



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

KONSTRUKČNÍ NÁVRH TESTOVACÍHO ZAŘÍZENÍ PNEUMATICKÝCH VÁLCŮ

DESIGN OF PNEUMATIC CYLINDER TESTING EQUIPMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Macek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zdeněk Tůma, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Tomáš Macek
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	Ing. Zdeněk Tůma, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

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:

Konstrukční návrh testovacího zařízení pneumatických válců

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Testovací zařízení pneumatických komponent je nedílnou součástí výrobního procesu. Jejich nesprávná funkce může ovlivnit celkový chod výrobního pracoviště.

Cíle diplomové práce:

Rešerše a zhodnocení současného stavu.

Systémový rozbor řešené problematiky.

Konstrukční návrh.

Ekonomické zhodnocení řešení.

Závěr a doporučení.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem testovacího zařízení vybraných typů pneumatických válců. V první, teoretické, části práce je provedena analýza současného stavu poznání v oblasti pneumatických válců. Dále je zde popsána problematika v oblasti měření a zkoušení pneumatických prvků, jsou zde také popsány vybrané lineární snímače polohy. Druhá, praktická, část se zabývá volbou vhodné varianty konstrukce a vlastním řešením konstrukce testovacího zařízení. Je zde také navržen pneumatický okruh. Součástí práce je 3D model testovacího zařízení a výkresová dokumentace. Závěr práce je věnován celkovému zhodnocení práce a doporučení pro praxi.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the design of test equipment for selected types of pneumatic cylinders. In the first, theoretical, part of the work is an analysis of the current state of knowledge in the field of pneumatic cylinders. Furthermore, the problems in the field of measurement and testing of pneumatic components are described here, selected linear position sensors are also described herein too. The second, practical, part deals with the choice of a suitable design variant and the actual solution of the test equipment design. A pneumatic circuit is also designed here. Part of the work is a 3D model of the test equipment and drawing documentation. The conclusion of the work is devoted to the overall evaluation of the work and recommendations for practice.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pneumatický válec, kompaktní pneumatický válec, odměřování, testovací zařízení, konstrukční návrh

KEYWORDS

Pneumatic cylinder, compact pneumatic cylinder, measuring, testing device, structural design

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MACEK, Tomáš. *Konstrukční návrh testovacího zařízení pneumatických válců* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125136>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Zdeněk Tůma.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Zdeňkovi Tůmovi, Ph.D. za cenné rady, náměty, připomínky, ochotu a odborné vedení, což mi pomohlo při tvorbě diplomové práce. Zároveň bych chtěl poděkovat také své rodině za podporu, kterou mi po celou dobu mého studia na VUT FSI v Brně poskytovala.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Zdeněk Tůma, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. června 2020

.....

Bc. Tomáš Macek

OBSAH

1	ÚVOD	17
2	MOTIVACE.....	19
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	21
3.1	Přímočaré pneumatické válce	21
3.1.1	Přímočarý pneumatický válec jednočinný	21
3.1.2	Přímočarý pneumatický válec dvojčinný	22
3.2	Řízení směru pohybu pneumatických válců	22
3.3	Řízení rychlosti pneumatických válců	23
3.4	Tolerance zdvihů pneumatických válců	24
3.5	Zkoušení pneumatických prvků a systémů	24
3.5.1	Měření délek	25
3.6	Současný trend v kontrole pneumatických válců	28
4	SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	30
4.1	Problémová situace	30
4.2	Formulace problému	30
4.3	Formulace cílů a řešení	30
4.4	Popis řešené soustavy	30
4.5	Systém podstatných veličin	31
4.5.1	S0 – Veličiny popisující okolí entity	31
4.5.2	S1 – Struktura, geometrie a topologie entity	31
4.5.3	S2 – Podstatné vazby a interakce entity s okolím	31
4.5.4	S3 – Aktivace entity s okolím.....	31
4.5.5	S4 – Ovlivňování entity s okolím	31
4.5.6	S5 – Oborové vlastnosti prvků struktury entity	31
4.5.7	S6 – Veličiny popisující procesy a stavy entity	31
4.5.8	S7 – Veličiny popisující projevy entity	31
4.5.9	S8 – Důsledky projevů	32
4.6	Kritéria rozhodování a stanovení jejich vah	32
5	KONSTRUKČNÍ NÁVRH	34
5.1	Vstupní parametry.....	34
5.2	Výběr lineárního snímače polohy	34
5.2.1	Posuzovaná kritéria.....	34
5.2.2	Stanovení vah posuzovaných kritérií.....	35
5.2.3	Výběr konkrétního lineárního snímače polohy	36
5.3	Návrh variant připojení	37
5.3.1	Varianta 1	38
5.3.2	Varianta 2	39
5.3.3	Varianta 3	42
5.4	Výběr varianty připojení	43
5.4.1	Posuzovaná kritéria.....	43
5.4.2	Stanovení vah posuzovaných vlastností	44
5.4.3	Výběr konkrétní varianty připojení	45
5.5	Návrh variant upínání	46
5.5.1	Varianta 1	46
5.5.2	Varianta 2	47

5.5.3	Varianta 3	47
5.5.4	Varianta 4	48
5.5.5	Varianta 5	49
5.5.6	Varianta 6	49
5.6	Výběr varianty upínání	50
5.6.1	Posuzovaná kritéria	50
5.6.2	Stanovení vah posuzovaných vlastností	51
5.6.3	Výběr konkrétní varianty upínání	52
5.7	Hlavní rám	53
5.8	Základní rám	54
5.9	Připojovací stanice	55
5.10	Upínací stanice	57
5.11	Kontrola polohy pneumatických pracovních válců	57
5.12	Měřicí stanice	58
5.12.1	Měřicí pneumatický válec	59
5.13	Návrh a kontrola lineárního modulu	59
5.14	Návrh a kontrola lineárního vedení	62
5.14.1	Lineární vedení osy X	63
5.14.2	Lineární vedení osy Y	64
5.15	Návrh a kontrola kuličkového šroubu	66
5.16	Návrh a kontrola pracovních pneumatických válců	73
5.16.1	Připojovací a boční upínací pneumatický válec	73
5.16.2	Zadní upínací pneumatický válec	74
5.17	Pneumatický okruh	75
5.17.1	Pomocný pneumatický okruh	75
5.17.2	Testovací pneumatický okruh	76
5.17.3	Spotřeba stlačeného vzduchu	77
5.17.4	Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu	79
5.17.5	Snímač tlaku	80
5.18	Testovací proces	80
6	BEZPEČNOST TESTOVACÍHO ZAŘÍZENÍ	83
6.1	Analýza rizik	83
6.2	Bezpečnost testovacího zařízení	84
6.2.1	Konstrukce	84
6.2.2	Krytování	84
6.2.3	Volba vhodných komponent	85
6.2.4	Bezpečnostní značení	86
6.2.5	Obsluha a údržba strojního zařízení	86
7	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	87
8	DOPORUČENÍ PRO PRAXI	88
8.1	Vývoj	88
8.2	Výroba	88
8.3	Montáž	88
8.4	Oživení	88
8.5	Testování	88
8.6	Používání	88
8.7	Údržba	89
8.8	Likvidace	89

9	3D MODEL TESTOVACÍHO ZAŘÍZENÍ.....	90
10	ZHODNOCENÍ A DISKUZE.....	91
11	ZÁVĚR	93
12	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	95
13	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	99
13.1	Seznam použitých zkratk	99
13.2	Seznam použitých symbolů	99
13.3	Seznam tabulek	103
13.4	Seznam obrázků.....	104
14	SEZNAM PŘÍLOH	107

1 ÚVOD

V dnešní době se většina firem snaží automatizovat jak výrobní procesy, tak i kontrolní procesy. Snahou je co nejvíce zkvalitnit výrobky, snížit potřebné časy, zlevnit výrobu a pokud možno také odstranit chyby, které by mohly vzniknout na základě lidského faktoru. Při kontrole jednotlivých pneumatických komponent se často využívá jednoúčelových strojů a přístrojů pro urychlení a zkvalitnění provádění testování. Všechny pneumatické komponenty by měly projít kontrolou nebo ověřením, že splňují udávané parametry.

Cílem diplomové práce je navrhnout testovací zařízení pneumatických válců.

V první části diplomové práce je provedeno shrnutí současného stavu poznání v oblasti pneumatických válců. Dále je zde popsána problematika v oblasti měření a zkoušení pneumatických prvků a jsou zde popsány vybrané lineární snímače polohy. Poté je proveden systémový rozbor problematiky a následně je řešen vlastní konstrukční návrh testovacího zařízení. Nejprve je zvolen lineární snímač polohy, poté jsou vypracovány varianty upínání testovaného pneumatického válce a varianty připojení stlačeného vzduchu k testovanému pneumatickému válci. Následně jsou vybrány nejlepší varianty a je zpracován vlastní konstrukční návrh testovacího zařízení. Pro lepší vizualizaci je vytvořen 3D model testovacího zařízení a byla zpracována výkresová dokumentace. Dále byla provedena kontrola navržených komponent pomocí výpočtů a bylo zpracováno ekonomické zhodnocení testovacího zařízení. Práce je doplněna o zhodnocení a doporučení pro praxi.

2 MOTIVACE

Již od útlého věku mě zajímala technika a vždy mě také zajímalo, jak různé věci fungují, jak by se daly upravit a vylepšit a usnadnit život jak sobě, své rodině, tak ostatním lidem. Myslím si, že mě v tomto směru hodně ovlivnila komiksová postava Anthonyho Edwarda Starka, tedy komiksový Iron Man, kterou vymyslel Stan Lee a spadá do příběhů, které vydává nakladatelství Marvel Comics. Dále si také myslím že, mě hodně ovlivnil podnikatel, vynálezce, inženýr a osobně bych řekl i vizionář dnešní doby Elon Musk. A právě Elon Musk mi nyní svými myšlenkami, vynálezy a činy připomíná právě komiksového Iron Mana, i když zatím nemá jeho legendární oblek. Elon Musk začíná dokazovat, že ty fantastické vynálezy, se kterými se setkáváme ať už v komiksech, knihách či filmech, se můžou stát skutečností.

Konstrukční návrh testovacího zařízení pneumatických válců se nedá srovnat s oblekem Iron Mana, raketami SpaceX nebo automobily Tesla, ale mohl by to být dobrý startovací můstek k tomu, abych se dozvěděl něco nového, zlepšil se v dosavadních dovednostech, které mám a toto mě mohlo pomoci v budoucnu dokázat něco víc. Proto jsem si zvolil téma konstrukční návrh testovacího zařízení pneumatických válců.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

V této kapitole je zpracován přehled současného stavu poznání v oblasti pneumatických válců.

3.1 Přímočaré pneumatické válce

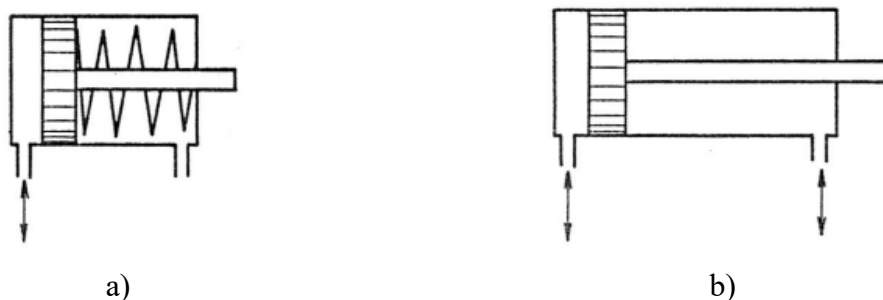
Podle principu práce a v mnoha směrech i podle konstrukce jsou pneumatické přímočaré válce shodné s hydraulickými přímočarými válci. Na rozdíl od nich mají některé výhody [1]:

- jednoduchost konstrukce,
- technologická nenáročnost na výrobu,
- možnost dosažení velkých zdvihových rychlostí,
- možnost práce v náročném prostředí na čistotu (potravinářský, farmaceutický průmysl apod.), ale také velmi prašném prostředí a s nebezpečím výbuchu.

K jejich nevýhodám, ve srovnání s hydraulickými válci, je nutno počítat obtížnou regulaci rychlosti a také nemožnost řízení velikosti zdvihu mezi oběma krajními polohami.

Uvedené výhody a nevýhody jsou dány nízkým pracovním tlakem nositele energie (stlačeného vzduchu) obvykle do 1 MPa a také jeho vlastnostmi. [1]

Základní rozdělení přímočarých pneumatických válců je na *jednočinné* a *dvojčinné*. [1]



Obr. 1) Přímočarý pneumatický válec [1] a) Jednočinný s vratnou pružinou, b) Dvojčinný

3.1.1 Přímočarý pneumatický válec jednočinný

V jednočinném pneumatickém válci (Obr. 1 a) je vzduch přiváděn k pístu jen z jedné strany, takže síla vyvinutá tlakem vzduchu působí na plochu pístu pouze v jednom směru. Po přerušení přívodu stlačeného vzduchu do válce je pístnice vrácena do výchozí polohy silou pružiny. Jednočinné pneumatické válce se používají pro zdvihy do 50 mm. K ovládání jednočinných pneumatických válců se používají zejména 3/2 ventily.

Jednočinné pneumatické válce je možné použít k upínání polotovarů, jako vyhazovače u různých přípravků k podávání polotovarů, jejich zvedání a pro další operace. Ve srovnání s dvojčinnými pneumatickými válci stejných rozměrů mají menší spotřebu vzduchu. Síla šroubové pružiny působí proti síle vyvinuté tlakem vzduchu na plochu pístu, takže využitelná síla je menší o sílu pružiny. Jednočinné pneumatické válce jsou proti dvojčinným pneumatickým válcům se stejným průměrem a zdvihem delší (o rozměr pružiny). [7]

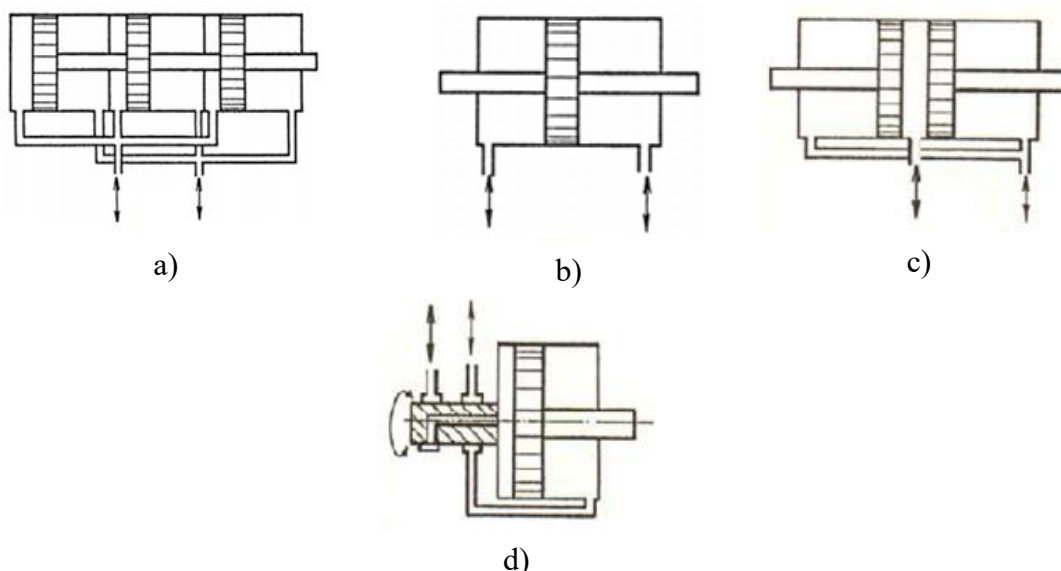
3.1.2 Přímočarý pneumatický válec dvojčinný

U dvojčinného pneumatického válce (Obr. 1 b) je vzduch přiváděn k pístu z obou stran, takže oba pohyby, vpřed i vzad, jsou realizovány pomocí stlačeného vzduchu. Díky tomu mohou dosahovat větších zdvihů (až 2 m) než jednočinné pneumatické válce. K ovládání dvojčinných pneumatických válců se používají zejména 5/2 a 5/3 ventily. Pracovní pohyb není ovlivňován vratnou pružinou a zpětný chod je rychlý a rovnoměrný. Kromě toho je možné nastavit rychlosti pohybu pístu v obou směrech. Rozsah pohybu se většinou vymezuje zářkami pístu ve válci.

Při zasouvání pístnice vyvinou dvojčinné pneumatické válce menší sílu než při vysouvání, protože účinná plocha pístu je menší o plochu danou průměrem pístnice. To je třeba vzít v úvahu, pokud má válec pracovat se stejným zatížením pístnice v obou směrech. [7]

Rozdělení přímočarých pneumatických válců dle konstrukce [1]:

- dvojčinný válec s jednostrannou pístnicí (Obr. 1 b),
- jednočinný válec s jednostrannou pístnicí (Obr. 1 a),
- tandemový válec (Obr. 2 a),
- dvojčinný válec s oboustrannou pístnicí (Obr. 2 b),
- dvojčinný válec s oboustranným působením (Obr. 2 c),
- dvojčinný válec s rotačním válcem (Obr. 2 d).



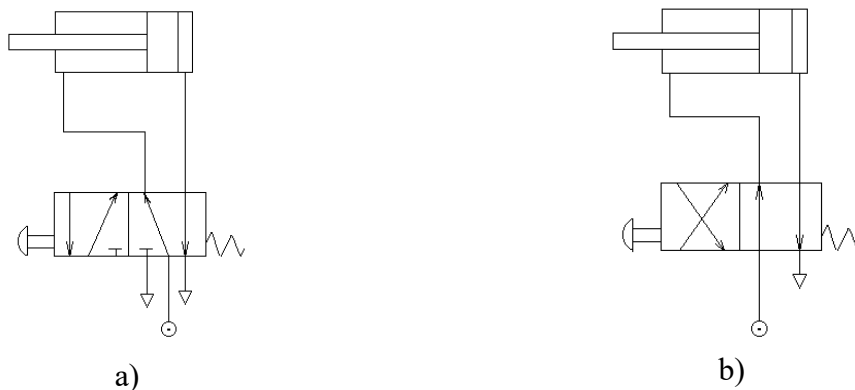
Obr. 2) Přímočarý pneumatický válec [1] a) Tandemový, b) Dvojčinný s oboustrannou pístnicí, c) Dvojčinný s oboustranným působením, d) Dvojčinný s rotačním válcem

3.2 Řízení směru pohybu pneumatických válců

Řízení pohybu pneumatických válců je možné provádět pomocí rozváděče. Ovládání rozváděče může být ruční, manuální, pneumatické, elektrické či elektropneumatické. Vhodnou kombinací dvou a více rozváděčů, případně dalších řídicích prvků se dosahuje různých závislostí ve směru pohybu pneumatického válce. [1]

Pro řízení směru pohybu dvojčinného pneumatického válce může být použit buď [1]:

- dvoupolohový pěticestý rozváděč (Obr. 3 a), u kterého je pro každou stranu válce samostatný výstup,
- dvoupolohový čtyřcestný rozváděč (Obr. 3 b).



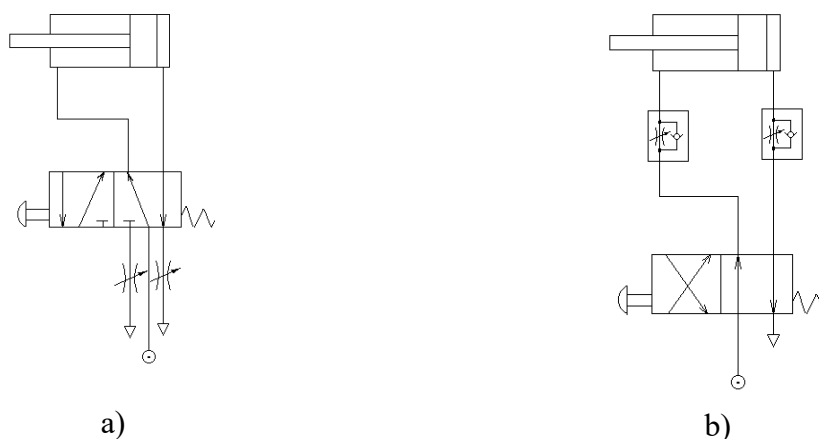
Obr. 3) Řízení směru pohybu dvojčinného pneumatického válce [1]
 a) Dvoupolohovým pěticestým rozváděčem, b) Dvoupolohovým čtyřcestným rozváděčem

3.3 Řízení rychlosti pneumatických válců

Rychlost pohybu pneumatického válce se řídí škrcením buď přiváděného stlačeného vzduchu, nebo vzduchu odváděného do atmosféry, a to škrtícím ventilem, nejčastěji kombinovaným s jednosměrným ventilem paralelně připojeným. U dvojčinných válců se zpravidla používá řízení rychlosti v obou směrech pohybu. Škrtící ventily mohou být zapojeny buď:

- na výstupu do výfuku za rozváděč (Obr. 4 a),
- ve vedení mezi rozváděčem a motorem (Obr. 4 b).

Častější je zapojení b) (Obr. 4 b), kde se oba škrtící ventily montují co nejbližší k válci, aby se snížila kapacita vedení a tím zvýšila přesnost regulace rychlosti. [1]



Obr. 4) Řízení rychlosti pneumatických válců [1] a) Škrcení na výstupu z rozváděče, b) Škrcení na vstupu do rozváděče

3.4 Tolerance zdvihů pneumatických válců

Zdvih válců se nejčastěji udává podle norem DIN ISO 6431, DIN ISO 6432 a VDMA 24562. Zdvih má kladnou odchylku od požadované hodnoty. Tato odchylka je dána výrobními tolerancemi a liší se podle průměru válce a zdvihu. Hodnoty odchylek jsou v tabulce (Tab 1).

Tab 1) Tolerance zdvihu pneumatických válců [6]

Norma	Průměr pístu [mm]	Zdvih [mm]	Přípustná odchylka zdvihu [mm]
DIN ISO 6432	8, 10, 12, 16, 20, 25	0 až 500	+1,5
DIN ISO 6431	32, 40, 50	0 až 500	+2,0
		501 až 1250*	+3,2**
VDMA 24562	63, 80, 100	0 až 500	+2,5
		501 až 1250*	+4,0**
NF E 49003.1	125, 160, 200, 250, 320	0 až 500	+4
		501 až 1250*	+5,0**
*) U zdvihů větších než 1250 mm záleží přípustné odchylky na dohodě mezi výrobcem a zákazníkem			
**) Tato hodnota není v normě VDMA 24562, resp. NF E 49003.1 uvedena a uvedená hodnota platí pouze pro normu DIN ISO 6431			

3.5 Zkoušení pneumatických prvků a systémů

Pro spolehlivý provoz a dosažení potřebných parametrů strojů a zařízení v nichž je použito pneumatických silových nebo řídicích mechanismů je nezbytné zajistit spolehlivost nejen každého prvku, ale zejména celého pneumatického systému. Toho lze dosáhnout především důslednými funkčními a parametrickými zkouškami. K jejich zajištění je nezbytná znalost funkce a konstrukce zkoušeného prvku i skladby a funkce celého pneumatického obvodu. Dále je nezbytný metodicky zpracovaný postup a potřebné měřicí a zkušební zařízení. [1]

Druhy měření, které se využívají při zkoušení pneumatických prvků a systému [1]:

1. výzkumná,
2. vývojová,
3. přejímací,
4. kontrolní.

Vzhledem k tomu, že tato diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem testovacího zařízení pneumatických válců budou nás tedy zajímat měření přejímací.

Přejímací měření

Přejímací měření je prostředek k získání informací o tom, zda přejímané zařízení má předepsané parametry (pozn. v našem případě správný zdvih pístu) [2]. Smyslem měření je zjištění shody měřeného parametru prvku s parametrem, daným v technických podmínkách či v příslušné normě. [1]

3.5.1 Měření délek

Zde se seznámíme se základním rozdělením metod pro měření délkových rozměrů a základním popisem těchto jednotlivých metod. Dále jsou zde popsány vybrané lineární snímače polohy. Z těchto snímačů poté bude vybrán jeden typ, který bude dále použit v konstrukční části této diplomové práce. Popis měření délek je dle literatury [2].

Metody pro měření délek se rozlišují podle několika hledisek. Za základní se pokládá rozdělení na metody *přímé* a *nepřímé*. Při přímé metodě se měřidlem určí přímo hledaný rozměr. U nepřímé metody se měřidlem změří jiný rozměr a z něho vypočte hledaný rozměr.

Dále se rozdělují metody na *absolutní* a *komparační*. Při absolutním měření se zjistí velikost rozměru přímo z údaje měřidla. Komparační metodou se zjistí hledaný rozměr z odchylky od předem stanoveného rozměru.

Dalším hlediskem pro dělení metod je způsob snímání rozměrů, a to *dotykové* a *bezdotykové*. Dotykovými je většina klasických měřidel; součást musí být při měření v klidu a je namáhána přitlačnou silou dotykového měřidla. Při bezdotykovém měření měřidlo není s povrchem měřeného předmětu ve styku, vůbec jej nedeformuje a měření lze navíc často uskutečnit i při pohybu předmětu.

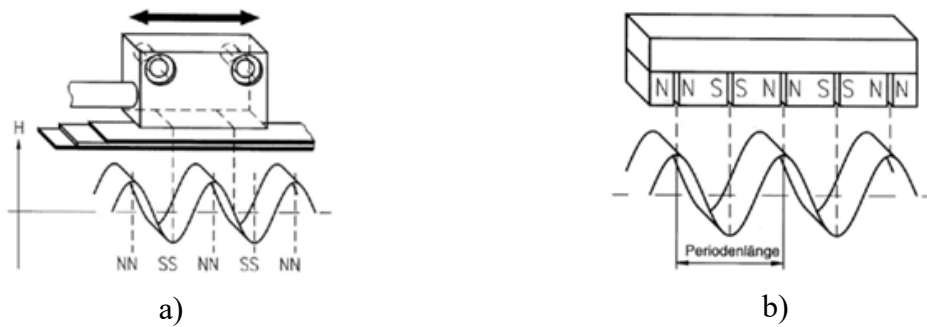
Každá z uvedených měřicích metod má své výhody i nevýhody, různé meze použitelnosti, různou přesnost měření, klade různé nároky na kvalifikaci uživatele, má různou efektivnost a vyžaduje různé finanční náklady. Z hlediska řízení technologických procesů jsou obecně výhodná ta měřidla, která mají výstupní signál takové fyzikální povahy, že ho lze použít jako vstupního signálu pro další zařízení, řídící určitý výrobní proces.

Lineární snímače polohy

Níže jsou uvedeny vybrané typy lineárních snímačů polohy, je zde uveden jejich základní popis a také vlastnosti. Z níže uvedených typů lineárních snímačů polohy poté bude v konstrukční části této diplomové práce vybrán jeden konkrétní snímač, který se bude pro měření používat.

Magnetické snímače

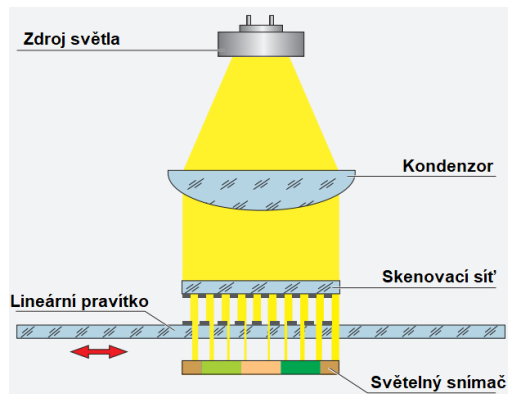
Princip funkce magnetických lineárních snímačů je založen na detekci změny polarity magnetického pole permanentního magnetu snímaného dvěma nebo více Hallovými senzory. Využívá se k tomu dlouhý (i několik desítek metrů) speciální magnetický pásek, který se umístí na rovnou plochu po celé délce pohybujícího se objektu. Na pevné konstrukci či držáku, který je vůči pohyblivé ploše v klidu, se pak umístí zapouzdřený magnetický snímač, který v sobě obsahuje mimo vyhodnocující elektroniky i senzory. U inkrementálního provedení se sleduje fyzické střídání severních a jižních magnetických pólů na libovolně dlouhé pásce, tím se v Hallových senzorech generuje střídavý impulsní nebo analogový elektrický signál a tím se zjišťuje relativní pohyb pásky vůči snímači. U absolutních snímačů se využívá speciální kolmá (perpendikulární) permanentní magnetizace částic pásky, která se ve vyhodnocovací elektronice snímače převádí na posloupnost binárních čísel. [5] Princip je patrný z obrázku (Obr. 5).



Obr. 5) Princip funkce lineárního magnetického snímače [8] a) Princip snímání magnetickou hlavou, b) Provedení magnetické pásky

Optické snímače

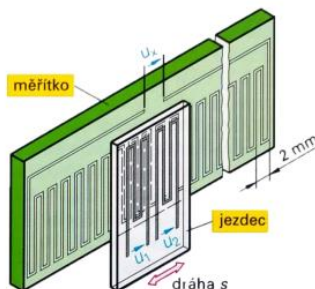
V nejjednodušší podobě je základem optického snímače světelný paprsek, který prochází stupnicí vytvořenou na měřítku nebo se od ní odráží a přes masku se stupnicí s identickým dělením dopadá na fotodetektory, které generují elektrický signál. Protože maska obsahuje políčka se čtyřmi stupnicemi vzájemně fázově posunutými, vzniká při pohybu pravítka proti masce dvojice signálů podobných sinusovce také vzájemně fázově posunutých o 90° , s periodou úměrnou dělení stupnice. Tyto signály umožňují snímat směr pohybu i měřit ujetou dráhu. Stupnici lze vyrobit velmi přesně, ale při jemném dělení se stále více projevuje nepříznivý vliv ohybu (difrakce) světla na mřížce. [9] Princip je patrný z obrázku (Obr. 6).



Obr. 6) Princip optického snímače [10]

Indukční snímač indukčosyn

Je druh transformátorového indukčnostního senzoru, v němž jsou použity cívky realizované technikou plošných spojů. Indukčosyn se skládá z měřítka, tj. pevné dlouhé ploché cívky ve tvaru meandru s krokem p na izolantu (sklo, keramika, nemagnetický kov s izolační vrstvou) a jezdce se dvěma cívkami (meandry). Tvar cívek jezdce a měřítka je stejný a při jejich vzájemném posuvu se mění vzájemná indukčnost M mezi každou z cívek jezdce a měřítka. Největší hodnoty dosahuje indukované napětí při úplném překrytí obrazců vinutí jezdce a měřítka, nulová hodnota indukovaného napětí, a tedy i M je při vzájemném posuvu o čtvrt kroku. [4] Princip je patrný z obrázku (Obr. 7).



Obr. 7) Indukční snímač induktosyn [11]

Odporové snímače

Pracují na stejném principu jako potenciometry (lineární proměnné odpory). Jezdec se pohybuje po odporové dráze a výstupní napětí na jezdcí je závislé na jeho poloze. Odporová dráha je tvořena buď z prvku vinutého z drátu, nebo, dnes stále častěji, z jakostního vodivého plastu. Využitím plastového prvku je nejen dosahováno lepšího rozlišení senzoru (v praxi má snímač rozlišení obvykle 0,01 mm), ale lze měřit i při podstatně vyšších rychlostech posunu (až 10 m/s). Je však třeba zabránit nadměrným vibracím, jinak vzniká nebezpečí odskoku jezdcce. [12]

Laserové snímače

Laserové snímání polohy je založeno na principu laserového Dopplerova metru. Tento způsob snímání polohy se vyznačuje vysokým rozlišením, a to až 0,002 μm . Mezi výhody patří vysoká přesnost, měření dlouhých délek, malé rozměry jednotlivých komponent a možnost aplikace u lineárních motorů. Nevýhodou u laserového snímání polohy je to, že zdroj laseru a zpětné zrcátko (odražeč) musí být dobře krytováno, aby nebyly přítomny nečistoty v dráze snímání. [3]

Vlastnosti lineárních snímačů

V tabulce (Tab 2) je uveden přehled vybraných vlastností výše popsaných lineárních snímačů polohy. Jsou zde uvedeny standardní hodnoty vybraných vlastností těchto snímačů. Výrobci udávají vlastnosti v rozdílných jednotkách a není lehké tyto vlastnosti převést do jednotných jednotek, proto jsou v tabulce uvedeny, tak jak je výrobci nejčastěji uvádějí na svých webových stránkách případně v katalozích.

