatury	42
Seznam použitých znaků	44
Seznam obrázků	46
Seznam tabulek.....	48
Seznam příloh	48

1. Úvod

Listová pružina byla převzata z kočárů a dnes se používají u užitkových a nákladních automobilů. Jejich nevýhodou je konstrukční složitost, velké rozměry a hlavně velká hmotnost. Firma Mubea s.r.o. vyrábí listové pružiny z jednoho celistvého kusu kompozitu, který má, podle zátěžových testů, stejné vlastnosti jako ocelové pružiny s výjimkou mnohem menší váhy, díky čemuž se může snížit hmotnost jedné nápravy až o 20 kilogramů.

Cíl mé bakalářské práce spočívá na základě rešerše, výpočtů rychlosti, zatížení a přesnosti navrhnout manipulátor s vedením na jeden ze dvou stanovišť linky. Ten bude přemísťovat kompozitní listové pružiny do zakládacího místa, kde bude docházet k jejich kontrole. Po vyhodnocení správného, či špatného kusu manipulátor přemístí pružinu do patřičné části linky. Díky tomu nemůže dojít k nedodržení kvalitativních norem, kdy například pracovník přesune špatně vyhodnocený kus, ke kusům správným.

Můj druhý úkol je zadán firmou, kdy musí dojít k minimalizaci vlastních nákladů montážní linky na produkci plochých pružin a zvýšení kvality výroby, kterou vyžaduje finální zákazník Daimler. Úprava nesmí snížit stávající výrobní kapacitu linky a nesmí mít zvýšené nároky na její plošnou zástavbu. Návrh investice musí být do 3 let.

1.1 Společnost Mubea



Obr. 1: Logo společnosti

Společnost Mubea byla založena v roce 1916 Josefem Mührem a Ludwigem Benderem v německém městě Attendorn. Při této příležitosti byl i odvozen název Mubea (MUhr und BEnde, Attendorn). Prvním výrobkem byly pružiny do bot.

Dnes se může Mubea chlubit 36 výrobními závody v 19 zemích po celém světě a více než 13 000 zaměstnanci. Jedním z hlavních hesel je „Light“. Díky dlouholeté praxi v optimalizaci pružin, používání materiálů s vysokou pevností a používáním nejmodernějších výrobních procesů, je světovým lídrem na trhu ve vývoji a výrobě automobilových výrobků s jedinečnými vlastnostmi, které snižují váhu vozidel. Tím přispívají i ke snížení spotřeby paliva a šetří přírodní zdroje životního prostředí snížením emisí CO_2 . Mezi zákazníky patří například Audi, BMW, Chrysler, Daimler, Fiat, Ford, GM, Nissan, Porsche, PSA, VW a další. [5]

AUTOMOTIVE

Motor

Ventilové pružiny
Systémy napínání řemenu
Spring Band Clamps

Podvozek

Nápravové pružiny
Stabilizátory
Tailor Rolled Products
Pružiny z kompozitů
Přesné ocelové trubky -
Vysokopevnostní
Trubky na míru firmy
Mubea

Interiér

Součásti sedačky -
konstrukční díly
Tyče opěrky hlavy

Talířové pružiny

převodovky
Talířové pružiny
převodovky
Trubkové hřídele
Karosérie
Na míru válcované výrobky
Výrobky vyztužené
uhlíkovými vlákny

POPRODEJNÍ SÍŤ

Výrobky

Pružinové páskové spony
Vinuté pružiny pérování
Tyče stabilizátoru
Součásti systému
Systémy napínáku řemenu

PRŮMYSL

Výrobky

Pružinové páskové spony
Talířové pružiny
"Na míru" zhotovené
válcované výrobky
Systémy upevnění kolejnic
Výrobky z uhlíkového
kompozitu

TECHNOLOGIE

Kompetence

Materiálová kompetence

Obr. 2: Výrobky a technologie společnosti Mubea [6]

V současnosti má Mubea tři pobočky v České republice. První byla založena v roce 1995 v Žebráku, kde se vyrábí systémy napínání řemenů, interiérové komponenty, objímky a tyčky do stabilizátorů, hadicové spony a díly z karbonových vláken. Pobočka je rozdělená na dvě sídla. První je hlavní budova, kde sídlí vedení a tři haly, ve které dochází k výrobě konkrétních součástí a druhá s nástrojářskou dílnou, kde sídlí konstrukce. V dnešní době čítá zhruba 2 000 zaměstnanců.

Další se nachází v Dolních Kralovicích, kde se specializují na výrobky z karbonových vláken, rámy sedadel a hlavové opěrky. Mubea Dolní Kralovice spustila svoji výrobu v roce 2016 pilotním projektem pro anglickou firmu McLaren, a to výrobou dílů pro monokok jejich sportovních vozů – tzv. Preforem. Jedná se o tepelně vytvarované dílce ze suché uhlíkové tkaniny.

Poslední pobočka sídlí Prostějově, kde se nachází největší výroba podvozkových dílů v celém koncernu. Zde se vyrábí za studena vinuté pružiny, trubkové a plné stabilizátory a tvarové výlisky z pryže. Ročně se v Prostějově vyrobí zhruba 16 milionů pružin. [5]

Společnost Mubea úzce spolupracuje se i středními a vysokými školami. Má 30 partnerských škol, a dvě vzdělávací střediska. Mezi partnerské školy patří například České vysoké učení technické v Praze, Západočeská univerzita v Plzni, Vysoké učení technické v Brně, nebo Vysoká škola báňská v Ostravě. [6]



Obr. 3: Loga společnosti Mubea [5]

1.2 Listová pružina

1.2.1 Pružiny z Prepregů

Polotovary na výrobu vláknových kompozitů neboli prepregy, mají jako hlavní složku výztuž, která je předimpregnovaná částečně vytvrzenými pryskyřicemi. Jednotlivé listy se poté vrství do požadované tloušťky, tvarují se ve formách a lisech. Působením tepla a tlaku se dotvrzují. Nakonec následují dokončovací úpravy, jako například stříhy a vrtání děr.

- Přizpůsobení charakteristik pružiny geometrií pružiny a uspořádání vláken
- Optimalizované antikorozní a tlumicí vlastnosti
- Volnost ve volbě designu bez rizika rozštěpených okrajů
- Žádné riziko při zvlnění v důsledku vstřikování pryskyřice
- Vysoká účinnost nezávislá na pružinovém designu
- Pevnější uchycení na dvou místech + kompenzace délky

1.2.2 Kompozitová listová pružina s lineární charakteristikou



Obr. 4: Odlehčená listová pružina s lineární charakteristikou [6]

- Náhrada za jednovrstvé ocelové pružiny.
- Délka je vykompenzována na zadním konci pružiny.
- Funkcí je identická k pružině ocelové.
- Hmotnost snížena až o 60 % v porovnání s konvenční ocelovou listovou, což je zhruba 20 kg/náprava.



Obr. 5: Ukázka uložení pružiny v podvozku vozidla [6]

2. Možnosti dílčí automatizace

2.1 Úvod do automatizace

Automatizací označujeme proces, kde lidskou řídicí činnost nahrazujeme technickými zařízeními, tedy stroji. Jedná se o nejvýznamnější prostředek pro zvýšení kvality a produktivity. Jako hlavní důvod automatizace by se dal pokládat důraz na větší, přesnější a kvalitnější počet výrobků, za méně času a se sníženými náklady. Díky automatizaci nemusíme brát v úvahu různé vlivy lidského činitele, například únava, nesoustředěnost, stres, alkohol a další. Většina firem má zavedený tzv. třisměnný provoz, kdy se obsluhy strojů střídají po osmi hodinách, a při každé výměně směny musí dojít k úklidu, registraci a kontrole zařízení a příslušenství, což výrazně zasahuje do času výrobního procesu. Díky automatizaci mohou zařízení pracovat v podstatě nepřetržitě, je umožněna větší přesnost výrobků a hlavně možnost výroby složitých a časově náročných dílů. Z hlediska ekonomického se jedná o relativně vysoké pořizovací náklady, a proto je velice důležité, aby změna byla účelná a finančně výhodnější než předcházející řešení. [8]

2.2 Typy automatizace

Automatizaci můžeme rozdělit na dva základní typy

- **Automatizace výrobních procesů**

Jedná se o ty procesy, které se podílí na výrobě určitých produktů (například hutní, důlní, strojírenský, stavební nebo automobilový průmysl).

- **Automatizace nevýrobních procesů**

Zahrnuje především soukromé služby (médiá, telekomunikační procesy) a veřejné služby (peněžní ústavy, zdravotnictví, obrana, vzdělání).

Dále se dělí na automatizaci *komplexní* a *částečnou*. V komplexní automatizaci člověk přebírá roli v plánování a řízení, zatímco při částečné podléhají automatizaci jen určité procesy a funkce. [8]

Současný systém má tři stupně automatizace:

- *Automatické ovládání* – soustava zajišťuje ovládání, nemá zpětnou vazbu
- *Automatická regulace* – soustava zajišťuje ovládání, má zpětnou vazbu
- *Automatické řízení* – automatizace samotných řídicích procesů

3. Robot (manipulátor)

Robot je technický systém (stroj), který pracuje s určitou mírou samostatnosti, úkoly vykonává předepsaným způsobem a nahrazuje pohybové a rozumové dovednosti člověka. [8]

3.1 Rozdělení manipulátorů

Členění robotů a průmyslových automatů není pevně stanoveno, ale můžeme je dělit na:

- ***Ruční manipulátory (tele-operátory)***

Násobí sílu a pohybové vlastnosti operátora, jednoúčelové i víceúčelové zařízení, které ovládá člověk.

- ***Manipulátory s pevným programem (sekvencí)***

Pracují bez přímého zásahu člověka. Opakují předem nastavený pracovní cyklus, který se skládá z několika dílčích pracovních pohybů.

- ***Manipulátory s pružným programem (s pružnou sekvencí)***

Manipulátory s pružným programem se řídí podle předem nastaveného programu, který ovšem lze snadno změnit přenastavením zadaných prvků do řídicího systému. Můžeme sem zařadit jak průmyslové roboty, tak roboty kognitivní, který jsou samy schopny, s komunikací s člověkem, upravit svůj program činností podle potřeby k dosažení cílů. [8]

3.2 Stavba manipulátorů

Běžná technická zařízení jako roboti, se skládají z několika tzv. konstrukčních skupin

- **Pohony**

Jedná se o hybné síly stroje, zabezpečující jeho pohyb v osách, předem nadefinovaný řídicím programem.

- **Kinematika**

Mechanická konstrukce strojů složená z různých ramen a kloubů, jejichž rozměry a vlastnosti nám definují pohyblivost stroje.

- **Senzory**

Zjišťují polohu, parametry a přítomnost součástí.

Mezi základní vybavení každého stroje patří periferie, jejichž součástí je i panel pro ruční ovládání, mechaniky pro externí paměti, terminál nebo tiskárnu. Součástí je i řídicí systém, který dle nastaveného programu řídí činnost robota tím, že ovládá jeho pohony a další kinematické struktury. [8]

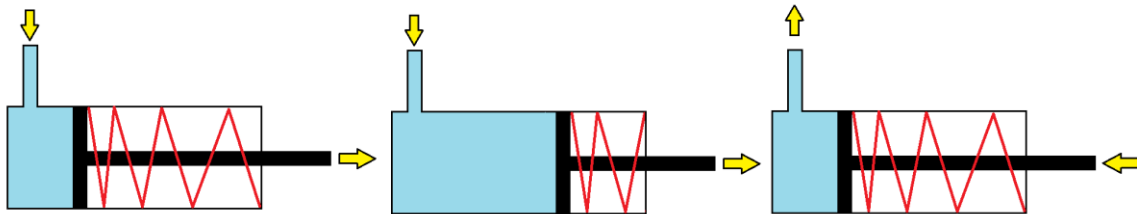
4. Pohonná zařízení

U pohonných zařízení jsou detailněji popsány pneumatické válce a servomotory, které budou zprostředkovávat pohyby na vedení a manipulátoru.

4.1 Pneumatické válce

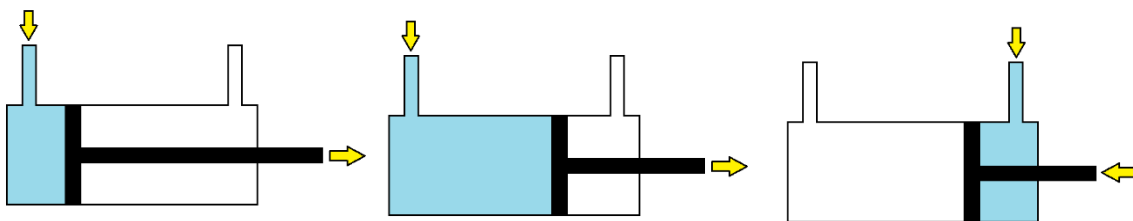
Pneumatické válce umožňují převádět sílu stlačeného vzduchu v mechanický pohyb. Síla je převáděna na pístní tyč obdobně jako například u hydraulického válce s tím rozdílem, že místo hydraulické kapaliny je využíván vzduch, který je zároveň šetrnější k životnímu prostředí. Pneumatické válce se rozdělují na dva základní typy:

Jednočinné – pohyb vpřed je zprostředkován stlačeným vzduchem pouze z jedné strany a do výchozí polohy se dostane pomocí síly od pružiny. Většinou jsou používány pro zdvihy do 50 mm.



Obr. 6: Pohyb jednočinného válce

Dvočinný – Vzduch ovládá pohyb vpřed i vzad, protože je vzduch k pístu přiváděn z obou stran. Díky tomu ho můžeme použít pro větší zdvihy až do 2 m.



