



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE STANDU PRO TESTOVÁNÍ MAGNETICKÉHO TĚSNĚNÍ

DESIGN OF STAND FOR MAGNETIC SEAL TESTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAROSLAV ŠVEC

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAKUB ROUPEC, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jaroslav Švec

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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 bakalářské práce:

Konstrukce standu pro testování magnetického těsnění

v anglickém jazyce:

Design of stand for magnetic seal testing

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je konstrukční návrh upínací desky pro stand na testování magnetického těsnění. Na desku bude upnut stand s elektromotorem a frekvenčním měničem, snímač krouticího momentu, temperační jednotka a elektronika pro měření teploty.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Koncepční řešení
5. Konstrukční řešení
6. Diskuze
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů

Forma práce: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, návrhový výkres, digitální data

Typ práce: konstrukční; Účel práce: výzkum a vývoj

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 - 20 stran textu bez obrázků).

Zásady pro vypracování práce:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2015.pdf

Šablona práce: http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/UK_sablona_praci.zip

Seznam odborné literatury:

- [1] KUBIK, M. Návrh testovacího standu pro stanovení provozních parametrů magnetického hřídelového těsnění. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 94s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jakub Roupec Ph.D.
- [2] GONCALVES, F.D., AHMADIAN, M., CARLSON, J.D. Investigating the magnetorheological effect at high flow velocities, Smart Materials and Structures, vol. 15, no. 1, s. 75-85.
- [3] CARLSON, J. D. Critical factors for MR fluids in vehicle systems. International Journal of Vehicle Design. 2003, 33, 1-3, s. 207-217.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jakub Roupec, Ph.D.

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

V Brně, dne 11.11.2014

L.S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá návrhom a konštrukciou upínacej dosky standu na testovanie magnetického tesnenia a ovládaním upnutého asynchrónneho motoru pomocou frekvenčného meniča. V rámci práce bola realizovaná rešerš, ktorá sa zaoberá ovládaním trojfázových asynchrónnych motorov s frekvenčným meničom, senzormi na odmeriavanie jednotlivých veličín pri testovaní a stavebnicovými systémami hliníkových profilov. Boli vytvorené tri návrhy upínacej dosky, z ktorých bol zvolený najvhodnejší na realizáciu. S pomedzi spôsobov riadenia bol vybraný najvhodnejší spôsob. Výstupom práce je stand na testovanie magnetického tesnenia, pomocou ktorého bude možné získať nové poznatky o magnetickom tesnení a jeho budúcom použití.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Magnetoreologická kvapalina, MR, magnetické tesnenie, stand, upínacia doska, ovládanie trojfázového asynchrónneho motora, frekvenčný menič

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with design and construction of mounting board of stand for magnetic seal testing and with control of mounted asynchronous motor using inverter. In this thesis was done analysis of ways of controlling three-phase asynchronous motor with inverter, analysis of sensors for measuring testing conditions and analysis of modular aluminium profile systems. There was created three conceptions of mounting board from which the most suitable was chosen to be built. From ways of control was chosen the most convenient way. The result of this thesis is stand for magnetic seal testing, using which will be possible to gain new knowledge of magnetic sealing and its future use.

KEY WORDS

Magnetorheological fluid, MR, magnetic seal, stand, mounting board, control of three-phase asynchronous motor, inverter

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

ŠVEC, J. *Konstrukce standu pro testování magnetického těsnění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 72s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jakub Roupec, Ph.D.

PREHLÁSENIE AUTORA O PÔVODNOSTI PRÁCE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu „Konstrukce standu pro testování magnetického těsnění“ vypracoval samostatne pod vedením Ing. Jakuba Roupce Ph.D., s využitím doporučenej literatúry a v zozname som uviedol použité zdroje.

V Brne dňa 22.mája 2015

.....
Jaroslav Švec

POĎAKOVANIE

Chcel by som týmto spôsobom poďakovať vedúcemu práce Ing. Jakubovi Roupcovi Ph.D. za cenné rady, trpezlivosť a odborné vedenie práce. Tiež by som rád poďakoval rodine a priateľom za podporu nielen pri riešení bakalárskej práce ale aj v priebehu štúdia.