Tab 2) Přehled vlastností lineárních snímačů polohy [3], [10], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]

	Rozlišovací schopnost [μm]	Přesnost měření	Opakovatelnost	Rozsah měření [m]
Magnetický snímač	1 až 1000	(± 10 až $\pm 1000 \mu\text{m}$) $+20 \cdot L$, kde L délka v m	$\leq \pm 1$ inkrement	až 260
Optický snímač	0,5 až 100	$\pm 1 \mu\text{m}$ do 1 m, potom $\pm 1 \mu\text{m} + (1 \text{ až } 5 \mu\text{m/m})$	$\leq \pm 1$ inkrement	až 21
Indukční snímač	1 až 50	10 μm	$\leq \pm 0,02 \%$ z rozsahu	až 2
Odporový snímač	standardně 10	$\pm 0,05 \%$ až $\pm 0,5 \%$ z rozsahu	$\leq \pm 0,05 \%$ z rozsahu	až 2
Laserový snímač	0,002 až 1	$\pm 0,01$ až $\pm 10 \mu\text{m}$	$\leq \pm 1 \mu\text{m}$	až 200

Rozlišovací schopnost

Udává, jaký úhlový, případně délkový inkrement dokáže snímač spolehlivě rozlišit. [27]

Přesnost měření

Těsnost shody mezi výsledkem měření a konvenčně pravou hodnotou měřené veličiny. [28]

Opakovatelnost měření

Těsnost shody mezi výsledky po sobě následujících měření téže měřené veličiny (na stejném objektu), provedených při stejných podmínkách, tj: stejné měřicí metodě, týmž pozorovatelem, týmž měřidlem, na stejném místě, ve stejných pracovních podmínkách, opakovaně po krátké časové periodě. [28]

3.6 Současný trend v kontrole pneumatických válců

Za pomoci krátkého dotazníku, byly osloveny firmy zabývající se výrobou pneumatických válců z důvodu zjištění současného trendu v kontrole pneumatických válců.

Z dotazníku vyplynulo, že se kontrolují všechny vyrobené pneumatické válce. Firmy mají vyhrazeny specializované pracoviště pro montáž a testování s odpovídající čistotou pracoviště a s potřebnými měřicími pomůckami a zařízeními. Dílčí kontrola jednotlivých komponent pneumatického válce probíhá již při výrobě těchto jednotlivých komponent.

Na již hotovém pneumatickém válci se obvykle testuje:

1. těsnost pístu a vík válce,
2. správný zdvih,
3. správná funkce tlumení koncových poloh a celého válce,
4. funkčnost magnetu pro snímání polohy (pokud je součástí),
5. plynulost pohybu.

Kontrola probíhá ve většině případů ručně nebo poloautomaticky s využitím specializovaných měřících přístrojů a přípravků. Poloha pneumatického válce při kontrole bývá většinou horizontální, ale může být také vertikální, záleží to na velikosti pneumatického válce a druhu prováděného testování. Doba testování jednoho pneumatického válce se liší podle velikosti pneumatického válce, ale ve většině případů nepřesahuje 10 minut. Kontroly v každé firmě jsou standardizované. V případě požadavků zákazníka lze po dohodě provádět i testování nad rámec běžných kontrol, případně dle normy ČSN EN 10204. V případě, že není požadavek na speciální certifikát pneumatického válce, záznamy a protokoly o provedení kontrol se běžně nevydávají a firma svým zákazníkům garantuje správné rozměry a správnou funkci pneumatických válců. Vzhledem k tomu, že se kontroluje každý vyrobený pneumatický válec, nemůže se stát, že by zákazník obdržel pneumatický válec, který neprošel kontrolou a nesplňoval by garantované katalogové parametry. Protokol o provedení kontrol se většinou vydává až v případě řešení reklamací.

4 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Při konstruování nových zařízení se často můžeme setkat s problémy, které je nutno v průběhu procesu konstruování řešit. K tomu abychom mohli k problémům přistupovat sofistikovaně a systematicky je dobré využít nástroje, které nám toto umožní a pomohou nám dosáhnout požadovaných cílů a výsledků. Systémový přístup je nástroj, který nám právě toto umožní.

Systémový rozbor řešené problematiky bude prováděn dle literatury [23].

4.1 Problémová situace

Testovací zařízení pneumatických komponent je nedílnou součástí výrobního procesu. Jejich nesprávná funkce může ovlivnit celkový chod výrobního pracoviště. Při konstrukci testovacího zařízení se může konstruktér setkat s řadou problémů, které budou popsány níže v následujících kapitolách. V této diplomové práci bude nejprve nutné vytipovat možné lineární snímače polohy, následně stanovit pomocí vícekritériální analýzy konkrétní kritéria rozhodování s určením jejich vah, zhodnotit jednotlivé varianty a vybrat vhodný lineární snímač polohy. Následně vypracovat varianty upínání pneumatického válce a varianty připojení stlačeného vzduchu a opět stanovit pomocí vícekritériální analýzy konkrétní kritéria rozhodování s určením jejich vah, zhodnotit jednotlivé varianty a vybrat nejvhodnější variantu upínání a připojení stlačeného vzduchu. Po výběru lineárního snímače polohy, způsobu upínání a způsobu připojení bude následně zpracována výsledná konstrukční varianta. Následně bude provedeno ekonomické zhodnocení výsledné varianty.

4.2 Formulace problému

Konstrukční návrh testovacího zařízení pneumatických válců. Konstrukční návrh řešení se bude odvíjet od požadovaných technických parametrů, tedy maximálního zdvihu válce a průměru pístu.

4.3 Formulace cílů a řešení

Cíle diplomové práce jsou:

- zvolení vhodného způsobu řešení problému,
- návrh konstrukčních variant a výběr optimální varianty,
- ekonomické zhodnocení řešení,
- zpracování výkresové dokumentace,
- závěr a doporučení.

4.4 Popis řešené soustavy

Testovací zařízení se sestává z hlavního rámu, ze kterého je vytvořen skelet stroje. Na hlavním rámu je umístěna měřicí stanice a základní rám. Na základním rámu je umístěna upínací a připojovací stanice a polohovací soustava osy X a Y. Upnutí a připojení stlačeného vzduchu testovaného pneumatického válce zajišťují dvojčinné pneumatické válce. Měření je prováděno pomocí dvojčinného bezpístnicového pneumatického válce a lineárního magnetického snímače polohy. Polohování, nutné pro provedené zkoušky, zajišťují kuličkové šrouby a krokové

motory. Pneumatický okruh je rozdělen na dvě části, testovací okruh a pomocný okruh. Dále je testovací zařízení vybaveno led osvětlením, dotykovým panelem a čtečkou kódů.

4.5 Systém podstatných veličin

Je důležité vytvořit systém podstatných veličin, který by měl zahrnovat veličiny podstatné z hlediska řešeného problému. Entita s určitými vlastnostmi je ovlivněna okolím a následně toto okolí ovlivňuje. Jednotlivé charakteristiky entity vytváří podmnožiny veličin S0 až S8, které jsou popsány níže. Zanedbání nebo vynechání některé podmnožiny může vést k nedostačujícím nebo nesprávným výsledkům. [23]

4.5.1 S0 – Veličiny popisující okolí entity

Entita se využívá při procesu kontroly pneumatických válců. Je obklopena vzduchem, ideálně o stálé teplotě. Entita přichází do kontaktu s proškolenou obsluhou a působí na ni zatížení od hmotnosti testovaných pneumatických válců.

4.5.2 S1 – Struktura, geometrie a topologie entity

Entita je vnímána jako trojrozměrný objekt, jehož tvar a rozměry byly vytvořeny na základě technických výpočtů, tyto výpočty vychází ze zadání. Tvar a rozměry entity jí umožňují vykonávat funkci tak, jak je od ní očekáváno. Tuto podmnožinu charakterizují její jednotlivé komponenty.

4.5.3 S2 – Podstatné vazby a interakce entity s okolím

Entita je umístěna na místě k tomu určenému (podlaha pracoviště). Dále dochází ke kontaktu s proškolenou obsluhou při zakládání pneumatického válce a při ovládání entity pomocí ovládacího panelu. Entita je také v kontaktu s testovaným pneumatickým válcem. Pro správnou funkci je nutné přivést elektrickou energii a stlačený vzduch.

4.5.4 S3 – Aktivace entity s okolím

Entita je aktivována řídicí jednotkou, která je závislá na elektrické energii a umožní rozpohybovat jednotlivé komponenty entity. Řídicí jednotku naprogramovala osoba k tomu způsobila.

4.5.5 S4 – Ovlivňování entity s okolím

Na pohybující se části entity působí tíhová síla, při rozpohybování těchto částí na ně také působí setrvačné síly, což je nutné brát v úvahu.

4.5.6 S5 – Oborové vlastnosti prvků struktury entity

Entita je vyrobena z různých materiálů, které mají své specifické vlastnosti, jako je mez pevnosti R_m , mez kluzu R_e , modul pružnosti ve smyku G , modul pružnosti v tahu E , hustota ρ apod.

4.5.7 S6 – Veličiny popisující procesy a stavy entity

Napěťové charakteristiky popisují procesy a stavy entity. Vznikem kroutícího momentu dochází k zatížení entity a vznikají síly, které zatěžují jednotlivé komponenty entity.

4.5.8 S7 – Veličiny popisující projevy entity

Projevy entity můžeme popsat deformačními stavy a lineární rychlostí v jednotlivých bodech entity.

4.5.9 S8 – Důsledky projevů

Důsledkem projevů může být vznik mezního stavu deformace nebo mezního stavu určitého typu lomu na některé z částí entity, což může způsobit změnu vlastností entity, které mohou zapříčinit nepřesnost měření, případně tyto vlastnosti mohou způsobit nefunkčnost entity.

4.6 Kritéria rozhodování a stanovení jejich vah

Výběr vhodného hodnotícího kritéria nám umožní jasnější a jednodušší hodnocení jednotlivých variant. Jako hodnotící kritérium byla zvolena Saatyho metoda párového srovnání. Metoda bude zpracována dle literatury [24], [25].

Saatyho metoda spočívá ve vytvoření čtvercové matice S (1), která slouží ke zjištění preferenčních vztahů dvojic kritérií uspořádaných do matice. Vždy probíhá posuzování kritérií uvedených v řádku matice s kritérii, která jsou uvedena ve sloupci matice. Určuje se směr preference a velikost této preference, která je vyjádřena pomocí deskriptorů, které mají daný počet bodů ze zvolené bodové stupnice. Popis deskriptorů a bodové ohodnocení je v (Tab 3).

Tab 3) Deskriptor pro Saatyho metodu [25]

Počet bodů	Deskriptor
1	Kritéria jsou stejně významná.
3	První kritérium je slabě významnější než druhé kritérium.
5	První kritérium je dosti významnější než druhé kritérium.
7	První kritérium je prokazatelně významnější než druhé kritérium.
9	První kritérium je absolutně významnější než druhé kritérium.

Hodnoty ze stupnice párového srovnání se zapisují do Saatyho matice S , kterou znázorňuje rovnice (1).

$$S = \begin{bmatrix} 1 & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ s_{12} & 1 & \cdots & s_{2n} \\ \cdots & \cdots & 1 & \cdots \\ s_{n1} & s_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Kde: n – Počet posuzovaných kritérií [-]

s_{ij} – Rozložení řádků a sloupců v matici [-]

Na diagonále matice se nacházejí jedničky, z důvodu toho, že stejná kritéria jsou mezi sebou rovnocenná. Matice S je čtvercová, která má $n \times n$ prvků:

$$s_{ii} = 1 \quad (2)$$

Dále pro rozložení řádků a sloupců v matici platí:

$$s_{ji} = \frac{1}{s_{ij}} \quad (3)$$

Kde: s_{ij} – Rozložení řádků a sloupců v matici [-].

Pro výpočet vah jednotlivých posuzovaných kritérií se využívá vzorce:

$$G_i = \sqrt[n]{s_{11} + s_{12} + \dots + s_{nn}} = \left(\prod_{j=1}^n s_{ij} \right)^{1/n} \quad (4)$$

Kde: n – Počet posuzovaných kritérií [-]

s_{11} – Hodnota v prvním řádku a v prvním sloupci matice [-]

s_{12} – Hodnota v prvním řádku a ve druhém sloupci matice [-]

s_{nn} – Hodnota v n -tém řádku a v n -tém sloupci matice [-]

S_{ij} – Rozložení řádků a sloupců v matici [-]

Dále jsou řádkové geometrické průměry znormovány a dostáváme normované váhy. Normování probíhá dle vzorce:

$$v_i = \frac{G_i}{\sum_{i=1}^n G_i} \quad (5)$$

Kde: G_i – Geometrický průměr [-]

Pro výběr konkrétního řešení bude použita bodovací metoda. Bodovací metoda předpokládá zvolení bodové stupnice, pro posuzování jednotlivých kritérií. Bodová stupnice také často bývá opatřena deskriptorem (Tab 4). Čím vyšší počet bodů, tím se řešení více blíží ideálu. Hodnotitel přiřazuje bodové hodnocení jednotlivým variantám dle subjektivních postojů.

Normovaná váha jednotlivých posuzovaných kritérií se vynásobí daným bodovým hodnocením a dostaneme výsledné hodnocení, dle vzorce:

$$v_{hi} = v_i \cdot b_{hi} \quad (6)$$

Kde: v_i – Normovaná váha daného kritéria [-]

b_{hi} – Bodové hodnocení daného kritéria

Tab 4) Deskriptor pro bodovací metodu [24]

Počet bodů	Deskriptor
1	Nevyhovuje (minimální hodnota).
2	Vyhovuje málo.
3	Vyhovuje dobře.
4	Vyhovuje velmi dobře.
5	Vyhovuje výborně (maximální hodnota).

5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH

V této kapitole je proveden konstrukční návrh testovacího zařízení pneumatických válců.

5.1 Vstupní parametry

Vstupní parametry pro vlastní konstrukční návrh testovacího zařízení pneumatických válců byly stanoveny po dohodě s vedoucím diplomové práce takto:

- typ pneumatického válce – kompaktní pneumatický válec,
- maximální zdvih 300 mm,
- průměr pístu 12 až 100 mm.

Na obrázku (*Obr. 8*) je zobrazen příklad kompaktního testovaného pneumatického válce od firmy Stránský a Petržík.



Obr. 8) Příklad testovaného pneumatického válce [33]

5.2 Výběr lineárního snímače polohy

Výběr vhodného lineárního snímače probíhá pomocí vícekritériální analýzy. Tato vícekritériální analýza je popsána v předchozí kapitole (*kap. 4.6*). Volba snímače je také provedena v příloze (*Příloha_1 – Vícekritériální analýza – Výběr snímače*).

5.2.1 Posuzovaná kritéria

Bylo vytipováno několik kritérií (*Tab 5*), které jsou zohledněny při výběru vhodného lineárního snímače polohy.

Tab 5) Kritéria výběru lineárního snímače polohy

Číslo kritéria	Název kritéria	Tendence změny
1	Přesnost	Rostoucí
2	Opakovatelnost	Rostoucí
3	Rozsah měření	Rostoucí
4	Pořizovací náklady	Klesající
5	Složitost instalace	Klesající
6	Kontrola a údržba	Klesající

Přesnost

Požadavek na to, aby snímač byl schopen plnit požadované parametry. Použitím snímače s nevhodnou přesností by mohlo dojít k chybnému vyhodnocení správnosti

požadovaného rozměru testovaného pneumatického válce. Vysoká přesnost zvyšuje cenu snímače.

Opakovatelnost

Požadavek na to, aby snímač byl schopen plnit požadované parametry. Použitím snímače s nevhodnou opakovatelností, v tomto případě s nízkou, by mohlo dojít k chybnému vyhodnocení správnosti požadovaného rozměru testovaného pneumatického válce.

Rozsah měření

Požadavek na to, aby snímač byl schopen plnit požadovanou funkci. Parametr by měl být přiměřený požadovanému kontrolovanému parametru.

Pořizovací náklady

Snaha minimalizace nákladů při zachování splnění požadovaných parametrů.

Složitost instalace

Instalace snímače by měla být snadno proveditelná. V případě poruchy snímače by měla být výměna za nový co nejjednodušší.

Kontrola a údržba

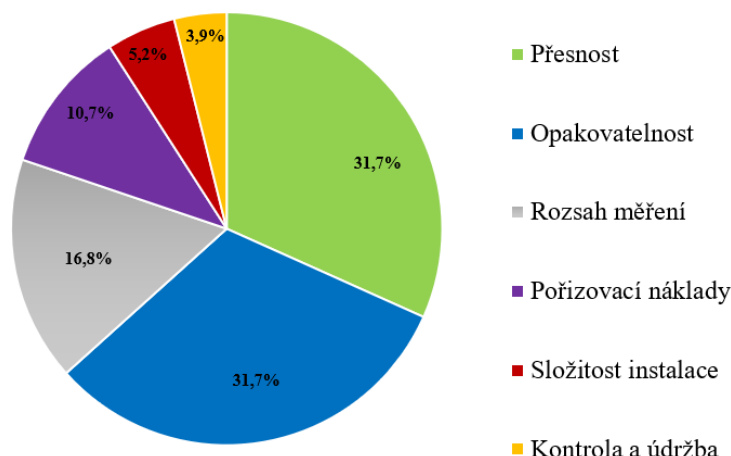
Udává časové intervaly, nutné pro kontrolu snímače, aby byly zachovány požadované parametry snímače. Snahou je, aby snímač byl co možná nejvíce bezúdržbový.

5.2.2 Stanovení vah posuzovaných kritérií

Byly stanoveny váhy jednotlivých posuzovaných kritérií, výsledky je možné vidět v tabulce (Tab 6) a na obrázku (Obr. 9).

Tab 6) Stanovení vah posuzovaných kritérií

Kritérium	1	2	3	4	5	6	Geometrický průměr (G _i)	Váha (v _i)
1	1	1	3	3	5	5	2,47	0,32
2	1	1	3	3	5	5	2,47	0,32
3	1/3	1/3	1	3	3	5	1,31	0,17
4	1/3	1/3	1/3	1	3	3	0,83	0,11
5	1/5	1/5	1/3	1/3	1	1	0,41	0,05
6	1/5	1/5	1/5	1/3	1	1	0,31	0,04
Celkem							7,78	1,00



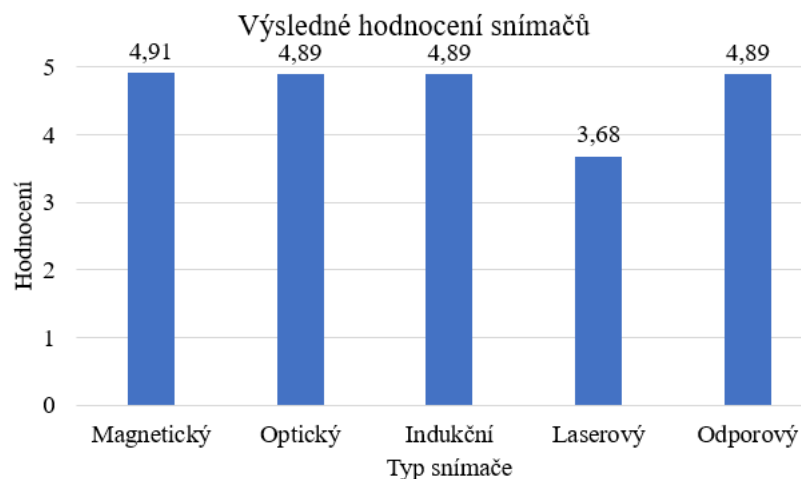
Obr. 9) Váhy posuzovaných kritérií snímačů

5.2.3 Výběr konkrétního lineárního snímače polohy

Pomocí bodovací metody bude vybrán nejvhodnější lineární snímač polohy. Výsledky je možné vidět v tabulce (Tab 7) a obrázku (Obr. 10).

Tab 7) Bodovací metoda – výběr vhodného lineárního snímače polohy

Snímač		Magnetický		Optický		Indukční	
Kritérium	Váha kritéria (v_i)	Bodové hodnocení (b_{hi})	Výsledné hodnocení (v_{hi})	Bodové hodnocení (b_{hi})	Výsledné hodnocení (v_{hi})	Bodové hodnocení (b_{hi})	Výsledné hodnocení (v_{hi})
1	0,32	5	1,58	5	1,58	5	1,58
2	0,32	5	1,58	5	1,58	5	1,58
3	0,17	5	0,84	5	0,84	5	0,84
4	0,11	5	0,53	4	0,43	4	0,43
5	0,05	4	0,21	5	0,26	5	0,26
6	0,04	4	0,16	5	0,20	5	0,20
Výsledek		4,91		4,89		4,89	
Snímač		Laserový		Odporový			
Kritérium	Váha kritéria (v_i)	Bodové hodnocení (b_{hi})	Výsledné hodnocení (v_{hi})	Bodové hodnocení (b_{hi})	Výsledné hodnocení (v_{hi})		
1	0,32	3	0,95	5	1,58		
2	0,32	5	1,58	5	1,58		
3	0,17	4	0,67	5	0,84		
4	0,11	2	0,21	4	0,43		
5	0,05	2	0,10	5	0,26		
6	0,04	4	0,16	5	0,20		
Výsledek		3,68		4,89			



Obr. 10) Výsledné hodnocení snímačů

Jak je vidět z tabulky (Tab 7) a obrázku (Obr. 10) výsledky multikriteriální analýzy jsou velmi těsné. Z analýzy vyplynulo, že nevhodnější je magnetický lineární snímač polohy, proto bude použit tento typ snímače.

Zvolený lineární snímač polohy

Pro měření byl zvolen magnetický lineární snímač polohy od firmy Renishaw s označením LM15IAD10HA10D00. Tento snímač je vysoce odolný vůči nárazům a vibracím. Zvolený snímač je na obrázku (Obr. 11), v tabulce (Tab 8) jsou jeho základní parametry.

Tab 8) Parametry zvoleného lineárního snímače polohy [29]

Rozlišovací schopnost [μm]	Přesnost měření [μm]	Opakovatelnost [μm]	Maximální rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
50	± 100	± 50	0,62



Obr. 11) Zvolený lineární snímač polohy [29]

5.3 Návrh variant připojení

V této kapitole, tedy kapitole návrh variant připojení, je řešen princip připojení testovaného pneumatického válce k testovacímu pneumatickému obvodu, neřeší se zde upevnění lineárního pohonu přípojovacího válce nebo upnutí testovaného pneumatického válce.

Pro správné provedení připojení se předpokládá, že testovaný pneumatický válec je upnut a při připojování nedojde k nežádoucímu pohybu tohoto testovaného pneumatického válce a známe také jeho polohu a všechny rozměry. Poloha testovaného pneumatického válce je důležitá pro to, abychom znali polohu připojovacích otvorů.

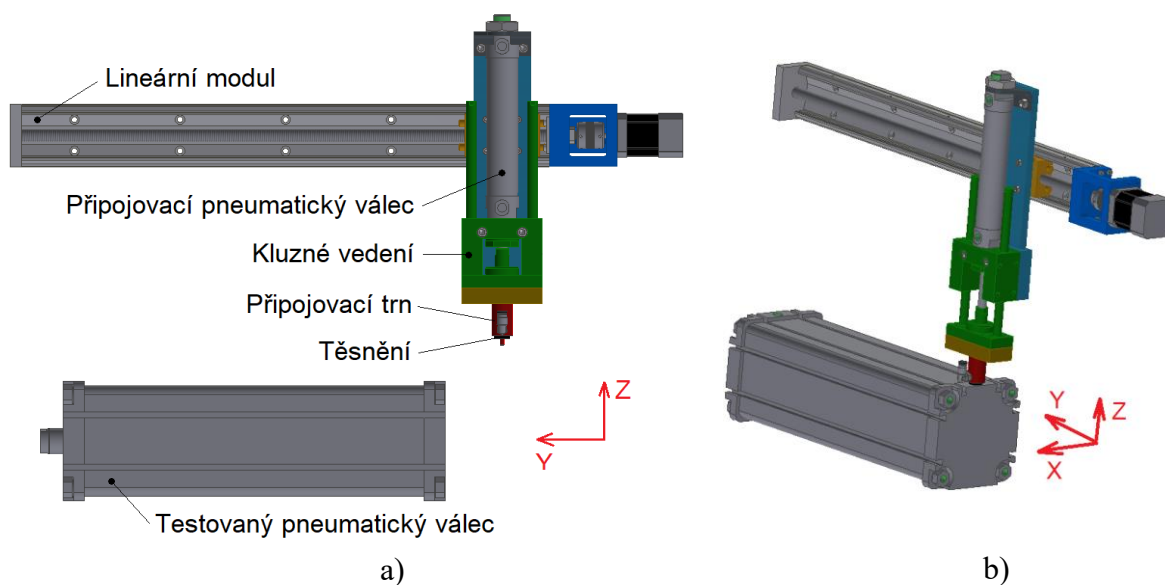
5.3.1 Varianta 1

Připojení stlačeného vzduchu probíhá pomocí připojovacího pneumatického válce a připojovacího trnu. Připojovací pneumatický válec je vybaven kluzným lineárním vedením. Toto lineární vedení zabraňuje otáčení pístní tyče, a tedy i připojovacímu trnu umístěnému na pístní tyči připojovacího pneumatického válce. Připojovací pneumatický válec najede pomocí polohování, v ose Y, nad připojovací díru testovaného pneumatického válce. Následně proběhne připojení stlačeného vzduchu tak, že bude připojovací trn pomocí připojovacího pneumatického válce vsunut do připojovací díry testovaného pneumatického válce a tím proběhne připojení.

Jedná se o plně univerzální řešení a není potřeba provádět úpravy testovaného pneumatického válce. Varianta 1 má nižší požadavky na přesnost polohování a současně jedná se o nejlevnější variantu.

Varianta 1A

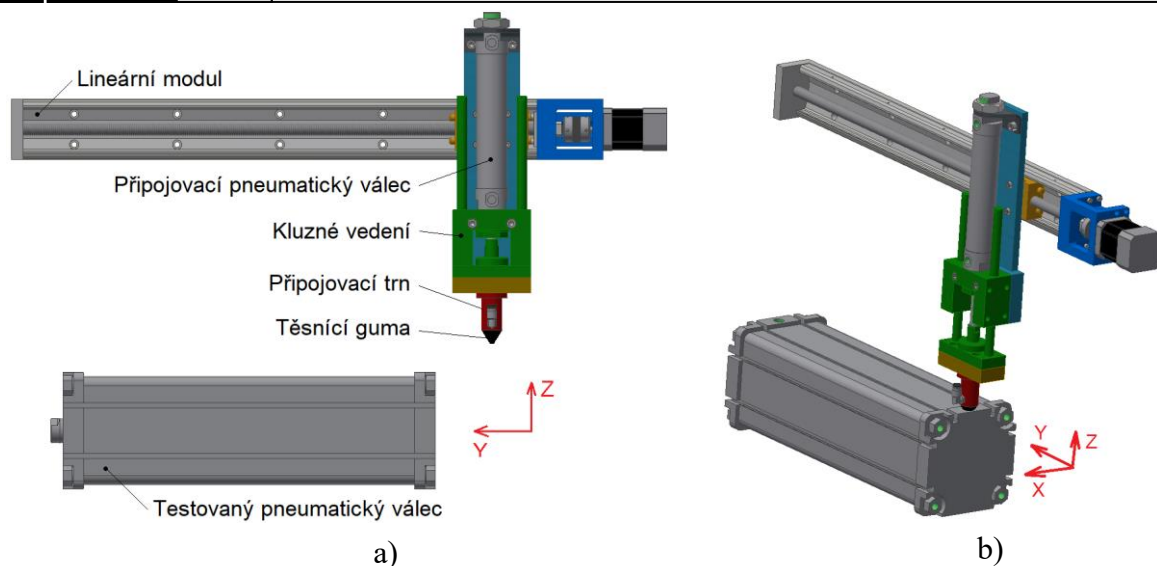
Jedná se o válcový připojovací trn, který je vybaven těsněním, toto těsnění nám zajistí těsnost nutnou pro provedení zkoušky. Popis a princip varianty 1A je patrný z obrázku (Obr. 12).



Obr. 12) Varianta připojení 1A a) Popis, b) Připojení

Varianta 1B

Jedná se o kuželový připojovací trn, na kterém je umístěna těsnící guma, která nám zajistí těsnost nutnou k provedení zkoušky. Předpokládá se, že po určitém počtu testovacích cyklů dojde k poškození těsnící guma na kuželovém trnu a bude nutno tuto gumu nahradit novou. Popis a princip varianty 1B je patrný z obrázku (Obr. 13).



Obr. 13) Varianta připojení 1B a) Popis, b) Připojení

5.3.2 Varianta 2

Připojení stlačeného vzduchu probíhá pomocí připojovacího pneumatického válce a rychlokonektoru od firmy WEH. Rychlokonektor je na obrázku níže (Obr. 14). Výhoda tohoto rychlokonektoru spočívá v tom, že je vybaven speciálními připojovacími čelisti a není tak nutné ho na testovaný pneumatický válec šroubovat. Připojení stlačeného vzduchu na testovaný pneumatický válec probíhá tak, že připojovací pneumatický válec, na kterém je umístěn rychlokonektor najede pomohou polohování, v ose Y, nad připojovací díru testovaného pneumatického válce. Předtím než připojovací pneumatický válec vsune rychlokonektor do připojovací díry testovaného pneumatického válce se dělené čelisti sevrou, aby bylo možné vsunout rychlokonektor do připojovací díry. Připojovací pneumatický válec vsune rychlokonektor do připojovací díry testovaného pneumatického válce a jakmile je konektor v požadované poloze, dělené čelisti se rozevrou v připojovací díře testovaného pneumatického válce a tím tak dojde k připojení a je zaručena nutná těsnost pro provedení zkoušky. Přívod stlačeného vzduchu pro testování je přiveden z boční strany konektoru. Stlačený vzduch potřebný pro ovládání čelistí je přiveden z horní strany konektoru. Rychlokonektor má čelisti pro připojení na závit G1/4“.

Tato varianta není plně univerzální a pro testované válce s připojovacím závitem M5 a G1/8“ je nutné našroubovat přechodku před prováděním zkoušky. Varianta 2 má vyšší požadavky na přesnost polohování než varianta 1.

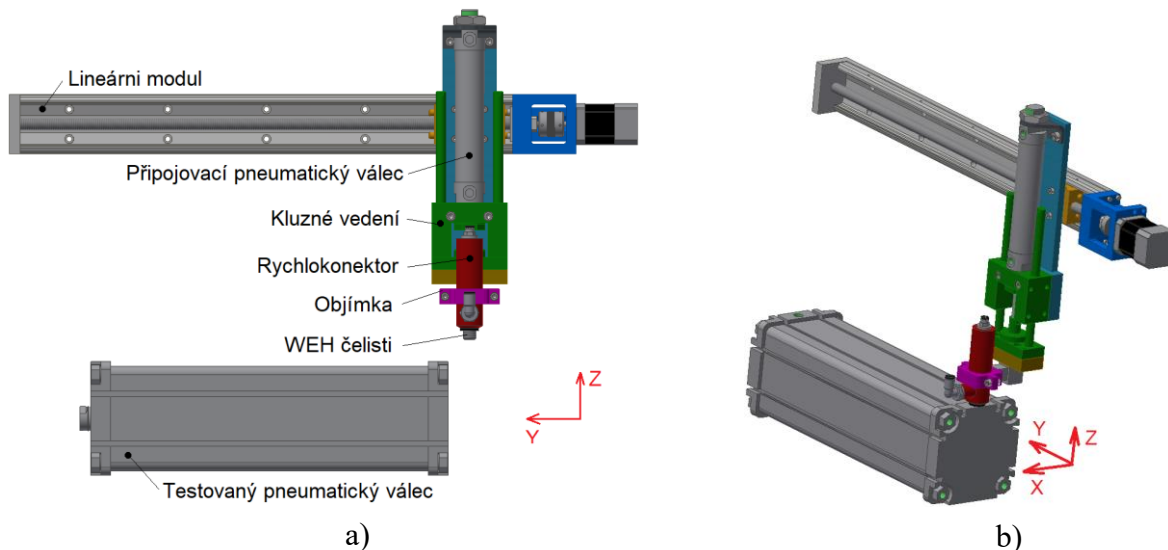


Obr. 14) Rychlokonektor [26]

1 – možnosti ovládnání, 2 – WEH čelisti, 3 – tlakový ovládací píst čelistí, 4 – těsnění, 5 – tělo, 6 – ovládací modul

Varianta 2A

Rychlokonektor je upnut pomocí objímky, která je připojena k pístní tyči připojovacího pneumatického válce. Objímka se dotýká části rychlokonektoru, která slouží k přívodu stlačeného vzduchu pro provedení zkoušky a nemělo by tak dojít k případnému posunutí mezi objímkou a rychlokonektorem při připojování. Připojovací pneumatický válec je vybaven kluzným vedením pístní tyče, které zajistí to, že nedojde k nežádoucímu otáčení pístní tyče, na které je rychlokonektor umístěn. Připojovací pneumatický válec a rychlokonektor nejsou v jedné ose a může tak při připojování dojít k ohnutí, případně prasknutí upnutí rychlokonektoru. Popis a princip varianty 2A je patrný z obrázku (Obr. 15).