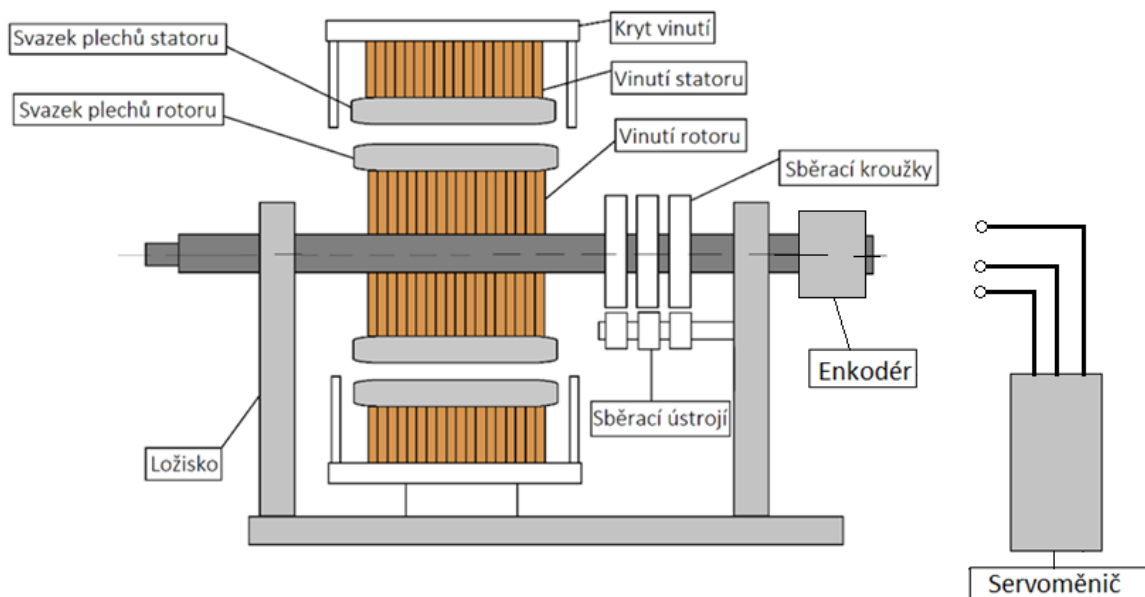
Obr. 7: Pohyb dvočinného válce

Dále bychom je ještě mohli rozdělit na válce s magnetem a bez magnetu. Ten slouží k tomu, pokud potřebujeme například sledovat polohu pístu. Poté na kruhové a nekruhové válce, na válce vyhovující normám a na válce s pístnicí a bez pístnice atd. [10] [11]

4.2 Servomotory

Servomotory jsou používány zejména pro polohovací aplikace, protože u nich lze dobře řídit přesná poloha, natočení výstupního hřídele, moment a rychlost. Jsou nejčastěji aplikovány do strojů a CNC zařízení. Nejpoužívanějšími typy servomotorů jsou střídavé servomotory. Jsou bezkartáčové a mají třífázové vinutí statoru. Můžeme je rozdělit na motory synchronní a asynchronní.

Asynchronní servomotor – jde o nejrozšířenější elektromotor v elektrotechnice, pracující na střídavý proud. Princip spočívá ve vytvoření točivého magnetického pole na statoru, které vzniká průchodem střídavého proudu vinutím statoru. Magnetické pole se poté indukuje v napětí a vzniklý proud způsobí magnetický tok, který je spřažen s rotorem. To vyvolá silové působení a dojde k otáčení rotoru, proto je často nazýván „indukčním motorem“. Výhodou je jeho vysoká spolehlivost a relativně jednoduchá konstrukce.



Obr. 8: Vnitřní konstrukce asynchronního motoru

Synchronní servomotor – Pracuje na stejný princip jako asynchronní motor s tím rozdílem, že rotor se otáčí přesně synchronně s točivým polem statoru pomocí permanentních magnetů, aneb jeho pohyb je synchronní k frekvenci točivého stroje. [4] [12] [13]

5. Vodící prvky

Pohyb ze servomotoru se zprostředkuje skrz kuličkový šroub a přes lineární vedení připevněné k manipulátoru.

5.1 Lineární vedení

Lineární vedení je strojní součást umožňující přímkový, tedy lineární pohyb po kolejnici.

Můžeme je rozdělit na dva základní typy:

Kluzné lineární vedení-dvě části se smýkající se po sobě. Typické je otevřené lineární vedení s profilem drážky, kdy vozík klouže po kolejnici. Pro uzavřené lineární vedení je naopak typická rybinová drážka a je často využíváné v obráběcích strojích. [14]

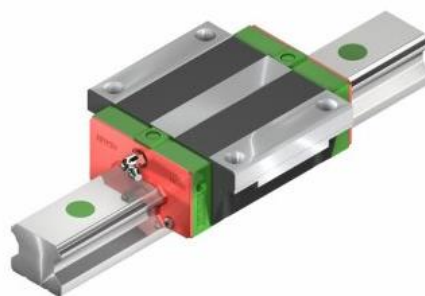


Obr. 9: Vozík HIWIN [15]



Obr. 10: Odlehčená kolejnice [15]

Valivé lineární vedení – pohyb je přenášen pomocí rotujících kuliček, nebo válečků, které obíhají v uzavřených drážkách v těle vozíku. [14]



Obr. 11: HGW vozík HIWIN s kolejnici [16]

5.2 Kuličkový šroub

Kuličkový šroub je účinný pohybový prvek, který převádí rotační pohyb v pohyb lineární. Princip spočívá v oběhu kuliček v drážkách mezi maticí a šroubovou hřídelí.



Na rozdíl od běžných kluzných šroubů má kuličkový šroub vyšší účinnost a nepotřebuje vysoký točivý moment, díky čemu šetří energii motoru. Jsou často používány pro pohyby u průmyslových strojů jako například soustruh, frézka, lis atd.

Obr. 12: Mechanismus kuličkového šroubu [20]

Drážka na šroubové hřídeli se nejčastěji vyrábí přesným válcováním nebo broušením a jako materiál se nejběžněji používá chromová ocel 14 260.

Kuličkové šrouby mají tři základní výrobního procesu, kdy se liší profil kuličkového šroubu a tím i jeho typická aplikace. Například šrouby vyráběné tvářením (válcováním) se hodí zejména pro transportní aplikace a spadají do třídy přesnosti T5 a T7, zatímco například broušené jsou vhodné pro polohovací aplikace a spadají do třídy přesnosti P1, P3 a P5. Třetím způsobem je třískové obrábění (okružování), které vlastnostmi závitu spadá mezi šrouby vyráběné tvářením a broušením. [17] [18] [19]

Tab. 1: Třídy přesnosti kuličkových šroubů

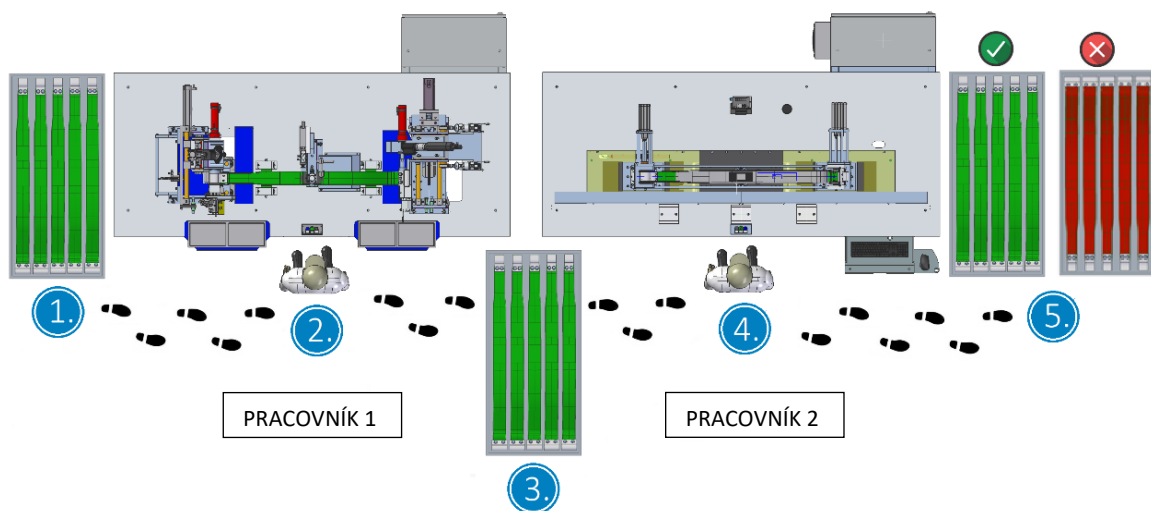
Provedení	Třída přesnosti (max. úchylka stoupání na 300 mm)	Typ profilu
Válcované	T5 (0,023/300 mm) T7 (0,052/300 mm)	
Okružované	P 5 (0,023/300 mm) P7 (0,052/300 mm)	
Broušené	P1 (0,006/300 mm) P3 (0,012/300 mm) P 5 (0,023/300 mm)	

6. Návrh transportu mezi pracovišti AP2 a AP3

6.1 Popis pracoviště spolu s postupem práce

Celá linka se skládá ze dvou pracovišť. Na prvním pracovišti AP2 dochází k nalisování krajních ocelových upínacích ok pružiny. Na pracovišti AP3 dochází ke kontrole pružnosti a pevnosti pružiny.

Pracovník nejdříve vloží pružinu do pracoviště AP2 a po dokončení lisování ji přesune do AP3 k závěrečné kontrole upevnění okrajů. Pokud je pružina vyhodnocena jako odpovídající zadaným požadavkům, přesune ji pracovník do předem připravených boxů. Je-li vyhodnocena jako produkt neodpovídající požadavkům, přesune ji pracovník k ostatním vadným kusům do odděleného boxu.



Obr. 13: Původní sestavení linky

6.2 Popis výrobku na daném pracovišti



Obr. 14: Ocelová vícevrstvá pružina $m=30$ kg [6]



Obr. 15: Odlehčená listová pružina s progresivní charakteristikou a $m=9,3$ kg v porovnání s ocelovou [6]

Jedná se o kompozitovou pružinu nahrazující klasické ocelové vícevrstvé pružiny. Má jednovrstvý design se stálou progresivní charakteristikou na zlepšení komfortu. Díky speciálnímu vyztuženému, ale hlavně lehkému kompozitu, je hmotnost pružiny snížena až o 75 %, což je úspora zhruba 50 kg na nápravu. Pružina je navrhována a testována tak, že zaručuje vyšší bezpečnost. Díky nízké hmotnosti se jedná o výhodné řešení pro E-vozidla.



Obr. 16: Zobrazení namáhání pružiny [6]

6.3 Důvod automatizace daného pracoviště

Vzhledem k vysoké poptávce a garance kvality výrobku, je pracoviště navrženo na vylepšení v podobě automatizace. Pracoviště bude produktivnější, lépe kontrolovatelné, nemůže docházet k porušení kvalitativních norem, kdy například pracovník nedopovídající produkt přesune k produktům kvalitním. Nebude docházet k časové prodlevě v podobě lidského faktoru.

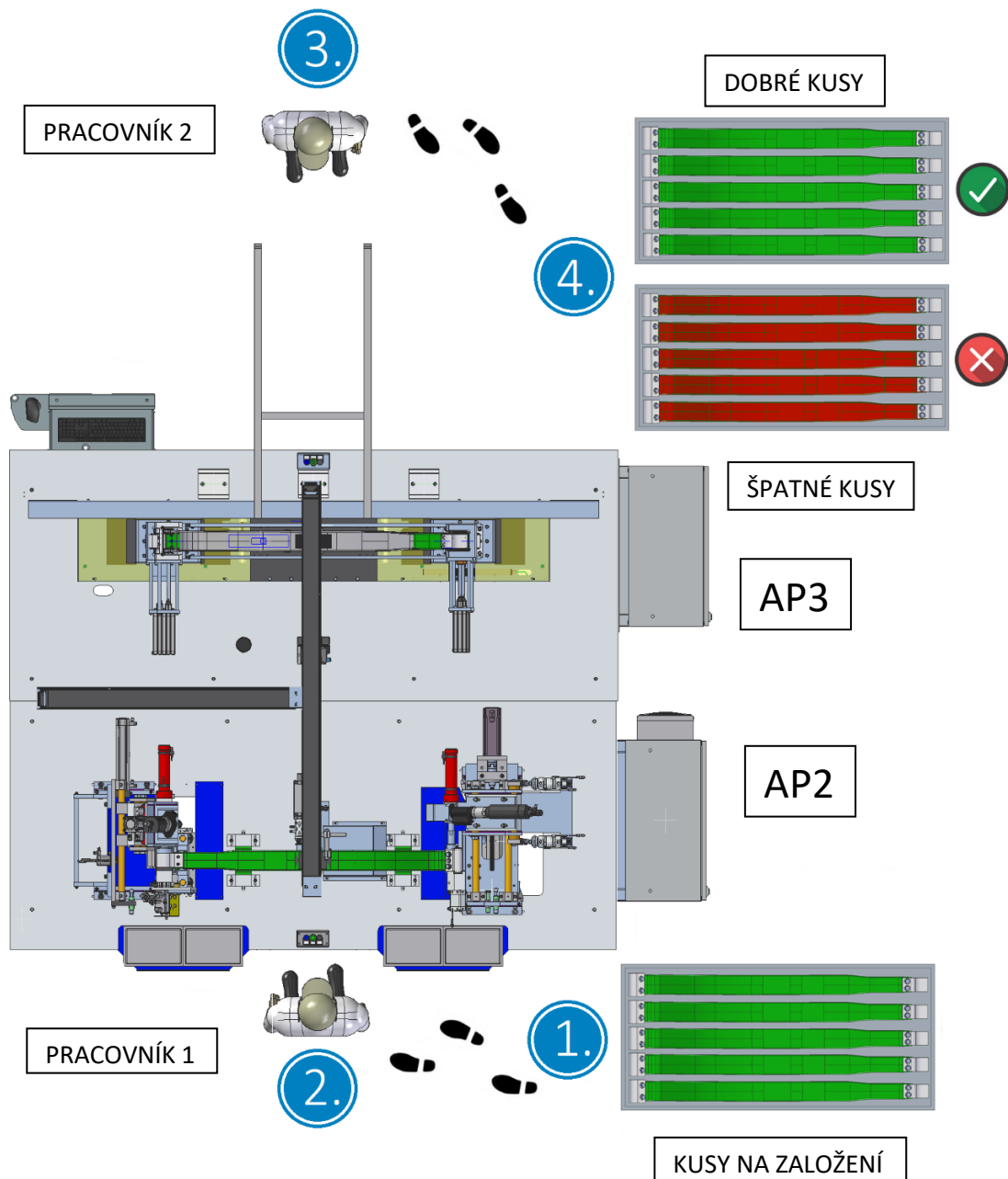
7. Jednotlivé varianty sestavení

7.1 Varianta A

Stroje AP2 a AP3 jsou instalovány sériově za sebou a produkt projede linkou postupně v obou stanovištích. Pracovník může založit vícero dílů a přejít na druhý konec stanice a rozřazovat díly na vyhovující a nevhovující.

- **Klady**
 - Práci může vykonávat pouze jeden pracovník, ale se sníženou produkcí linky.
 - Nedochozí k časové prodlevě, během které pracovník manuálně přemísťuje produkt z AP2 do AP3.
 - Pracovník se fyzicky nemusí namáhat při manuálním přemísťování pružin.
- **Zápory**
 - Dostatečně velký prostor kolem linky, pro bezproblémový pohyb dvou pracovníků.
 - Přímé spřažení cyklů stroje AP2 a AP3. Zpoždění jednoho pracovníka znamená zpoždění celé linky
 - Stálá přítomnost lidského faktoru vůči kvalitativním normám.