OBSAH

ÚVOD	13
1 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA	15
1.1 Ovládanie testovacej stanice	15
1.2 Ovládanie trojfázových motorov	15
1.2.1 Riadenie frekvenčným meničom	16
1.2.2 Nastavenie frekvenčného meniča	18
1.2.3 Spätnoväzbové riadenie s enkodérom	22
1.3 Odmeriavanie a senzory	23
1.3.1 Odmeriavanie otáčok	23
1.3.2 Odmeriavanie krútiaceho momentu	25
1.3.3 Odmeriavanie tlaku	26
1.3.4 Odmeriavanie teploty	27
1.3.5 Odmeriavanie vibrácií	30
1.4 Stavebnicové systémy hliníkových profilov	31
1.4.1 Systém profilov Bosch Rexroth	32
1.4.2 Systém profilov Item	34
1.4.3 Systém profilov Alutec K&K	37
1.4.4 Ekonomickjšie alternatívy	40
2 ANALÝZA PROBLÉMU A CIEĽ PRÁCE	42
3 NÁVRH KONŠTRUKČNÉHO RIEŠENIA	43
3.1 Konštrukcia s doskou s predvŕtanými otvormi	43
3.2 Konštrukcia s doskou s vyfrézovanými T drážkami	44
3.3 Konštrukcia s doskou vyskladanou z profilov	45
4 VÝSLEDNÉ KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE	47
4.1 Základný stôl	48
4.2 Hriadeľová spojka	48
4.3 Ložiskový stojan	49
4.4 Zaistenie testovacích podmienok	50
4.4.1 Zaistenie otáčok hriadeľa	50
4.4.2 Zaistenie tlaku	50
4.4.3 Zaistenie zvýšenej teploty	50
4.4.4 Zaistenie vibrácií a excentricity	51
4.5 Sensory v testovacej stanici	51
4.5.1 Enkodér a enkodér modul	51
4.5.2 Silomer	52
4.5.3 Snímač tlaku	52
4.5.4 Snímač teploty	53
4.5.5 Indukčný snímač	53
4.5.6 Konektorový panel	53
4.5 Riadenie	54
5 DISKUSIA	56
6 ZÁVER	60
7 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	61
8 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, SYMBOLOV A VELIČÍN	64
9 ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV	65

10 ZOZNAM TABULIEK	68
11 ZOZNAM PRÍLOH	69
PRÍLOHA I. - Návod na ovládanie motoru testovacej stanice	69

ÚVOD

Cieľom tejto práce je návrh a realizácia výroby testovacieho standu, v ktorom bude osadené testovacie zariadenie a oboznámiť sa s možnosťami jeho ovládania.

Cieľom súbežnej rešeršnej bakalárskej práce bolo zaistenie výroby testovacieho zariadenia na testovanie magnetického tesnenia podľa predchádzajúceho návrhu Ing. Michala Kubíka a spracovanie niekoľkých konštrukčných zmien.

Magnetické tesnenie využíva na svoju funkciu magnetoreologickú (MR) kvapalinu. MR kvapaliny sú kvapaliny obsahujúce jemné feromagnetické častice. Obsah týchto častíc spôsobuje, že sa v magnetickom poli menia ich vlastnosti, hlavne viskozita. Magnetické hriadeľové tesnenie pozostáva z MR kvapaliny a cievky, ktorá spôsobuje zmenu vlastností kvapaliny a udržiava ju v mieste, v ktorom chceme zabezpečiť utesnenie.

Magnetické tesnenie sa používa v oblastiach, kde je tesnenie vystavené agresívnym vplyvom prostredia, napríklad čerpadlá pracujúce s tekutinami alebo zmesami, ktoré spôsobujú degradáciu bežných tesniacich materiálov, ako sú guma, rôzne polyméry, vlákna a textilie. Rovnako môžu tieto materiály podliehať aj mechanickému opotrebeniu. Magnetické tesnenie by sa tiež mohlo používať pri tesnení lodných šróbov, kde by mohli nahradiť používané upchávky, ktoré sú náročné na údržbu. Ďalej je možné magnetické tesnenie použiť v letectve, kde zabezpečuje hermetické utesnenie a hladký pohyb niektorých systémov, v medicíne a mnohých ďalších odvetviach [1].

Veľkou výhodou magnetického tesnenia oproti tesniacim krúžkom a guferám je jeho životnosť, tiež nevyžaduje náročnú údržbu alebo mazanie. Nevýhodou je zas nemožnosť utesnenia väčších medzier.

Aby sme získali poznatky o správaní MR kvapaliny magnetického tesnenia v rôznych oblastiach použitia je nutné magnetické hriadeľové tesnenie testovať za rôznych podmienok, ako sú rôzne otáčky hriadeľa, pretlak v utesňovanom priestore, zvýšená prevádzková teplota, vibrácie, excentricita hriadeľa voči uloženiu a pod.