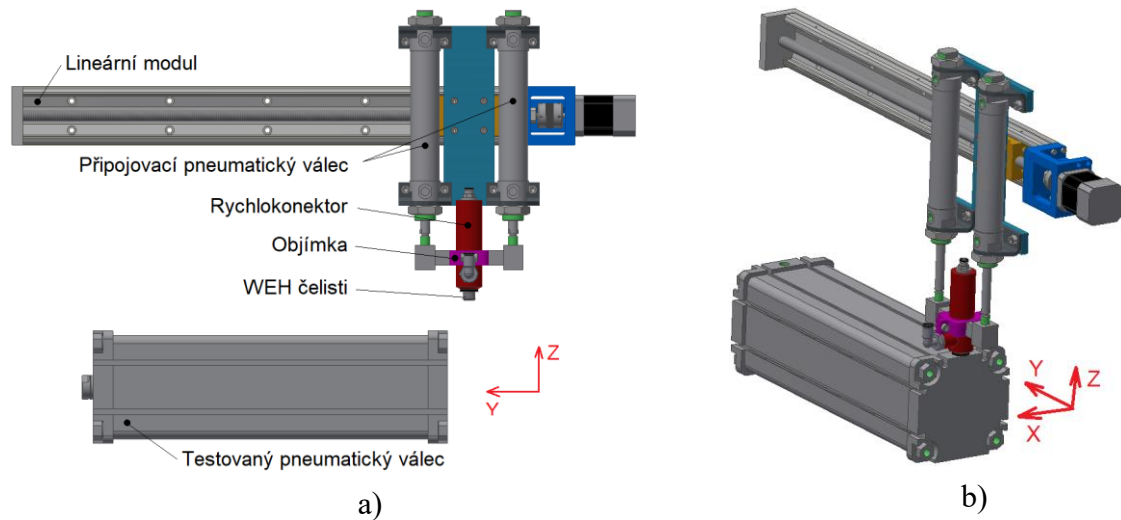


Obr. 15) Varianta připojení 2A a) Popis, b) Připojení

Varianta 2B

Rychlokonektor je upnut pomocí objímky ke dvěma připojovacím pneumatickým válcům, přesněji k pístním tyčím těchto válců. Objímka se dotýká části rychlokonektoru, která slouží k přívodu stlačeného vzduchu pro provedení zkoušky a nemělo by tak dojít k případnému posunutí mezi objímkou a rychlokonektorem při připojování. Při použití dvou

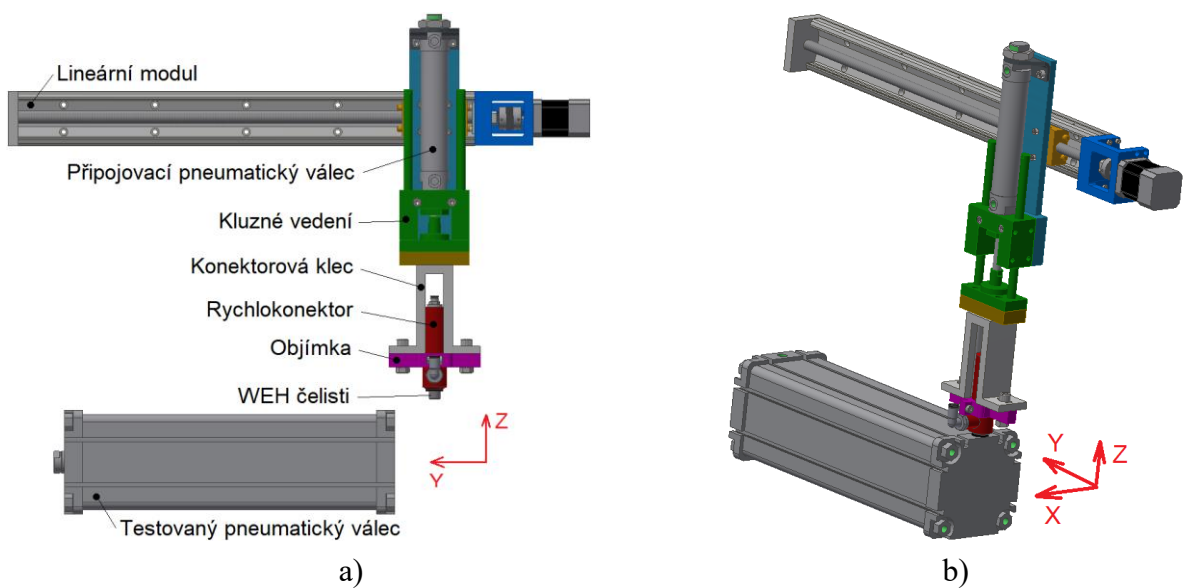
připojovacích pneumatických válců zde nedojde k nežádoucímu otočení rychlokonektoru. Popis a princip varianty 2B je patrný z obrázku (Obr. 16).



Obr. 16) Varianta připojení 2B a) Popis, b) Připojení

Varianta 2C

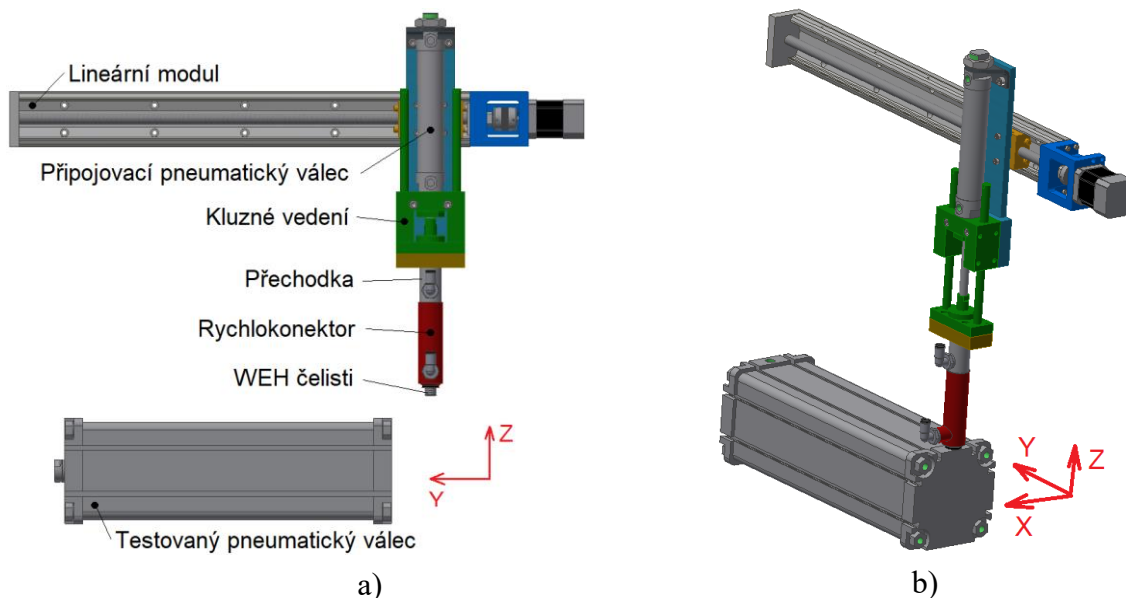
Rychlokonektor je upnut pomocí objímky a konektorové klece k pístní tyči připojovacího pneumatického válce. Připojovací pneumatický válec je vybaven kluzným vedením pístní tyče, které zajistí to, že nedojde k nežádoucímu otáčení pístní tyče, na které je rychlokonektor umístěn. Objímka se dotýká části rychlokonektoru, která slouží k přivedení stlačeného vzduchu pro provedení zkoušky a nemělo by tak dojít k případnému posunutí mezi objímkou a rychlokonektorem při připojování. Připojení probíhá v ose pístní tyče a rychlokonektoru. Přívod stlačeného vzduchu pro ovládání čelistí rychlokonektoru je pomocí kolene přiveden do konektorové klece. Popis a princip varianty 2C je patrný z obrázku (Obr. 17).



Obr. 17) Varianta připojení 2C a) Popis, b) Připojení

Varianta 2D

Rychlokonektor je pomocí přechodky upevněn k pístní tyči přípojovacího pneumatického válce. Přípojovací pneumatický válec je vybaven kluzným vedením pístní tyče, které zajistí to, že nedojde k nežádoucímu otáčení pístní tyče, na které je rychlokonektor umístěn. Připojení probíhá v ose pístní tyče a rychlokonektoru. Prívod stlačeného vzduchu pro ovládání čelistí rychlokonektoru je vyveden z přechodky na boční stranu konektoru. Popis a princip varianty 2D je patrný z obrázku (Obr. 18).

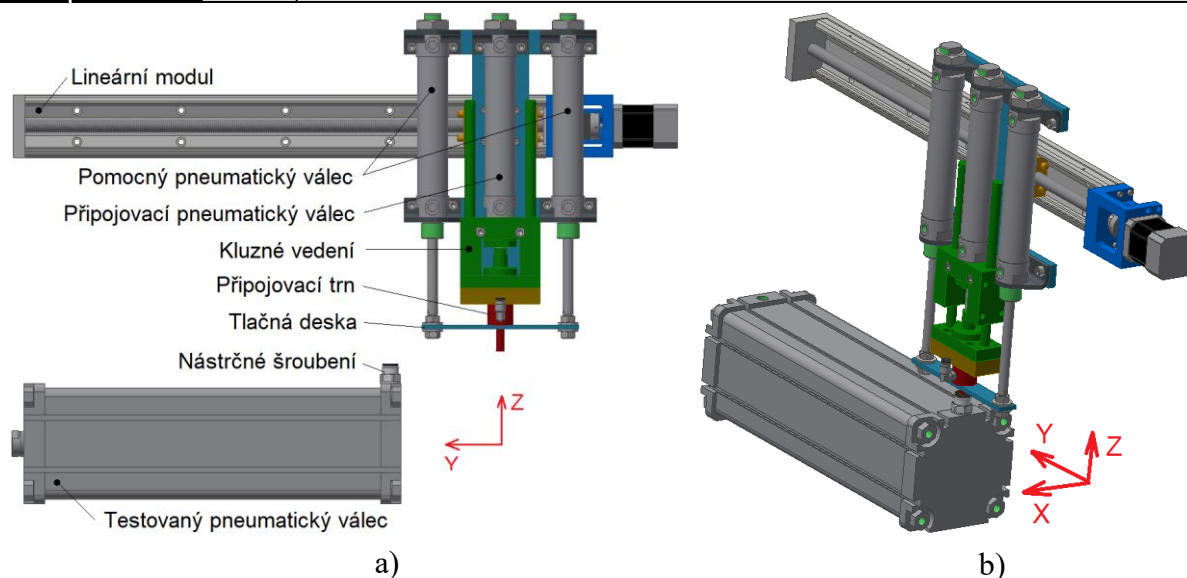


Obr. 18) Varianta připojení 2D a) Popis, b) Připojení

5.3.3 Varianta 3

Varianta 3 je vybavena třemi pneumatickými válci, jeden přípojovací a dva pomocné. Na pístní tyči přípojovacího pneumatického válce je umístěn přípojovací trn. Přípojovací pneumatický válec je vybaven kluzným vedením pístní tyče, které zajistí to, že nedojde k nežádoucímu otáčení pístní tyče, na které je přípojovací trn umístěn. Na pístních tyčích pomocných pneumatických válců je umístěna tlačná deska. Na testovaný pneumatický válec se před prováděním testu přišroubuje nástrčné šroubení. Válce pomocí polohování najedou nad přípojovací nástrční šroubení, v ose Y, tak že přípojovací válec je v ose tohoto šroubení. Pomocné válce pomocí tlačné desky stlačí uvolňovací kroužek nástrčného šroubení, přípojovací válec vsune trn do nástrčného šroubení a tlačné válce uvolní uvolňovací kroužek. Pomocné válce musejí mít nastaven menší výsledný tlak než válec přípojovací. Jakmile je trn zasunut do nástrčného šroubení, přítlačná deska odjíždí směrem nahoru a dojde k nárazu desky do osazení na přípojovacím trnu. Tento náraz by neměl být tak velký, aby způsobil vytržení trnu z nástrčného šroubení. Při odpojení tlačné válce opět pomocí tlačné desky stlačí uvolňovací kroužek nástrčného šroubení a přípojovací válec vysune trn z nástrčného šroubení. Popis a princip varianty 3 je patrný z obrázku (Obr. 19).

Varianta 3 není plně univerzální. Na každý testovaný pneumatický válec se musí přišroubovat nástrčné šroubení. Tato varianta má také vyšší požadavky na přesnost polohování než varianta 1. Jedná se o nejdražší variantu.



Obr. 19) Varianta připojení 3 a) Popis, b) Připojení

5.4 Výběr varianty připojení

Výběr varianty připojení probíhá pomocí vícekritériální analýzy. Tato vícekritériální analýza je popsána v jedné z předchozích kapitol (*kap. 4.6*). Volba varianty připojení je také provedena v příloze (*Příloha_2 – Vícekritériální analýza – Výběr připojení*).

5.4.1 Posuzovaná kritéria

Bylo stanoveno několik kritérií, které jsou zohledněny při výběru vhodné varianty připojení. Tato kritéria jsou zobrazeny v tabulce (*Tab 9*). Níže je také proveden stručný popis posuzovaných kritérií.

Tab 9) Kritéria výběru varianty připojení

Číslo kritéria	Název kritéria	Tendence změny
1	Univerzálnost	Rostoucí
2	Konstrukční složitost	Klesající
3	Spolehlivost připojení	Rostoucí
4	Náklady na výrobu/pořízení	Klesající
5	Přesnost polohování	Klesající
6	Hmotnost	Klesající

Univerzálnost

Zde se klade důraz na to, aby varianta připojení šla použít pro co nejvíce typů pneumatických válců a nebylo nutné provádět změny v konstrukci varianty například používáním přechodek nebo nástrčných šroubení.

Konstrukční složitost

Zde se klade důraz na to, aby byla varianta co nejjednodušší, snadno proveditelná a v případě potřeby snadno dosažitelná a opravitelná.

Spolehlivost připojení

Připojení musí proběhnout co nejjednodušeji, musí mít potřebnou těsnost pro provedení zkoušky a musí proběhnout na první pokus.

Náklady na výrobu/pořízení

Snaha o využití co nejvíce standardizovaných komponent, aby se zabránilo nákladnému vyrábění nestandardních komponent a aby použité komponenty odpovídaly potřebné funkci.

Přesnost polohování

Některé varianty vyžadují přesnější polohování. Nutnost přesnějšího polohování je spíše nežádoucí, protože zpravidla zvedá cenu varianty a při případné chybě může dojít k poškození komponent, testovaného pneumatického válce nebo případně celého testovacího zařízení.

Hmotnost

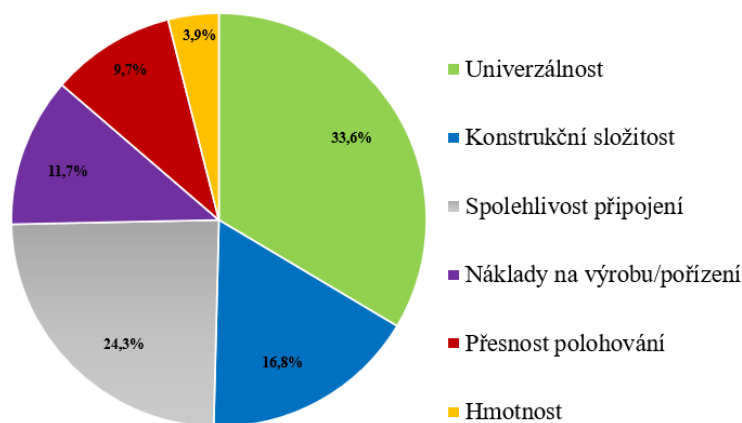
Snahou je, aby měla varianta co nejmenší hmotnost a tím tak zmenšovala nároky na nosnou konstrukci a dimenzování pohonů. Kvůli těmto okolnostem by poté mohly být náklady na testovací zařízení výrazně vyšší.

5.4.2 Stanovení vah posuzovaných vlastností

Byly stanoveny váhy jednotlivých posuzovaných kritérií, výsledky je možné vidět v tabulce (Tab 10) a na obrázku (Obr. 20).

Tab 10) Stanovení vah posuzovaných kritérií variant připojení

Kritérium	1	2	3	4	5	6	Geometrický průměr (Gi)	Váha (vi)
1	1	1	3	3	3	7	2,40	0,34
2	1	1	1/3	3	1	3	1,20	0,17
3	1/3	3	1	3	3	3	1,73	0,24
4	1/3	1/3	1/3	1	3	3	0,83	0,12
5	1/3	1	1/3	1/3	1	3	0,69	0,10
6	1/7	1/3	1/3	1/3	1/3	1	0,28	0,04
Celkem							7,14	1,00



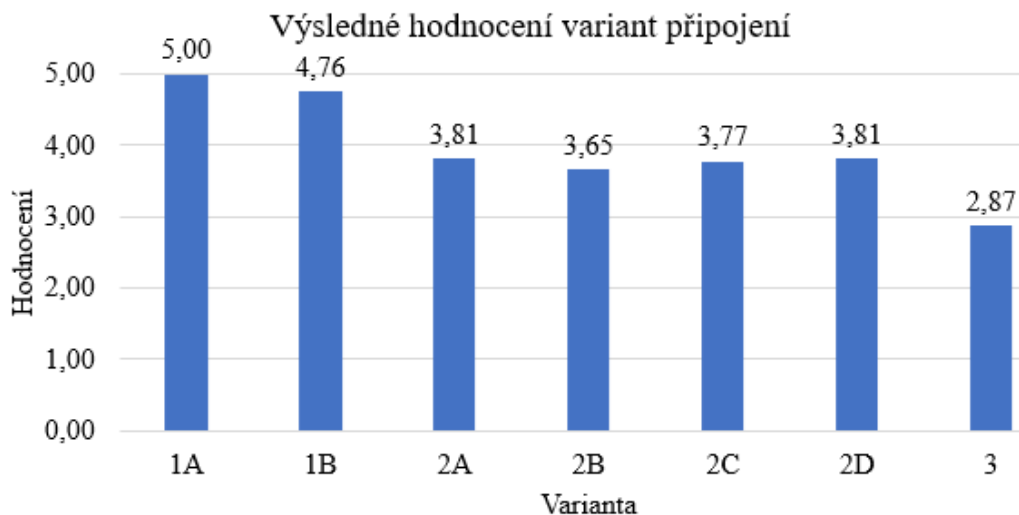
Obr. 20) Váhy posuzovaných kritérií variant připojení

5.4.3 Výběr konkrétní varianty připojení

Pomocí bodovací metody bude vybrána nejvhodnější varianta připojení. Výsledky je možné vidět v tabulce (Tab 11) a obrázku (Obr. 21).

Tab 11) Bodovací metoda – výběr vhodné varianty připojení

Varianta		1A		1B		2A	
Kritérium	Váha kritéria (v_i)	Bodové hodnocení (b_{hi})	Výsledné hodnocení (v_{hi})	Bodové hodnocení (b_{hi})	Výsledné hodnocení (v_{hi})	Bodové hodnocení (b_{hi})	Výsledné hodnocení (v_{hi})
1	0,34	5	1,68	5	1,68	3	1,01
2	0,17	5	0,84	5	0,84	4	0,67
3	0,24	5	1,21	4	0,97	5	1,21
4	0,12	5	0,58	5	0,58	4	0,47
5	0,10	5	0,49	5	0,49	3	0,29
6	0,04	5	0,20	5	0,20	4	0,16
Výsledek		5,00		4,76		3,81	
Varianta		2B		2C		2D	
Kritérium	Váha kritéria (v_i)	Bodové hodnocení (b_{hi})	Výsledné hodnocení (v_{hi})	Bodové hodnocení (b_{hi})	Výsledné hodnocení (v_{hi})	Bodové hodnocení (b_{hi})	Výsledné hodnocení (v_{hi})
1	0,34	3	1,01	3	1,01	3	1,01
2	0,17	4	0,67	4	0,67	4	0,67
3	0,24	5	1,21	5	1,21	5	1,21
4	0,12	3	0,35	4	0,47	4	0,47
5	0,10	3	0,29	3	0,29	3	0,29
6	0,04	3	0,12	3	0,12	4	0,16
Výsledek		3,65		3,77		3,81	
Varianta		3					
Kritérium	Váha kritéria (v_i)	Bodové hodnocení (b_{hi})	Výsledné hodnocení (v_{hi})				
1	0,34	2	0,67				
2	0,17	3	0,50				
3	0,24	4	0,97				
4	0,12	3	0,35				
5	0,10	3	0,29				
6	0,04	2	0,08				
Výsledek		2,87					



Obr. 21) Výsledné hodnocení variant připojení

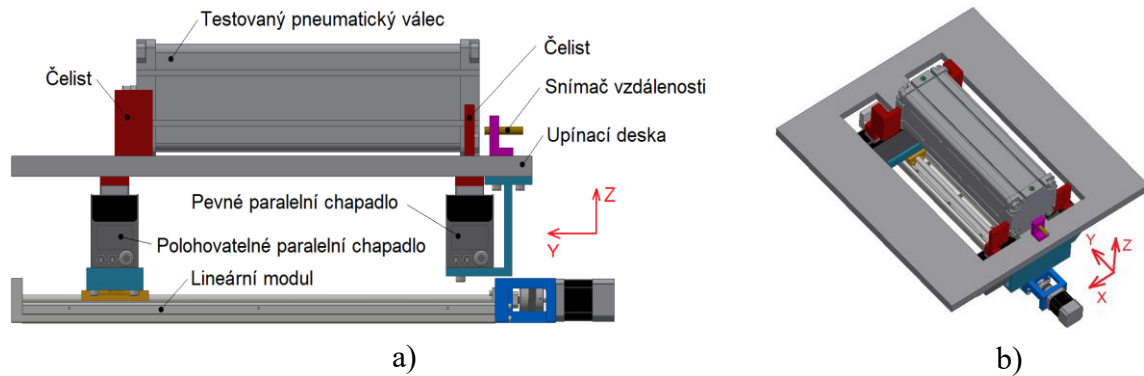
V tabulce (Tab 11) a obrázku (Obr. 21) vidíme výsledky multikriteriální analýzy. Z analýzy tedy vyplynulo, že nejvhodnější varianta připojení je varianta 1A, proto bude použita tato varianta.

5.5 Návrh variant upínání

V této kapitole, tedy kapitole návrh variant upínání, je řešen princip upínání testovaného pneumatického válce, neřeší se zde upevnění jednotlivých komponent potřebných pro upnutí testovaného pneumatického válce. Pro správné upnutí se předpokládá, že víme přesně o jaký testovaný pneumatický válec se jedná a známe také všechny jeho rozměry.

5.5.1 Varianta 1

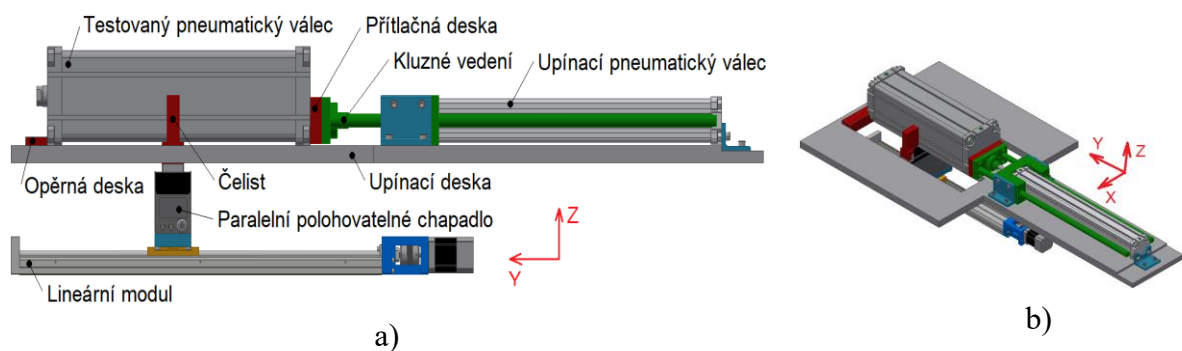
Varianta 1 se skládá z upínací desky, dvou paralelních chapadel, přičemž jedno je pevné a druhé polohovatelné v ose Y pomocí lineárního modulu, a jednoho snímače vzdálenosti. Testovaný pneumatický válec se upíná za příruby pomocí paralelních chapadel. Čelisti paralelních chapadel jsou opatřeny technickým plastem, aby při upínání nedošlo k poškrábání testovaného pneumatického válce. Testovaný pneumatický válec se umístí na upínací desku na vyznačené místo. Snímač vzdálenosti změří polohu testovaného pneumatického válce v ose Y a polohovatelné chapadlo najede na příslušnou polohu. Jakmile je polohovatelné paralelní chapadlo v požadované poloze, tak obě paralelní chapadla sevřou testovaný pneumatický válec, tím dojde k upnutí a zároveň k vystředí v ose X. Popis a princip varianty 1 je patrný z obrázku (Obr. 22).



Obr. 22) Varianta upínání 1 a) Popis, b) 3D pohled

5.5.2 Varianta 2

Varianta 2 se skládá z upínací desky, jednoho paralelního chapadla, polohovatelného v ose Y pomocí lineárního modulu, a jednoho upínacího pneumatického válce. Čelisti paralelního polohovatelného chapadla a přítlačná deska upínacího pneumatického válce jsou opatřeny technickým plastem, aby při upínání nedošlo k poškrábání testovaného pneumatického válce. Upínací pneumatický válec je vybaven kluzným vedením, aby nedocházelo k nežádoucímu otáčení přítlačné desky. Upínání probíhá na přírubby a tělo testovaného pneumatického válce. Na upínací desce je umístěna pevná přední opěrná deska. Testovaný pneumatický válec se umístí na upínací desku, co nejbližší k pevné přední opěrné desce. Upínací pneumatický válec předupne testovaný pneumatický válec tak, že ho dorazí, pomocí přítlačné desky, k pevné přední opěrné desce, silou tak velkou, aby umožnila paralelnímu chapadlu válec vystředit v ose X. Polohovatelné paralelní chapadlo najede na střed válce, jakmile je v požadované pozici dojde k sevření čelistí a tím tak k vystředění testovaného pneumatického válce ose X. Následně upínací pneumatický válec provede doupenutí testovaného pneumatického válce. Popis a princip varianty 2 je patrný z obrázku (Obr. 23).

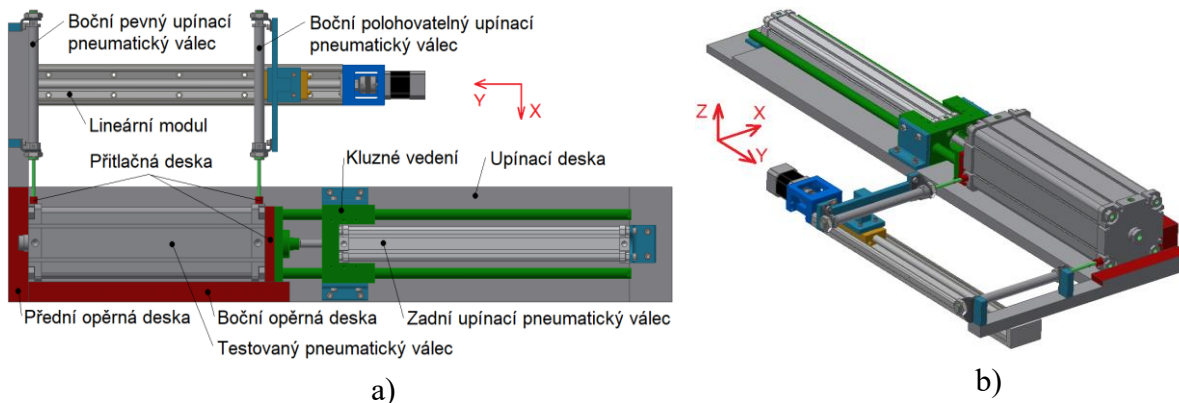


Obr. 23) Varianta upínání 2 a) Popis, b) 3D pohled

5.5.3 Varianta 3

Varianta 3 se skládá z upínací desky, jednoho pevného zadního upínacího pneumatického válce a dvou bočních upínacích pneumatických válců s tím, že jeden je pevný a druhý je polohovatelný v ose Y pomocí lineárního modulu. Z důvodu úspory místa boční upínací pneumatické válce nemají vedení pístní tyče, přítlačné desky jsou kruhové a případné pootočení pístní tyče zde nevádí. Přítlačné desky upínacích pneumatických válců jsou opatřeny technickým plastem, aby při upínání nedošlo k poškrábání testovaného pneumatického válce.

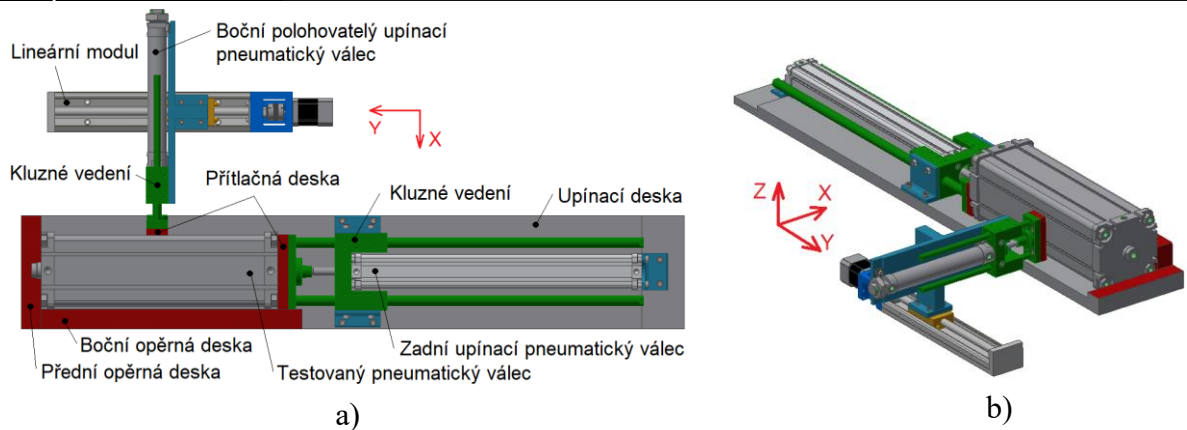
Upínání probíhá na přírubby testovaného pneumatického válce. Na upínací desce jsou umístěny dvě pevné opěrné desky, přední a boční. Testovaný pneumatický válec se umístí na upínací desku co nejbližší přední a boční opěrné desce. Zadní upínací pneumatický válec předupne testovaný pneumatický válec tak, že ho přirazí k přední pevné opěrné desce, silou tak velkou, aby umožnila bočním pneumatickým válcům upnutí v ose X. Polohovatelný boční upínací pneumatický válec najede do požadované polohy v ose Y, tedy na polohu zadní přírubby testovaného pneumatického válce. Jakmile je polohovatelný upínací pneumatický válec v požadované poloze, oba boční válce provedou upnutí testovaného pneumatického válce tak, že ho přirazí k boční pevné upínací desce. Následně zadní upínací pneumatický válec provede doupnutí. Popis a princip varianty 3 je patrný z obrázku (Obr. 24).



Obr. 24) Varianta upínání 3 a) Popis, b) 3D pohled

5.5.4 Varianta 4

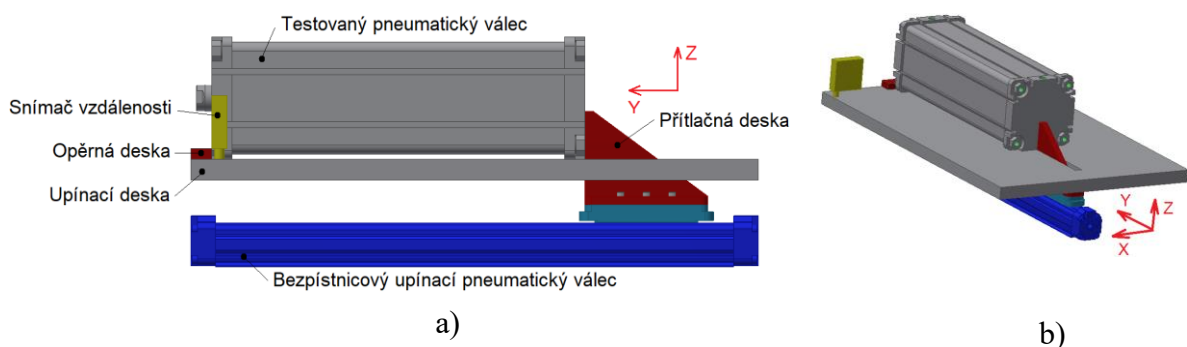
Varianta 4 se skládá z upínací desky, jednoho pevného zadního upínacího pneumatického válce a jednoho bočního upínacího pneumatického válce polohovatelného v ose Y pomocí lineárního modulu. Upnutí probíhá na přírubby a na střed testovaného pneumatického válce. Upínací pneumatické válce mají kluzné vedení pístní tyče a jsou vybaveny obdélníkovými přítlačnými deskami, které jsou opatřeny technickým plastem, aby při upínání nedošlo k poškrábání testovaného pneumatického válce. Na upínací desce jsou umístěny dvě pevné opěrné desky, přední a boční. Testovaný pneumatický válec se umístí na upínací desku co nejbližší přední a boční pevné opěrné desce. Zadní upínací pneumatický válec předupne testovaný pneumatický válec tak, že ho přirazí k přední pevné opěrné desce, silou tak velkou, aby umožnila bočnímu pneumatickému válci upnutí v ose X. Polohovatelný boční upínací pneumatický válec najede do požadované polohy v ose Y, tedy na střed testovaného pneumatického válce. Jakmile je boční upínací polohovatelný válec v požadované poloze provede upnutí, a to tak, že testovaný pneumatický válec přirazí k pevné boční opěrné desce. Boční upínací pneumatický válec má přítlačnou desku opatřenou technickým plastem, aby při upínání nedošlo k poškrábání těla testovaného pneumatického válce. Následně zadní upínací pneumatický válec provede doupnutí. Popis a princip varianty 4 je patrný z obrázku (Obr. 25).