7.1.1 Pohled na pracoviště – VARIANTA A



Obr. 17: Varianta A

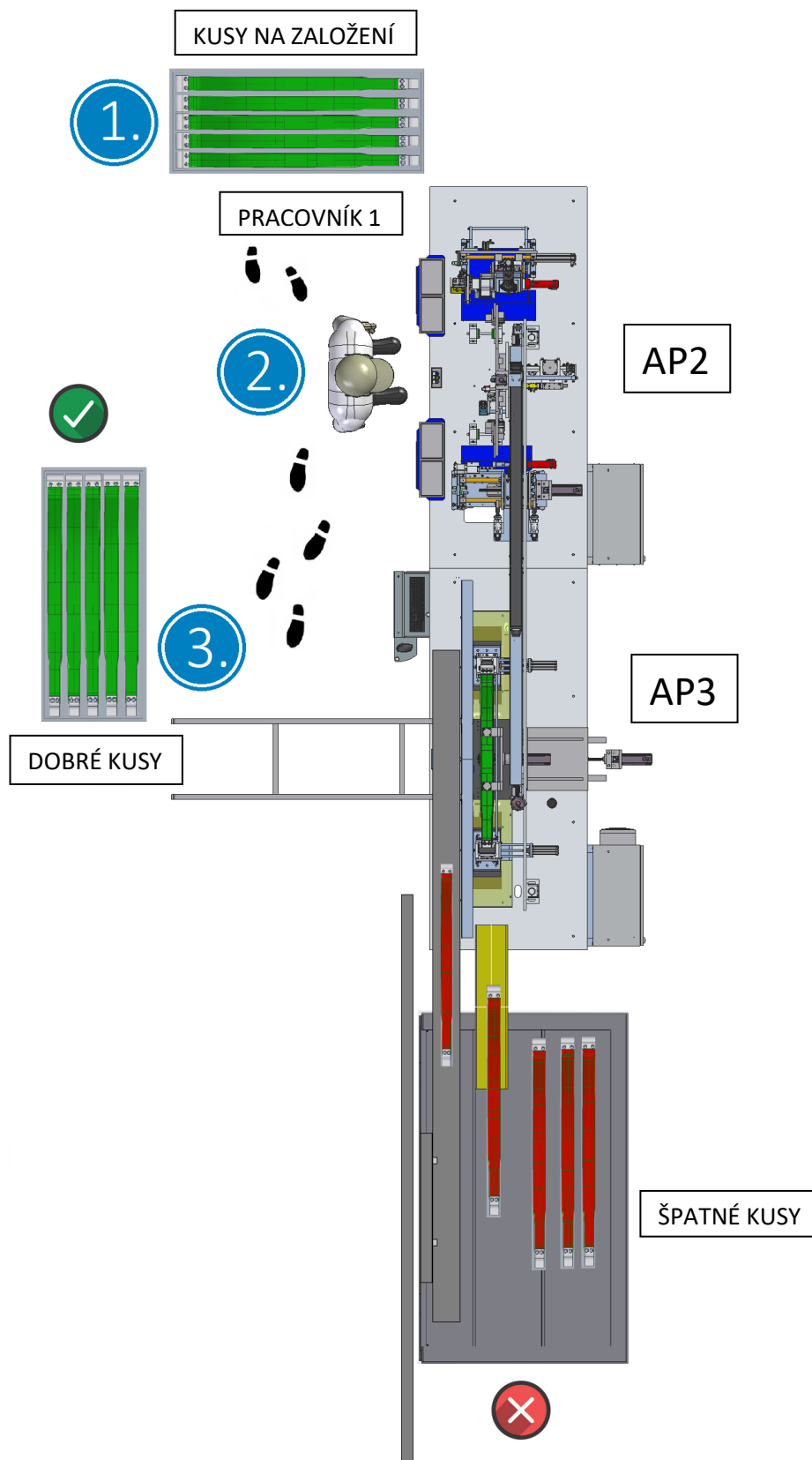
7.2 Varianta B

Stroje AP2 a AP3 jsou instalovány paralelně vedle sebe a propojeny. Pohyb pružiny zajišťuje horní kolejnice a manipulátor, který nejprve produkt uchopí z první pozice z uložení ze stroje AP2, vyjede s ním horizontálně nahoru, poté přejede vertikálně nad zakládací místo stroje AP3, kde převezme produkt druhý manipulátor, který před sesunem otočí díl o 180 stupňů a až poté díl sjede do zakládacího místa, kde dojde ke kontrole pružiny. Po kontrole dojde k vyhodnocení a podle výsledku je buď to díl automaticky vyřazen do zadní části stroje k nevhodným kusům. Je-li ohodnocen jako kus odpovídající, pracovník ho přesune do boxů.

- **Klady**
 - Linka potřebuje méně místa pro pohyb pracovníka = snížení nákladů.
 - Možnost maximálního využití stávajících strojů linky (minimalizace investičních nákladů)
 - Pracovník nemá přístup k nevyhovujícím kusům, nemůže tedy dojít k porušení kvalitativních norem.
 - Nemůže dojít ke špatnému založení dílu do kontrolní stanice, a tudíž ke špatnému vyhodnocení.
 - Potřeba jen jeden pracovník.
 - Zvýšení produkce odstraněním ručního vyjímání dílu ze stroje.

- **Zápory**
 - Nebyly nalezeny.

7.2.1 Pohled na pracoviště – VARIANTA B



Obr. 18: Varianta B

7.3 Varianta C

Stroje AP2 a AP3 jsou instalovány naproti sobě a k manipulaci s produktem během procesu dochází výhradně prostřednictvím robotického ramena. Pracovník pouze založí vícero dílů na začátek procesu. Robot převezme díl a podle nainstalovaného programu nejprve založí díl do AP2, poté přendá díl do AP3 a během toho již zakládá další díl zpět do AP2 a finální zkontrolovaný díl automaticky roztřídí.

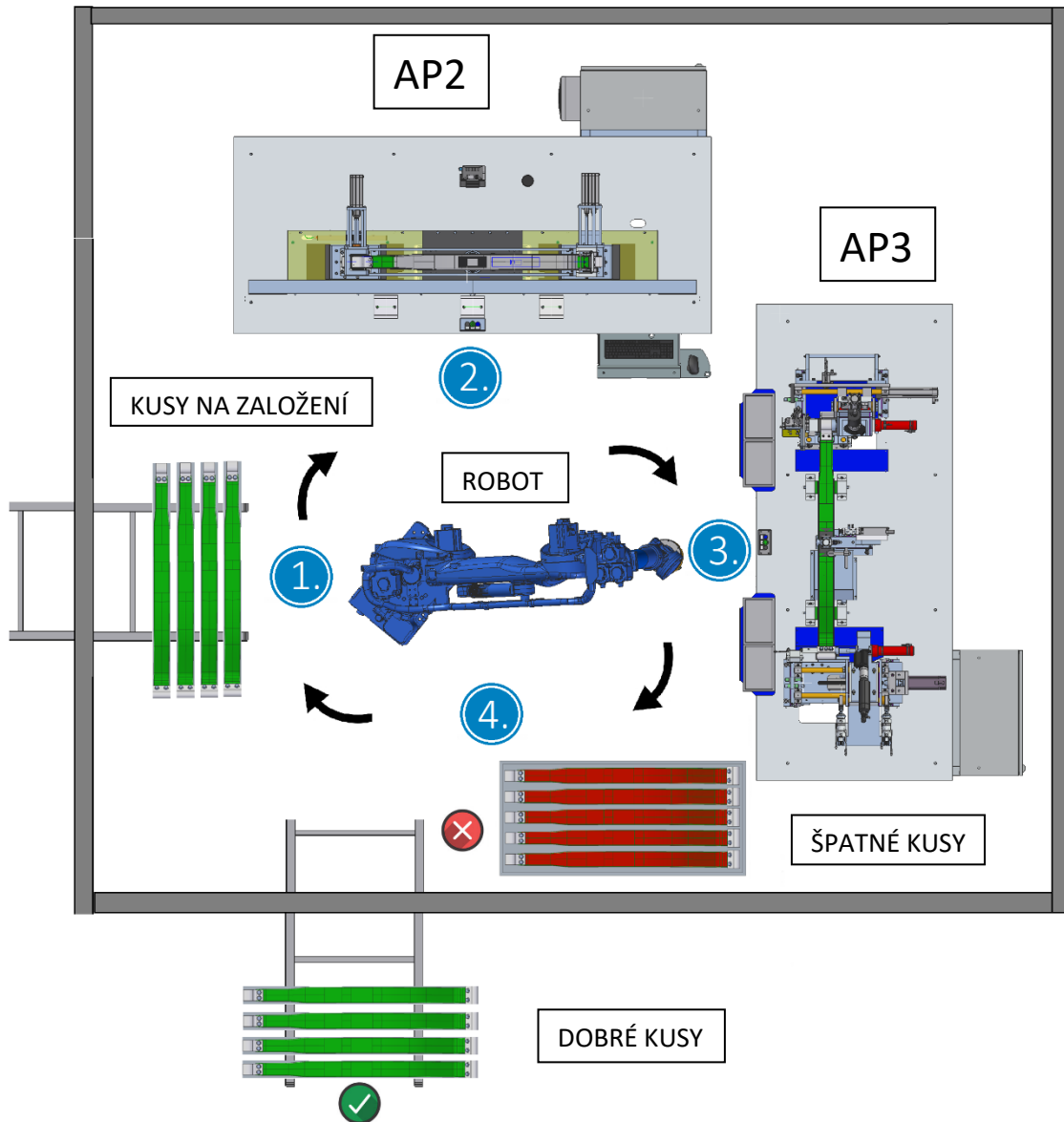
- **Klady**

- Úplná automatizace. Pracovník vůbec nepřijde do styku s produktem po dobu celého procesu, nemůže tedy dojít k porušení kvalitativních norem.
 - Potřeba pouze pracovníka, který může patřit k lince, která má na starosti předešlou úpravu produktu = snížení nákladů. (více strojová obsluha)
 - V případě bezporuchového chodu se jedná o nulovou prodlevu ze strany výrobního procesu. I při výměně směn je zajištěn plynulý provoz linky (tedy za předpokladu dostatečného množství založených dílů).

- **Zápory**

- Vyšší náklady na pořízení robota (pořizovací náklady)
- Vyšší na zástavbový prostor linky
- Vyšší instalační nároky na zprovoznění linky

7.3.1 Pohled na pracoviště – VARIANTA C



Obr. 19: Varianta C

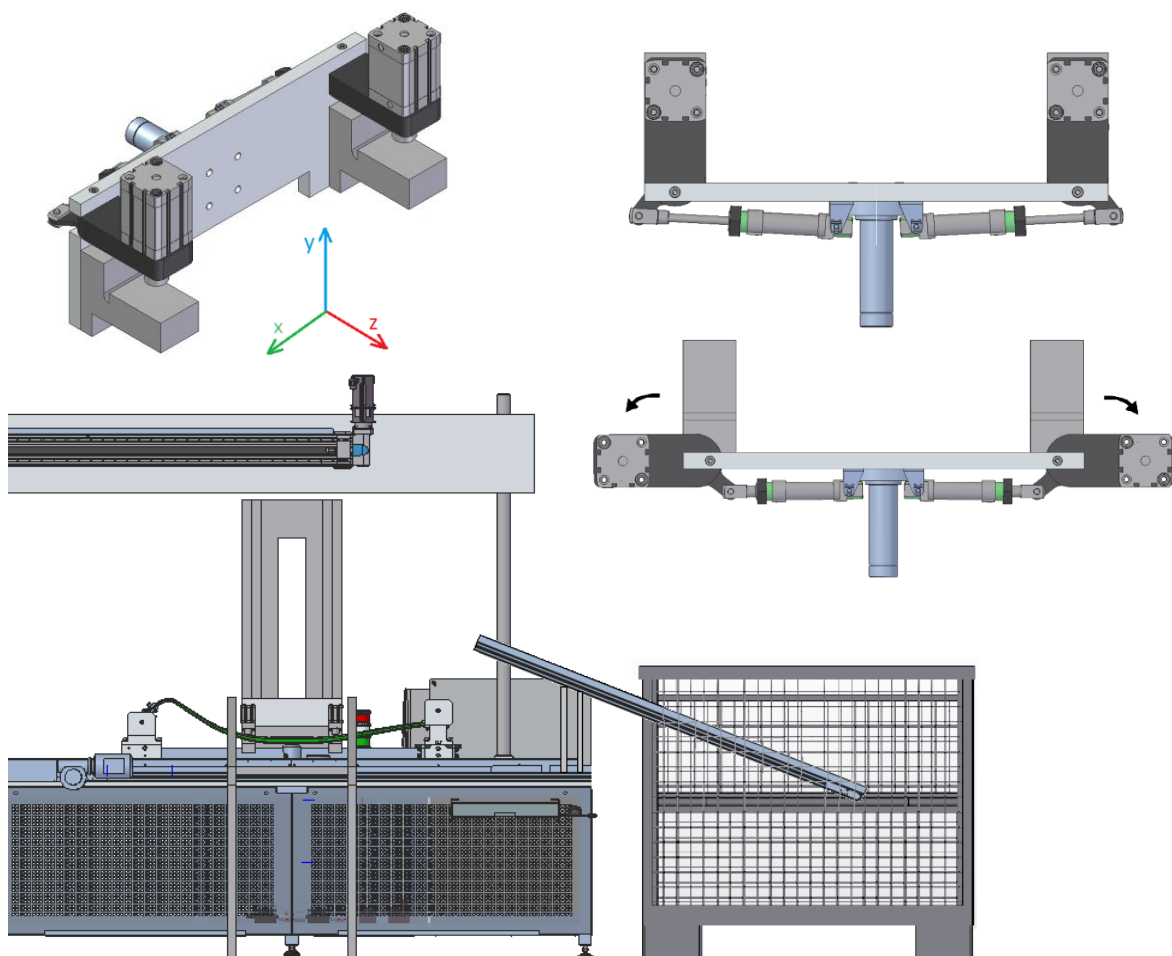
8. Návrh konkrétního řešení

Posouzením kladů a záporů jednotlivých variant byla zvolena varianta B, tedy paralelní zapojení s horizontálním i vertikálním manipulátorem. Nyní bylo za úkol vyřešení odvodu nevyhovujících kusů z linky, bez zásahu lidské činnosti. Navrženy jsou dvě varianty.