Obr. 25) Varianta upínání 4 a) Popis, b) 3D pohled

5.5.5 Varianta 5

Varianta 5 se skládá z upínací desky, jednoho upínacího bezpístnicového pneumatického válce a jednoho snímače polohy. Upnutí probíhá na přírubby testovaného pneumatického válce. Na upínací desce je umístěna jedna přední pevná opěrná deska. Testovaný pneumatický válec se umístí na upínací desku tak, aby byl co nejbližší přední pevné opěrné desce a zároveň aby byl střed pístnice co nejvíce ve středu drážky v upínací desce. Poté se testovaný pneumatický válec přirazí pomocí přítlačné desky umístěné na upínacím bezpístnicovém válci k přední pevné opěrné desce. Přítlačná deska upínacího pneumatického válce je opatřena technickým plastem, aby při upínání nedošlo k poškrábání testovaného pneumatického válce. Poloha testovaného pneumatického válce v ose X se následně změří pomocí fotoelektrického snímače polohy. Popis a princip varianty 5 je patrný z obrázku (Obr. 26).

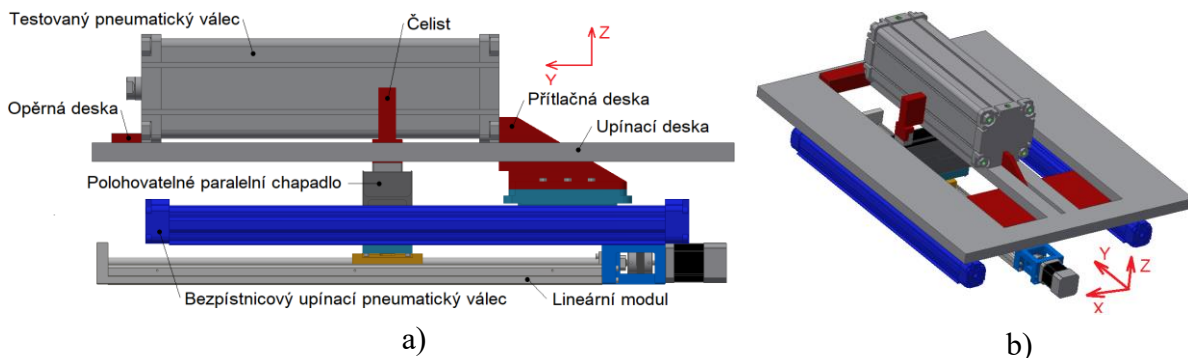


Obr. 26) Varianta 5 a) Popis, b) 3D pohled

5.5.6 Varianta 6

Varianta 6 se skládá z upínací desky, dvou bezpístnicových pneumatických válců a jednoho polohovatelného paralelního chapadla. Paralelní chapadlo je polohovatelné v ose Y pomocí lineárního modulu, čelisti tohoto paralelního chapadla jsou opatřeny technickým plastem, aby při upínání nedošlo k poškrábání těla testovaného pneumatického válce. Na bezpístnicových válcích je umístěna přítlačná deska, která je opatřena technickým plastem, aby při upínání nedošlo k poškrábání testovaného pneumatického válce. Upínání probíhá na

příruby a střed těla testovaného pneumatického válce. Na upínací desce je umístěna jedna přední pevná opěrná deska. Testovaný pneumatický válec se umístí na upínací desku co nejbližší přední pevné opěrné desce. Bezpístnicové pneumatické válce předupnou testovaný pneumatický válec tak, že ho dorazí pomocí přitlačné desky k přední pevné opěrné desce, silou tak velkou, aby umožnila paralelnímu chapadlu válec vystředit v ose X. Polohovatelné paralelní chapadlo najede na střed válce, jakmile je v požadované pozici dojde k sevření čelistí a tím tak k vystředění testovaného pneumatického válce ose X. Následně upínací bezpístnicové pneumatické válce provedou doupnutí testovaného pneumatického válce. Popis a princip varianty 6 je patrný z obrázku (Obr. 27).



Obr. 27) Varianta upínání 6 a) Popis, b) 3D pohled

5.6 Výběr varianty upínání

Výběr varianty upínání probíhá pomocí vícekritériální analýzy. Tato vícekritériální analýza je popsána v jedné z předchozích kapitol (kap. 4.6). Volba varianty upínání je také provedena v příloze (Příloha_3 – Vícekritériální analýza – Výběr upínání).

5.6.1 Posuzovaná kritéria

Bylo stanoveno několik kritérií, které jsou zohledněny při výběru vhodné varianty připojení. Tato kritéria jsou zobrazeny v tabulce (Tab 12). Níže je také proveden stručný popis posuzovaných kritérií.

Tab 12) Kritéria výběru varianty upínání

Číslo kritéria	Název kritéria	Tendence změny
1	Konstrukční složitost	Klesající
2	Zastavěná plocha	Klesající
3	Přesnost polohy válce po upnutí	Rostoucí
4	Náklady na výrobu/pořízení	Klesající
5	Nutnost použití snímače polohy	Klesající
6	Spolehlivost upnutí	Rostoucí

Konstrukční složitost

Zde se klade důraz na to, aby byla varianta co nejjednodušší, snadno proveditelná a v případě potřeby snadno dosažitelná a opravitelná.

Zastavěná plocha

Zahrnuje celkové rozměry varianty. Tyto rozměry mohou ovlivňovat celkové rozměry testovacího zařízení. Snaha je, aby varianta měla co nejmenší zastavěnou plochu.

Přesnost polohy válce po upnutí

Přesná poloha testovaného pneumatického válce je důležitá jak pro proces připojení stlačeného vzduchu, tak pro celkový test.

Náklady na výrobu/pořízení

U některých variant rostou náklady z důvodu použití více komponent, které jsou nutné pro správnou funkci dané varianty. Snahou je náklady co nejvíce snížit.

Nutnost použití snímače polohy

Z důvodu členitosti těla válce (drážky pro snímače) a čela/víka válce (drážky pro snímač nebo odlehčení) by mohlo dojít k chybnému změření vzdálenosti, což by mohlo mít negativní vliv na upnutí válce, případně na zjištění polohy válce pro provedení připojení stlačeného vzduchu. Mohlo by dojít k poškození jak válce, tak komponent testovacího zařízení. Snímač je spíše nežádoucí.

Spolehlivost upnutí

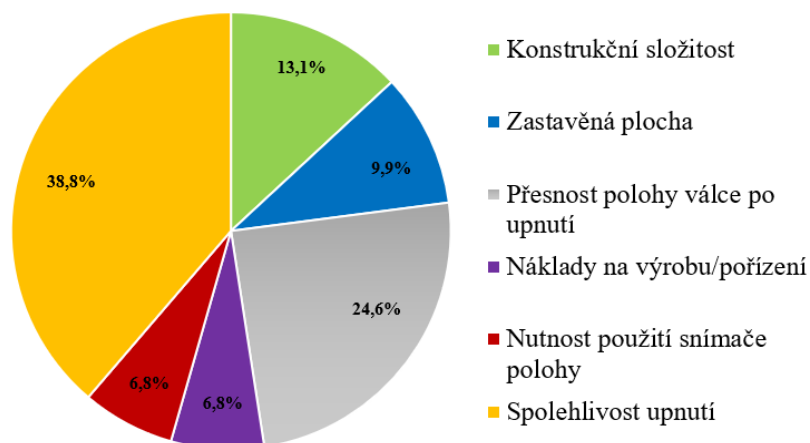
Varianta musí zajistit spolehlivé upnutí testovaného pneumatického válce, pro další úkony, které budou po upnutí dále prováděny. Pokud by po upnutí došlo k pohybu testovaného pneumatického válce, mohlo by to způsobit škody jak na samotném válci, tak na komponentech testovacího zařízení.

5.6.2 Stanovení vah posuzovaných vlastností

Byly stanoveny váhy jednotlivých posuzovaných kritérií, výsledky je možné vidět v tabulce (Tab 13) a na obrázku (Obr. 28).

Tab 13) Stanovení vah posuzovaných kritérií upínání

Vlastnost	1	2	3	4	5	6	Geometrický průměr (G _i)	Váha (v _i)
1	1	3	1/3	3	3	1/5	1,10	0,13
2	1/3	1	1/3	3	5	1/5	0,83	0,10
3	3	3	1	3	3	1	2,08	0,25
4	1/3	1/3	1/3	1	3	1/3	0,58	0,07
5	1/3	5	1/3	1/3	1	1/5	0,58	0,07
6	5	5	1	3	5	1	3,27	0,39
Celkem							8,44	1,00



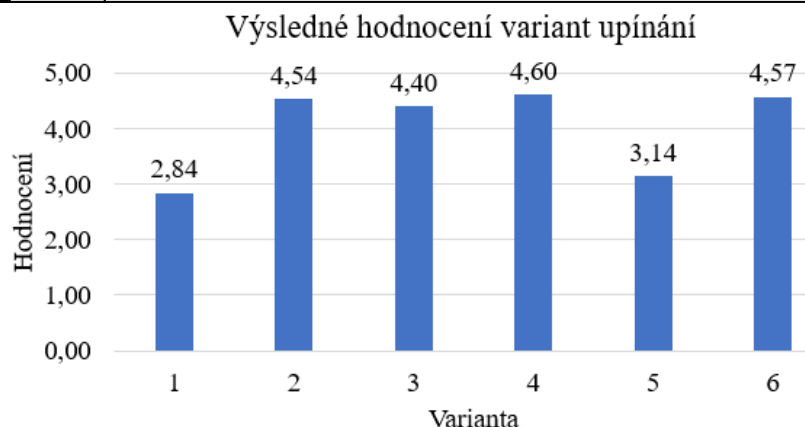
Obr. 28) Váhy posuzovaných kritérií upínání

5.6.3 Výběr konkrétní varianty upínání

Pomocí bodovací metody bude vybrána nejvhodnější varianta upínání. Výsledky je možné vidět v tabulce (Tab 14) a obrázku (Obr. 29).

Tab 14) Bodovací metoda – výběr vhodné varianty upínání

Varianta		1		2		3	
Kritérium	Váha kritéria (v _i)	Bodové hodnocení (b _{hi})	Výsledné hodnocení (v _{hi})	Bodové hodnocení (b _{hi})	Výsledné hodnocení (v _{hi})	Bodové hodnocení (b _{hi})	Výsledné hodnocení (v _{hi})
1	0,13	5	0,65	4	0,52	3	0,39
2	0,10	4	0,39	3	0,30	3	0,30
3	0,25	3	0,74	5	1,23	5	1,23
4	0,07	3	0,21	3	0,21	3	0,21
5	0,07	1	0,07	5	0,34	5	0,34
6	0,39	2	0,78	5	1,94	5	1,94
Výsledek		2,84		4,54		4,40	
Varianta		4		5		6	
Kritérium	Váha kritéria (v _i)	Bodové hodnocení (b _{hi})	Výsledné hodnocení (v _{hi})	Bodové hodnocení (b _{hi})	Výsledné hodnocení (v _{hi})	Bodové hodnocení (b _{hi})	Výsledné hodnocení (v _{hi})
1	0,13	4	0,52	5	0,65	4	0,52
2	0,10	3	0,30	5	0,49	4	0,39
3	0,25	5	1,23	2	0,49	5	1,23
4	0,07	4	0,27	4	0,27	2	0,14
5	0,07	5	0,34	1	0,07	5	0,34
6	0,39	5	1,94	3	1,16	5	1,94
Výsledek		4,60		3,14		4,57	



Obr. 29) Výsledné hodnocení variant upínání

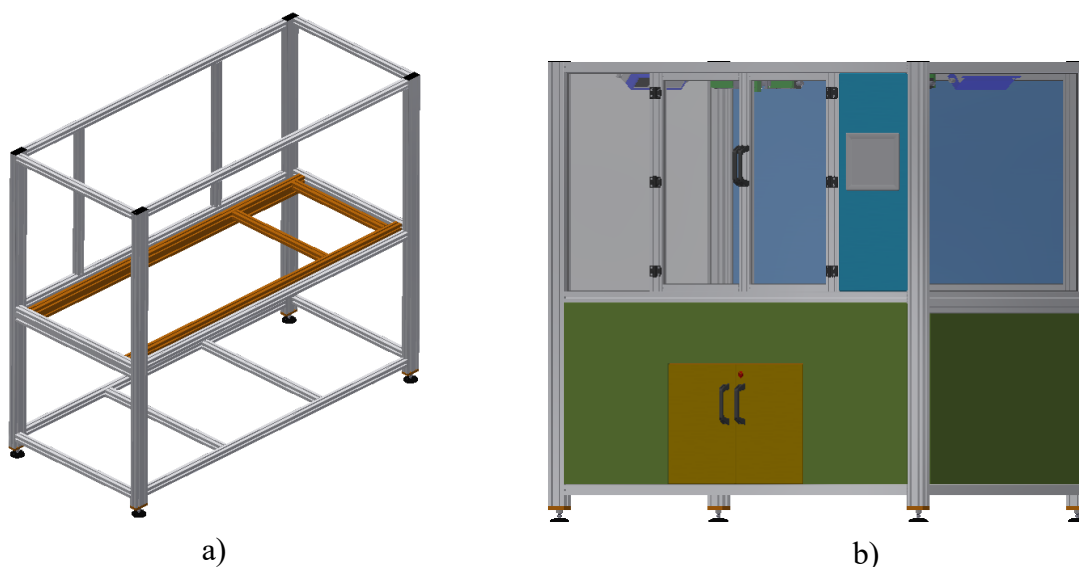
V tabulce (Tab 14) a obrázku (Obr. 29) vidíme výsledky multikriteriální analýzy. Z analýzy tedy vyplynulo, že nejhodnější varianta upínání je varianta 4, proto bude použita tato varianta.

5.7 Hlavní rám

Konstrukce hlavního rámu testovacího zařízení se skládá z hliníkových profilů, od firmy Alutec kk, ze kterých je vytvořen hlavní rám testovacího stroje (Obr. 30 a). Alutec kk je česká firma, která dodává k hliníkové profily s kompletním příslušenstvím, které zahrnuje například stavěcí nohy, upevňovací desky pro stavěcí nohy, madla, panty, matice do drážek, úhelníky, krycí víčka profilů, těsnící profily, ad.

Hlavní rám je doplněn dalšími prvky, které společně tvoří skelet testovacího zařízení (Obr. 30 b). Jedná se hlavně o vkladací a servisní dveře. V případě vkladacích dveří výplň tvoří průhledné polykarbonátové desky, servisní dveře jsou vybaveny neprůhlednými polykarbonátovými deskami. Zbylé části skeletu jsou vyplněny průhledným polykarbonátovými deskami a plechem.

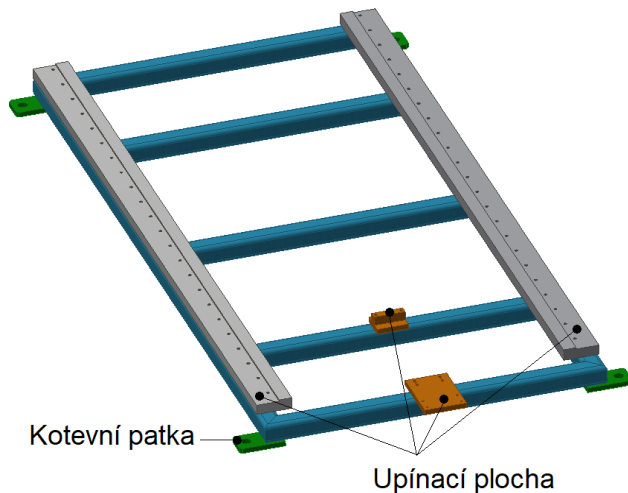
Na hlavní rám je poté umístěna měřicí stanice a sestava základního rámu.



Obr. 30) Hlavní rám a) Rám, b) Skelet

5.8 Základní rám

Základní rám (*Obr. 31*) testovacího zařízení je svařenec, který se skládá ze čtvercových profilů, upínacích ploch pro lineární vedení osy Y, pohon osy Y a čtyř kotevních patek. Po svaření základního rámu dojde k obrobení upínacích ploch a jsou také zhotoveny otvory se závitem, které slouží k připojení jednotlivých prvků na základní rám.

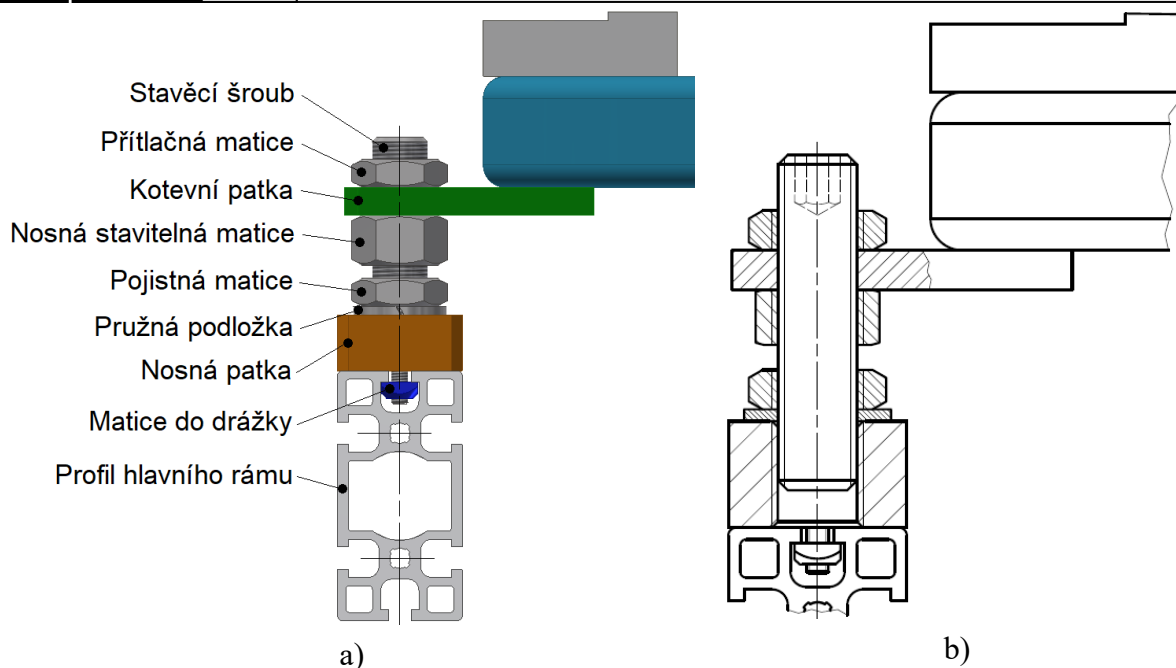


Obr. 31) Základní rám

Ukotvení základního rámu

Kotevní patky základního rámu slouží k ukotvení základního rámu k hlavnímu rámu a také k výškovému nastavení základního rámu. Kotevní patka je tepelně zpracována, kalena. Kalení je provedeno z toho důvodu, aby se zvýšila tvrdost povrchu kotevní patky a nedocházelo tak k nežádoucímu otláčení.

Soustava pro ukotvení a výškové nastavení základního rámu (*Obr. 32*) se skládá z kotevní patky, stavěcího šroubu, matic a nosné patky. Stavěcí šroub je našroubován do nosné patky, kde je pomocí pružné podložky a pojistné matice zajištěn, aby nedošlo k jeho pootočení v průběhu procesu vyrovnávání. V kotevní patce základního rámu je průchozí díra. Kotevní patka je umístěna mezi dvěma maticemi našroubovanými na stavěcím šroubu. Pomocí spodní, nosné stavitelné, matice se nastavuje požadovaná výška. Horní, přítlačná, matice slouží k dotažení nosné patky základního rámu ke spodní matici. Nosná patka je pomocí dvou matic do drážky a dvou šroubů spojena s hlavním rámem. Jednotlivé prvky kotevní soustavy mají jemný závit M20x1,5, tento závit můžeme považovat za samosvorný a nemělo by tak po nastavení požadované výšky dojít k nežádoucímu pootočení nosné stavitelné nebo přítlačné matice.

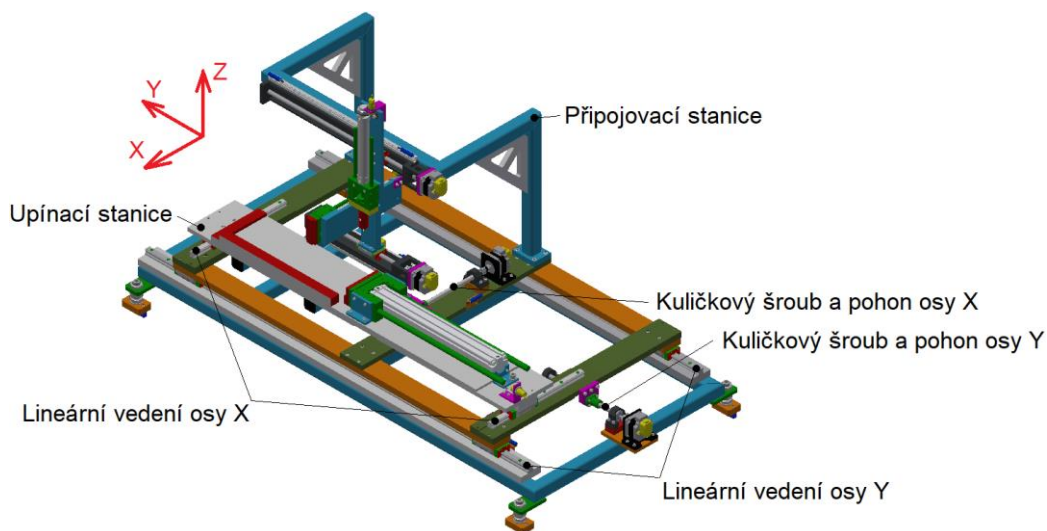


Obr. 32) Kotevní soustava a) Popis soustavy, b) Řez soustavou

Možnost výškového nastavení je nutná z toho důvodu, že hlavní rám, zhotovený z hliníkových profilů, nezaručuje dostatečnou rovinnost.

Sestava základního rámu

Na základním rámu je umístěna připojovací a upínací stanice, lineární vedení osy X a Y, kuličkové šrouby a pohony osy X a Y a koncové spínače. Celá sestava základního rámu je na obrázku (Obr. 33).

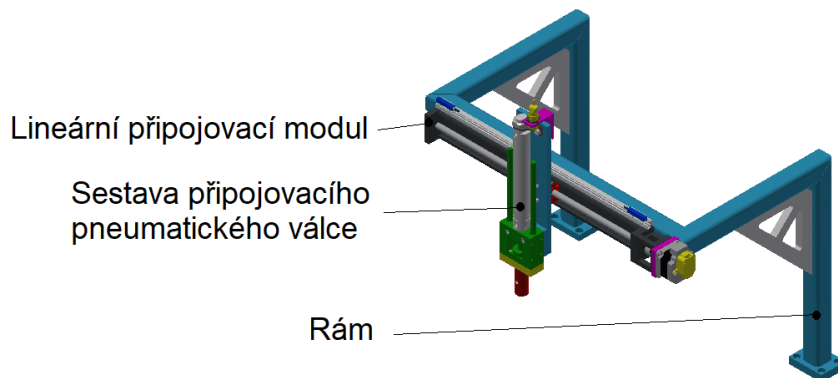


Obr. 33) Sestava základního rámu

5.9 Připojovací stanice

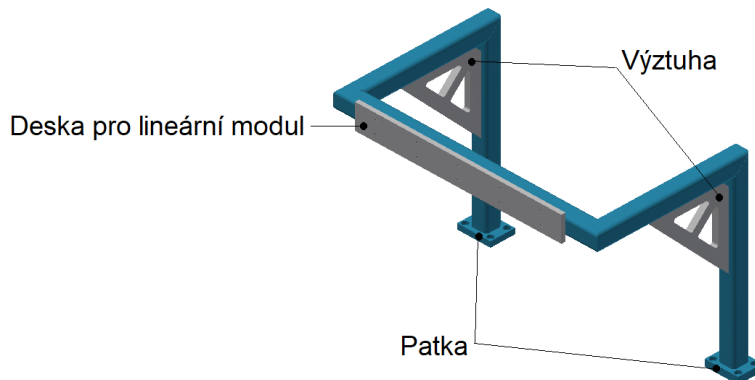
Připojovací stanice (Obr. 34) se skládá z rámu, lineárního připojovacího modulu a sestavy připojovacího válce. Sestava připojovacího válce se skládá z připojovacího pneumatického válce, kluzného vedení pístní tyče připojovacího pneumatického válce,

připojovacího trnu a odměřování. Princip připojení je popsán v (kap. 5.3.1) varianta připojení 1A.



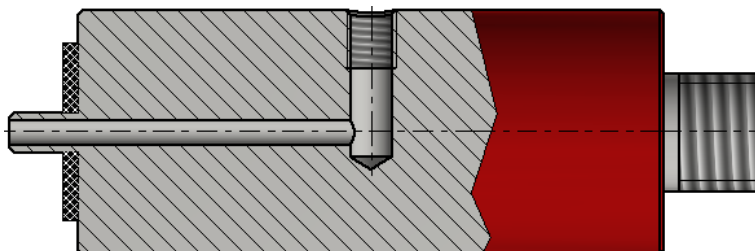
Obr. 34) Připojovací stanice

Rám připojovací stanice (Obr. 35) je zhotoven jako svařenec ze čtvercových profilů, dvou trojúhelníkových výztuh, desky pro přišroubování lineárního připojovacího modulu a dvou patek. Rám je pomocí patek a šroubů přišroubován ke konstrukci osy Y.



Obr. 35) Rám připojovací stanice

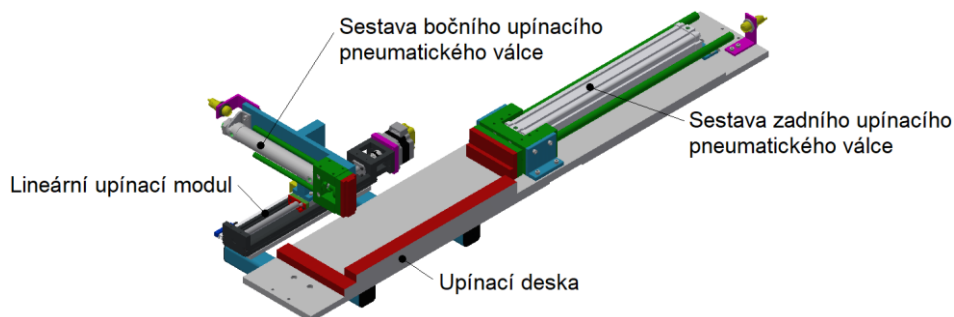
Připojovací trn (Obr. 36) je vyroben z tyče kruhového průřezu, do které je vyvrtána průchozí cesta pro stlačený vzduch, který bude sloužit k vysunutí pístní tyče testovaného pneumatického válce. Připojovací trn je také opatřen těsněním, které zaručuje požadovanou těsnost pro provedení testu mezi testovaným pneumatickým válcem a konektorem.



Obr. 36) Připojovací trn

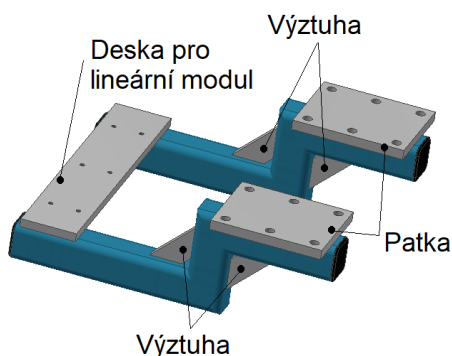
5.10 Upínací stanice

Upínací stanice (Obr. 37) se skládá z upínací desky, sestavy zadního upínacího pneumatického válce, lineárního upínacího modulu, sestavy bočního upínacího pneumatického válce a rámu pro lineární upínací modul.



Obr. 37) Upínací stanice

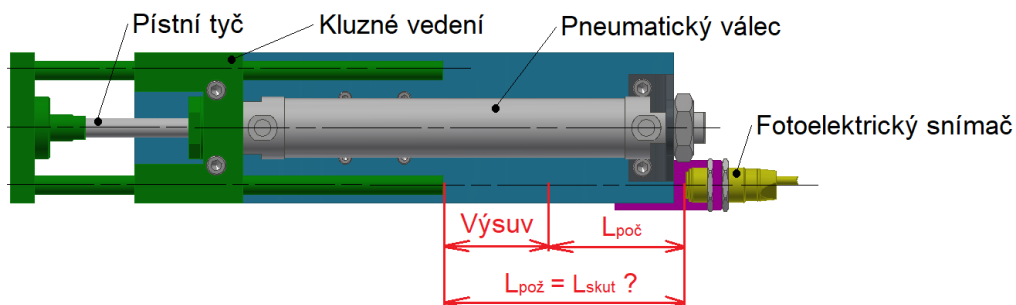
Rám pro lineární upínací modul (Obr. 38) je zhotoven jako svařenec ze čtvercových profilů, desky pro lineární upínací modul, dvou patek a čtyř výztuh. Rám je pomocí patek a šroubů přišroubován ke spodní straně upínací desky.



Obr. 38) Rám pro lineární upínací modul

5.11 Kontrola polohy pneumatických pracovních válců

Kontrolu správné polohy připojovacího, zadního upínacího a bočního upínacího pneumatického válce zajišťuje fotoelektrický snímač, který snímá vysunutí pístní tyče, respektive polohu kluzného vedení (Obr. 39).



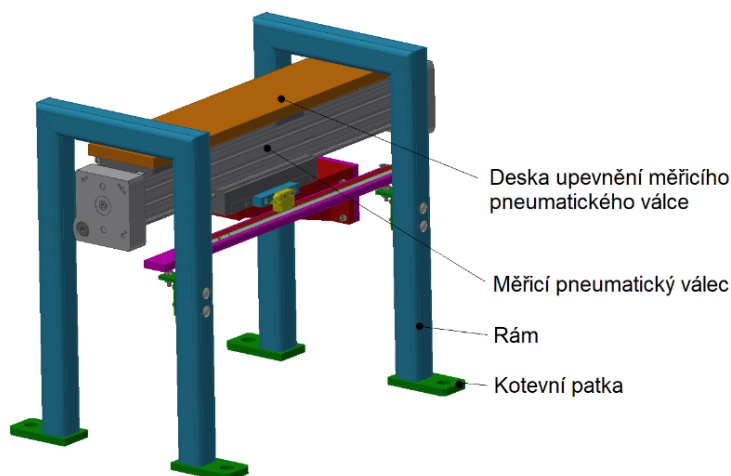
Obr. 39) Kontrola správné polohy

Vyhodnocení probíhá tak, že na základě aktuálně testovaného pneumatického válce systém zná požadovanou hodnotu polohy kluzného vedení ($L_{pož}$). Nejprve se provede

požadovaná akce (připojení nebo upnutí), to znamená, že dojde k výsuvu pístní tyče, respektive kluzného vedení a dostaneme skutečnou hodnotu polohy kluzného vedení (L_{skut}). Tato hodnota se skládá z počáteční hodnoty ($L_{poč}$) a z provedeného výsuvu (výsuv). Systém následně porovná, zda se skutečná hodnota (L_{skut}) shoduje s požadovanou hodnotou ($L_{pož}$).

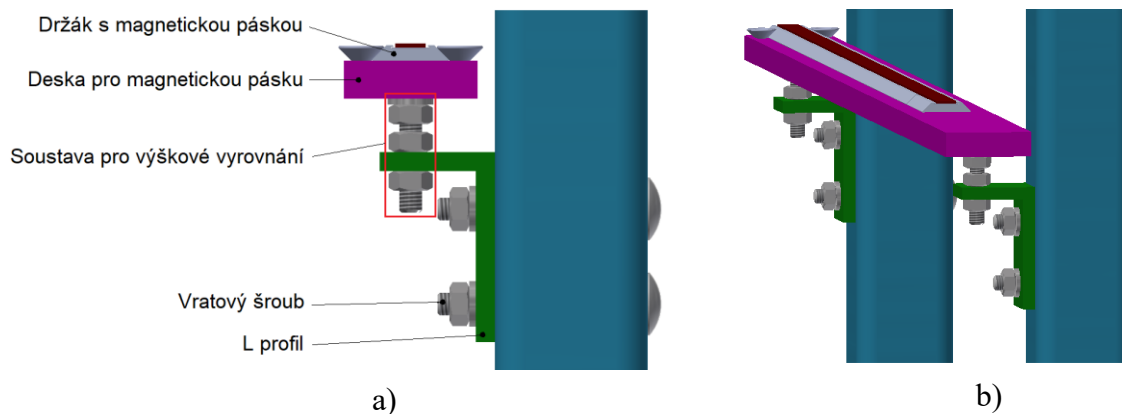
5.12 Měřicí stanice

Měřicí stanice (Obr. 40) se skládá z rámu, bezpístnicového pneumatického válce a lineárního magnetického snímače polohy s magnetickou páskou. Ukotvení měřicí stanice k hlavnímu rámu je provedeno stejně jako v případě základního rámu, tento princip je popsán v kapitole (kap. 5.8) ukotvení základního rámu.



Obr. 40) Měřicí stanice

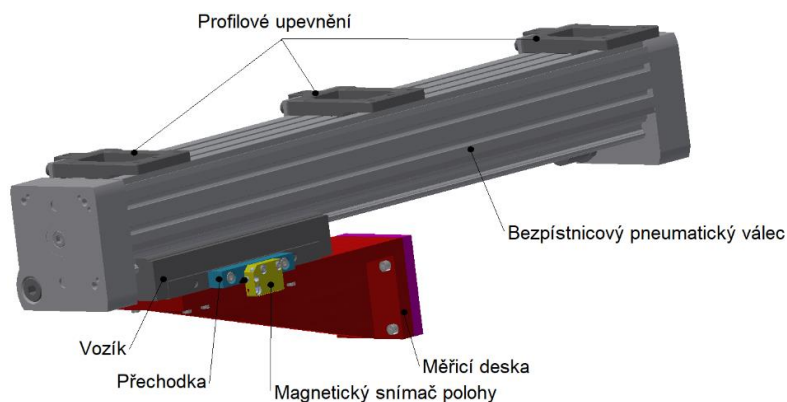
Rám je zhotoven jako svařenec ze čtvercových profilů. K rámu jsou přivařeny čtyři kotevní patky a deska, pro připevnění bezpístnicového měřicího pneumatického válce. Tento válec je k desce přišroubován pomocí profilového upevnění, které se standardně dodává k tomuto pneumatickému válci. Dále jsou k rámu pomocí „vratových šroubů“ (šroub s nízkou zaoblenou hlavou malou a nízkým čtyřhranem – ISO 8678 M6x55) a matic přišroubovány dva L profily, které drží desku, na které je přišroubován držák s magnetickou páskou lineárního snímače (Obr. 41). Výškové vyrovnání desky s držákem magnetické pásky se provádí stejným principem jako u základního rámu, tento princip je popsán v kapitole (kap. 5.8) ukotvení základního rámu.



Obr. 41) Instalace magnetické pásky a) Popis, b) 3D pohled

5.12.1 Měřicí pneumatický válec

Pro měření byl zvolen dvojčinný bezpístnicový pneumatický válec s označením DGC-40-350-KF-PPV-A od firmy Festo. V tabulce (Tab 15) jsou uvedeny základní parametry tohoto pneumatického válce. Tento pneumatický válec má vedení vozíku v kuličkových oběžných drahách, které zajišťuje požadovanou přesnost pro vedení magnetického snímače polohy. Magnetický snímač je pomocí přechodky přišroubován k vozíku pneumatického válce. K vozíku je také přišroubována měřicí deska. Sestava měřicího pneumatického válce je na obrázku (Obr. 42).



Obr. 42) Sestava měřicího pneumatického válce

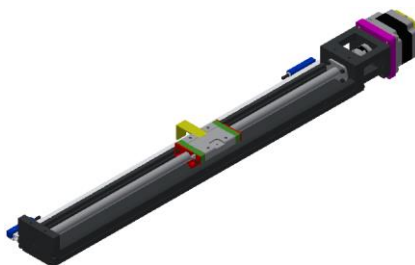
Tab 15) Parametry měřicího pneumatického válce DGC-40-350-KF-PPV-A [6], [48]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Provozní tlak	0,15 až 0,8	[MPa]
Průměr pístu	0,04	[m]
Zdvih	0,35	[m]
Síla při maximálním dovoleném provozním tlaku 0,8 MPa	905	[N]

5.13 Návrh a kontrola lineárního modulu

Pro polohování upínacího a připojovacího pneumatického válce byl zvolen lineární modul s kuličkovým šroubem KK-60 typu F s jedním vozíkem (Obr. 43) od společnosti Hiwin. Jedná se o kompaktní modul s nízkou hmotností. Průměr kuličkového šroubu lineárního modulu je 12 mm a stoupání 5 mm. Modul je vybaven koncovými spínači. Upínací a připojovací modul se liší pouze svou délkou.

- Upínací modul: KK6005P300A1F40SB0
- Připojovací modul: KK6005P500A1F40SB0

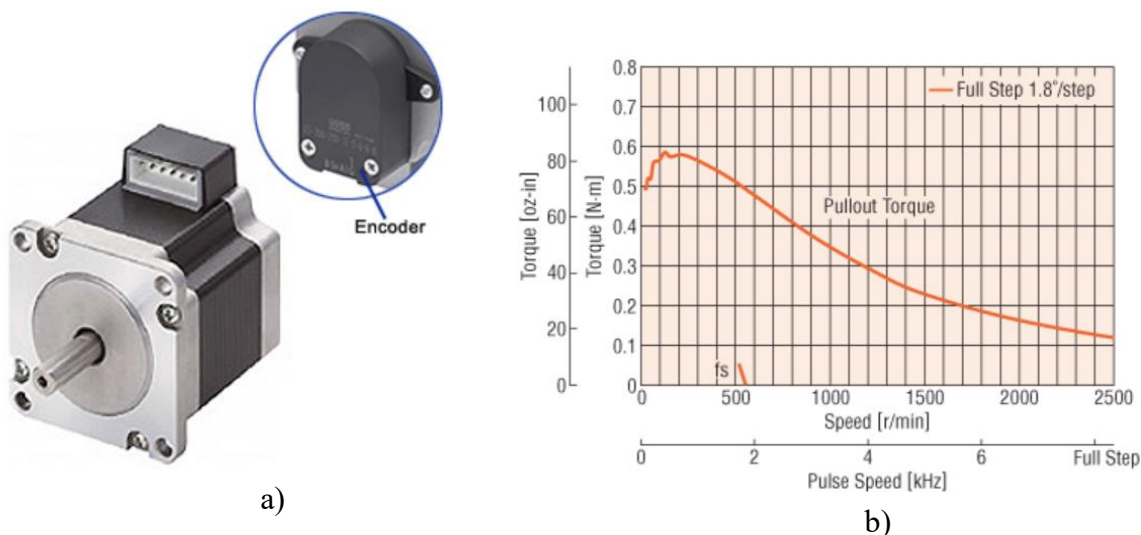


Obr. 43) Lineární modul KK60 typ F

Tab 16) Základní parametry lineárního modulu pro výpočet [32]

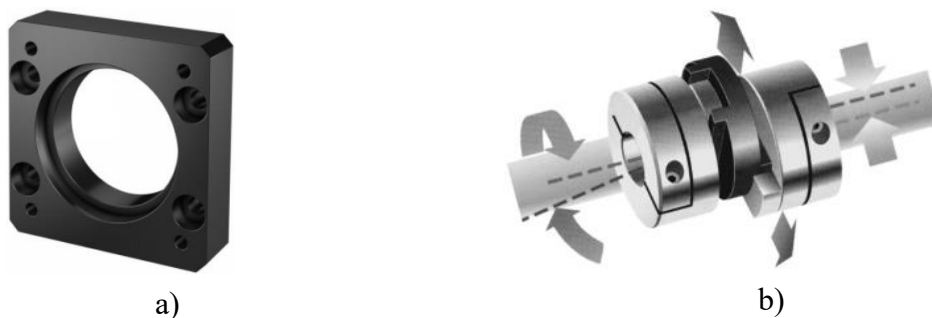
Parametr	Symbol	Hodnota	Jednotka
Dynamická únosnost kuličkového šroubu upínacího modulu	C_{dynsum}	3744	[N]
Dynamická únosnost lineárního vedení upínacího modulu	C_{dynvum}	13230	[N]
Statická únosnost lineárního vedení upínacího modulu	C_{0uvum}	21462	[N]
Stoupání kuličkového šroubu upínacího modulu	p_{sum}	0,005	[m]
Statický moment vedení připojovacího modulu	M_{0uvum}	152	[Nm]
Faktor zatížení lineárního vedení upínacího modulu	f_{wvum}	1,2	[-]

Hiwin, výrobce lineárního modulu, doporučuje celou řadu motorů, vhodných pro pohon tohoto modulu. Jako pohon byl zvolen krokový motor PKP264D28AA-R26-L (Obr. 44 a) od firmy Orientalmotor. Na obrázku (Obr. 44 b) je zobrazena charakteristika tohoto motoru. Motor je vybaven enkodérem.



Obr. 44) Krokový motor [38] a) Motor, b) Rychlostně–momentová charakteristika

Krokový motor je k lineárnímu modulu připojen pomocí mezipříruby KK-60-F4 (Obr. 45 a). Přenos kroutícího momentu mezi krokovým motorem a kuličkovým šroubem lineárního modulu zajišťuje třídílná hřídelová spojka Oldham OX19G (Obr. 45 b), tato spojka také dokáže vyrovnat axiální posunutí, radiální a úhlovou nesouosost.



Obr. 45) Příslušenství lineárního modulu a) Mezipříruba KK-60-F4 [33], b) Hřídelová spojka Oldham OX19G [39]

Vzhledem k tomu, že hmotnost zátěže lineárního upínacího modulu je větší než hmotnost zátěže přípojovacího modulu, bude kontrolován pouze upínací modul. Níže je provedena kontrola lineárního upínacího modulu dle literatury [32].

Kontrola lineárního upínacího modulu

V tabulce (Tab 16) a (Tab 17) jsou uvedeny vstupní parametry pro provedení kontrolního výpočtu lineárního upínacího modulu.

Tab 17) Vstupní doplňkové parametry pro kontrolu lineárního upínacího modulu [30]

Parametr	Symbol	Hodnota	Jednotka
Hmotnost zátěže upínacího modulu	m_{um}	10	[kg]
Zrychlení	a	2	[m·s ⁻²]
Účinná síla	$F_{\dot{u}}$	0	[N]
Střední otáčky motoru	n_{motum}	2000	[min ⁻¹]
Rychlost	v_{um}	5	[m·min ⁻¹]
Účinnost kuličkového šroubu – katalogová hodnota	η_{sk}	0,88	[-]

- Dynamické ekvivalentní zatížení kuličkového šroubu upínacího modulu

$$F_{xum} = m_{um} \cdot a = 10 \cdot 2 = 20 \text{ N} \quad (7)$$

Kde: m_{um} – Hmotnost zátěže upínacího modulu [kg]

a – Zrychlení [m·s⁻²]

- Životnost kuličkového šroubu upínacího modulu v otáčkách

$$L_{\dot{\sum}} = \left(\frac{C_{dyn\dot{\sum}}}{F_{xum}} \right)^3 \cdot 10^6 = \left(\frac{3744}{20} \right)^3 \cdot 10^6 = 6560206848000 \text{ ot} \quad (8)$$

Kde: $C_{dyn\dot{\sum}}$ – Dynamická únosnost kuličkového šroubu upínacího modulu [N]

F_{xum} – Dynamické ekvivalentní zatížení upínacího modulu [N]

- Životnost kuličkového šroubu upínacího modulu v hodinách

$$L_{\dot{\sum}h} = \frac{L_{\dot{\sum}}}{n_{motum} \cdot 60} = \frac{6560206848000}{2000 \cdot 60} = 54668390,4 \text{ hod} \quad (9)$$

Kde: $L_{\dot{\sum}}$ – Životnost kuličkového šroubu přípojovacího modulu v otáčkách [ot]

n_{motum} – Střední otáčky motoru upínacího modulu [min⁻¹]

- Teoretický potřebný rozběhový moment motoru upínacího modulu

$$M_{tum} = \frac{F_{xum} \cdot p_{sum}}{2 \cdot \pi \cdot \eta_{sk}} = \frac{20 \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,88} = 0,018 \text{ Nm} \quad (10)$$

Kde: F_{xum} – Dynamické ekvivalentní zatížení upínacího modulu [N]

p_{sum} – Stoupání kuličkového šroubu upínacího modulu [m]

π – Ludolfovo číslo [-]

η_{sk} – Účinnost kuličkového šroubu – katalogová hodnota [-]

- Kombinované dynamické ekvivalentní zatížení lineárního vedení upínacího modulu

$$F_{bum} = F_{\dot{u}} + M_{tum} \cdot \frac{C_{0uvum}}{M_{0uvum}} = 0 + 0,018 \cdot \frac{21462}{152} = 2,54 \text{ N} \quad (11)$$

Kde: $F_{\dot{u}}$ – Účinná síla [N]

M_{tum} – Teoretický potřebný rozběhový moment motoru upínacího modulu [Nm]

C_{0uvum} – Statická únosnost lineárního vedení upínacího modulu [N]

M_{0uvum} – Statický moment vedení upínacího modulu [Nm]

- Jmenovitá životnost vedení upínacího modulu

$$L_{vum} = \left(\frac{C_{dynvum}}{f_{wvum} \cdot F_{bum}} \right)^3 \cdot 50000 = \left(\frac{13230}{1,2 \cdot 2,54} \right)^3 \cdot 50000 = 4088882672 \cdot 10^6 \text{ m} \quad (12)$$

Kde: f_{wvum} – Faktor zatížení lineárního vedení upínacího modulu [-]

C_{dynvum} – Dynamická únosnost lineárního vedení upínacího modulu [N]

F_{bum} – Kombinované dynamické ekvivalentní zatížení lineárního vedení upínacího modulu [N]

- Životnost vedení upínacího modulu v hodinách

$$L_{hum} = \frac{L_{vum}}{v_{um} \cdot 60} = \frac{4088882672 \cdot 10^6}{10 \cdot 60} = 6814804453000 \text{ hod} \quad (13)$$

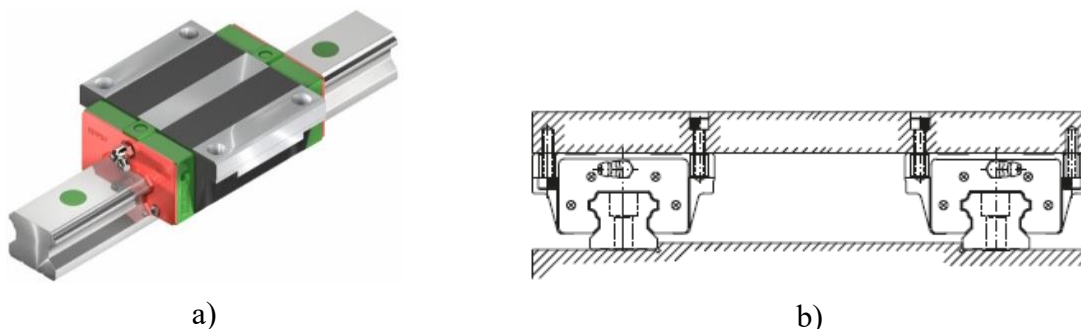
Kde: L_{vum} – Jmenovitá životnost vedení upínacího modulu [m]

v_{um} – Rychlost upínacího modulu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

Navržený lineární modul vyhovuje. Životnost je poměrně vysoká, ale nižší řadu modulů nelze kvůli nevhodným rozměrům využít.

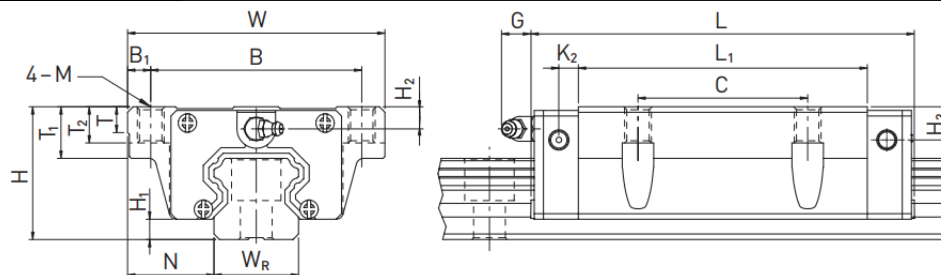
5.14 Návrh a kontrola lineárního vedení

Jako vedení osy X a Y bylo zvoleno čtyřradé kuličkové lineární vedení HGW 20 HC od firmy Hiwin. Vedení je na obrázku (Obr. 46 a), na obrázku (Obr. 46 b) je zobrazena montážní poloha. Toto lineární vedení bylo zvoleno kvůli jeho vhodným rozměrům.



Obr. 46) Lineární kuličkové vedení HGW 20 HC a) Vozík a kolejnice [37],
b) Montážní poloha [31]

Níže je provedena kontrola životnosti tohoto zvoleného lineárního vedení. Výpočet je prováděn dle literatury [31]. Na obrázku (Obr. 47) jsou zakótovány parametry lineárního vedení, v tabulce (Tab 18) jsou uvedeny hodnoty základních parametrů.



Obr. 47) Parametry lineárního vedení HGW 20 HC [31]

Tab 18) Parametry lineárního vedení HGW 20 HC [31]

Označení	Základní rozměry							Dynamická únosnost	Statická únosnost
HGW20HC	W	H	L	B	C	M	WR	C _{dynv}	C _{0v}
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[N]
	63	30	92,2	53	40	M6	20	21180	35900

5.14.1 Lineární vedení osy X

V tabulce (Tab 18) a (Tab 19) jsou uvedeny vstupní parametry pro provedení výpočtu lineárního vedení osy X.

Tab 19) Vstupní doplňkové parametry pro výpočet lineárního vedení osy X [31]

Parametr	Symbol	Hodnota	Jednotka
Faktor tvrdosti	f _h	1	[-]
Teplotní faktor	f _t	1	[-]
Zátěžový faktor	f _w	1,2	[-]
Statická hmotnost zátěže osy X	m _{Xs}	116	[kg]
Dynamická hmotnost zátěže osy X	m _{Xd}	62	[kg]
Počet vozíků v ose X	n _{vX}	2	[-]
Rychlost v ose X	v _X	5	[m·min ⁻¹]

- Zatížení jednoho vozíku pro statické hledisko

$$P_{Xs} = \frac{m_{Xs} \cdot g}{n_{vX}} = \frac{116 \cdot 9,81}{2} = 568,98 \text{ N} \quad (14)$$

Kde: m_{Xs} – Statická hmotnost zátěže osy X [kg]

g – Gravitační zrychlení [m·s⁻²]

n_{vX} – Počet vozíků v ose X [-]

- Statická konstrukční bezpečnost v ose X

Do výpočtu hmotnosti statické konstrukční bezpečnosti je započítána teoretická maximální síla přípojovacího válce, která dle literatury [6] činí 530 N, tedy přibližně 54 kg. Takto velká přípojovací síla při provozu pravděpodobně nikdy působit nebude. Tato síla je započítána pouze do statické konstrukční bezpečnosti, protože působí pouze v klidovém stavu a nepromítne se tak v dynamickém hledisku osy X.

$$f_{SLX} = \frac{C_{0v}}{P_{Xs}} = \frac{35900}{568,98} = 63,1 \quad (15)$$

Kde: C_{0v} – Statická únosnost vedení [N]

P_{Xs} – Zatížení jednoho vozíku pro statické hledisko v ose X [N]

- Zatížení jednoho vozíku pro dynamické hledisko v ose X

Z důvodů bezpečnosti je zatížení na jeden vozík navýšeno o 30 %.

$$P_{Xd} = \frac{m_{Xd} \cdot g}{n_{vX}} \cdot 1,3 = \frac{62 \cdot 9,81}{2} \cdot 1,3 = 395,34 \text{ N} \quad (16)$$

Kde: m_{Xd} – Dynamická hmotnost zátěže osy X [kg]

g – Gravitační zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

n_{vX} – Počet vozíků v ose X [-]

- Jmenovitá životnost vedení v ose X

$$L_{vX} = \left(\frac{f_h \cdot f_t \cdot C_{dynv}}{f_w \cdot P_{Xd}} \right)^3 \cdot 50000 = \left(\frac{1 \cdot 1 \cdot 21180}{1,2 \cdot 395,34} \right)^3 \cdot 50000 = 4449301743 \text{ m} \quad (17)$$

Kde: f_h – Faktor tvrdosti [-]

f_t – Teplotní faktor [-]

f_w – Zátěžový faktor [-]

C_{dynv} – Dynamická únosnost vedení [N]

P_{Xd} – Zatížení jednoho vozíku pro dynamické hledisko v ose X

- Životnost vedení osy X v hodinách

$$L_{hX} = \frac{L_{vX}}{v_X \cdot 60} = \frac{4449301743}{5 \cdot 60} = 14831005,8 \text{ hod} \quad (18)$$

Kde: L_{vX} – Jmenovitá životnost vedení v ose X [m]

v_X – Rychlost v ose X [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]

5.14.2 Lineární vedení osy Y

V tabulce (Tab 18) a (Tab 20) jsou uvedeny vstupní parametry pro provedení výpočtu lineárního vedení osy Y.

Tab 20) Vstupní doplňkové parametry pro výpočet lineárního vedení osy Y [31]

Parametr	Symbol	Hodnota	Jednotka
Faktor tvrdosti	f_h	1	[-]
Teplotní faktor	f_t	1	[-]
Zátěžový faktor	f_w	1,2	[-]
Hmotnost pohybující se soustavy osy Y	m_Y	188	[kg]
Počet vozíků v ose Y	n_{vY}	4	[-]
Rychlost v ose Y	v_Y	5	[$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]

- Zatížení jednoho vozíku pro statické hledisko

$$P_{Ys} = \frac{m_Y \cdot g}{n_{vY}} = \frac{188 \cdot 9,81}{4} = 461,07 \text{ N} \quad (19)$$

Kde: m_Y – Hmotnost pohybující se soustavy osy Y [kg]

g – Gravitační zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

n_{vY} – Počet vozíků v ose Y [-]

- Statická konstrukční bezpečnost v ose Y

$$f_{SLY} = \frac{C_{0v}}{P_{Ys}} = \frac{35900}{461,07} = 77,86 \quad (20)$$

Kde: C_{0v} – Statická únosnost vedení [N]

P_{Ys} – Zatížení jednoho vozíku pro statické hledisko v ose Y [N]

- Zatížení jednoho vozíku pro dynamické hledisko v ose Y

Z důvodů bezpečnosti je zatížení na jeden vozík navýšeno o 30 %.

$$P_{Yd} = \frac{m_Y \cdot g}{n_{vY}} \cdot 1,3 = \frac{188 \cdot 9,81}{4} \cdot 1,3 = 599,39 \text{ N} \quad (21)$$

Kde: m_Y – Hmotnost pohybující se soustavy osy Y [kg]

g – Gravitační zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

n_{vY} – Počet vozíků v ose Y [-]

- Jmenovitá životnost vedení v ose Y

$$L_{vY} = \left(\frac{f_h \cdot f_t \cdot C_{dynv}}{f_w \cdot P_{Yd}} \right)^3 \cdot 50000 = \left(\frac{1 \cdot 1 \cdot 21180}{1,2 \cdot 599,39} \right)^3 \cdot 50000 = 1276661184 \text{ m} \quad (22)$$

Kde: f_h – Faktor tvrdosti [-]

f_t – Teplotní faktor [-]

f_w – Zátěžový faktor [-]

C_{dynv} – Dynamická únosnost vedení [N]

P_{Yd} – Zatížení jednoho vozíku pro dynamické hledisko v ose Y [N]

- Životnost vedení osy Y v hodinách

$$L_{hY} = \frac{L_{vY}}{v_Y \cdot 60} = \frac{1276661184}{5 \cdot 60} = 4255537,3 \text{ hod} \quad (23)$$

Kde: L_{vY} – Jmenovitá životnost vedení v ose Y [m]

v_Y – Rychlost v ose Y [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]

Životnost vedení v ose X i v ose Y je poměrně vysoká, ale vzhledem k tomu, že nebyla stanovena požadovaná životnost vedení potažmo celého testovacího zařízení a nebyla určena ani maximální celková cena testovacího zařízení, bude použito navržené lineární vedení HGW 20 HC.

5.15 Návrh a kontrola kuličkového šroubu

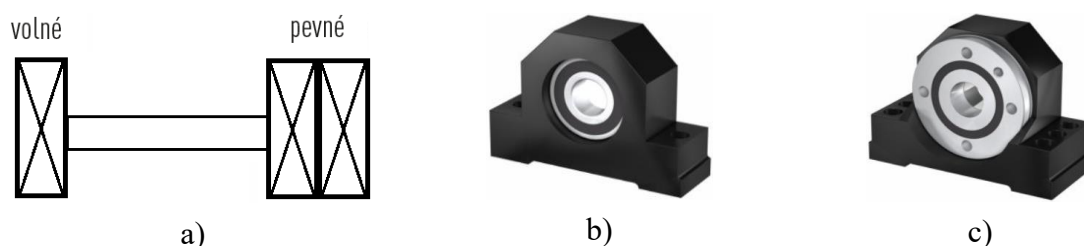
Pro osu X i osu Y byl zvolen válcovaný kuličkový šroub vyrobený v třídě přesnosti T5. Průměr kuličkového šroubu je 12 mm a stoupání 5 mm.

- kuličkový šroub osy X: R1205–FSC–0345–S5–06–S2–06,
- kuličkový šroub osy Y: R1205–FSC–0325–S5–06–S2–06.

Ke šroubu je zvolena standardní jednoduchá přírubová matice R12–05K4–FSCDIN (Obr. 48) odpovídající normě DIN 69051. Uložení šroubu je provedeno jako volné – pevné (Obr. 49 a). Šroub je uložen v doporučených ložiskových domečcích SLA–06 (Obr. 49 b) pro volné uložení a SFA–06 (Obr. 49 c) pro pevné uložení. Všechny tyto komponenty jsou vyrobeny firmou Hiwin.



Obr. 48) Jednoduchá přírubová matice FSCDIN [41]



Obr. 49) Uložení kuličkového šroubu a) Uložení konců [30], b) Ložiskový domek SLA–06 [42], c) Ložiskový domek SFA–06 [42]

Výpočet kuličkového šroubu a pohonu je prováděn dle literatury [3], [30]. V tabulce (Tab 21) jsou uvedeny základní výpočtové parametry kuličkového šroubu osy Y.

Tab 21) Parametry kuličkového šroubu osy Y pro výpočet [30]

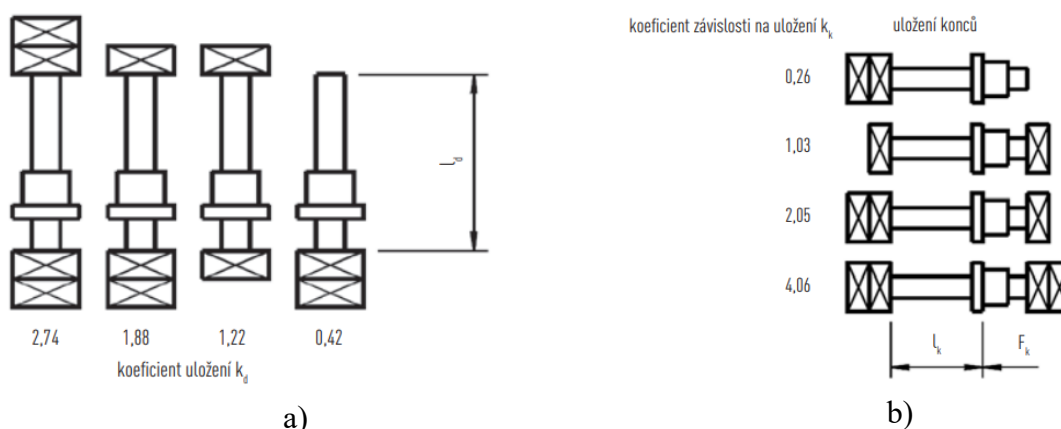
Parametr	Symbol	Hodnota	Jednotka
Průměr kuličkového šroubu osy Y	d_Y	0,012	[m]
Průměr hřídele šroubu osy Y	d_{kY}	0,0099	[m]
Střední průměr kuličkového šroubu osy Y	d_{sY}	0,0117	[m]
Stoupání závitu kuličkového šroubu osy Y	p_Y	0,005	[m]
Délka kuličkového šroubu osy Y	L_Y	0,325	[m]
Funkční délka závitu šroubu osy Y	l_{uY}	0,18	[m]
Vzdálenost mezi ložisky osy Y	l_{dY}	0,24	[m]
Nepodepřená délka kuličkového šroubu osy Y	l_{kY}	0,202	[m]
Dynamická únosnost šroubu osy Y	C_{dysY}	5500	[N]

Výpočet kuličkového šroubu je proveden pro kuličkový šroub osy Y. Výpočet kuličkového šroubu osy X není proveden z toho důvodu, že v ose X působí menší zatížení a pokud bude vyhovovat kuličkový šroub osy Y, pak bude vyhovovat i kuličkový šroub osy X.

Níže je proveden výpočet kuličkového šroubu osy Y, v průběhu výpočtu je zvolen pohon osy Y, který je následně zkontrolován, zda vyhovuje. V tabulce (Tab 21) a (Tab 22) jsou základní vstupní parametry potřebné pro výpočet.

Tab 22) Vstupní doplňkové parametry pro výpočet kuličkového šroubu osy Y [30]

Parametr	Symbol	Hodnota	Jednotka
Hmotnost pohybující se soustavy osy Y	m_Y	188	[kg]
Zrychlení	a	2	[m·s ⁻²]
Rychlost posuvu v ose Y	v_Y	5	[m·min ⁻¹]
Otáčky v ose Y	n_Y	1000	[min ⁻¹]
Maximální odchylka stoupání závitu na délce 0,3 m	$v_{0,3p}$	$23 \cdot 10^{-6}$	[m]
Koeficient uložení (Obr. 50 a)	k_d	1,88	[-]
Koeficient závislosti na uložení (Obr. 50 b)	k_k	2,05	[-]
Účinnost kuličkového šroubu – katalogová hodnota	η_{sk}	0,88	[-]



Obr. 50) Typy uložení šroubu [30] a) Koeficient uložení, b) Koeficient závislosti na uložení

- Axiální síla nutná ke zrychlení soustavy osy Y

$$F_{aY} = m_Y \cdot a = 188 \cdot 2 = 376 \text{ N} \quad (24)$$

Kde: m_Y – Hmotnost pohybující se soustavy osy Y [kg]

a – Zrychlení [m·s⁻²]

- Odchylka stoupání závitu v ose Y

$$e_p = \pm \frac{v_{0,3p}}{0,3} \cdot l_{uY} = \pm \frac{23 \cdot 10^{-6}}{0,3} \cdot 0,18 = \pm 13,8 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad (25)$$

Kde: $v_{0,3p}$ – Maximální odchylka stoupání závitu na délce 0,3 m [m]

l_{uY} – Funkční délka závitu šroubu osy Y [m]

- Kontrola maximálních otáček v ose Y

$$n_{kY} = k_d \cdot \frac{d_{kY}}{l_{dY}^2} \cdot 10^5 = 1,88 \cdot \frac{0,0099}{0,24^2} \cdot 10^5 = 32312,5 \text{ min}^{-1} \quad (26)$$

Kde: k_d – Koeficient uložení [-]

d_{kY} – Průměr hřídele šroubu osy Y [m]

l_{dY} – Vzdálenost mezi ložisky osy Y [m]

- Maximální dovolené pracovní otáčky v ose Y

$$n_{maxY} = n_{kY} \cdot 0,8 = 32312,5 \cdot 0,8 = 25850 \text{ min}^{-1} \quad (27)$$

Kde: n_{kY} – Kritické otáčky osy Y [min^{-1}]

- Maximální teoretická dovolená axiální síla v ose Y

$$F_{kY} = k_k \cdot \frac{d_{kY}^4}{l_{kY}^2} \cdot 10^{11} = 2,05 \cdot \frac{0,0099^4}{0,202^2} \cdot 10^{11} = 48260,51 \text{ N} \quad (28)$$

Kde: k_k – Koeficient závislosti na uložení [-]

d_{kY} – Průměr hřídele šroubu osy Y [m]

l_{kY} – Nepodepřená délka kuličkového šroubu osy Y [m]

- Maximální dovolená provozní axiální síla v ose Y

$$F_{kmaxY} = F_{kY} \cdot 0,5 = 48260,51 \cdot 0,5 = 24130,3 \text{ N} \quad (29)$$

Kde: F_{kY} – Maximální teoretická dovolená axiální síla v ose Y [N]

- Střední otáčky šroubu osy Y

$$n_{mY} = n_Y = 1000 \text{ min}^{-1} \quad (30)$$

Kde: n_Y – Otáčky v ose Y [min^{-1}]

- Střední zatížení v ose Y

$$F_{mY} = F_{aY} = 376 \text{ N} \quad (31)$$

Kde: F_{aY} – Axiální síla nutná ke zrychlení soustavy osy Y

- Životnost šroubu osy Y v otáčkách

$$L_{sY} = \left(\frac{C_{dysY}}{F_{mY}} \right)^3 \cdot 10^6 = \left(\frac{5500}{376} \right)^3 \cdot 10^6 = 3129857275 \text{ ot} \quad (32)$$

Kde: C_{dysY} – Dynamická únosnost šroubu osy Y [N]

F_{mY} – Střední zatížení v ose Y [N]

- Životnost šroubu osy Y v provozních hodinách

$$L_{hsY} = \frac{L_{sY}}{n_{mY} \cdot 60} = \frac{3129857275}{1000 \cdot 60} = 52164,29 \text{ hod} \quad (33)$$

Kde: L_{sY} – Životnost šroubu osy Y v otáčkách [ot]

n_{mY} – Střední otáčky v ose Y [min^{-1}]

- Návrhový moment motoru osy Y

$$M_{navY} = \frac{F_{aY} \cdot p_Y}{2 \cdot \pi \cdot \eta_{sk}} = \frac{376 \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,88} = 0,34 \text{ Nm} \quad (34)$$

Kde: F_{aY} – Axiální síla nutná ke zrychlení soustavy osy Y [N]

p_Y – Stoupání závitu kuličkového šroubu osy Y [m]

π – Ludolfovo číslo [-]

η_{sk} – Účinnost kuličkového šroubu – katalogová hodnota [-]

Volba pohonu osy Y

Jako pohon byl zvolen krokový motor PKP264D28AA-R26-L (Obr. 44) od firmy Orientalmotor. Motor je vybaven enkodérem. Jedná se o stejný motor, který je použit pro pohon lineárních modulů.