8.1 Popis variant přidržovače

8.1.1 VARIANTA 1

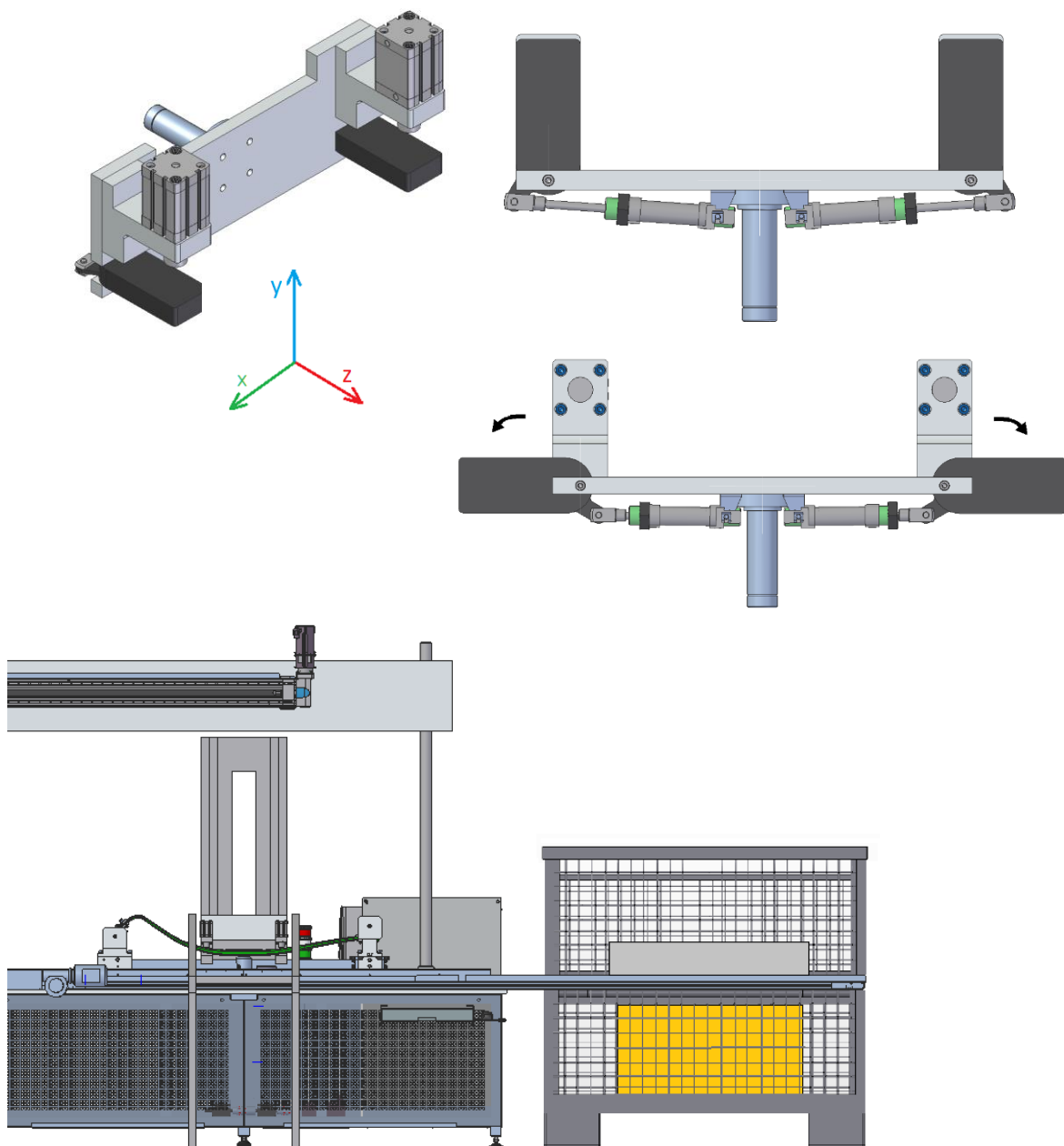
Ve variantě 1 je manipulátor v dolní poloze. Při hlášce vadného kusu vyjede manipulátor i s produktem zhruba nad polovinu dráhy dopravníku a v tom okamžiku vyjede pod díl skluzavka na lineárním vedení. Přidržovač nejdříve uvolní dva hydraulické válce, které pružinu přidržují, poté odkloní celé horní držáky do stran o 90 stupňů, aby pružině nepřekážel. Nakonec se nakloní o úhel dostatečný k tomu, aby součást sjela po skluzavce do Gitterboxu. Manipulátor se vrátí do horní výchozí polohy a pokračuje v procesu.



Obr. 20: Varianta 1

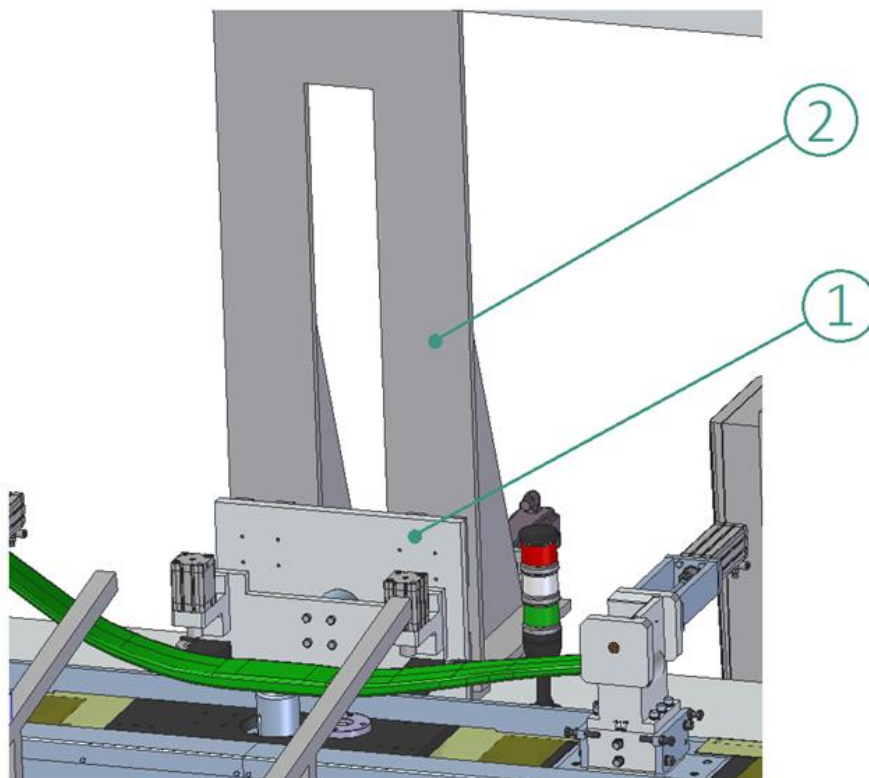
8.1.2 VARIANTA 2

Ve variantě 2 je manipulátor opět ve spodní poloze, ale při hlášce vadného kusu nevyjíždí po ose y, nýbrž vyjíždí ven směrem od stroje nad dopravníkový pás. V pozici nad dopravníkovým pásem se místo horních držáků, na kterých jsou opět přidržovací hydraulické válce, odkloní dolní držáky ven opět o 90 stupňů a dovolí tak pružině propadnout na pás. Ten ji poté odveze až ke Gitterboxu, kde je sesunut z pásu pomocí dvou válců na skluzavku.

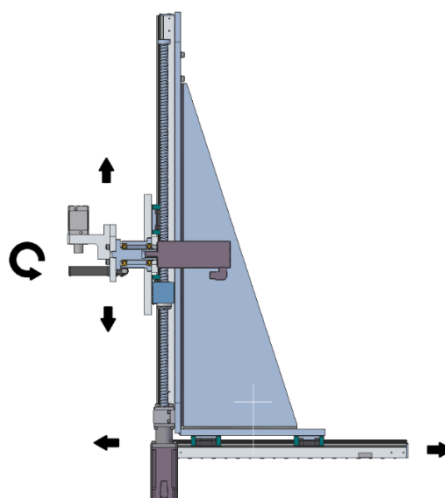


Obr. 21: Varianta 2

Z důvodu sníženého hluku a jednodušších pohybů manipulátoru byla zvolena Varianta 2. Celá sestava kompletního vedení na AP3 je rozdělena na dvě podsestavy. Sestava označená jako (1), je sestava samotného manipulátoru, který uchopuje pružiny a sestava označená (2) je vedení pohybující se pomocí dvou lineárních vedení, šroubu a servomotorů v potřebných směrech viz obrázek níže. Jako pohonná zařízení byly zvoleny servomotory značky Beckhoff a pneumatické válce značky Festo.



Obr. 22: Rozložení na dvě základní části

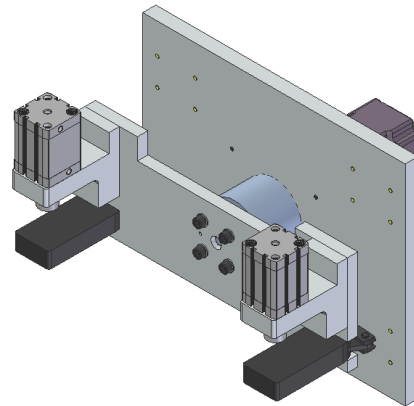


Obr. 23: Základní pohyby vedení

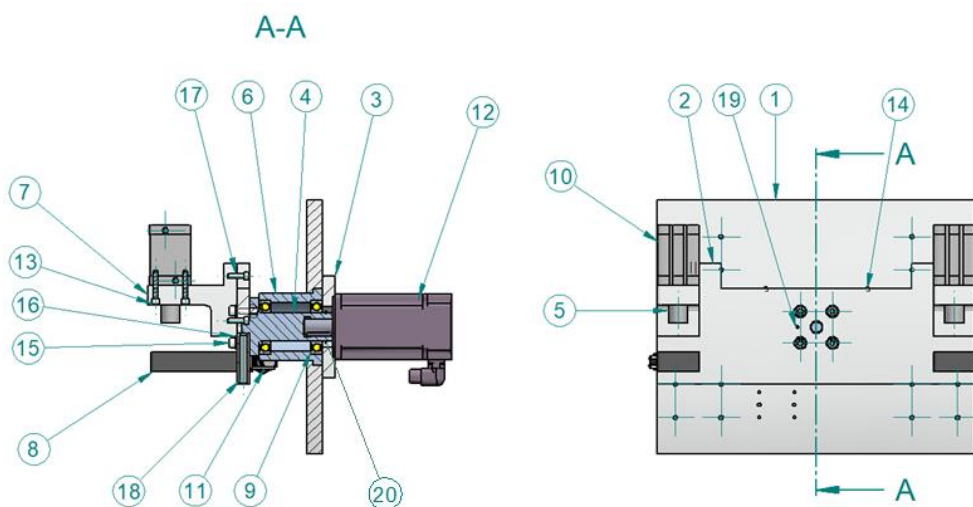
9. Detail jednotlivých prvků manipulátoru

Manipulátor se skládá z:

- 1) Základní deska pro vedení (1)
- 2) Deska manipulátoru (1)
- 3) Deska servomotoru
- 4) Hřídel k napojení na servomotor (2)
- 5) Tlačka (3)
- 6) Uložení pro ložiska (1)
- 7) Horní držák (2)
- 8) Dolní držák (2)
- 9) Jednořadé kuličkové radiální ložisko 6209-2RS1
- 10) Pneumatický válec dvojitý ADN-50-50-I-P-A Festo (2)
- 11) Pneumatický válec dvojitý DSNU-25-25-PPS-A Festo 7.2 g 158N (2)
- 12) Servomotor Beckhoff AM8051-wEyz
- 13) Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem M8x45 (8)
- 14) Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem M10x30 (4)
- 15) Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem M8x35 (4)
- 16) Podložka ISO 7089 10 (4)
- 17) Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem M8x25 (4)
- 18) Kolík ISO 8735 - 12m6x80 s vnitřním závitem (2)
- 19) Kolík ISO 8734 - 5m6x30 (1)
- 20) Pojistný kroužek DIN 471 45x1,75



Obr. 24: Manipulátor s motorem



Obr. 25: Prvky sestavy manipulátoru

9.1 Výpočet momentu pneumatického válce



Obr. 26: Pneumatický válec DSNU-25-25-PPS Festo [11]

Pro válec DSNU-25-25-PPS o průměru pístu 25 mm. Jsou zadané síly:

$$F_{p-vpřed} = 295 \text{ N}$$

$$F_{p-vzad} = 247 \text{ N}$$

$$\text{Rameno } x = 0,022 \text{ m}$$

Je uvažován nejmenší možný moment pístu M_p ,

tedy síla vzad na nejkratším rameni x z obrázku 27 a z rovnice (1).

$$\text{Tedy: } M_p = F_{vz} \cdot x = 247 \cdot 0,022 = 5,43 \text{ Nm} \quad (1)$$

Z rovnice (2) plyne rovnováha sil mezi F_{T1} a F_p .

$$F_{T1} \cdot a < F_{p-vzad} \cdot x \quad (2)$$

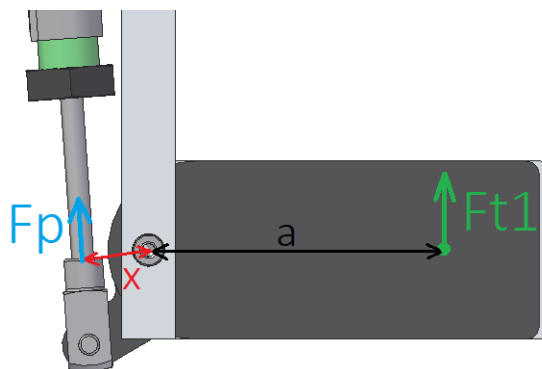
$$F_{T1} < \frac{F_{p-vzad} \cdot x}{a}$$

$$F_{T1} < \frac{247 \cdot 0,022}{114}$$

$$F_{T1} < 47,67 \text{ N}$$

Bude-li uvažována účinnost 80%, bude vzhledem ke ztrátám v čepech, výsledná síla nižší.

$$F_{T1} < 47,67 \cdot 0,8 = 38,136 \text{ N}$$



Obr. 27: Rovnováha sil

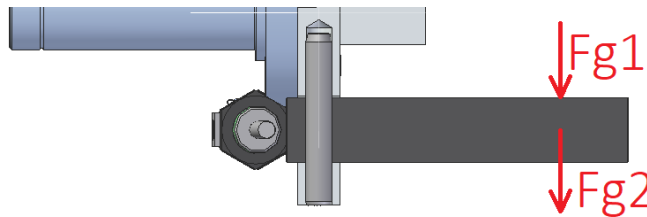
Výpočet momentu ze sil z obrázku 28:

$$F_{g1} = \text{tíhová síla pružiny} = m_p \cdot g = \frac{10}{2} \cdot 9,81 = 49,05 \text{ N} \quad (3)$$

$$F_{g2} = \text{tíhová síla držáku} = m_d \cdot g = 0,5 \cdot 9,81 = 4,905 \text{ N}$$

$$F_{T1} = \text{třecí síla od pružiny} = F_{g1} \cdot f (\text{součinitel tření}) = 49,05 \cdot 0,2 = 9,81 \text{ N} \quad (4)$$

$$F_{T2} = \text{třecí síla od pružiny + držáku} = (F_{g1} + F_{g2}) \cdot f (\text{součinitel tření}) = \\ = (49,05 + 4,905) \cdot 0,2 = 10,79 \text{ N}$$



Obr. 28: Tíhové zatížení držáku

Z důvodu možnosti zaseknutí desek vůči sobě bude zavedena bezpečnost 3 a tečné síly budou uvedeny jako trojnásobné.