Krokový motor je k základnímu rámu připojen pomocí montážního držáku PALW2P-2 (Obr. 51). Přenos kroutícího momentu mezi krokovým motorem a kuličkovým šroubem zajišťuje třídílná hřídelová spojka Oldham OX19G (Obr. 45 b), tato spojka také dokáže vyrovnat axiální posunutí, radiální a úhlovou nesouosost.



Obr. 51) Montážní držák krokového motoru PALW2P-2 [40]

Kontrola pohonu osy Y je prováděna dle statického a dynamického hlediska. V tabulce (Tab 23) jsou uvedeny vstupní doplňkové parametry pro výpočet.

Tab 23) Vstupní doplňkové parametry výpočtu pohonu osy Y [3], [38], [39]

Parametr	Symbol	Hodnota	Jednotka
Úhel sklonu vedení	α	0	[°]
Požadovaný čas rozběhu	t	0,5	[s]
Moment setrvačnosti motoru osy Y	J_{motY}	$120 \cdot 10^{-7}$	[kg·m ²]
Moment setrvačnosti spojky osy Y	J_{spY}	$59 \cdot 10^{-8}$	[kg·m ²]
Účinnost valivého vedení	η_v	0,98	[-]
Účinnost kuličkového šroubu	η_s	0,92	[-]
Účinnost ložisek (oboustranné uložení)	η_L^i	0,92	[-]
Součinitel tření pro valivé vedení	f_1	0,05	[-]
Ekvivalentní součinitel tření v kuličkovém šroubu redukováný na poloměr šroubu	f_2	0,03	[-]

Statické hledisko

- Celková účinnost v ose Y

$$\eta_c = \eta_v \cdot \eta_s \cdot \eta_L^i = 0,98 \cdot 0,92 \cdot 0,92 = 0,83 \quad (35)$$

Kde: η_v – Účinnost valivého vedení [-]

η_s – Účinnost kuličkového šroubu [-]

η_L^i – Účinnost ložisek [-]

- Potřebný moment motoru osy Y dle statického hlediska

$$M_{mstY} = \frac{F_{aY} \cdot p_Y}{2 \cdot \pi \cdot \eta_c} = \frac{376 \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,83} = 0,36 \text{ Nm} \quad (36)$$

Kde: F_{aY} – Axiální síla nutná ke zrychlení soustavy osy Y [N]

p_Y – Stoupání závitu kuličkového šroubu [m]

π – Ludolfovo číslo [-]

η_c – celková účinnost [-]

Kinematické hledisko

- Otáčky motoru osy Y

$$n_{motY} = \frac{v_Y}{p_Y} = \frac{5}{0,005} = 1000 \text{ min}^{-1} \quad (37)$$

Kde: v_Y – Rychlost posuvu v ose Y [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

p_Y – Stoupání závitu kuličkového šroubu osy Y [m]

- Úhlové zrychlení šroubu osy Y

$$\varepsilon_{sY} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{motY}}{t \cdot 60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1000}{0,5 \cdot 60} = 209,44 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2} \quad (38)$$

Kde: π – Ludolfovo číslo [-]

n_{motY} – Otáčky motoru osy Y [min^{-1}]

t – Požadovaný čas rozběhu [s]

- Úhlové zrychlení motoru osy Y

V tomto případě se úhlové zrychlení šroubu rovná úhlovému zrychlení motoru tedy:

$$\varepsilon_{sY} = \varepsilon_{mY} = 209,44 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2} \quad (39)$$

Kde: ε_{mY} – Úhlové zrychlení motoru osy Y [rad^{-2}]

Dynamické hledisko

- Moment setrvačnosti kuličkového šroubu osy Y

$$J_{sY} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 7830 \cdot L_Y \cdot \left(\frac{d_Y}{2}\right)^4 = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 7830 \cdot 0,285 \cdot \left(\frac{0,012}{2}\right)^4 = 4,54 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (40)$$

Kde: π – Ludolfovo číslo [-]

L_Y – Délka kuličkového šroubu osy Y [m]

d_Y – Průměr kuličkového šroubu osy Y [m]

- Moment setrvačnosti posuvových hmot osy Y

$$J_{mY} = m_Y \cdot \left(\frac{p_Y}{2 \cdot \pi} \right)^2 = 188 \cdot \left(\frac{0,005}{2 \cdot \pi} \right)^2 = 1,191 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (41)$$

Kde: m_Y – Hmotnost pohybující se soustavy osy Y [kg]

p_Y – Stoupání závitu kuličkového šroubu osy Y [m]

π – Ludolfovo číslo [-]

- Celkový moment setrvačnosti osy Y redukovaný na hřídel motoru

$$\begin{aligned} J_{rhmY} &= J_{motY} + J_{sY} + J_{spY} + J_{mY} = \\ &= 120 \cdot 10^{-7} + 4,54 \cdot 10^{-6} + 59 \cdot 10^{-8} + 1,191 \cdot 10^{-4} = \\ &= 1,362 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \end{aligned} \quad (42)$$

Kde: J_{motY} – Moment setrvačnosti motoru osy Y [kg·m²]

J_{sY} – Moment setrvačnosti kuličkového šroubu osy Y [kg·m²]

J_{spY} – Moment setrvačnosti spojky osy Y [kg·m²]

J_{mY} – Moment setrvačnosti posuvových hmot osy Y [kg·m²]

- Tíhový moment zátěže osy Y

Při $\alpha = 0^\circ$ je složka tíhového momentu zátěže nulová, tedy:

$$M_{GTY} = \frac{m_Y \cdot g \cdot \sin(\alpha) \cdot p_Y}{2 \cdot \pi \cdot \eta_c} = 0 \text{ Nm} \quad (43)$$

Kde: m_Y – Hmotnost pohybující se soustavy osy Y [kg]

g – Gravitační zrychlení [m·s⁻²]

α – Úhel sklonu vedení [°]

p_Y – Stoupání závitu kuličkového šroubu osy Y [m]

π – Ludolfovo číslo [-]

η_c – Celková účinnost [-]

- Moment pasivních odporů osy Y

$$\begin{aligned} M_{GY} &= \frac{m_Y \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos(\alpha) \cdot p_Y}{2 \cdot \pi \cdot \eta_s \cdot \eta_L^i} = \frac{188 \cdot 9,81 \cdot 0,005 \cdot \cos(0) \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,92 \cdot 0,92} = \\ &= 0,0087 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (44)$$

Kde: m_Y – Hmotnost pohybující se soustavy osy Y [kg]

g – Gravitační zrychlení [m·s⁻²]

f_1 – Součinitel tření pro valivé vedení [-]

α – Úhel sklonu vedení [°]

p_Y – Stoupání závitu kuličkového šroubu osy Y [m]

π – Ludolfovo číslo [-]

η_s – Účinnost kuličkového šroubu [-]

η_L^i – Účinnost ložisek [-]

- Standardní předepínací síla osy Y

$$F_{pY} = \frac{F_{aY}}{2,83} = \frac{376}{2,83} = 132,86 \text{ N} \quad (45)$$

Kde: F_{aY} – Axiální síla nutná ke zrychlení soustavy osy Y [N]

- Moment na kuličkovém šroubu osy Y

$$\begin{aligned} M_{KSMY} &= \frac{F_{pY} \cdot p_Y}{2 \cdot \pi \cdot \eta_L^i} \cdot (1 - \eta_s^2) + \frac{0,5 \cdot m_Y \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot d_{sY} \cdot f_2}{\eta_L^i} = \\ &= \frac{132,86 \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,92} \cdot (1 - 0,92^2) + \\ &\quad + \frac{0,5 \cdot 188 \cdot 9,81 \cdot 0,005 \cdot \cos(0) \cdot 0,0117 \cdot 0,003}{0,92} = 0,0178 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (46)$$

Kde: F_{pY} – Předepínací síla osy Y [N]

p_Y – Stoupání závitu kuličkového šroubu osy Y [m]

π – Ludolfovo číslo [-]

η_L^i – Účinnost ložisek [-]

η_s – Účinnost kuličkového šroubu [-]

m_Y – Hmotnost pohybující se soustavy osy Y [kg]

g – Gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

f_1 – Součinitel tření pro valivé vedení [-]

α – Úhel sklonu vedení [$^\circ$]

f_2 – Ekvivalentní součinitel tření v kuličkovém šroubu redukováný na poloměr šroubu [-]

d_{sY} – Střední průměr kuličkového šroubu osy Y [m]

- Celkový moment zátěže osy Y redukováný na hřídel motoru

$$\begin{aligned} M_{zdrhmY} &= M_{GTY} + M_{GY} + M_{KSMY} = 0 + 0,0087 + 0,0178 = \\ &= 0,0265 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (47)$$

Kde: M_{GTY} – Tíhový moment zátěže osy Y [Nm]

M_{GY} – Moment od pasivních odporů osy Y [Nm]

M_{KSMY} – Moment na kuličkovém šroubu osy Y [Nm]

- Požadovaný moment motoru osy Y dle dynamického hlediska

$$\begin{aligned} M_{mdynY} &= J_{rhmY} \cdot \varepsilon_{mY} + M_{zdrhmY} = 1,362 \cdot 10^{-4} \cdot 209,44 + 0,0265 = \\ &= 0,055 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (48)$$

Kde: J_{rhmY} – Celkový moment setrvačnosti osy Y redukováný na hřídel motoru [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

ε_{mY} – Úhlové zrychlení motoru osy Y [rad^2]

M_{zdrhmY} – Celkový moment zátěže osy Y redukováný na hřídel motoru [Nm]

Navržený kuličkový šroub i krokový motor vyhovují.

Pro osu X i osu Y byla navržena rychlost $5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, vzhledem k tomu, že délka posuvu v těchto osách není velká, jeví se tato rychlost jako dostačující. V případě potřeby je však možno pro tyto osy použít rychlost posuvu až $12 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Pro osu X byl zvolen stejný pohon jako pro osu Y.

5.16 Návrh a kontrola pracovních pneumatických válců

Výpočet je prováděn dle literatury [6] a [35].

5.16.1 Připojovací a boční upínací pneumatický válec

Jako připojovací a boční upínací pneumatický válec byl zvolen pneumatický dvojčinný válec ISO 6432 od firmy Stránský a Petržík s označením 11101 60 00 025 0140. Součástí válce bude standardní přídatné lineární kluzné vedení typu „U“ s označením 2110 510 00 025 0140. Základní parametry tohoto pneumatického válce jsou v (Tab 24).

Tab 24) Parametry připojovacího a bočního upínacího pneumatického válce [6], [36]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Maximální dovolený pracovní tlak	1,2	[MPa]
Průměr pístu	0,025	[m]
Průměr pístní tyče	0,01	[m]
Zdvih	0,14	[m]
Síla na pístní tyči při maximálním dovoleném pracovním tlaku 1,2 MPa	530	[N]

Kontrola kritické síly připojovacího pneumatického válce

V tabulce (Tab 25) jsou uvedeny vstupní parametry pro výpočet.

Tab 25) Vstupní parametry pro kontrolu kritické síly připojovacího pneumatického válce [35]

Parametr	Symbol	Hodnota	Jednotka
Zdvih připojovacího pneumatického válce	z_p	0,14	[m]
Průměr pístní tyče připojovacího pneumatického válce	d_p	0,01	[m]
Modul pružnosti	E	$2,1 \cdot 10^5$	[MPa]
Bezpečnost	k	4	[-]

- Kritická délka pístní tyče připojovacího pneumatického válce

$$l_p = z_p \cdot 2 = 0,14 \cdot 2 = 0,28 \text{ m} \quad (49)$$

Kde: z_p – Zdvih připojovacího pneumatického válce [m]

- Kvadratický moment průřezu pístní tyče připojovacího pneumatického válce

$$J_p = \frac{d_p^4}{64} = \frac{0,01^4}{64} = 1,5625 \cdot 10^{-10} \text{ m}^4 \quad (50)$$

Kde: d_p – Průměr pístní tyče připojovacího pneumatického válce [m]

- Kritická síla na pístní tyči připojovacího pneumatického válce

$$F_{kp} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_p \cdot 10^6}{l_p^2 \cdot k} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,5625 \cdot 10^{-10} \cdot 10^6}{0,28^2 \cdot 4} = 1032,7 \text{ N} \quad (51)$$

Kde: π – Ludolfovo číslo [-]

E – Modul pružnosti [MPa]

J_p – Kvadratický moment průřezu pístní tyče přípojovacího pneumatického válce [m^4]

l_p – Kritická délka pístní tyče přípojovacího pneumatického válce [m]

k – Bezpečnost [-]

Kritická síla na pístní tyči přípojovacího pneumatického válce je vyšší než síla na pístní tyči při maximálním pracovním tlaku, pneumatický válec tedy vyhovuje.

5.16.2 Zadní upínací pneumatický válec

Jako zadní upínací pneumatický válec byl zvolen pneumatický dvojčinný kompaktní válec od firmy Stránský a Petržík. Dle stránek výrobce pro průměr pístu 40 mm je maximální zdvih 150 mm, s možností zvýšení maximálního zdvihu po konzultaci s technickým oddělením společnosti.

Po konzultaci bylo zjištěno, že požadovaný zdvih válce je možno vyrobit, ale hrozí riziko kratší životnosti těsnění pístní tyče při častém použití maximálního zdvihu. Částečnou kompenzaci představuje standardní přídatné lineární kluzné vedení typu „U“, kterým bude tento válec vybaven. Dalším doporučením technického oddělení bylo zvážit vyrobit vedení pístní tyče po celé délce nebo použít válec řady VDMA místo kompaktní řady.

Vzhledem k tomu, že válce řady VDMA jsou výrazně delší, musela by se zvětšit celá konstrukce, zvedla by se hmotnost celého zařízení a také by stoupla jeho cena. Otázkou dále zůstává cena vyráběného vedení pro celou délku pístní tyče a taky to, zda by se tím odstranilo riziko kratší životnosti válce. Bylo tedy rozhodnuto, že bude použit kompaktní válec 12001 01 00 040 1400, základní parametry válce jsou v tabulce (Tab 26), součástí válce bude standardní přídatné lineární kluzné vedení typu „U“ s označením 2120 510 00 040 0400.

V případě problémů při provozu testovacího zařízení z výše popsaných důvodů by byl válec po určitém počtu cyklů vyměněn za nový. Pokud by byla životnost válce velmi krátká, vyrobilo by se k válci vedení pístní tyče po celé délce.

Tab 26) Parametry zadního upínacího pneumatického válce [6], [44]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Maximální dovolený pracovní tlak	1,2	[MPa]
Průměr pístu	0,04	[m]
Průměr pístní tyče	0,012	[m]
Zdvih	0,4	[m]
Síla na pístní tyči při maximálním dovoleném pracovním tlaku 1,2 MPa	1357	[N]

Kontrola kritické síly zadního upínacího pneumatického válce

Po konzultaci s technickým oddělením výrobce zvoleného válce, bylo doporučeno ve výpočtu kritické síly použít kritickou délku, která se rovná zdvihu válce, nikoli dvojnásobku. Tento dvojnásobek se používá pro méně příznivé uchycení válce v zadní části. V tabulce (Tab 27) jsou uvedeny vstupní parametry pro výpočet.

Tab 27) Vstupní parametry pro kontrolu kritické síly zadního upínacího pneumatického válce [35]

Parametr	Symbol	Hodnota	Jednotka
Zdvih zadního upínacího pneumatického válce	z_{zu}	0,4	[m]
Průměr pístní tyče zadního upínacího pneumatického válce	d_{zu}	0,012	[m]
Modul pružnosti	E	$2,1 \cdot 10^5$	[MPa]
Bezpečnost	k	4	[-]

- Kritická délka pístní tyče zadního upínacího pneumatického válce

$$l_{zu} = z_{zu} \cdot 1 = 0,4 \cdot 1 = 0,4 \text{ m} \quad (52)$$

Kde: z_{zu} – Zdvih zadního upínacího pneumatického válce [m]

- Kvadratický moment průřezu pístní tyče zadního upínacího pneumatického válce

$$J_{zu} = \frac{d_{zu}^4}{64} = \frac{0,012^4}{64} = 3,24 \cdot 10^{-10} \text{ m}^4 \quad (53)$$

Kde: d_{zu} – Průměr pístní tyče zadního upínacího pneumatického válce [m]

- Kritická síla na pístní tyči zadního upínacího pneumatického válce

$$F_{Kzu} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{zu} \cdot 10^6}{l_{zu}^2 \cdot k} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 3,24 \cdot 10^{-10} \cdot 10^6}{0,4^2 \cdot 4} = 1049,3 \text{ N} \quad (54)$$

Kde: π – Ludolfovo číslo [-]

E – modul pružnosti [MPa]

J_{zu} – Kvadratický moment průřezu pístní tyče zadního upínacího pneumatického válce [m⁴]

l_{zu} – Kritická délka pístní tyče zadního upínacího pneumatického válce [m]

k – Bezpečnost [-]

Kritická síla na pístní tyči zadního upínacího pneumatického válce je nižší než síla na pístní tyči při maximálním pracovním tlaku, je to způsobeno volbou doporučené bezpečnosti $k=4$. Při snížení bezpečnosti na hodnotu $k=3$ by již kritická síla byla vyšší než síla na pístní tyči při maximální pracovním tlaku. Použití válce bylo konzultováno s výrobcem tohoto pneumatického válce a pro požadované účely lze tento válec použít.

5.17 Pneumatický okruh

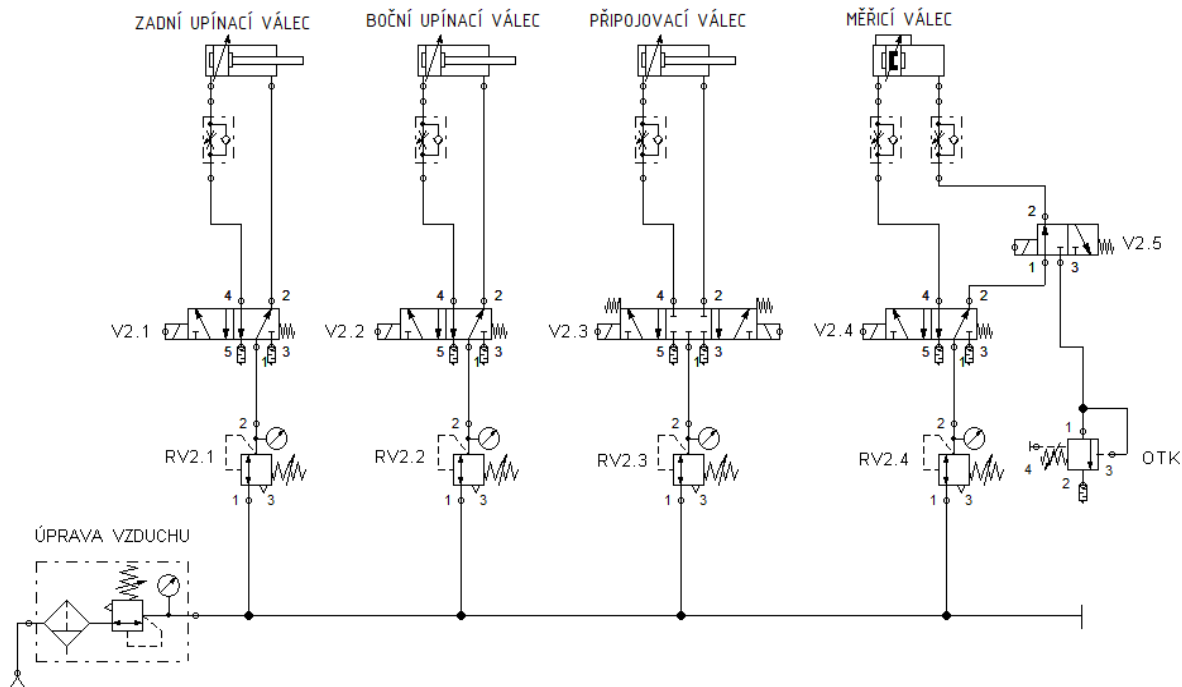
Pneumatický okruh testovacího zařízení je rozdělen na pomocný pneumatický okruh a testovací pneumatický okruh. Pro volbu jednotlivých komponent je nutné znát spotřebu stlačeného vzduchu, proto bude proveden výpočet teoretické maximální spotřeby stlačeného vzduchu.

5.17.1 Pomocný pneumatický okruh

Pomocný pneumatický okruh lze rozdělit do tří skupin. První skupina se skládá ze dvou redukčních ventilů označených RV2.1 a RV2.2, dále jsou zde dva 5/2 rozváděče označeny V2.1 a 2.2 a dvou dvojčinných pneumatických válců, zadní upínací a boční upínací. Ve druhé skupině se nachází redukční ventil RV2.3, 5/3 rozváděč V2.3 a připojovací dvojčinný pneumatický válec. Třetí skupina obsahuje redukční ventil RV2.4, jeden otevírací tlakový kompenzátor OTK, jeden 5/2 rozváděč V2.4, jeden 3/2 rozváděč V2.5 a jeden dvojčinný bezpístnicový měřič pneumatického válce. Pro řízení rychlosti pneumatických válců jsou použity škrtkové ventily.

Redukční ventily mají rozsah tlaků 0,5 až 12 barů. Popsané komponenty jsou zobrazeny ve schématu na obrázku (Obr. 52).

Dále pomocný pneumatický obvod obsahuje komponenty jako jsou hadice, nástrčná šroubení, rozbočovač, tlumiče hluku, ad. Stlačený vzduch vstupující do pomocného pneumatického obvodu prochází jednotkou pro úpravu stlačeného vzduchu.

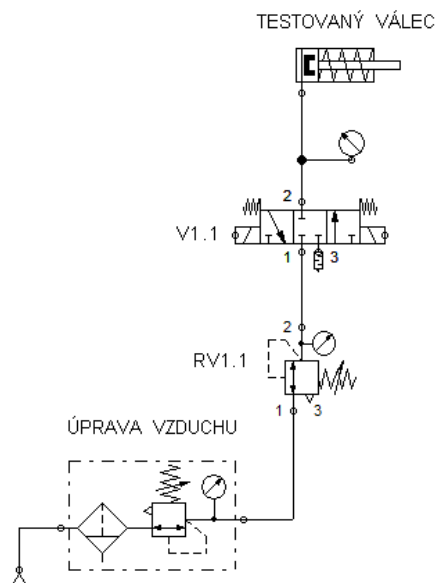


Obr. 52) Pomocný pneumatický okruh

5.17.2 Testovací pneumatický okruh

Testovací pneumatický okruh se skládá z redukčního ventilu RV1.1 a 3/3 rozváděče V1.1. Ve schématu (Obr. 53) je testovaný válec znázorněn jako jednočinný pneumatický válec. Typ testovaného pneumatického válce se mění podle toho, jaký válec se zrovna testuje. V obvodu je zařazen ukazatel tlaku, který slouží k ověření správnosti připojení testovaného pneumatického válce ke stlačenému vzduchu. Redukční ventil má rozsah tlaků 0,3 až 7 barů.

Dále testovací pneumatický obvod obsahuje komponenty jako jsou hadice, nástrčná šroubení, záslepky, tlumiče hluku, ad. Stlačený vzduch vstupující do testovacího pneumatického obvodu prochází jednotkou pro úpravu stlačeného vzduchu.



Obr. 53) Testovací pneumatický okruh

5.17.3 Spotřeba stlačeného vzduchu

Níže je proveden výpočet teoretické maximální spotřeby stlačeného vzduchu. Výpočet je proveden dle literatury [47]. Výpočet je prováděn pro pracovní tlak 10 bar, tedy maximální tlak udávaný výrobcem pro výpočet spotřeby stlačeného vzduchu. Počet zdvihů za minutu je volen 2.

Skutečný pracovní tlak i počet zdvihů za minutu nebude pravděpodobně při testování dosažen. Tyto hodnoty jsou voleny z důvodu výpočtu teoretického maximálního množství stlačeného vzduchu pro dimenzování potřebných pneumatických komponent zařazených v pneumatickém obvodu.

V tabulce (Tab 28) jsou uvedeny vstupní doplňkové parametry pro výpočet spotřeby stlačeného vzduchu.

Tab 28) Vstupní doplňkové parametry pro výpočet spotřeby stlačeného vzduchu [47]

Parametr	Symbol	Hodnota	Jednotka
Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při vysouvání pístní tyče přípojovacího pneumatického válce	q_{p_p}	0,054	[l]
Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při zasouvání pístní tyče přípojovacího pneumatického válce	q_{z_p}	0,0451	[l]
Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při vysouvání pístní tyče zadního upínacího pneumatického válce	$q_{p_{zu}}$	0,138	[l]
Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při zasouvání pístní tyče zadního upínacího pneumatického válce	$q_{z_{zu}}$	0,11	[l]
Zdvih měřicího pneumatického válce	z_m	0,35	[m]
Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při vysouvání pístní tyče měřicího pneumatického válce	q_{p_m}	0,138	[l]
Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při zasouvání pístní tyče měřicího pneumatického válce	q_{z_m}	0,11	[l]

Parametr	Symbol	Hodnota	Jednotka
Maximální zdvih testovaného pneumatického válce	z_{tm}	0,3	[m]
Maximální spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při vysouvání pístní tyče testovaného pneumatického válce	qp_{tm}	0,862	[l]
Maximální spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při zasouvání pístní tyče testovaného pneumatického válce	qz_{tm}	0	[l]
Počet vysunutí za minutu	n_{vt}	2	[-]
Počet zdvihů za minutu (vysunutí a zasunutí)	n_z	2	[-]

- Spotřeba stlačeného vzduchu přípojovacího pneumatického válce

$$Q_p = z_p \cdot (qp_p + qz_p) \cdot n_z \cdot 0,1 \cdot 10^3 =$$

$$= 0,14 \cdot (0,054 + 0,0451) \cdot 2 \cdot 0,1 \cdot 10^3 = 2,7748 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \quad (55)$$

Kde: z_p – Zdvih přípojovacího pneumatického válce [m]

qp_p – Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při vysouvání pístní tyče přípojovacího pneumatického válce [l]

qz_p – Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při zasouvání pístní tyče přípojovacího pneumatického válce [l]

n_z – Počet zdvihů za minutu (vysunutí a zasunutí) [-]

- Spotřeba stlačeného vzduchu bočního upínacího pneumatického válce

Boční upínací pneumatický válec má stejné parametry jako přípojovací pneumatický válec, proto:

$$Q_{bu} = Q_p = 2,7748 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \quad (56)$$

Kde: Q_p – Spotřeba stlačeného vzduchu přípojovacího pneumatického válce [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$]

- Spotřeba stlačeného vzduchu zadního upínacího pneumatického válce

$$Q_{zu} = z_{zu} \cdot (qp_{zu} + qz_{zu}) \cdot n_z \cdot 0,1 \cdot 10^3 =$$

$$= 0,4 \cdot (0,138 + 0,11) \cdot 2 \cdot 0,1 \cdot 10^3 = 19,84 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \quad (57)$$

Kde: z_{zu} – Zdvih zadního upínacího pneumatického válce [m]

qp_{zu} – Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při vysouvání pístní tyče zadního upínacího pneumatického válce [l]

qz_{zu} – Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při zasouvání pístní tyče zadního upínacího pneumatického válce [l]

n_z – Počet zdvihů za minutu (vysunutí a zasunutí) [-]

- Spotřeba stlačeného vzduchu měřicího pneumatického válce

$$Q_m = z_m \cdot (qp_m + qz_m) \cdot n_z \cdot 0,1 \cdot 10^3 =$$

$$= 0,35 \cdot (0,138 + 0,11) \cdot 2 \cdot 0,1 \cdot 10^3 = 17,36 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \quad (58)$$

Kde: z_m – Zdvih měřicího pneumatického válce [m]

qp_m – Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při vysouvání pístní tyče měřicího pneumatického válce [l]

qz_m – Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při zasouvání pístní tyče měřicího pneumatického válce [l]

n_z – Počet zdvihů za minutu (vysunutí a zasunutí) [-]

- Spotřeba stlačeného vzduchu testovaného pneumatického válce

Pro výpočet se uvažuje největší možný testovaný pneumatický válec. Při testování se bude provádět pouze vysunutí pístní tyče testovaného pneumatického válce pomocí stlačeného vzduchu, zasunutí bude provádět měřicí pneumatický válec.

$$Q_t = z_{tm} \cdot (q_{p_{tm}} + q_{z_{tm}}) \cdot n_{vt} \cdot 0,1 \cdot 10^3 =$$

$$= 0,3 \cdot (0,862 + 0) \cdot 2 \cdot 0,1 \cdot 10^3 = 51,72 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \quad (59)$$

Kde: z_{tm} – Maximální zdvih testovaného pneumatického válce [m]

$q_{p_{tm}}$ – Maximální spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při vysouvání pístní tyče testovaného pneumatického válce [l]

$q_{z_{tm}}$ – Maximální spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při zasouvání pístní tyče testovaného pneumatického válce [l]

n_{vt} – Počet vysunutí za minutu [-]

- Celková teoretická maximální spotřeba stlačeného vzduchu

$$Q_{tc} = Q_p + Q_{bu} + Q_{zu} + Q_m + Q_t =$$

$$= 2,7748 + 2,7748 + 19,84 + 17,36 + 51,72 = 94,5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \quad (60)$$

Kde: Q_p – Spotřeba stlačeného vzduchu přípojovacího pneumatického válce [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$]

Q_{bu} – Spotřeba stlačeného vzduchu bočního upínacího pneumatického válce [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$]

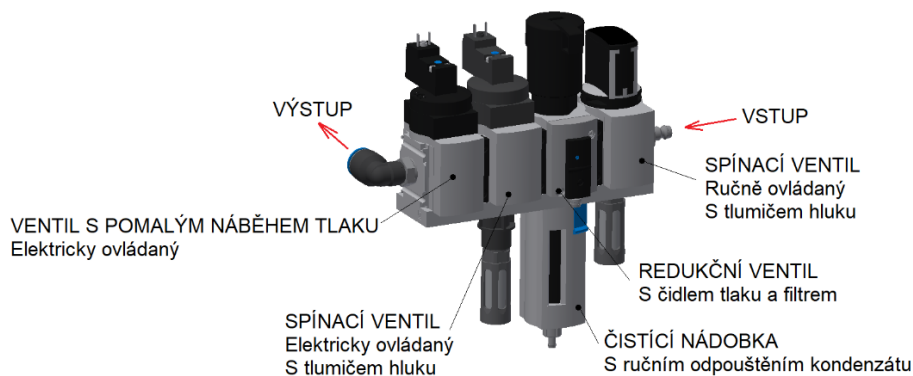
Q_{zu} – Spotřeba stlačeného vzduchu zadního upínacího pneumatického válce [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$]

Q_m – Spotřeba stlačeného vzduchu měřicího pneumatického válce [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$]

Q_t – Spotřeba stlačeného vzduchu testovaného pneumatického válce [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$]

5.17.4 Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu

Pro úpravu stlačeného vzduchu (*Obr. 54*) před vstupem do testovacího zařízení byla navržena jednotka, která se skládá z ručně ovládaného spínacího ventilu s tlumičem hluku, redukčního ventilu s filtrem, čistící nádobky, elektricky ovládaného spínacího ventilu s tlumičem hluku a z ventilu s pomalým náběhem tlaku. Směr proudění tlaku v jednotce je zprava do leva. Na vstupu do jednotky je rychlospojka, která umožňuje rychlé a spolehlivé připojení a odpojení hadice se stlačeným vzduchem. Ručně ovládaný spínací ventil je zde z bezpečnostních důvodů, aby obsluha byla schopna v případě potřeby ručně uzavřít přívod stlačeného vzduchu do testovacího zařízení. Redukční ventil zajišťuje redukování tlaku v rozsahu 0,5 až 12 bar, tento redukční ventil také obsahuje čidlo tlaku, které udává informace o hodnotě tlaku. Dále je součástí redukčního ventilu filtr a čistící nádobka s ručním odpouštěním kondenzátu. Jemnost filtru je 5 μm . Elektricky ovládaný spínací ventil slouží tomu, aby po impulzu z řídicí jednotky vpustil stlačený vzduch do pneumatického obvodu. Ventil s pomalým náběhem tlaku zajistí, aby se předešlo náhlým a nevypočitatelným pohybům pneumatických komponent zařazených v obvodu. Na výstupu z jednotky je nástrčné šroubení typu L.