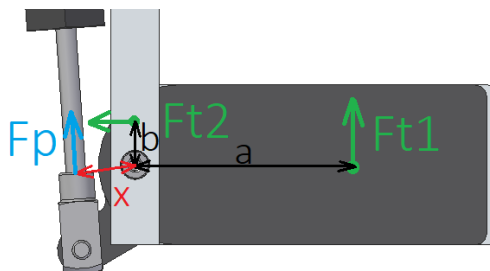
$$F_{T1} = 9,81 \cdot 3 = 29,43 \text{ N} < 38,136 \text{ N} \rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (5)$$

$$F_{T2} = 10,79 \cdot 3 = 32,37 \text{ N}$$

Z obrázku 29 se dopočítá celkový čepový moment, který musí být nižší než moment pístu.

$$M_{\zeta} = [(F_{T1} \cdot a) + (F_{T2} \cdot b)] \cdot f \quad [1] \quad (6)$$

$$M_{\zeta} = [(29,43 \cdot 0,114) + (32,37 \cdot 0,016)] \cdot 0,2 = 0,77 \text{ Nm}$$



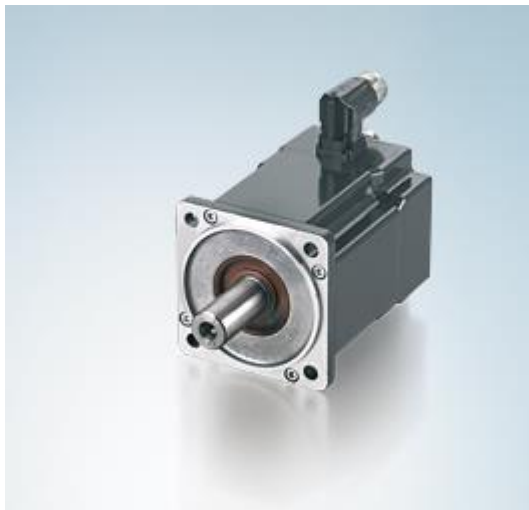
Obr. 29: Výsledné zobrazení sil pro výpočet momentu

Z rovnice (6) vyjde moment 0,77 Nm, což je nižší než 5,434 Nm na pístu.

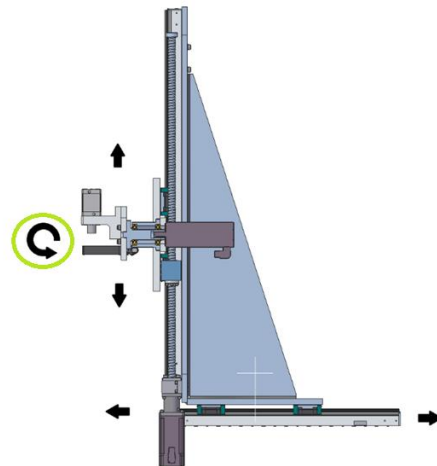
$$M_p > M_{\zeta} \quad \text{Pneumatický válec DSNU-25-25-PPS vyhovuje.}$$

9.2 Servomotor Beckhoff AM8051

Pro otočný pohyb manipulátoru je zvolen Servomotor Beckhoff AM8051-wEyz.



Obr. 31: AM8051-wEyz - BECKHOFF Servomotor [23]



Obr. 30: Rotační pohyb k ose z

Data for 400 V AC	AM8051-wEyz	AM8051-wGyz	AM8051-wKyz
Motor type	permanent magnet-excited three-phase synchronous motor		
Standstill torque	4.80 Nm	4.90 Nm	4.90 Nm
Rated torque	4.60 Nm	4.40 Nm	3.90 Nm
Cooling	convection		
Rated speed	2500 min ⁻¹	5000 min ⁻¹	8000 min ⁻¹
Rated power	1.20 kW	2.30 kW	3.27 kW
Peak torque	17.2 Nm		
Standstill current	2.70 A	4.75 A	8.50 A
Peak current	12.1 A	20.9 A	37.7 A
Torque constant	1.77 Nm/A	1.02 Nm/A	0.57 Nm/A
Voltage constant	128 mV/min ⁻¹	73 mV/min ⁻¹	40 mV/min ⁻¹
Number of poles	8		
Rotor moment of inertia	2.25 kgcm ²		
Weight	4.10 kg		
Holding torque brake (M _{br})	9 Nm		
Power consumption (brake) at 24 V DC (P _{br})	18 W		
Rotor moment of inertia incl. brake (J)	2.90 kgcm ²		
Weight incl. brake (m)	4.90 kg		
Connection technology	M23 speedtec® plug		
One Cable Technology (OCT)	yes		
Approvals	CE, UL		

Obr. 32: Parametry motoru [23]

9.3 Výpočet pro otočný pohyb

Výpočet na ložiska

Bod X na obrázku 33 je těžiště celého manipulátoru podle výpočtu programu Solid Edge.

Síla od těžiště manipulátoru... $F_c = (m \cdot g) = 21,5 \cdot 9,81 = 210,92 \text{ N}$

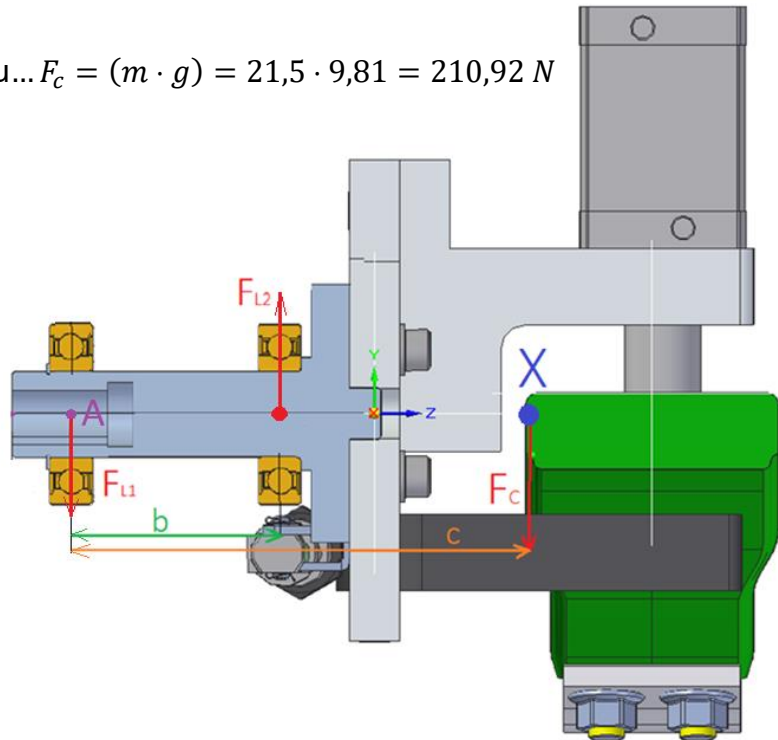
Ramena:

$$b = 83 \text{ mm}$$

$$c = 176,49 \text{ mm}$$

M_A ...moment k bodu A

M_X ...moment k bodu X



Obr. 33: Řez manipulátoru se zobrazenými silami

Vyjádřením síly F_{L2} (8) z rovnice (7) a dosazením do momentové rovnice (9), se dopočítá síla F_{L1} (10). Větší z výsledných sil se použije na výpočet momentu na ložiska.

$$M_A = -F_{L2} \cdot b + F_c \cdot c = 0 \quad (7)$$

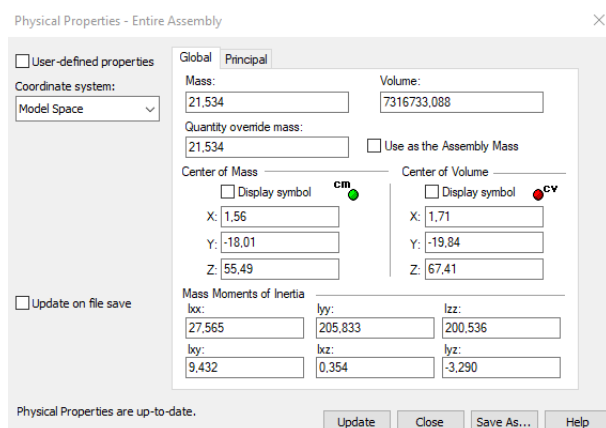
$$F_{L2} = \frac{F_c \cdot c}{b} = 448,49 \text{ N} \quad (8)$$

$$M_X = -F_{L1} \cdot c + F_{L2} \cdot (c - b) = 0 \quad (9)$$

$$F_{L1} = \frac{F_c \cdot c \cdot (c - b)}{c} \quad (10)$$

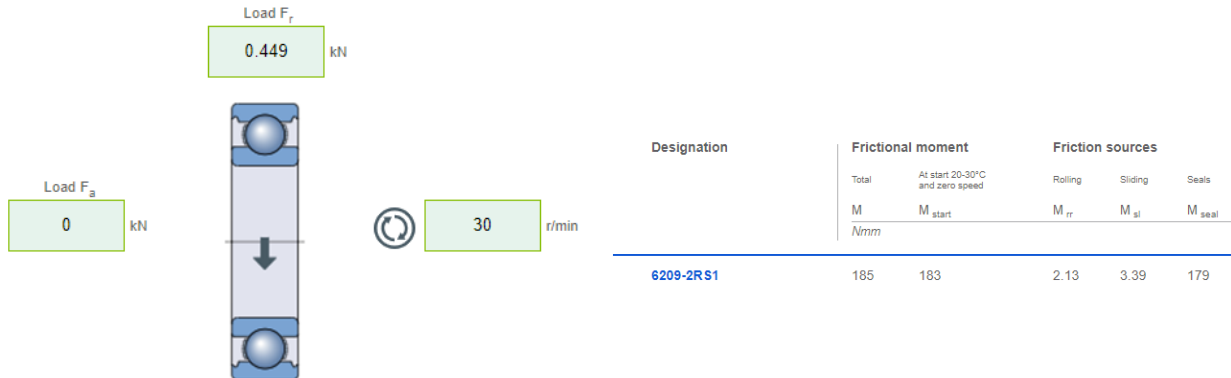
$$F_{L1} = \frac{448,49 \cdot (176,49 - 83)}{176,49} = 237,57 \text{ N}$$

$F_{L2} > F_{L1}$ Jako radiální sílu na ložisko použijeme větší sílu F_{L2} .



Obr. 34: Solid Edge vlastnosti sestavy

Výpočet momentu na ložisko spočítá přímo SKF Bearing Calculator (obrázek 35), ve kterém zadáme zvolené ložisko 6209 2RS1, radiální sílu (F_{L2}) a axiální sílu, která bude v tomto případě nulová.



Obr. 35: Bearing Calculator SKF [22]

9.4 Výpočet celkového momentu na servomotor

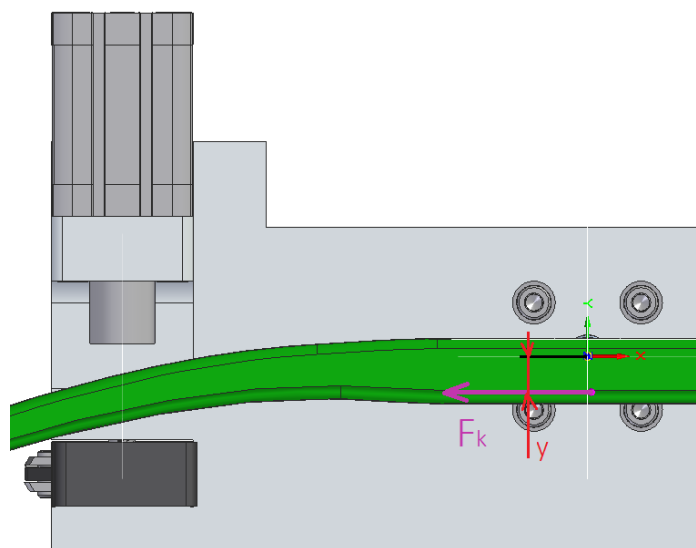
Celkový moment na ložisko vychází 185 Nmm, ten se zohlední v celkovém výpočtu potřebného momentu na servomotor.

Z něho se vypočítá síla přes hmotnost a použije se rameno z Y souřadnice, aby se vypočítal výsledný moment sestavy. Nejprve musí být nalezeno maximum, které závisí na rameni a úhlu natočení. Fialový bod zobrazuje hmotnostní centrum sestavy v obrázku 36.

$$M_k = F_k \cdot y \cdot \cos(\varphi) \quad [1] \quad (11)$$

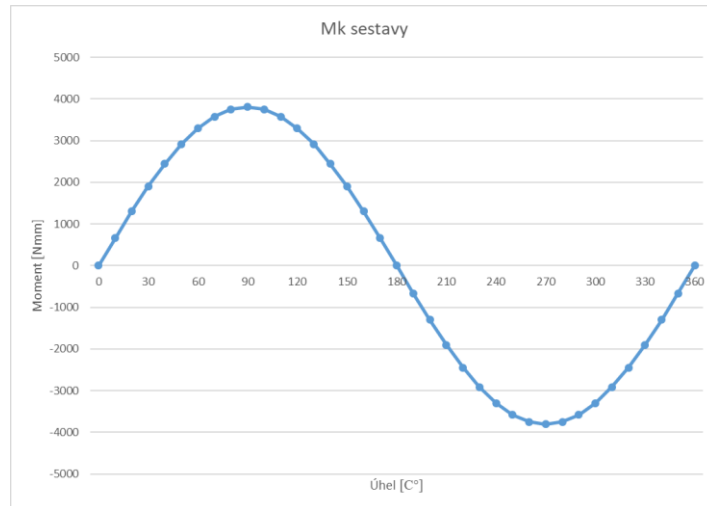
$$F_k = (m \cdot g) = 21,5 \cdot 9,81$$

$$= 210,92 \text{ N}$$



Obr. 36: Přední pohled na rozložení sil manipulátoru

Z grafu (obrázek 37) je vidět, že maximální moment bude ve chvíli potočení o 90 a 270 stupňů. To znamená, že v tu chvíli má síla největší rameno a bude s tímto momentem počítáno dál.



Obr. 37: Vykreslení sinusoidy momentů motoru pomocí Microsoft excel

$$F_k = (m \cdot g) = 21,5 \cdot 9,81 = 210,92 \text{ N}$$

$$M_k = F_k \cdot y = 210,92 \cdot 18 = 3\,796,6 \text{ Nmm} \quad (12)$$

Kde 18 mm je z rovnice (12) nejdelší rameno, takže 3 796,6 Nmm

Je největší možný dosažený moment sestavy.

Celkový moment, který musí vyvinout motor, se získá sečtením momentu ze sestavy (12) s momentem ložisek (obrázek 35).

$$M_{\text{Celkový}} = M_k + 2 \cdot M_{\text{Ložisek}} \quad (13)$$

$$M_{\text{Celkový}} = 3\,796,6 + 2 \cdot 185 = 4\,166,6 \text{ Nmm}$$

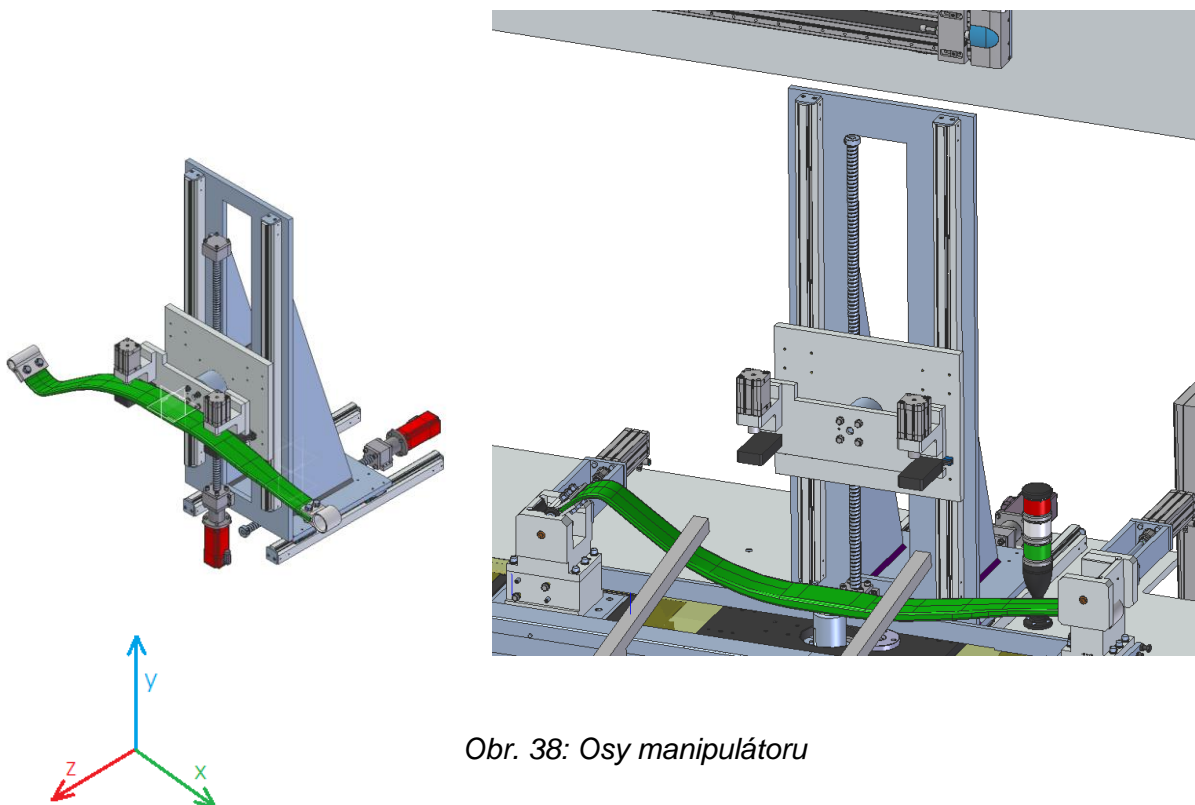
Moment motoru = 4,6 Nm

Z výpočtů vychází celkový moment 4,2 Nm

Motor vyhovuje požadavkům. Vzhledem k volbě servomotoru je možnost přetížení motoru až 1,5násobek nominálního momentu. Průběh momentu je sinusový, tedy stačí spočítat moment pro kritické body sinusoidy. Motor je navržen s brzdou, která má větší zádržný moment než hlavní. Tedy v době výpadku proudu zajišťuje brzda zařízení proti samotnému pádu.

10. Vedení

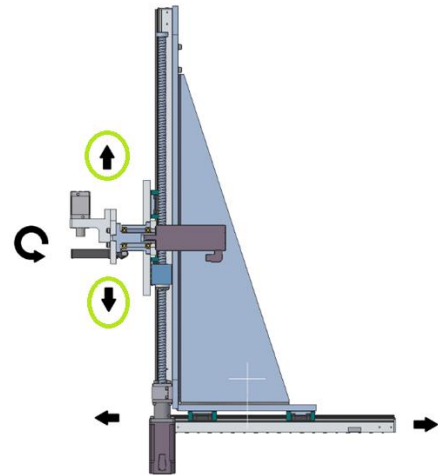
Na vertikálním vedení je nosná součást svařený rám z oceli 10 004, kde je vertikální pohyb manipulátoru zprostředkováván pomocí dvou lineárních vedení upevněných na rámu šrouby M10x45 přes válcovaný kuličkový šroub o stoupání 5 mm do servomotoru. Obdobně je řešený i horizontální pohyb na spodní části vedení s rozdílem kratšího šroubu, servomotor je stejný. Vedení je poté přimontováno na stůl ve správné vzdálenosti od zakládacího místa. Servomotor pro vertikální pohyb je umístěn ze spodu do vytvořeného otvoru v desce stolu, aby nekolidoval s horním vedením z AP2 do AP3. Motor na horizontální posun je umístěn za celým vedením. Výpočty jsou provedeny u všech tří servomotorů, aby byla jistota, že jejich výkon bude dostačující požadavkům.



Obr. 38: Osy manipulátoru

10.1 Servomotor Beckhoff AM8031

Pro vertikální pohyb je zvolen Servomotor Beckhoff AM8031-wDyz



Obr. 39: AM8031-wDyz - BECKHOFF Servomotor [21] Obr. 40: Pohyb vedení v ose y

Data for 400 V AC	AM8031-wCyz	AM8031-wDyz	AM8031-wFyz
Motor type	permanent magnet-excited three-phase synchronous motor		
Standstill torque	1.37 Nm	1.38 Nm	1.40 Nm
Rated torque	1.34 Nm	1.33 Nm	1.30 Nm
Cooling	convection		
Rated speed	3000 min ⁻¹	6000 min ⁻¹	9000 min ⁻¹
Rated power	0.42 kW	0.84 kW	1.23 kW
Peak torque	6.10 Nm	6.07 Nm	6.07 Nm
Standstill current	1.00 A	1.95 A	3.20 A
Peak current	5.5 A	10.7 A	17.6 A
Torque constant	1.37 Nm/A	0.71 Nm/A	0.44 Nm/A
Voltage constant	99 mV/min ⁻¹	50 mV/min ⁻¹	30 mV/min ⁻¹
Number of poles	8		
Rotor moment of inertia	0.467 kgcm ²		
Weight	1.8 kg		
Holding torque brake (M _{br})	2.0 Nm		
Power consumption (brake) at 24 V DC (P _{br})	11 W		
Rotor moment of inertia incl. brake (J)	0.541 kgcm ²		
Weight incl. brake (m)	2.2 kg		
Connection technology	itec® plug		
One Cable Technology (OCT)	yes		
Approvals/markings	CE, UL		

Obr. 41: Parametry motoru [21]

10.2 Rychlostní návrh pro výpočet kuličkového šroubu

Je požadována rychlost zdvihu $v_p = 0,15 \text{ m/s}$

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

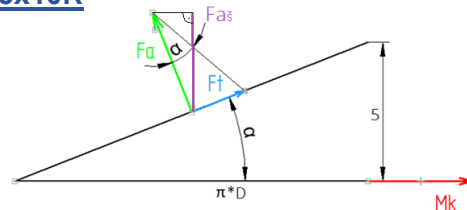
Parametry motoru:

Otáčky motoru ... $n_{mot} = 3\,000 \text{ s}^{-1}$

Moment motoru ... $Mk_{mot} = 1,33 \text{ Nm}$

Kuličkový šroub M25x10R

Stoupání = 5



Obr. 42: Stoupání závitu

10.3 Momentová kontrola

$M_{kmot} = 1,33 \text{ Nm}$

Z rovnice (14) je spočítána gravitační síla při uvedení soustavy do pohybu se zrychlením 2 m/s^2 .

$$F_m = G \cdot a = 50 \cdot 2 = 100 \text{ N} \quad (14)$$

$$D = 25 \text{ mm}$$

Z rovnice (15) se vyjádří axiální síla na šroub

a z rovnice (16) moment na šroub.

$$\text{tg } \alpha = \frac{F_{t\zeta}}{F_a} \quad (15)$$

$$F_a = \frac{F_{t\zeta}}{\text{tg}(\pi \cdot D)}$$

$$M_{k\zeta} = F_{t\zeta} \cdot r \quad (16)$$

$$F_{t\zeta} = \frac{M_{k\zeta}}{r} = \frac{Mk_{mot}}{r} = \frac{1,33}{12,5 \cdot 10^{-3}} = 107,2 \text{ N}$$

$$F_a = \frac{107,2}{\text{tg}(\pi \cdot D)} = \frac{107,2}{\frac{5 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 25 \cdot 10^{-3}}} = 1\,684 \text{ N}$$

Síla $F_{a\zeta}$ musí být větší, než síla F_s statická složená s tíhové síly samotného manipulátoru a gravitační síly potřebné k uvedení sestavy do pohybu. To se ověří z rovnic (17) a (18).

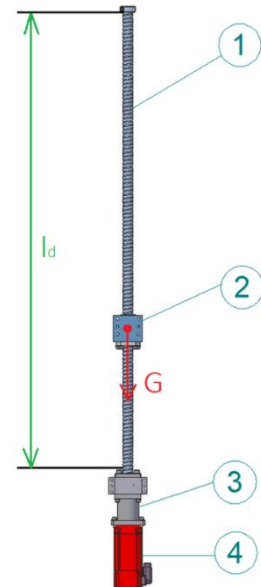
$$F_s = F_m + F_g = 100 + 50 \cdot 9,81 + (15 \cdot 9,81 \text{ (záloha)}) = 737,65 \text{ N} \quad (17)$$

$$F_{a\zeta} = F_a \cdot \cos \alpha = F_a \cdot \cos \cdot (\arctg(\frac{F_a}{F_{t\zeta}})) = 1680 \text{ N} \quad (18)$$

$F_{a\zeta} > F_s$ Motor vyhovuje požadavkům.

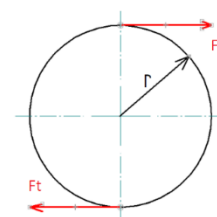
Počáteční podmínky

l_d ...Výška zdvihu	... 1100 mm
v ...Rychlost pohybu	... 0,15 m/s
a ...zrychlení	... 2 m/s ²
G ...zátěž	... 50 kg
p ...Parametr přetížení	... 2



- 1) Kuličkový šroub M25
- 2) Držák matice
- 3) Pouzdro spojky
- 4) Servomotor Beckhoff AM8031

Obr. 43: kuličkový šroub v sestavě



Obr. 44: Tečné síly závitu

10.4 Kuličkový šroub HIWIN

Z důvodu, že kuličkové šrouby nesmějí pracovat v oblastech kritických otáček, je nutné získat hodnotu kritických otáček n_k v závislosti na délce a průměru hřídele z grafu z katalogu od firmy HIWIN. Dále se z kritických otáček spočítají maximální pracovní otáčky n_{max} . Ty by neměly přesáhnout 80 % kritických otáček.

n_k – kritické otáčky [min^{-1}]

n_{max} – maximální přípustné otáčky [min^{-1}]

k_d – koeficient uložení [–]

d_k – průměr hřídele [mm]

l_d – vzdálenost mezi ložisky [mm]

Z rovnice (19) se spočítají kritické otáčky motoru.

Vzhledem k tomu, že jsou oba konce upevněné

na rámu svařence se bude počítat s

koeficientem uložení 1,22 z obrázku 46.

$$n_k = k_d \cdot \frac{d_k}{l_d^2} \cdot 10^8 \quad (19)$$

$$n_k = 1,22 \cdot \frac{25}{1 \cdot 100^2} \cdot 10^8 = 2 \, 521 \, min^{-1}$$

Tomu odpovídá i odečtená hodnota z obrázku 45.

Maximální otáčky se spočítají podle vztahu (20).

$$n_{max} = n_k \cdot 0,8 \quad (20)$$

$$n_{max} = 2 \, 521 \cdot 0,8 = 2 \, 017 \, min^{-1}$$

Dále se zkontroluje, zda požadovaná rychlost a stoupání vyhovuje požadavkům.

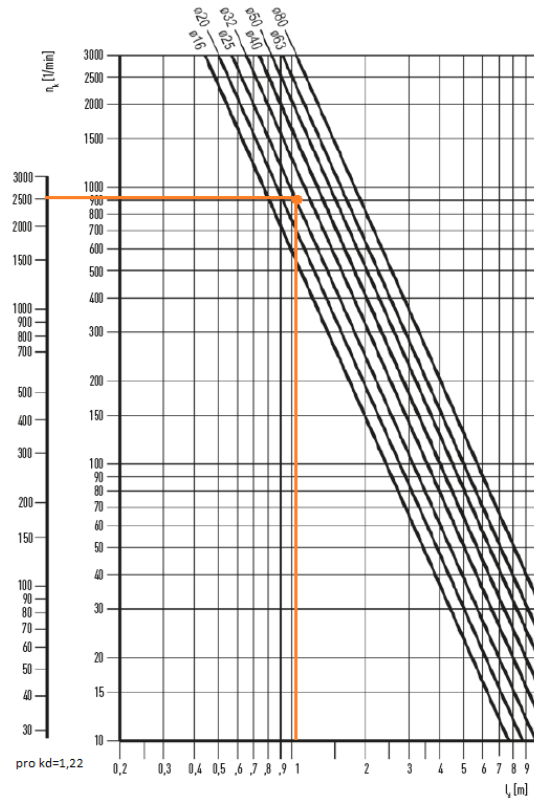
$$v_p = 0,15 \, m/s$$

$$P = 5 \, mm$$

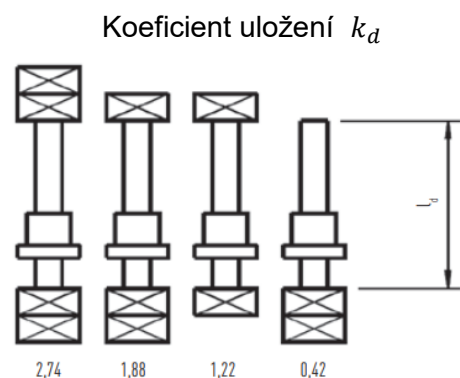
$$v_v = P \cdot n_{max} = 5 \cdot 2017 = 10 \, 085 \, mm/min$$

$$v_v = 168 \, mm/s = 0,168 \, m/s$$

Vypočtená rychlost je vyšší než požadovaná a tedy splňuje požadavky.



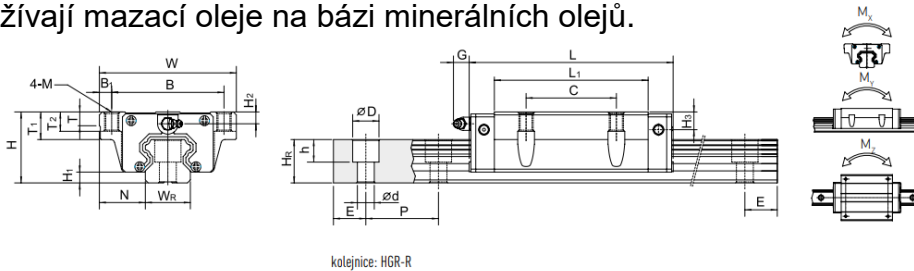
Obr. 45: Graf na odečtení kritických otáček [24]



Obr. 46: Koeficient uložení [24]

10.5 Lineární vedení HIWIN

Je zvoleno lineární vedení značky HIWIN HGW30CC, které se používá v těchto případech. Vedení v ose **Z** i v ose **Y** je stejné. Jedná se o čtyřřadé kuličkové lineární vedení s úhlem dotyku 45°. Přířbový vozík je vhodný pro montáž shora i zespodu. Má vysokou únosnost ve všech směrech a vysokou tuhost. Pro mazání se používají mazací oleje na bázi minerálních olejů.