Obr. 54) Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu

5.17.5 Snímač tlaku

V testovacím pneumatickém okruhu je zařazen snímač tlaku. Tento snímač tlaku slouží pro kontrolu připojení testovaného pneumatického válce k testovacímu pneumatickému okruhu. Pro proces kontroly připojení byl zvolen snímač tlaku bez displeje (*Obr. 55*) s označením BSP B020–DV004–A06A1A–S4 od firmy Balluff. Rozsah tlaků snímače je 0 až 20 bar a jeho přesnost je $\pm 0,5$ %. Snímač je plně zapouzdřen v těle z ušlechtilé oceli.



Obr. 55) Snímač tlaku BSP B020–DV004–A06A1A–S4 [49]

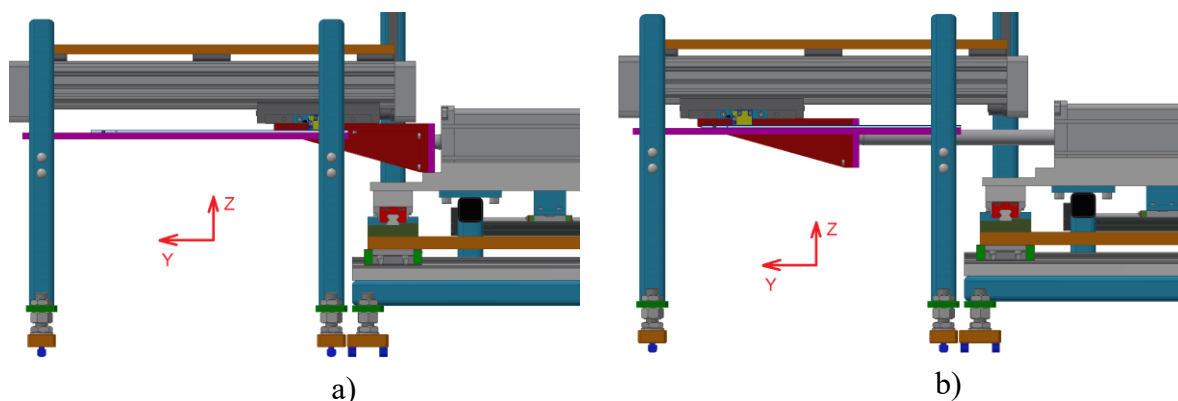
5.18 Testovací proces

Před samotným spuštěním testovacího procesu je nutné, aby testovací zařízení, přesněji systém testovacího zařízení věděl, jaký pneumatický válec se bude testovat. Toto je nutné, aby bylo možné provést jak samotný test, tak i vyhodnocení provedeného testu.

Obsluha testovacího zařízení načte příslušný testovaný pneumatický válec do systému stroje, a to buď pomocí ruční čtečky kódů (*Obr. 57 b*) nebo pomocí dotykového panelu (*Obr. 57 a*). Jakmile je toto provedeno, obsluha otevře vkládací dveře a umístí testovaný pneumatický válec do upínací stanice a zavře vkládací dveře. Až bezpečnostní spínač na dveřích vyhodnotí zavření dveří obsluha na ovládacím panelu spustí testovací proces. Nejprve dojde k upnutí testovaného pneumatického válce, jakmile je testovaný pneumatický válec upnut, najede upínací stanice k připojovací stanici (v ose X). Proběhne připojení testovaného pneumatického válce k testovacímu pneumatickému okruhu. Správnou polohu pracovních pneumatických válců upínací a připojovací stanice kontrolují fotoelektrické snímače. Po připojení najede testovaný pneumatický válec k měřicí stanici (v ose Y). Předtím než proběhne test, dojde k tomu, že měřicí pneumatický válec pomocí měřicí desky zatlačí do pístní tyče testovaného pneumatického válce, aby byla zajištěna výchozí poloha pístní tyče testovaného pneumatického válce a je proveden test těsnosti připojení. Vymezení výchozí polohy je důležité zejména u dvojčinných pneumatických válců. U jednočinných pneumatických válců zajišťuje výchozí polohu pístní tyče pružina, která je součástí válce. Jakmile je toto provedeno proběhne

měření. Měření probíhá tak, že dojde k výsuvu pístní tyče testovaného pneumatického válce, pístní tyč posune měřicí desku umístěnou na měřicím bezpístnicovém pneumatickém válci a magnetický lineární snímač polohy určí hodnotu výsuvu. Při průběhu testu funguje měřicí pneumatický válec jako pneumatická pružina, která zabezpečuje to, že měřicí deska je v kontaktu s pístní tyčí testovaného pneumatického válce. Po provedení testu měřicí válec pomocí měřicí desky zasune pístní tyč do výchozí polohy, toto opět platí pro dvojčinné pneumatické válce. Testovaný pneumatický válec najede do výchozí polohy (v ose Y), dojde k odpojení od testovacího pneumatického okruhu, testovaný pneumatický válec najede do výchozí polohy (v ose X), dojde k uvolnění testovaného pneumatického válce, aktuátor bezpečnostního spínače uvolní vkládací dveře, obsluha otevře vkládací dveře a vyjme testovaný pneumatický válec. Na displeji je zobrazeno vyhodnocení měření. V případě vyhodnocení OK obsluha posune testovaný pneumatický válec na další pracoviště. V případě vyhodnocení NOK bude testovaný pneumatický válec s nevyhovujícím výsledkem izolován na předepsaném místě a o dalším použití bude rozhodnuto dle předepsaného postupu.

Průběh měření je na obrázku (Obr. 56). Proces upnutí a připojení testovaného pneumatického válce je detailněji popsán v kapitole (kap. 5.3.1) varianta připojení 1A a (kap. 5.5.4) varianta upínání 4.



Obr. 56) Průběh měření a) Výchozí a koncová pozice, b) Pozice měření

Jak již bylo zmíněno výše, jsou dva možné způsoby načtení testovaného pneumatického válce do systému testovacího zařízení. První možností je ruční čtečka kódů. Byla zvolena čtečka s označením SR-G100 (Obr. 57 b) od firmy Keyence. Tato čtečka nabízí vysokorychlostní čtení a dokáže si poradit i se špatně čitelnými kódy. Tento způsob lze použít jen tehdy, má-li testovaný pneumatický válec na sobě kód. Tato varianta je snazším a rychlejším řešením.

Druhou možností, jak načíst tetovaný pneumatický válec do systému testovacího zařízení je použít bezventilátorový panelový PC s dotykovým LCD panelem s označením TPC-1251T (Obr. 57 a) od firmy Advantech. Tento způsob jde použít vždy, ale načtení zabere více času a je pro obsluhu testovacího zařízení méně pohodlný.



a)



b)

Obr. 57) Příslušenství a) Bezventilátorový panelový PC s dotykovým LED panelem TPC-1251T [50], b) Ruční čtečka kódů SR-G100 [51]

Řízení testovacího zařízení pneumatických válců bude probíhat pomocí PLC. Toto PLC je propojeno s bezventilátorovým panelovým PC, které bude sloužit ke zpracování výsledků měření. Celý systém bude uzpůsoben k tomu, aby mohl odesílat data online do podnikové databáze a zároveň vygeneroval protokol o zkoušce s přiřazeným výrobním číslem testovaného pneumatického válce.

6 BEZPEČNOST TESTOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

K provozování strojního zařízení ve výrobních podnicích v České republice je nutné zajistit prohlášení o shodě s legislativou v České republice a také legislativou Evropské unie.

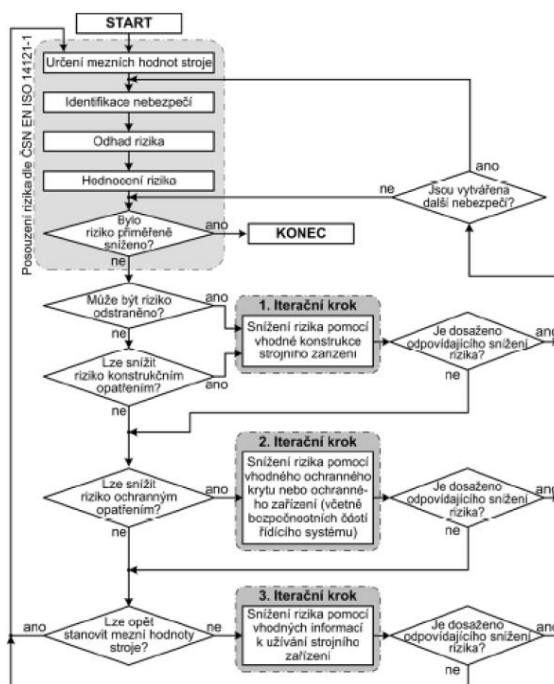
Před uvedením strojního zařízení do provozu je nutné splnit požadavky týkající se bezpečnosti a ochrany zdraví. Dále musí být zpracována technická dokumentace a potřebné informace k testovacímu zařízení. Je to zejména návod k obsluze, návod k údržbě, návod na výměnu částí či součástí testovacího zařízení a také analýza rizik.

Ke zpracování všech těchto dokumentů slouží příslušné normy, například:

- ČSN EN ISO 12100 – Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – posuzování a snižování rizika,
- ČSN EN ISO 13857 – Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami,
- ČSN EN ISO 13849–1 – Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci,
- ČSN EN 60204–1 ed. 2 – Bezpečnost strojních zařízení – Elektrická zařízení strojů – Část 1: Všeobecné požadavky,
- ČSN EN ISO 14119 – Bezpečnost strojních zařízení – Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty – Zásady pro konstrukci a volbu,
- ad.

6.1 Analýza rizik

Při konstrukci a návrhu strojního zařízení musí konstruktér brát na zřetel zdraví osob a bezpečnost. Při návrhu je nutno analyzovat možná rizika, ty následně posuzovat a snižovat tyto rizika. Na obrázku (Obr. 58) je zobrazen postupový diagram s doporučeným postupem.



Obr. 58) Postupový diagram iterační metody „Tři kroků“ dle ČSN ISO 12100–1 [43]

6.2 Bezpečnost testovacího zařízení

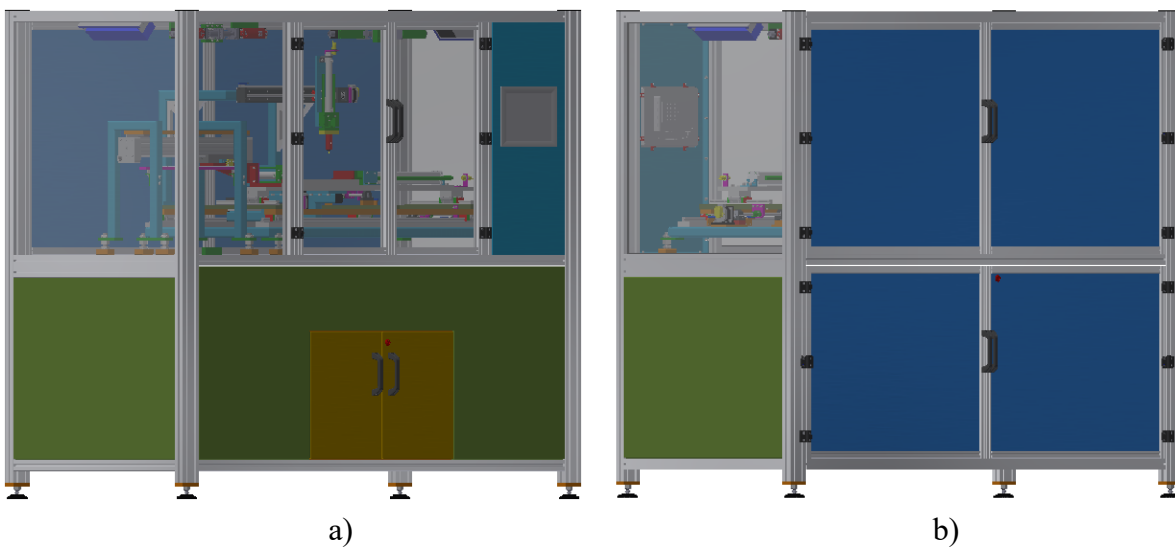
Postupový diagram (Obr. 58) uvádí, že rizika je možné snižovat pomocí vhodné konstrukce strojního zařízení, pomocí krytování a pomocí vhodných informací k užívání strojního zařízení.

6.2.1 Konstrukce

Všechny ostré hrany, o které by si obsluha strojního zařízení případně pracovník údržby, by měly být sraženy nebo zaobleny, pokud je to možné. Vedení pro média (elektrická energie a stlačený vzduch) uzpůsobit tak, aby se obsluha k tomuto vedení nedostala a aby toto vedení obsluhu neohrozilo (zásah elektrickým proudem).

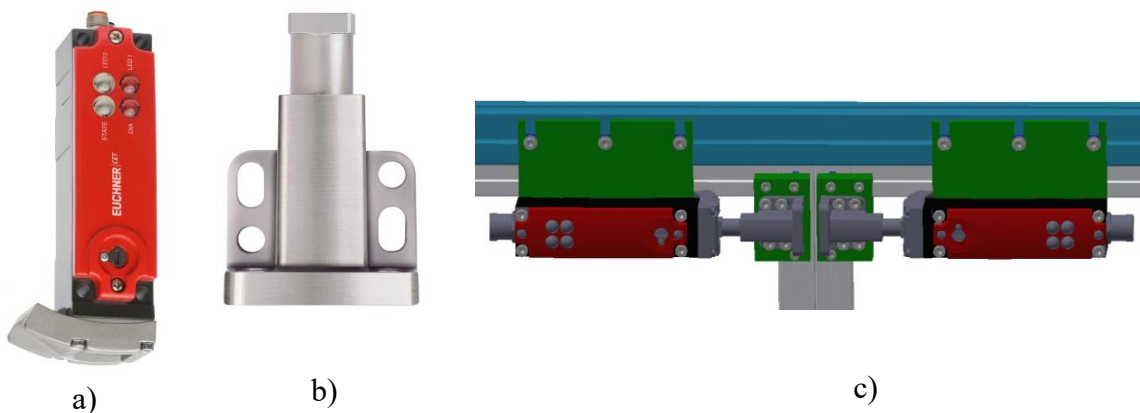
6.2.2 Krytování

V pracovním prostoru testovacího zařízení dochází k pohybu částí tohoto testovacího zařízení. Pracovní prostor je plně krytován (Obr. 59).



Obr. 59) Krytování a) Pohled zepředu, b) Pohled zezadu

Horní dveře (přední – vkládací a zadní – servisní) obsahují bezpečnostní spínač CET1-AR-CRA-CH-50S-SG-105764 (Obr. 60 a) s aktuátorem CET-A-BWK-50X (Obr. 60 b), na obrázku (Obr. 60 c) je zobrazen způsob instalace bezpečnostního spínače.



Obr. 60) Bezpečnostní spínač a) Spínač CET1-AR-CRA-CH-50S-SG-105764 [46], b) Aktuátor CET-A-BWK-50X [46], c) Způsob instalace

Spodní zadní dveře a dveře rozvaděče jsou jištěny pomocí západky ovládané klíčem (Obr. 61).



Obr. 61) Západka [45]

6.2.3 Volba vhodných komponent

Do této kategorie spadají například komponenty připojené k elektrické energii. Pokud je to možné tyto komponenty by měly být napájeny napájecím napětím 24 V.

Tam kde dochází k vyfukování stlačeného vzduchu z pneumatického obvodu jsou příslušné pneumatické prvky vybaveny tlumiči hluku. V případě potřeby je možné ruční uzavření přívodu stlačeného vzduchu.

Strojní zařízení je také vybaveno tlačítkem TOTAL STOP, které je jasně označené, viditelné a volně přístupné.

Lineární moduly a osy X i Y jsou vybaveny koncovými spínači. Koncové spínače jsou schopny v případě neočekávané události odpojit pohon od elektrické energie a zastavit tak pohyb testovacího zařízení v koncové poloze. Tímto se zabrání poškození jednotlivých komponent testovacího zařízení a také se předejde případnému zranění obsluhy testovacího zařízení či pracovníka údržby nebo pracovníka servisu. Koncový spínač je na obrázku (Obr. 62).



Obr. 62) Koncový spínač 8–14–0040 [53]

Potřebné osvětlení pracovního prostoru testovacího zařízení zajišťují dvě strojní LED svítidla s označením LED RS Pro 777–7956 (Obr. 63). Dobré osvětlení pracovního prostoru je důležité z toho důvodu, aby pracovník při zakládání testovaného pneumatického válce dobře viděl do prostoru stroje, především na upínací desku. Správným osvětlením se také dochází k minimalizaci pracovních úrazů.



Obr. 63) Strojní svítidlo LED RS Pro 777–7956 [52]

6.2.4 Bezpečnostní značení

Strojní zařízení je označeno bezpečnostními štítky, které upozorňují obsluhu a další personál v blízkosti strojního zařízení na možná nebezpečí. Dále jsou označeny bezpečnostní prvky strojního zařízení jako je například tlačítko TOTAL STOP nebo označení přívodu stlačeného vzduchu do strojního zařízení.

6.2.5 Obsluha a údržba strojního zařízení

Strojní zařízení může obsluhovat a udržovat pouze obsluha k tomu určená, způsobilá a řádně proškolená.

7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Při vývoji a konstrukci nového zařízení hraje nedílnou součást také celková cena zařízení. V tabulce (Tab 29) jsou uvedeny jednotlivé konstrukční uzly a jejich cena.

V příloze (Příloha_4 – Ekonomické zhodnocení) je poté proveden detailnější rozbor. U jednotlivých uzlů jsou vypsány hlavní komponenty těchto uzlů a je provedena kalkulace cen. Pokud bylo možné dohledat oficiální cenu jednotlivých komponent, je tato cena uvedena v příloze (Příloha_4 – Ekonomické zhodnocení). Pokud nebyla oficiální cena k dispozici, byla tato cena odhadnuta na základě podobných komponent jiných výrobců. V položce další jsou zohledněny ceny sekundárních komponent, které nejsou v příloze (Příloha_4 – Ekonomické zhodnocení) uvedeny. Jedná se například o spojovací materiál, krytky profilů, hadice pneumatických obvodů, nástrčná šroubení, různé držáky a úchytky, ad. V položce další je také započten odhad ceny obrábění a svařování u těch položek, na kterých se toto provádí.

Tab 29) Ekonomické zhodnocení

Konstrukční uzel	Cena [Kč]
Hlavní rám	27 700
Skelet	118 484
Základní rám	8 830
Osa X	22 450
Osa Y	23 500
Připojovací stanice	18 870
Upínací stanice	26 370
Měřicí stanice	15 589
Pneumatické prvky	46 582
Elektronika	100 000
Příslušenství	34 000
CELKOVÁ ČÁSTKA	442 425

Po sečtení všech nákladů dostaneme celkovou cenu testovacího zařízení 442 425 Kč.

8 DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Strojního zařízení během své životnosti prochází různými stádii, které lze souhrnně nazvat životní cyklus. Do životního cyklu každého strojního zařízení spadá vývoj, výroba, montáž, oživení, testování, používání, údržba a likvidace.

8.1 Vývoj

Při vývoji nového strojního zařízení je důležité stanovit cíle, kterých má být dosaženo. Určit k čemu bude strojní zařízení sloužit, s čím bude pracovat a v jakém prostředí bude pracovat. Důležité je zkontrolovat také to, zda je možné přivedení elektrické energie a stlačeného vzduchu ke strojnímu zařízení.

Při vývoji by se mělo postupovat systémovým a sofistikovaným způsobem. Měl by být stanoven časový harmonogram, který se bude dodržovat. Nutné je také zajistit finanční a lidský kapitál.

8.2 Výroba

Při výrobě je nutné dodržovat technologické postupy. U svařovaných částí může dojít k nežádoucí deformaci z důvodu teplotního ovlivnění částí konstrukce. Z toho důvodu jsou funkční plochy obrobena až po svaření. Jedná se hlavně o plochy pro lineární vedení, domečky kuličkových šroubů a lineární moduly.

8.3 Montáž

Při montáži je nutné postupovat dle výkresové dokumentace a poskládat jednotlivé komponenty strojního zařízení do funkčního celku. Při montáži nakupovaných komponent je nutné postupovat dle návodu výrobce a používat vhodné a doporučené nástroje. Vhodné je vytvoření montážního postupu.

8.4 Oživení

Oživení a zprovoznění jednotlivých konstrukčních celků a celého stroje musí být provedeno v souladu s platnými normami a nařízeními. Oživení může provádět pouze osoba k tomu způsobilá.

8.5 Testování

Po montáži a oživení by mělo následovat otestování strojního zařízení. Zde je nutné zkontrolovat, zda jednotlivé konstrukční uzly fungují, tak jak mají. Důležité je zaměřit se také na bezpečnostní prvky jako jsou koncové spínače a bezpečnostní spínače horních dveří.

8.6 Používání

Používat strojní zařízení může pouze obsluha k tomu určená a řádně proškolená. Strojní zařízení musí být používáno jen v souladu s návodem k použití, který musí být součástí strojního zařízení. Strojní zařízení se nesmí používat k jinému účelu, než k jakému bylo zkonstruováno.

8.7 Údržba

Důležité je vypracovat plán údržby, mazací plán a dodržovat je. Údržbu může provádět pouze osoba k tomu určená a řádně způsobilá.

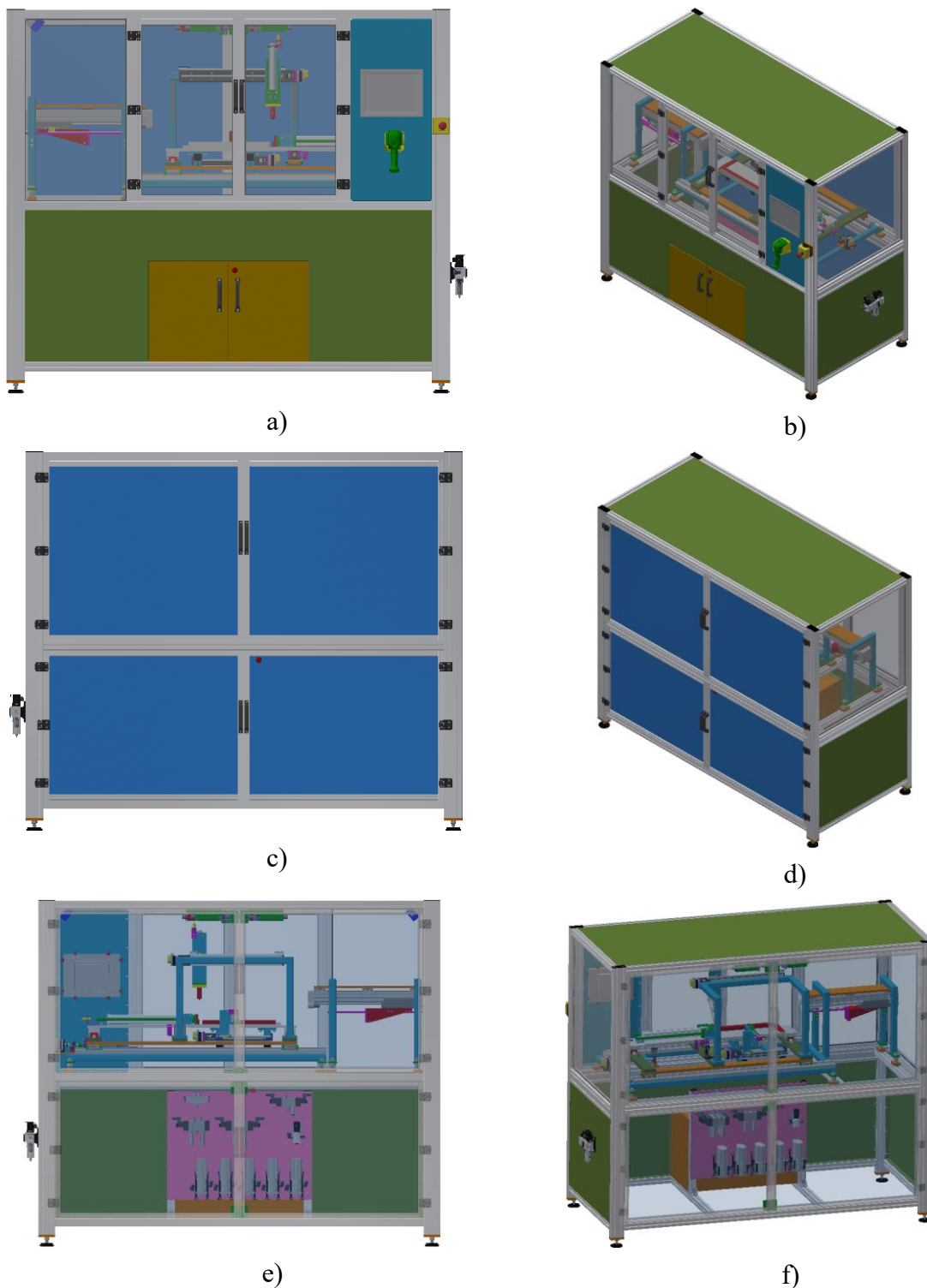
8.8 Likvidace

Po skončení životnosti a vyřazení strojního zařízení z provozu je nutné provést likvidaci strojního zařízení v souladu s platnými normami a nařízeními. V současné době, ve většině případů, je likvidace strojního zařízení prováděna externími firmami, které se tímto problémem zabývají.

Strojní zařízení je nutno odpojit od elektrické sítě a odpojit přívod stlačeného vzduchu. Následně je strojní zařízení demontováno a jednotlivé celky jsou ekologicky zlikvidovány. Pokud je to možné probíhá recyklace materiálů.

9 3D MODEL TESTOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Na obrázku (Obr. 64) je 3D model testovacího zařízení pneumatických válců. Tento 3D model byl vytvořen v programu Autodesk Inventor Professional 2016.



Obr. 64) 3D model testovacího zařízení a) Pohled zepředu 1, b) Pohled zepředu 2, c) Pohled zezadu 1, d) Pohled zezadu 2, e) Pohled zezadu „dovnitř“ 1, e) Pohled zezadu „dovnitř“ 2

10 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Výsledkem diplomové práce je konstrukční návrh testovacího zařízení pneumatických válců. Toto testovací zařízení by mělo umožnit efektivnější provádění testování pneumatických válců, hlavně ale odstranit možné chyby, které by mohly nastat v důsledku lidského faktoru.

Vypracování diplomové práce přineslo mnoho cenných poznatků a výsledek hodnotím kladně. Důležité je si uvědomit, že konstruktér musí mít alespoň základní povědomí o trhu a cenách jednotlivých potřebných komponent. Je důležité dobře odhadnout poměr kvality a ceny dané komponenty. Nejvhodnější je volit ověřené dodavatele s kvalitními výrobky i servisem, než-li zvolit levnou a mnohdy nekvalitní komponentu, která by v případě poruchy mohla způsobit další škody případně zranění obsluhy stroje.

Dá se předpokládat, že v průběhu výroby, montáže či používání dojde k nějaké konstrukční změně. V případě zásahu do konstrukce je výhoda snadného přístupu k jednotlivým prvkům testovacího zařízení a možnosti snadné výměny či nahrazení nějaké komponenty, to platí i v případě poškození při používání.

Při hodnocení této diplomové práce nesmíme opomenout to, že se primárně zabývá konstrukčním návrhem testovacího zařízení pneumatických válců a to tak, aby testovací zařízení splňovalo požadované funkce určené v zadání. Práci by bylo vhodné doplnit o výpočet a simulaci chování rámu připojovací (rám připojovací stanice) a upínací stanice (rám pro lineární modul). Dále pak práci doplnit elektrickými prvky, jejich řízením a programováním. Práce by také měla obsahovat kompletní analýzy rizik, tato část v práci je zpracována jen okrajově. Součástí práce by také měl být kompletní návod k obsluze a seřizovací návod. Vzhledem k tomu, že nebylo zadáno konkrétní místo používání stroje, nejsou opatření k zajištění klimatických podmínek součástí práce. Zkoušení testovaného pneumatického válce by však mělo probíhat v klimatických podmínkách odpovídajících podmínkám, které jsou předepsány v dokumentaci. Tyto uváděné skutečnosti již přesahují rozsah zadání.

11 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vypracovat konstrukční návrh testovacího zařízení pneumatických válců. V první části práce je provedeno shrnutí současného stavu poznání v oblasti pneumatických válců, v oblasti měření a zkoušení pneumatických prvků a jsou zde také popsány vybrané lineární snímače polohy.

Informace získané v přehledu současného poznání poté byly využity při vlastním konstrukčním řešení testovacího zařízení. Byl zpracován systémový rozbor, jako nástroj k dosažení požadovaných cílů a výsledků. Pro výběr optimální varianty byla zvolena vícekriteriální analýza. Pro hodnocení zvolených vlastností byla použita Saatyho metoda párového porovnávání a pro výběr konkrétní optimální varianty byla použita bodovací metoda. Nejprve byl zvolen lineární snímač polohy. Následně byly zpracovány varianty upínání testovaného pneumatického válce a připojení stlačeného vzduchu k testovanému pneumatickému válci a byly zvoleny optimální varianty. Poté byl proveden vlastní konstrukční návrh testovacího zařízení pneumatických válců a jednotlivé části byly podrobně popsány. Byl proveden návrh testovacího pneumatického okruhu a pomocného pneumatického okruhu, tyto pneumatické okruhy zobrazují potřebné pneumatické komponenty.

V konstrukční části je pomocí výpočtů provedena kontrola zvolených komponent jako jsou pracovní pneumatické válce, lineární vedení, lineární moduly, kuličkové šrouby a pohony. Je zde také vypočítána maximální teoretická spotřeba stlačeného vzduchu.

V práci je také kladen důraz na bezpečnost testovacího zařízení. Jsou zde popsána bezpečnostní opatření, která byla při návrhu a konstrukci testovacího zařízení provedena. Je zde zdůrazněno, že obsluhovat a manipulovat s testovacím zařízením smí pouze osoba k tomu určená, způsobilá a řádně zaškolená.

V práci je provedeno ekonomické zhodnocení. Do celkové ceny jsou promítnuty ceny materiálu, jednotlivých komponent a odhad ceny práce obrábění či svařování. Dále je zde uvedeno doporučení pro praxi, které se týká životního cyklu testovacího zařízení.

Součástí práce je 3D model a výkresová dokumentace.