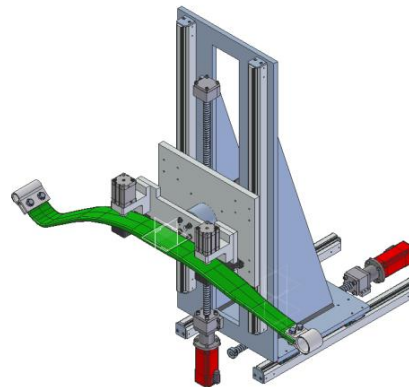
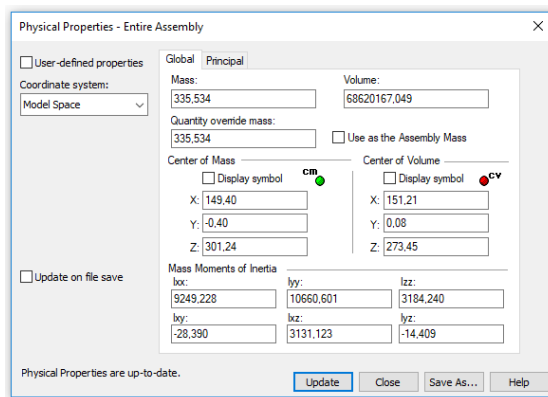


kolejnice: HGR-R

Typ	Montážní rozměry [mm]		Rozměry vozíku [mm]														Rozměry kolejnic [mm]											Šrouby pro kolejnici [mm]	Dynamická únosnost C_{dp} [N]	Statická únosnost C_0 [N]	Statický moment			Hmotnost	
			H	H ₁	N	W	B	B ₁	C	L ₁	L	G	M	T	T ₁	T ₂	H ₂	H ₃	W ₁	H ₄	D	h	d	P	E	M_x [Nm]	M_y [Nm]				M_z [Nm]	vozík [kg]	kolejnice [kg/m]		
HGW30CC	42	6,0	31,0	90	72	9,0	52	70,0	97,4	12,0	M10	8,5	16,0	10,00	6,5	10,8	28	26,0	14,0	12,0	9,0	80	*	M8x25	38740	83060	1060	850	850	1,42	4,47				
HGW30HC	42	6,0	31,0	90	72	9,0	52	93,0	120,4	12,0	M10	8,5	16,0	10,00	6,5	10,8	28	26,0	14,0	12,0	9,0	80	*	M8x25	47270	110130	1400	1470	1470	1,44	4,47				

Obr. 47: HIWIN HGW30CC lineární vedení [16]

Pro případ pohybu vedení v ose **Z** se spočítá statická únosnost, protože na něm bude ležet celá sestava vedení manipulátoru včetně založené pružiny.



Obr. 48: Vypočtení hmotnosti pro zatížení na vedení pomocí Solid Edge

Podle výpočtu hmotnosti dle programu Solid Edge je celková hmotnost sestavy bez spodní desky, která přijde přimontovat na stůl, 335,5 kg.

$$F_v = m_s \cdot g = 335,5 \cdot 9,81 = 3\,291,26 \text{ N} \quad (21)$$

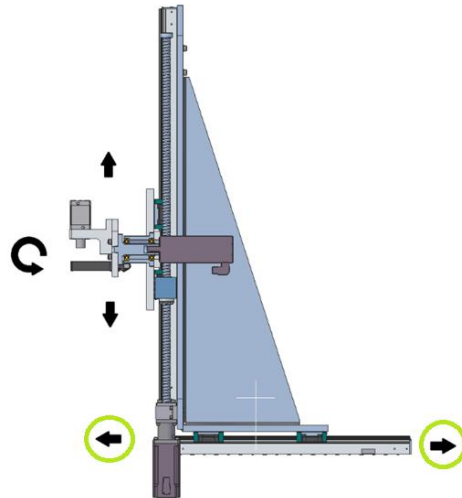
Z výpočtu (21) je patrné, že vedení o statické únosnosti 83 060 N vyhovuje našim požadavkům hned několikanásobně. Vyhovuje standardu pro manipulační techniku firmy Mubea. K vozíčku připevníme přiřazené kolejnice HGR-R.

10.6 Horizontální pohyb celého manipulátoru

Servomotor je zvolen Beckhoff AM8031-wEyz



Viz. Obr. 40: AM8031-wDyz - BECKHOFF Servomotor [21]



Obr. 49: Pohyb vedení v ose z

Data for 400 V AC	AM8031-wCyz	AM8031-wDyz	AM8031-wFyz
Motor type	permanent magnet-excited three-phase synchronous motor		
Standstill torque	1.37 Nm	1.38 Nm	1.40 Nm
Rated torque	1.34 Nm	1.33 Nm	1.30 Nm
Cooling	convection		
Rated speed	3000 min ⁻¹	6000 min ⁻¹	9000 min ⁻¹
Rated power	0.42 kW	0.84 kW	1.23 kW
Peak torque	6.10 Nm	6.07 Nm	6.07 Nm
Standstill current	1.00 A	1.95 A	3.20 A
Peak current	5.5 A	10.7 A	17.6 A
Torque constant	1.37 Nm/A	0.71 Nm/A	0.44 Nm/A
Voltage constant	99 mV/min ⁻¹	50 mV/min ⁻¹	30 mV/min ⁻¹
Number of poles	8		
Rotor moment of inertia	0.467 kgcm ²		
Weight	1.8 kg		
Holding torque brake (M _{br})	2.0 Nm		
Power consumption (brake) at 24 V DC (P _{br})	11 W		
Rotor moment of inertia incl. brake (J)	0.541 kgcm ²		
Weight incl. brake (m)	2.2 kg		
Connection technology	Itec® plug		
One Cable Technology (OCT)	yes		
Approvals/markings	CE, UL		

Viz. Obr. 41: Parametry motoru [21]

Je zapotřebí překonat třecí odporovou sílu sestavy na motor. Nejdříve se z rovnice (22) spočítá osová síla na šroub.

$$F_{aš} = F_v \cdot f(\text{součinitel tření}) = 3\,291,26 \cdot 0,1 = 329,126 \text{ N} \quad (22)$$

Hnací krouticí moment pro převod krouticího momentu na přímočarý se spočítá z rovnice z katalogu pro kuličkový šroub (23). [18]

$$M_k = \frac{F_{aš} \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} = \frac{329,126 \cdot 5}{2000 \cdot \pi \cdot 0,88} \doteq 0,3 \text{ Nm} \quad [1] \quad (23)$$

Servomotor Beckhoff AM8031-wDyz má krouticí moment 1,33 Nm, tedy vyhovuje požadavkům pro posun vedení ve směru osy Z. Další neuvažované pasivní odpory soustavy budou pokryty převísem momentu motoru.

11. Ekonomické zhodnocení návratnosti investice

11.1 Úspora mzdových prostředků

Délka trvání projektu: 5 let

Pracovní fond pro rok 2019: 2 008 hodin

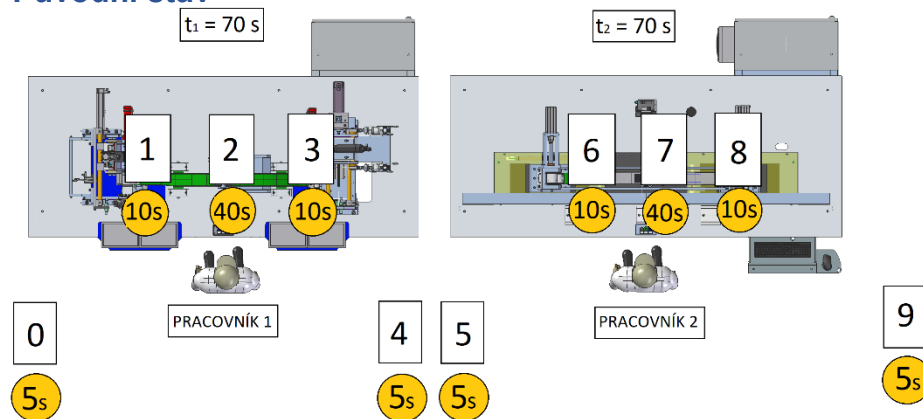
Hodinová mzda pracovníka: 15 €/hod

Roční náklady na jednoho pracovníka: $15 \cdot 2\,008 \cdot 3 (\text{směny}) = 90\,360 \text{ €}$

Doba trvání projektu je pět let: $90\,360 \cdot 5 = 452\,800 \text{ €}$

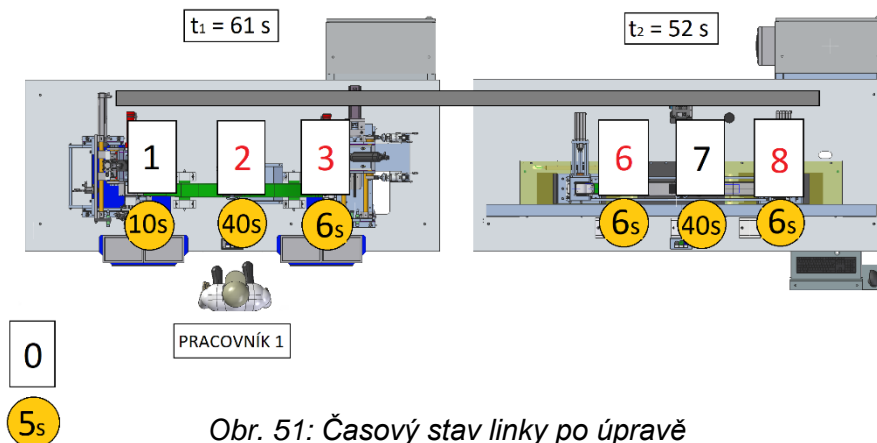
11.2 Kapacitní úspory

11.2.1 Původní stav



Obr. 50: Původní časový stav linky

11.2.2 Po úpravě na Variantu B



Obr. 51: Časový stav linky po úpravě

Zkrácení času počítám od stroje, s nejdelším časovým cyklem. $61s > 52s$

Zkrácení pracovního cyklu o $70s - 61s = 9s \Rightarrow 13\%$

13 % z ročního fondu hodin je $2\,008 \cdot 3 \cdot 0,13 = 783$ hodin. Pracovník může v tomto čase pracovat na jiné práci, nebo dělat nadvýrobu.

$783 \text{ hodin} \cdot 15\text{€} = 11\,745 \text{ €}$ a za pět let jde o částku $58\,725 \text{ €}$.

11.3 Úspory z hlediska možných reklamací

Hledisko reklamací z důvodu citlivých informací nebude v mé práci vyhodnoceno.

11.4 Náklady na přestavbu stroje

Tab. 2: Nabídka a úpravu montážního zařízení

			EUR	CZK
1.0	Maschinelle Dokumentation		18 090	
1.1	Projekt der Maschine		1 160	30 000
1.2	Konstruktion der Maschine - CAD		8 270	215 000
1.3	Herstellungszeichnungen - CAD		7 120	185 000
1.4	Modifizierung der Prototypsdokumentation nach Fertigung		1 540	40 000
2.0	Elektrische Dokumentation + Programmierung		23 280	
2.1	Projekt Elektroteil		4 620	120 000
2.2	Programmausrüstung		18 660	485 000
3.0	Steuerungssystem SPS + Panel		12 510	0
3.1	Visualisierung HW (Panel 17inch)		580	15 000
3.2	Steuerungssystem mit Elektroschrank + Industrie PC		4 810	125 000
3.3	Elektrische Ausstattung (Kommunikationsausrüstung, Anwesenheitssensoren, Ampel, ..)		7 120	185 000
4.0	Einkaufsteile		30 080	
4.1	Pneumatik FESTO (8x)		3 850	100 000
4.2	Greifer Schunk (0x)		0	0
4.3	Hydraulikzentrale mit 2 Hydraulikzylinder (Spannen bei Hysteresemessung)		0	0
4.4	Rundtaktisch WEISS 520		0	0
4.5	Antrieb für Manipulator - vertikal AP2 (Servomotor + Servo-Umrichter)		1 350	35 000
4.6	Antrieb für Manipulator - horizontal AP2-AP3 (Servomotor + Servo-Umrichter)		2 500	65 000
4.7	Antrieb für Manipulator - vertikal AP3 (Servomotor + Servo-Umrichter)		1 350	35 000
4.8	Antrieb für Manipulator - horizontal AP3 (Servomotor + Servo-Umrichter)		1 540	40 000
4.9	Antrieb für Manipulator - rotation AP3 (Servomotor + Servo-Umrichter)		970	25 000
4.10	Kugelspindel + Kugelmutter - vertikal AP2 (Servomotor + Servo-Umrichter)		1 350	35 000
4.11	Kugelspindel + Kugelmutter - horizontal AP2-AP3 (Servomotor + Servo-Umrichter)		3 270	85 000
4.12	Kugelspindel + Kugelmutter - vertikal AP3 (Servomotor + Servo-Umrichter)		1 160	30 000
4.13	Kugelspindel + Kugelmutter - horizontal AP3 (Servomotor + Servo-Umrichter)		970	25 000
4.14	Linearführung HIWIN - vertikal AP2 (Servomotor + Servo-Umrichter)		970	25 000
4.15	Linearführung HIWIN - horizontal AP2-AP3 (Servomotor + Servo-Umrichter)		2 890	75 000
4.16	Linearführung HIWIN - vertikal AP3 (Servomotor + Servo-Umrichter)		970	25 000
4.17	Linearführung HIWIN - horizontal AP3 (Servomotor + Servo-Umrichter)		770	20 000
4.18	Lichtschranke (0x)		0	0
4.19	Mechanische Normteile (Zahnrad + Zahnleiste, Kugellager, ..., usw.)		1 740	45 000
4.20	Bandtransporter (1x Ausgang)		2 890	75 000
4.21	Schutzschilde ITEM+Makralon		1 540	40 000
5.0	Fertigung		13 440	
5.1	Material		580	15 000
5.2	Herstellung der Teile		9 620	250 000
5.3	Herstellung der Aufnahmen (1x2)		2 470	64 000
5.4	Regie (Reisen, Bestellungen, Kooperationen)		770	20 000
6.0	Montage und Inbetriebnahme		17 000	
6.1	Vormontage		4 000	104 000
6.2	El.montage und Verkabelung incl. Material		2 000	52 000
6.3	Belebung und Einstellung beim WZB		0	0
6.4	Transport (Attendorf , Prostějov, Weissensee, ..., usw.)		200	5 000
6.5	Installation bei Kunden (Attendorf , Prostějov, Weissensee, ...)		10 800	280 800
7.0	Dokumentation		970	
7.1	Dokumentation (CE, Manuele usw.)		970	25 000
Gesamtpreis des Grundangebotes in EUR / CZK			115 370 €	2 995 800

11.5 Návratnost do dvou let

Návratnost se spočítá z toho, co se za přestavbu stroje musí zaplatit a za jak dlouho se to splatí. Návratnost musí být do dvou let. Návratnost se počítá pouze ze mzdových prostředků.

$$115\,370(\text{částka na přestavbu}) = (3 \cdot 2\,008 \cdot 15) \cdot 0,13 \cdot D + (3 \cdot 2\,008 \cdot 15) \cdot D$$

D = výsledný čas, za který se to splatí v letech

$0,13 = 13\%$ z ročního fondu hodin

$$D = \frac{115\,370}{(3 \cdot 2\,008 \cdot 15) \cdot (1 + 0,13)}$$

$$D = 1,129 \text{ roku}$$

Pomocí trojčlenky se zpřesní čas.

$$\frac{12}{1} = \frac{x}{0,129}$$

$$x = 0,129 \cdot 12 = 1,55 \text{ měsíce}$$

Návratnost přestavby stroje se uskuteční za rok, měsíc a čtrnáct dní.