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOPÁČEK, Jaroslav. Pneumatické mechanismy. Žilina: Vysoká škola dopravy a spojov, 1991. ISBN 80-7100-057-4.
- [2] KUHN, Ludvík a Josef JENČÍK. Technická měření ve strojnictví. Praha: SNTL, 1982. Technický průvodce (SNTL). ISBN 978-80-260-6780-1.
- [3] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [4] Kurz: B3B38SME, AD3B38SME, A3B38SME - Senzory a měření - B172 [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/93170/mod_resource/content/1/07_Poloha%200text.pdf
- [5] Absolutní zpětnovazební magnetické měření polohy a pohybu | Automatizace.HW.cz [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/absolutni-zpetnovazebni-magneticke-mereni-polohy-a-pohybu.html>
- [6] Stránský a Petržík – Válce – Technické informace [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.stranskyapetrzik.cz/pneu/pneumaticke-valce/technicke-informace-valce/>
- [7] Jak postupovat při výběru pneumatického válce [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.kompresory-vzduchotechnika.cz/poradna/jak-vybrat-pneumaticky-valce/>
- [8] Odměrování polohy s přesností na 0,001 mm | Automatizace.HW.cz [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz//odmerovani-polohy-s-presnosti-na-0001-mm>
- [9] Časopis Automa Lineární optické snímače polohy [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: https://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/linearni-opticke-snimace-polohy-2006_05_31121_1673/
- [10] Linear encoders for numerically controlled machine tools [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/571470-2C_Linear_Encoders_For_Numerically_Controlled_Machine_Tools.pdf
- [11] HÄBERLE, Heinz O. Průmyslová elektronika a informační technologie. Praha: Europa-Sobotáles, 2003. Expert (Grada). ISBN 80-867-0604-4.
- [12] Lineární snímače polohy Megatron [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/9181.pdf
- [13] Linear incremental encoders | www.rls.si [online]. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://www.rls.si/en/products/linear-magnetic-encoders/incremental-encoders>
- [14] Lineární snímače polohy - MEGATRON - komponenty pro automatizaci [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.megatron.cz/kategorie/senzorika/linearni-snimace-polohy>
- [15] Lineární snímače (senzory) dráhy, polohy [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.meatest.com/cs/produkty-linearni-snimace-senzory-drahy-polohy-36>
- [16] Senzory měření polohy a vzdálenosti - Teprostroj, s.r.o. | Bezpečnostní komponenty pro strojní průmysl [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://teprostroj.com/42-senzory/1384-senzory-mereni-polohy-a-vzadalenosti>

- [17] Odměrování polohy [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/odmerovani-polohy--6331>
- [18] Lineární snímače polohy [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <http://pdb2.turck.de/cz/DE/groups/000000000012d3100030023>
- [19] LDDM LDS-1000 LDS-2000 Glass Laser Scale Optodyne [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <http://www.optodyne.com/opnew5/Doppler.html>
- [20] Senzory pro měření vzdálenosti | SICK [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/snimace-mereni-vzdalenosti/senzory-pro-mereni-vzdalenosti/c/g150251>
- [21] Digitální odměrování polohy [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.odmerovani.cz/odmerovani>
- [22] Přehled trhu - lineární snímače polohy [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.automata.cz/soubor-doc689/>
- [23] JANÍČEK, Přemysl a Jiří MAREK. Expertní inženýrství v systémovém pojetí. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4127-7.
- [24] OLIVKOVÁ, Ivana. Aplikace metod vícekritériálního rozhodování při hodnocení kvality veřejné dopravy [online]. VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2011 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: http://pemerscontacts.upce.cz/23_2011/Olivkova.pdf
- [25] BOROVCOVÁ, Martina. Metody vícekritériálního hodnocení variant a jejich využití při výběru produktu finanční instituce [online]. VŠB-TU Ostrava, Ekonomická fakulta, katedra financí, 2010 [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: https://www.ekf.vsb.cz/export/sites/ekf/rmfr/.content/galerie-dokumentu/2014/plnenzeni-prispevku/Borovcova.Martina_1.pdf
- [26] Fast test connector for internal threads [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.weh.com/media/itoris/attachments/t/w/tw17-product-information-e.pdf>
- [27] Snímače mechanických veličin [online]. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <http://skriptum.wz.cz/autom/poloha.htm>
- [28] TICHÁ, Šárka. Strojírenská metrologie. Část 1. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004. 104 s. ISBN 80-248-0671-1.
- [29] *Linear magnetic encoder | LM15 encoder - www.rls.si* [online]. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://www.rls.si/en/lm15-linear-magnetic-encoder-system>
- [30] Kuličkové šrouby. *Hiwin* [online]. [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/cz/download/katalogy>
- [31] Lineární vedení. *Hiwin* [online]. [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/cz/download/katalogy>
- [32] Polohovací systémy: *Lineární moduly kk. Hiwin* [online]. [cit. 2020-03-13]. <https://www.hiwin.cz/cz/download/katalogy>
- [33] Stránský a Petržík - Katalog pneumatických prvků č. 14 [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: https://www.stranskyapetrzik.cz/objekty/katalog_14_strana_2-14.pdf
- [34] *Mezipříruby pro motory / KK60 | hiwin.cz* [online]. [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-osy/osy-s-kulickovym-sroubem/linearni-osy-kk/prislusenstvi-linearni-osy-kk/mezipriruby-pro-motory/328_mezipriruby-pro-motory-kk60

- [35] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [36] *Stránský a Petržík – Válce – Dvojčinné válce – DIN ISO 6432 průměr 20 a 25 – DIN ISO 6432 průměr 20 a 25 - rozměry* [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://www.stranskyapetrzik.cz/pneu/pneumaticke-valce/dvojcinne-valce-menu/dvojcinne-valce-iso-6432-20-25/dvojcinne-valce-iso-6432-20-25-rozmary/>
- [37] *Vozík HGW | hiwin.cz* [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/kulickove-vedeni/rada-hg-qh/18_vozik-hgw
- [38] *Item # PKP264D28AA-R26-L, Stepper Motor with 400 P/R, 3-Channel encoder On Oriental Motor USA* [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://catalog.orientalmotor.com/item/all-categories/all-categories-components-pk-series-no-cables/pkp264d28aa-r26>
- [39] *Třídílná spojka Oldham | T.E.A. TECHNIK s.r.o.* [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.cz/spojky-oldham/>
- [40] *Item # PALW2P-2, Mounting Bracket On Oriental Motor USA* [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://catalog.orientalmotor.com/item/all-categories/ac-motor-accessories/pawl2p-2>
- [41] *Jednoduchá matice přírubová FSC/FSI dle DIN 69051 | hiwin.cz* [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/kulickove-srouby/valcovane-srouby/53_jednoducha-matice-prirubova-fsc-fsi-dle-din-69051
- [42] *Ložiskové domečky | HIWIN s.r.o., lineární technika, kuličkové vedení | hiwin.cz* [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/cz/produkty/kulickove-srouby/loziskove-domecky>
- [43] BLECHA, Petr. Management technických rizik u výrobních strojů: Technical risk management in production machines: teze habilitační práce. Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-4062-3.
- [44] *Stránský a Petržík – Válce – Dvojčinné válce – Kompaktní – Kompaktní - rozměry* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.stranskyapetrzik.cz/pneu/pneumaticke-valce/dvojcinne-valce-menu/dvojcinne-valce-kompaktni/dvojcinne-valce-kompaktni-rozmary/>
- [45] *CQ. Lever latches | Eles+Ganter* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.elesa-ganter.com/en/www/Latches--Lever-latches--CQ#listtype=search&term=CQ/T-M22x1.5-45-32>
- [46] CET1-AR-CRA-CH-50S-SG-105764 Bezkontaktní bezpečnostní spínač CET-AR-..., M12 | EUCHNER – More than safety. [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.euchner.de/cs-cz/a/105764/#accessories-tab>
- [47] *Stránský a Petržík – Válce – Technické informace* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://www.stranskyapetrzik.cz/pneu/pneumaticke-valce/technicke-informace-spotreba/>
- [48] *Přímočaré pohony DGC* [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/DGC_CZ.PDF
- [49] *Productfinder | Balluff* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/local/cz/productfinder/#/ca/A0001/cg/G0110/product/F01006/variant/PV147495>

- [50] *TPC-1251T - 12.1" TFT LED LCD Intel® Atom™ Thin Client Terminal - Advantech* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.advantech.com/products/2f7a6598-a2be-40d6-b615-adb84b164442/tpc-1251t/mod_74ffb6a6-23a9-4657-a7dc-63a1241f1648
- [51] *Ruční čtečka DPM kódů - Řada SR-G100 | KEYENCE International Belgium(Čeština)* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/vision/barcode/sr-g100/>
- [52] *RS PRO LED Machine Light, 100 → 260 V ac, 12 W | RS Components* [online]. [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://uk.rs-online.com/web/p/machine-lights/7777956/>
- [53] *Koncové spínače lineárních os KK | hiwin.cz* [online]. [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-osy/osy-s-kulickovym-sroubem/linearni-osy-kk/prislusenstvi-linearni-osy-kk/334_koncove-spinace-linearnich-os-kk

13 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

13.1 Seznam použitých zkratk

3D	Three dimensional	Trojrozměrný
LCD	Liquid crystal display	Displej z tekutých krystalů
LED	Light-Emitting diode	Elektroluminiscenční dioda
NOK	Kus vyhodnocený jako neshodný s dokumentací	
OK	Kus vyhodnocený jako shodný s dokumentací	
PC	Personal computer	Osobní počítač
PLC	Programmable logic controller	Programovatelný logický automat

13.2 Seznam použitých symbolů

a	$[m \cdot s^{-2}]$	Zrychlení
b_{hi}	$[-]$	Bodové hodnocení daného kritéria
C_{0uv}	$[N]$	Statická únosnost lineárního vedení upínacího modulu
C_{0v}	$[N]$	Statická únosnost vedení
C_{dysY}	$[N]$	Dynamická únosnost šroubu osy Y
$C_{dynšum}$	$[N]$	Dynamická únosnost kuličkového šroubu upínacího modulu
C_{dynv}	$[N]$	Dynamická únosnost vedení
C_{dynvum}	$[N]$	Dynamická únosnost lineárního vedení upínacího modulu
d_{kY}	$[m]$	Průměr hřídele šroubu osy Y
d_p	$[m]$	Průměr pístní tyče přípojovacího pneumatického válce
d_{sY}	$[m]$	Střední průměr kuličkového šroubu osy Y
d_Y	$[m]$	Průměr kuličkového šroubu osy Y
d_{zu}	$[m]$	Průměr pístní tyče zadního upínacího pneumatického válce
E	$[MPa]$	Modul pružnosti
e_p	$[m]$	Odchylka stoupání závitu v ose Y
f_1	$[-]$	Součinitel tření pro valivé vedení
f_2	$[-]$	Ekvivalentní součinitel tření v kuličkovém šroubu redukováný na poloměr šroubu
F_{aY}	$[N]$	Axiální síla nutná ke zrychlení soustavy osy Y
F_{bum}	$[N]$	Kombinované dynamické ekvivalentní zatížení lineárního vedení upínacího modulu
f_h	$[-]$	Faktor tvrdosti
F_{kmaxY}	$[N]$	Maximální dovolená provozní axiální síla v ose Y
F_{Kp}	$[N]$	Kritická síla na pístní tyči přípojovacího pneumatického válce
F_{kY}	$[N]$	Maximální teoretická dovolená axiální síla v ose Y

F_{Kzu}	[N]	Kritická síla na pístní tyči zadního upínacího pneumatického válce
F_{mY}	[N]	Střední zatížení v ose Y
F_{pY}	[N]	Standardní předepínací síly osy Y
f_{SLX}	[-]	Statická konstrukční bezpečnost v ose X
f_{SLY}	[-]	Statická konstrukční bezpečnost v ose Y
f_t	[-]	Teplotní faktor
F_u	[N]	Účinná síla
f_w	[-]	Zátěžový faktor
f_{wvum}	[-]	Faktor zatížení lineárního vedení upínacího modulu
F_{xum}	[N]	Dynamické ekvivalentní zatížení upínacího modulu
g	[m·s ⁻²]	Gravitační zrychlení
G_i	[-]	Geometrický průměr
J_{motY}	[kg·m ²]	Moment setrvačnosti motoru osy Y
J_{mY}	[kg·m ²]	Moment setrvačnosti posuvových hmot osy Y
J_p	[m ⁴]	Kvadratický moment průřezu pístní tyče přípojovacího pneumatického válce
J_{rhmY}	[kg·m ²]	Celkový moment setrvačnosti osy Y redukováný na hřídel motoru
J_{spY}	[kg·m ²]	Moment setrvačnosti spojky osy Y
J_{sY}	[kg·m ²]	Moment setrvačnosti kuličkového šroubu osy Y
J_{sY}	[kg·m ²]	Moment setrvačnosti kuličkového šroubu osy Y
J_{zu}	[m ⁴]	Kvadratický moment průřezu pístní tyče zadního upínacího pneumatického válce
k	[-]	Bezpečnost
k_d	[-]	Koeficient uložení
k_k	[-]	Koeficient závislosti na uložení
l_{dY}	[m]	Vzdálenost mezi ložisky osy Y
L_{hsY}	[hod]	Životnost šroubu osy Y v provozních hodinách
L_{hum}	[hod]	Životnost vedení upínacího modulu v hodinách
L_{hX}	[hod]	Životnost vedení osy X v hodinách
L_{hY}	[hod]	Životnost vedení osy Y v hodinách
l_{kY}	[m]	Nepodepřená délka kuličkového šroubu osy Y
l_p	[m]	Kritická délka pístní tyče přípojovacího pneumatického válce
$L_{poč}$	[m]	Počáteční hodnota vzdálenosti lineárního vedení od snímače
$L_{pož}$	[m]	Požadovaná hodnota vzdálenosti lineárního vedení od snímače
L_{skut}	[m]	Skutečná hodnota vzdálenosti lineárního vedení od snímače
L_{sY}	[ot]	Životnost šroubu osy Y v otáčkách
$L_{šum}$	[ot]	Životnost kuličkového šroubu přípojovacího modulu v otáčkách
$L_{šumh}$	[hod]	Životnost kuličkového šroubu upínacího modulu v hodinách
l_{uY}	[m]	Funkční délka závitu šroubu osy Y

L_{vum}	[m]	Jmenovitá životnost vedení upínacího modulu
L_{vX}	[m]	Jmenovitá životnost vedení v ose X
L_{vX}	[m]	Jmenovitá životnost vedení v ose X
L_{vY}	[m]	Jmenovitá životnost vedení v ose Y
L_Y	[m]	Délka kuličkového šroubu osy Y
l_{zu}	[m]	Kritická délka pístní tyče zadního upínacího pneumatického válce
M_{0uvm}	[Nm]	Statický moment vedení upínacího modulu
M_{GT_Y}	[Nm]	Tíhový moment zátěže osy Y
M_{GY}	[Nm]	Moment pasivních odporů osy Y
M_{KSMY}	[Nm]	Moment na kuličkovém šroubu osy Y
M_{mdynY}	[Nm]	Požadovaný moment motoru osy Y dle dynamického hlediska
M_{mstY}	[Nm]	Potřebný moment motoru osy Y dle statického hlediska
M_{navY}	[Nm]	Návrhový moment motoru osy Y
M_{tum}	[Nm]	Teoretický potřebný rozběhový moment motoru upínacího modulu
m_{um}	[kg]	Hmotnost zátěže upínacího modulu
m_{Xd}	[kg]	Dynamická hmotnost zátěže osy X
m_{Xs}	[kg]	Statická hmotnost zátěže osy X
m_Y	[kg]	Hmotnost pohybující se soustavy osy Y
M_{zdrhmY}	[Nm]	Celkový moment zátěže osy Y redukováný na hřídel motoru
n	[-]	Počet posuzovaných kritérií
n_{kY}	[min ⁻¹]	Maximální otáčky v ose Y
n_{maxY}	[min ⁻¹]	Maximální dovolené pracovní otáčky v ose Y
n_{motum}	[min ⁻¹]	Střední otáčky motoru upínacího modulu
n_{motY}	[min ⁻¹]	Otáčky motoru osy Y
n_{mY}	[min ⁻¹]	Střední otáčky šroubu osy Y
n_{vt}	[-]	Počet vysunutí za minutu
n_{vX}	[-]	Počet vozíků v ose X
n_{vY}	[-]	Počet vozíků v ose Y
n_Y	[min ⁻¹]	Otáčky v ose Y
n_z	[-]	Počet zdvihů za minutu (vysunutí a zasunutí)
p_{sum}	[m]	Stoupání kuličkového šroubu upínacího modulu
P_{Xd}	[N]	Zatížení jednoho vozíku pro dynamické hledisko v ose X
P_{Xs}	[N]	Zatížení jednoho vozíku pro statické hledisko v ose X
p_Y	[m]	Stoupání závitu kuličkového šroubu osy Y
P_{Yd}	[N]	Zatížení jednoho vozíku pro dynamické hledisko v ose Y
P_{Ys}	[N]	Zatížení jednoho vozíku pro statické hledisko v ose Y
Q_{bu}	[l·min ⁻¹]	Spotřeba stlačeného vzduchu bočního upínacího pneumatického válce
Q_m	[l·min ⁻¹]	Spotřeba stlačeného vzduchu měřicího pneumatického válce

Q_p	$[l \cdot \text{min}^{-1}]$	Spotřeba stlačeného vzduchu připojovacího pneumatického válce
q_{Pm}	[1]	Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při vysouvání pístní tyče měřicího pneumatického válce
q_{Pp}	[1]	Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při vysouvání pístní tyče připojovacího pneumatického válce
q_{Ptm}	[1]	Maximální spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při vysouvání pístní tyče testovaného pneumatického válce
q_{Pzu}	[1]	Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při vysouvání pístní tyče zadního upínacího pneumatického válce
Q_t	$[l \cdot \text{min}^{-1}]$	Spotřeba stlačeného vzduchu testovaného pneumatického válce
q_{Zm}	[1]	Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při zasouvání pístní tyče měřicího pneumatického válce
q_{Zp}	[1]	Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při zasouvání pístní tyče připojovacího pneumatického válce
q_{Ztm}	[1]	Maximální spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při zasouvání pístní tyče testovaného pneumatického válce
Q_{zu}	$[l \cdot \text{min}^{-1}]$	Spotřeba stlačeného vzduchu zadního upínacího pneumatického válce
q_{Zzu}	[1]	Spotřeba vzduchu na 0,01 m zdvihu při zasouvání pístní tyče zadního upínacího pneumatického válce
S	[-]	Saatyho matice
s_{11}	[-]	Hodnota v prvním řádku a v prvním sloupci matice
s_{12}	[-]	Hodnota v prvním řádku a ve druhém sloupci matice
S_{ii}	[-]	Rozložení řádků a sloupců v matici
S_{ij}	[-]	Rozložení řádků a sloupců v matici
S_{ji}	[-]	Rozložení řádků a sloupců v matici
s_{nn}	[-]	Hodnota v n-tém řádku a v n-tém sloupci matice
t	[s]	Požadovaný čas rozběhu
$v_{0,3p}$	[m]	Maximální odchylka stoupání závitu na délce 0,3 m
v_{hi}	[-]	Výsledná hodnocení konstrukčního řešení
v_i	[-]	Normovaná váha daného kritéria
v_{um}	$[m \cdot \text{min}^{-1}]$	Rychlost upínacího modulu
v_X	$[m \cdot \text{min}^{-1}]$	Rychlost v ose X
v_Y	$[m \cdot \text{min}^{-1}]$	Rychlost posuvu v ose Y
$V_{\text{ýsuv}}$	[m]	Výsuv pístní tyče pneumatického válce
Z_m	[m]	Zdvih měřicího pneumatického válce
Z_p	[m]	Zdvih připojovacího pneumatického válce
Z_{tm}	[m]	Maximální zdvih testovaného pneumatického válce
Z_{zu}	[m]	Zdvih zadního upínacího pneumatického válce
α	[°]	Úhel sklonu vedení
ε_{mY}	$[\text{rad}^{-2}]$	Úhlové zrychlení motoru osy Y

ε_{sY}	[rad ⁻²]	Úhlové zrychlení šroubu osy Y
η_c	[-]	Celková účinnost v ose Y
η_L^i	[-]	Účinnost ložisek
η_s	[-]	Účinnost kuličkového šroubu
η_{sk}	[-]	Účinnost kuličkového šroubu – katalogová hodnota
η_v	[-]	Účinnost valivého vedení
π	[-]	Ludolfovo číslo

13.3 Seznam tabulek

TAB 1)	TOLERANCE ZDVIHU PNEUMATICKÝCH VÁLCŮ [6]	24
TAB 2)	PŘEHLED VLASTNOSTÍ LINEÁRNÍCH SNÍMAČŮ POLOHY [3], [10], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]	28
TAB 3)	DESKRIPTOR PRO SAATYHO METODU [25]	32
TAB 4)	DESKRIPTOR PRO BODOVACÍ METODU [24]	33
TAB 5)	KRITÉRIA VÝBĚRU LINEÁRNÍHO SNÍMAČE POLOHY	34
TAB 6)	STANOVENÍ VAH POSUZOVANÝCH KRITÉRIÍ	35
TAB 7)	BODOVACÍ METODA – VÝBĚR VHODNÉHO LINEÁRNÍHO SNÍMAČE POLOHY	36
TAB 8)	PARAMETRY ZVOLENÉHO LINEÁRNÍHO SNÍMAČE POLOHY [29]	37
TAB 9)	KRITÉRIA VÝBĚRU VARIANTY PŘIPOJENÍ	43
TAB 10)	STANOVENÍ VAH POSUZOVANÝCH KRITÉRIÍ VARIANT PŘIPOJENÍ	44
TAB 11)	BODOVACÍ METODA – VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY PŘIPOJENÍ	45
TAB 12)	KRITÉRIA VÝBĚRU VARIANTY UPÍNÁNÍ	50
TAB 13)	STANOVENÍ VAH POSUZOVANÝCH KRITÉRIÍ UPÍNÁNÍ	51
TAB 14)	BODOVACÍ METODA – VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY UPÍNÁNÍ ...	52
TAB 15)	PARAMETRY MĚŘICÍHO PNEUMATICKÉHO VÁLCE DGC-40- 350-KF-PPV-A [6], [48]	59
TAB 16)	ZÁKLADNÍ PARAMETRY LINEÁRNÍHO MODULU PRO VÝPOČET [32]	60
TAB 17)	VSTUPNÍ DOPLŇKOVÉ PARAMETRY PRO KONTROLU LINEÁRNÍHO UPÍNACÍHO MODULU [30]	61
TAB 18)	PARAMETRY LINEÁRNÍHO VEDENÍ HGW 20 HC [31]	63
TAB 19)	VSTUPNÍ DOPLŇKOVÉ PARAMETRY PRO VÝPOČET LINEÁRNÍHO VEDENÍ OSY X [31]	63

TAB 20) VSTUPNÍ DOPLŇKOVÉ PARAMETRY PRO VÝPOČET LINEÁRNÍHO VEDENÍ OSY Y [31].....	64
TAB 21) PARAMETRY KULIČKOVÉHO ŠROUBU OSY Y PRO VÝPOČET [30].....	66
TAB 22) VSTUPNÍ DOPLŇKOVÉ PARAMETRY PRO VÝPOČET KULIČKOVÉHO ŠROUBU OSY Y [30].....	67
TAB 23) VSTUPNÍ DOPLŇKOVÉ PARAMETRY VÝPOČTU POHONU OSY Y [3], [38], [39]	69
TAB 24) PARAMETRY PŘIPOJOVACÍHO A BOČNÍHO UPÍNACÍHO PNEUMATICKÉHO VÁLCE [6], [36]	73
TAB 25) VSTUPNÍ PARAMETRY PRO KONTROLU KRITICKÉ SÍLY PŘIPOJOVACÍHO PNEUMATICKÉHO VÁLCE [35]	73
TAB 26) PARAMETRY ZADNÍHO UPÍNACÍHO PNEUMATICKÉHO VÁLCE [6], [44]	74
TAB 27) VSTUPNÍ PARAMETRY PRO KONTROLU KRITICKÉ SÍLY ZADNÍHO UPÍNACÍHO PNEUMATICKÉHO VÁLCE [35].....	75
TAB 28) VSTUPNÍ DOPLŇKOVÉ PARAMETRY PRO VÝPOČET SPOTŘEBY STLAČENÉHO VZDUCHU [47]	77
TAB 29) EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	87

13.4 Seznam obrázků

OBR. 1) PŘÍMOČARÝ PNEUMATICKÝ VÁLEC [1] A) JEDNOČINNÝ S VRATNOU PRUŽINOU, B) DVOJČINNÝ.....	21
OBR. 2) PŘÍMOČARÝ PNEUMATICKÝ VÁLEC [1] A) TANDEMŮVÝ, B) DVOJČINNÝ S OBOUSTRANNOU PÍSTNICÍ, C) DVOJČINNÝ S OBOUSTRANNÝM PŮSOBENÍM, D) DVOJČINNÝ S ROTAČNÍM VÁLCEM	22
OBR. 3) ŘÍZENÍ SMĚRU POHYBU DVOJČINNÉHO PNEUMATICKÉHO VÁLCE [1] A) DVOUPOLOHOVÝM PĚTICESTNÝM ROZVÁDĚČEM, B) DVOUPOLOHOVÝM ČTYŘCESTNÝM ROZVÁDĚČEM	23
OBR. 4) ŘÍZENÍ RYCHLOSTI PNEUMATICKÝCH VÁLCŮ [1] A) ŠKRCENÍ NA VÝSTUPU Z ROZVÁDĚČE, B) ŠKRCENÍ NA VSTUPU DO ROZVÁDĚČE.....	23
OBR. 5) PRINCIP FUNKCE LINEÁRNÍHO MAGNETICKÉHO SNÍMAČE [8] A) PRINCIP SNÍMÁNÍ MAGNETICKOU HLAVOU, B) PROVEDENÍ MAGNETICKÉ PÁSKY.....	26
OBR. 6) PRINCIP OPTICKÉHO SNÍMAČE [10]	26
OBR. 7) INDUKČNÍ SNÍMAČ INDUKTOSYN [11]	27
OBR. 8) PŘÍKLAD TESTOVANÉHO PNEUMATICKÉHO VÁLCE [33]	34
OBR. 9) VÁHY POSUZOVANÝCH KRITÉRIÍ SNÍMAČŮ	36
OBR. 10) VÝSLEDNÉ HODNOCENÍ SNÍMAČŮ	37

OBR. 11) ZVOLENÝ LINEÁRNÍ SNÍMAČ POLOHY [29].....	37
OBR. 12) VARIANTA PŘIPOJENÍ 1A A) POPIS, B) PŘIPOJENÍ	38
OBR. 13) VARIANTA PŘIPOJENÍ 1B A) POPIS, B) PŘIPOJENÍ	39
OBR. 14) RYCHLOKONEKTOR [26]	40
OBR. 15) VARIANTA PŘIPOJENÍ 2A A) POPIS, B) PŘIPOJENÍ	40
OBR. 16) VARIANTA PŘIPOJENÍ 2B A) POPIS, B) PŘIPOJENÍ	41
OBR. 17) VARIANTA PŘIPOJENÍ 2C A) POPIS, B) PŘIPOJENÍ	41
OBR. 18) VARIANTA PŘIPOJENÍ 2D A) POPIS, B) PŘIPOJENÍ	42
OBR. 19) VARIANTA PŘIPOJENÍ 3 A) POPIS, B) PŘIPOJENÍ.....	43
OBR. 20) VÁHY POSUZOVANÝCH KRITÉRIÍ VARIANT PŘIPOJENÍ.....	44
OBR. 21) VÝSLEDNÉ HODNOCENÍ VARIANT PŘIPOJENÍ.....	46
OBR. 22) VARIANTA UPÍNÁNÍ 1 A) POPIS, B) 3D POHLED	47
OBR. 23) VARIANTA UPÍNÁNÍ 2 A) POPIS, B) 3D POHLED	47
OBR. 24) VARIANTA UPÍNÁNÍ 3 A) POPIS, B) 3D POHLED	48
OBR. 25) VARIANTA UPÍNÁNÍ 4 A) POPIS, B) 3D POHLED	49
OBR. 26) VARIANTA 5 A) POPIS, B) 3D POHLED	49
OBR. 27) VARIANTA UPÍNÁNÍ 6 A) POPIS, B) 3D POHLED	50
OBR. 28) VÁHY POSUZOVANÝCH KRITÉRIÍ UPÍNÁNÍ.....	52
OBR. 29) VÝSLEDNÉ HODNOCENÍ VARIANT UPÍNÁNÍ.....	53
OBR. 30) HLAVNÍ RÁM A) RÁM, B) SKELET	53
OBR. 31) ZÁKLADNÍ RÁM.....	54
OBR. 32) KOTEVNÍ SOUSTAVA A) POPIS SOUSTAVY, B) ŘEZ SOUSTAVOU.....	55
OBR. 33) SESTAVA ZÁKLADNÍHO RÁMU	55
OBR. 34) PŘIPOJOVACÍ STANICE	56
OBR. 35) RÁM PŘIPOJOVACÍ STANICE.....	56
OBR. 36) PŘIPOJOVACÍ TRN	56
OBR. 37) UPÍNACÍ STANICE	57
OBR. 38) RÁM PRO LINEÁRNÍ UPÍNACÍ MODUL	57
OBR. 39) KONTROLA SPRÁVNÉ POLOHY	57
OBR. 40) MĚŘICÍ STANICE.....	58
OBR. 41) INSTALACE MAGNETICKÉ PÁSKY A) POPIS, B) 3D POHLED.....	58
OBR. 42) SESTAVA MĚŘICÍHO PNEUMATICKÉHO VÁLCE	59
OBR. 43) LINEÁRNÍ MODUL KK60 TYP F.....	59
OBR. 44) KROKOVÝ MOTOR [38] A) MOTOR, B) RYCHLOSTNĚ– MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA	60

OBR. 45) PŘÍSLUŠENSTVÍ LINEÁRNÍHO MODULU A) MEZIPŘÍRUBA KK-60-F4 [33], B) HŘÍDELOVÁ SPOJKA OLDHAM OX19G [39]	60
OBR. 46) LINEÁRNÍ KULIČKOVÉ VEDENÍ HGW 20 HC A) VOZÍK A KOLEJNICE [37], B) MONTÁŽNÍ POLOHA [31].....	62
OBR. 47) PARAMETRY LINEÁRNÍHO VEDENÍ HGW 20 HC [31].....	63
OBR. 48) JEDNODUCHÁ PŘÍRUBOVÁ MATICE FSCDIN [41].....	66
OBR. 49) ULOŽENÍ KULIČKOVÉHO ŠROUBU A) ULOŽENÍ KONCŮ [30], B) LOŽISKOVÝ DOMEK SLA-06 [42], C) LOŽISKOVÝ DOMEK SFA-06 [42]	66
OBR. 50) TYPY ULOŽENÍ ŠROUBU [30] A) KOEFICIENT ULOŽENÍ, B) KOEFICIENT ZÁVISLOSTI NA ULOŽENÍ.....	67
OBR. 51) MONTÁŽNÍ DRŽÁK KROKOVÉHO MOTORU PALW2P-2 [40].....	69
OBR. 52) POMOCNÝ PNEUMATICKÝ OKRUH	76
OBR. 53) TESTOVACÍ PNEUMATICKÝ OKRUH	77
OBR. 54) JEDNOTKA PRO ÚPRAVU STLAČENÉHO VZDUCHU	80
OBR. 55) SNÍMAČ TLAKU BSP B020-DV004-A06A1A-S4 [49].....	80
OBR. 56) PRŮBĚH MĚŘENÍ A) VÝCHOZÍ A KONCOVÁ POZICE, B) POZICE MĚŘENÍ.....	81
OBR. 57) PŘÍSLUŠENSTVÍ A) BEZVENTILÁTOROVÝ PANELOVÝ PC S DOTYKOVÝM LED PANELEM TPC-1251T [50], B) RUČNÍ ČTEČKA KÓDŮ SR-G100 [51]	82
OBR. 58) POSTUPOVÝ DIAGRAM ITERAČNÍ METODY „TŘÍ KROKŮ“ DLE ČSN ISO 12100-1 [43].....	83
OBR. 59) KRYTOVÁNÍ A) POHLED ZEPŘEDU, B) POHLED ZE ZADU.....	84
OBR. 60) BEZPEČNOSTNÍ SPÍNAČ A) SPÍNAČ CET1-AR-CRA-CH-50S- SG-105764 [46], B) AKTUÁTOR CET-A-BWK-50X [46], C) ZPŮSOB INSTALACE.....	84
OBR. 61) ZÁPADKA [45]	85
OBR. 62) KONCOVÝ SPÍNAČ 8-14-0040 [53]	85
OBR. 63) STROJNÍ SVÍTIDLO LED RS PRO 777-7956 [52]	85
OBR. 64) 3D MODEL TESTOVACÍHO ZAŘÍZENÍ A) POHLED ZEPŘEDU 1, B) POHLED ZEPŘEDU 2, C) POHLED ZE ZADU 1, D) POHLED ZE ZADU 2, E) POHLED ZE ZADU „DOVNITŘ“ 1, E) POHLED ZE ZADU „DOVNITŘ“ 2.....	90

14 SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy v elektronické podobě:

3D model manipulátoru (formát .STEP)

Výběr vhodných variant (formát .xlsx):

- Příloha_1 – Vícekriteriální analýza – Výběr snímače
- Příloha_2 – Vícekriteriální analýza – Výběr připojení
- Příloha_3 – Vícekriteriální analýza – Výběr upínání

Ekonomické zhodnocení (formát .pdf):

- Příloha_4 – Ekonomické zhodnocení

Výkresová dokumentace (formát .pdf):

TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ	VÝKRES SESTAVENÍ	DP-00 List 1
TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ	VÝKRES SESTAVENÍ	DP-00 List 2
TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ	SEZNAM POLOŽEK	DP-00 List 1
TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ	SEZNAM POLOŽEK	DP-00 List 2
TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ	SEZNAM POLOŽEK	DP-00 List 3
NOSNÁ PATKA	VÝKRES SOUČÁSTI	DP-00/01
LIŠTA DVEŘÍ	VÝKRES SOUČÁSTI	DP-01/01
PŘIPOJOVACÍ TRN	VÝKRES SOUČÁSTI	DP-03/01
UPÍNACÍ PATKA	VÝKRES SOUČÁSTI	DP-04/01
MĚŘICÍ DESKA	VÝKRES SOUČÁSTI	DP-05/01