Požadavek návratnosti do dvou let tedy vyhovuje.

Vyhodnocení projektu na pět let

Celkem bude linka stát 115 370 €. Úspora mzdových prostředků společně s kapacitními dělá 452 800 € + 58 725 € = 511 525 €. Celkové ekonomické zhodnocení je **+ 396 155 €**.

12. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a zkonstruovat vedení s manipulátorem mezi linkami AP2 a AP3 na kontrolu listových kompozitových pružin firmy Mubea. Jako hlavní zdroje pro jednotlivé nakupované komponenty byly použity katalogy výrobců, od kterých firma nakupované díly běžně objednáva. Servomotory se objednávají od firmy Beckhoff. Pro lineární vedení a kuličkové šrouby je firma HIWIN, která má přehledné a obsáhlé katalogy se všemi důležitými parametry, se kterými se v této bakalářské práci počítalo. U pneumatických válců je to firma Festo, pro jejich široký sortiment menších kruhových dvojčinných válců, které přesně splňovaly rozměrové i silové požadavky pro konstrukci.

Jedním z důležitých cílů práce bylo vymyslet možné varianty sestavení linek, z důvodu například nároků na plošnou zástavbu, nesnížení stávající výrobní kapacity linky a zároveň musí být konstrukce taková, aby došlo ke zvýšení kvality výrobku, alespoň částečným zamezením lidského faktoru. Dále musel být návrh takový, aby návratnost investice byla do 2 let. Byly navrženy tři možné varianty sestavení linky, ze kterých byla vybrána ta, která nejlépe splňuje dané požadavky. Následně bylo potřeba vyřešit například odvádění špatných kusů z linky bez zásahu člověka. Pro tento případ byly navrženy dvě varianty pohybů a konstrukcí samotného manipulátoru a způsob dopravy, kde byla opět vybrána příhodnější varianta. Nakonec byla navržena samotná manipulace a pohyby manipulátoru, tak aby splňoval například rychlostní parametry na zvýšení kapacity stroje, se kterými bylo nutno počítat v kontrolních výpočtech na veškeré pohonné stroje vedení.

První výpočet se týká pneumatických válců Festo v hlavě manipulátoru, na kterých leží pružina a které musí být dostatečně silné pro posun držáků pod pružinami při jejich manipulaci, a dostatečně malé, aby se vešly na zadní desku manipulátoru a nekolidovaly s ostatními díly. Všechny tři vybrané servomotory značky Beckhoff pro zbylé pohyby jsou navrženy tak, aby vyhovovaly výpočtům pro krouticí moment pro danou činnost. První servomotor, který otáčí celým manipulátorem včetně cca desetakilové pružiny je navržen tak, aby v místech, kdy musí překonat největší silové rameno, byl jeho výkon dostačující k překonání momentu manipulátoru i s uložením v ložiskách.

Druhý a třetí servomotor pohybuje vedením v horizontálním a vertikálním směru přes kuličkový šroub a lineární vedení. Oba motory vyhovují požadavkům na zatížení i moment i s dostačující rezervou.

Celé vedení včetně manipulátoru je přimontováno k samostatné základní desce, aby s ním mohlo být manipulováno jako se samostatnou jednotkou. Celková hmotnost vedení i se založenou pružinou je zhruba 340 kg.

V budoucnu se plánuje ještě upravit horní vedení mezi stoly AP2 a AP3, které dopravuje pružinu z lisovacího zakládacího místa k mému navrženému vedení, aby mohla být linka uvedena do provozu v německém Attendornu. Výkres sestavy manipulátoru a dalších prvků se nachází v přílohách 1- 5 včetně obrázků linky před úpravou a po úpravě.

Seznam použité literatury

- [1] V. Švec, Části a mechanismy strojů, V Praze: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008.
- [2] J. Pospíchal, Technické kreslení, V Praze: CVUT Praha, 2014.
- [3] P. V. Jan Leinveber, Strojírenské tabulky, V Praze: Albra, 2006.
- [4] P. I. I. Uhlíř, Elektrické stroje a pohony, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2007.
- [5] M. u. Bender, „Mubea skupina,“ Mubea s.r.o, 17 11 2018. [Online]. Available: <https://www.pracemubea.cz/skupina-mubea/>.
- [6] M. u. Bender, „Mubea studenti-žáci,“ Mubea s.r.o, 23 12 2018. [Online]. Available: <https://www.pracemubea.cz/studenti-zaci/>.
- [7] M. u. Bender, „Mubea Výrobní technologie,“ Mubea s.r.o, 22 11 2018. [Online]. Available: <https://www.mubea.com/cz/products-technologies/automotive/podvozek/>.
- [8] „Factory automation základní pojmy z automatizace,“ Fanuc Czech s.r.o., 26 12 2018. [Online]. Available: <https://factoryautomation.cz/zakladni-pojmy-z-automatizace-32-terminu-ktere-musite-znat/>.
- [9] „Jak postupovat při výběru pneumatického válce,“ Kompresory-vzduchotechnika s.r.o., 8 1 2019. [Online]. Available: <https://www.kompresory-vzduchotechnika.cz/poradna/jak-vybrat-pneumaticky-valce>.
- [10] „Pneumotorický válec,“ Wikipedie, 30 12 2018. [Online]. Available: https://cs.wikipedia.org/wiki/Pneumatick%C3%BD_v%C3%A1lec.
- [11] „Válce DSNU,“ Festo, 8 2 2019. [Online]. Available: https://www.festo.com/cms/cs_cz/15869.htm.
- [12] „Asynchronní motor,“ Wikipedie, 15 2 2019. [Online]. Available: https://cs.wikipedia.org/wiki/Asynchronn%C3%AD_motor.
- [13] „Servomotor,“ Wikipedie, 15 2 2019. [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Servomotor>.
- [14] „Lineární vedení,“ Wikipedie, 10 3 2019. [Online]. Available: https://cs.wikipedia.org/wiki/Line%C3%A1rn%C3%AD_veden%C3%AD.
- [15] „Lineární kluzná vedení Hennlich,“ Henlich s.r.o., 22 3 2019. [Online]. Available: <https://lin-tech.hennlich.cz/produkty/linearni-kluzna-vedeni-drylin-t-629.html>.
- [16] „Lineární kuličkové vedení HIWIN,“ HIWIN motion control systems, 25 3 2019. [Online]. Available: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/kulickove-vedeni/rada-hg-qh/18_vozik-hgw.

- [17] „Kuličkový šroub,“ Wikipedie, 27 3 2019. [Online]. Available: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kuli%C4%8Dkov%C3%BD_%C5%A1roub.
- [18] „Kuličkový šroub,“ HIWIN motion control systems, 8 4 2019. [Online]. Available: <https://www.hiwin.cz/cz/download>.
- [19] „Kuličkový šroub,“ THK, 9 4 2019. [Online]. Available: <https://www.thk.com/?q=cz/node/3666>.
- [20] „Jak vybrat kuličkový šroub,“ e-konstrukter, 11 4 2019. [Online]. Available: <https://e-konstrukter.cz/novinka/jak-vybrat-vhodny-kulickovy-sroub>.
- [21] „Beckhoff servomotory,“ BECKHOFF, 12 4 2019. [Online]. Available: https://www.beckhoff.com/english.asp?drive_technology/am8031.htm.
- [22] „Bearing calculator,“ SKF, 17 4 2019. [Online]. Available: <https://www.skfbearingselect.com/#/one-or-two>.
- [23] „Beckhoff servomotory,“ BECKHOFF, 12 4 2019. [Online]. Available: https://www.beckhoff.com/english.asp?drive_technology/am8051.htm.
- [24] „Kuličkové šrouby-katalog,“ 17 4 2019. [Online]. Available: <http://www.hiwin.cz>.

Seznam použitých znaků

M_p	- moment pístu [Nm]	v_v	- rychlost vedení [m/s]
M_{ξ}	- čepový moment manipulátoru [Nm]	F_v	- síla na vedení [N]
$M_{k\ mot}$	- krouticí moment servomotoru [Nm]	$F_{tš}$	- tečná síla na kuličkový šroub [N]
$M_{kš}$	- krouticí moment kuličkového šroubu [Nm]	F_a	- axiální síla na kuličkový šroub nepřepočtena přes úhel [N]
M_c	- moment manipulátoru od síly F_c [Nmm]	$F_{aš}$	- axiální síla na kuličkový šroub [N]
M_{L1}	- moment od ložiska L1 [Nmm]	F_c	- síla od těžiště manipulátoru [N]
M_{L2}	- moment od ložiska L2 [Nmm]	F_k	- celková síla na motor [N]
M_k	- celkový moment manipulátoru [Nmm]	F_s	- statická síla manipulátoru [N]
$M_{ložisek}$	- moment na ložiskách [Nmm]	n_k	- kritické otáčky [min^{-1}]
$M_{celkový}$	- výsledný moment na servomotor [Nmm]	n_{max}	- maximální otáčky [min^{-1}]
M_o	- odporový m. vedení na servomotor [Nmm]	n_{mot}	- otáčky motoru [s^{-1}]
F_{T1}	- třecí síla pružiny na držák [N]	x	- rameno pístu na čep [mm]
F_{T2}	- třecí síla držáku na desku [N]	a	- rameno od ložiska 1 k bodu A [mm]
F_{to}	- třecí odporová síla vedení [N]	b	- rameno od ložiska 2 k bodu A [mm]
F_p	- síla pístu [N]	c	- rameno F_c k bodu A [mm]
F_m	- síla při uvedení manipulátoru do pohybu [N]	y	- rameno hmotnostního centra [mm]
F_g	- tíhová síla manipulátoru [N]	g	- tíhové zrychlení [m/s^2]
F_{g1}	- tíhová síla od pružiny [N]	m_p	- hmotnost pružiny [kg]
F_{g2}	- tíhová síla od držáku [N]	m_d	- hmotnost držáku [kg]
F_{vz}	- síla pneumatického válce vzad [N]	m_s	- hmotnost soustavy [kg]
v_p	- požadovaná rychlost [m/s]	k_d	- koeficient uložení [-]
		d_k	- průměr hřídele [mm]
		l_d	- vzdálenost mezi ložisky [mm]

Seznam obrázků

Obr. 1: Logo společnosti.....	2
Obr. 2: Výrobky a technologie společnosti Mubea [6].....	2
Obr. 3: Loga společnosti Mubea [5]	3
Obr. 4: Odlehčená listová pružina s lineární charakteristikou [6].....	4
Obr. 5: Ukázka uložení pružiny v podvozku vozidla [6].....	4
Obr. 6: Pohyb jednočinného válce	8
Obr. 7: Pohyb dvojčinného válce.....	8
Obr. 8: Vnitřní konstrukce asynchronního motoru	9
Obr. 9: Vozík HIWIN [15]	10
Obr. 10: Odlehčená kolejnice [15].....	10
Obr. 11: HGW vozík HIWIN s kolejnicí [16]	10
Obr. 12: Mechanismus kuličkového šroubu [20]	11
Obr. 13: Původní sestavení linky	12
Obr. 14: Ocelová vícevrstvá pružina $m=30$ kg [6].....	13
Obr. 15: Odlehčená listová pružina s progresivní charakteristikou a $m=9,3$ kg v porovnání s ocelovou [6]	13
Obr. 16: Zobrazení namáhání pružiny [6]	13
Obr. 17: Varianta A.....	16
Obr. 18: Varianta B.....	18
Obr. 19: Varianta C.....	20
Obr. 20: Varianta 1	21
Obr. 21: Varianta 2	22
Obr. 22: Rozložení na dvě základní části	23
Obr. 23: Základní pohyby vedení	23
Obr. 24: Manipulátor s motorem.....	24
Obr. 25: Prvky sestavy manipulátoru	24
Obr. 26: Pneumatický válec DSNU-25-25-PPS Festo [11].....	25
Obr. 27: Rovnováha sil	25
Obr. 28: Tíhové zatížení držáku	26
Obr. 29: Výsledné zobrazení sil pro výpočet momentu	26
Obr. 30: Rotační pohyb k ose z.....	27
Obr. 31: AM8051-wEyz - BECKHOFF Servomotor [23].....	27
Obr. 32: Parametry motoru [23]	27
Obr. 33: Řez manipulátoru se zobrazenými silami.....	28
Obr. 34: Solid Edge vlastnosti sestavy.....	28
Obr. 35: Bearing Calculator SKF [22]	29
Obr. 36: Přední pohled na rozložení sil manipulátoru	29
Obr. 37: Vykreslení sinusoidy momentů motoru pomocí Microsoft excel	30
Obr. 38: Osy manipulátoru.....	31
Obr. 39: AM8031-wDyz - BECKHOFF Servomotor [21]	32
Obr. 40: Pohyb vedení v ose y.....	32
Obr. 41: Parametry motoru [21]	32
Obr. 42: Stoupání závitu.....	33
Obr. 43: kuličkový šroub v sestavě.....	33
Obr. 44: Tečné síly závitu	33



Obr. 45: Graf na odečtení kritických otáček [24]	34
Obr. 46: Koeficient uložení [24]	34
Obr. 47: HIWIN HGW30CC lineární vedení [16]	35
Obr. 48: Vypočtení hmotnosti pro zatížení na vedení pomocí Solid Edge	35
Obr. 49: Pohyb vedení v ose z	36
Obr. 50: Původní časový stav linky	37
Obr. 51: Časový stav linky po úpravě	37

Seznam tabulek

Tab. 1: Třídy přesnosti kuličkových šroubů	11
Tab. 2: Nabídka a úpravu montážního zařízení	38

Seznam příloh

Příloha 1: Náhled na linku před úpravou a po úpravě

Příloha 2: Výkres sestavy držáku k servomotoru

Příloha 3: Výkres sestavy přidržovače na pružinu

Příloha 4: Výkres sestavy manipulátoru

Příloha 5: Výkres sestavy vedení

Příloha 1: Náhled na linku před úpravou a po úpravě