Preto bolo navrhnuté testovacie zariadenie na testovanie magnetického tesnenia za vyššie zmienených podmienok. Otáčky hriadeľa budeme môcť meniť pomocou zmeny otáčok elektromotoru, priamo spojeného s tesneným hriadeľom. Pretlak môžeme zabezpečiť napojením utesneného priestoru na kompresor alebo zásobník vzduchu, prípadne iného plynu, pod vysokým tlakom. Zvýšenú prevádzkovú teplotu môžeme simulovať pomocou nejakého typu výhrevného telesa, alebo temperačnou jednotkou. Excentricitu hriadeľa je možné zabezpečiť posunutím uloženia voči hriadeľu. Vibrácie by bolo možné realizovať pomocou kľukového alebo vačkového mechanizmu, prípadne nejakým typom oscilátoru.

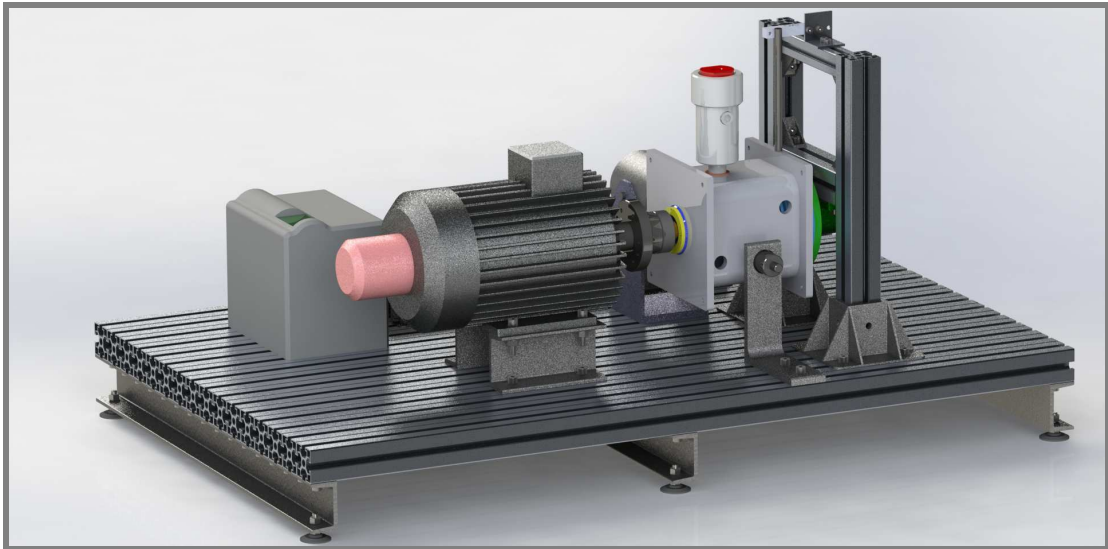
Od zariadenia sa tiež vyžaduje možnosť zmeny usporiadania jednotlivých častí, prípadne ich obmenu, aby bolo možné realizovať testovanie magnetického tesnenia za iných podmienok alebo aby bolo možné jednoducho prispôsobiť testovaciu stanicu na testovanie inej súčasti. Túto vlastnosť je možné docieľiť úpravou základnej konštrukcie standu, konkrétne použitím upínacieho stola. Upínací stôl môže pozostávať z jednej dosky s pravidelne rozmiestnenými predvrtanými otvormi na upnutie jednotlivých častí zariadenia, dosky s vyfrézovanými drážkami, prípadne T drážkami. Tiež je možné upínací stôl vyskladať z profilov.

Na získanie informácií z testovacej stanice je nutné, aby stand obsahoval potrebné senzory, ako tenzometre na meranie silového pôsobenia, teplomery alebo

termočlánky na zistenie teploty, indukčné senzory na snímanie vibrácií prípadne iné senzory.

Získané údaje so senzorov nám umožnia zistiť, ako sa menia vlastnosti magnetického tesnenia a teda jeho hlavnej časti, ktorou je MR kvapalina.

Navrhnutá stanica na testovanie magnetického tesnenia je vidieť na obrázku 1.



Obr. 1 Stanica na testovanie magnetického tesnenia

1 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

1

1.1 Ovládanie testovacieho zariadenia

1.1

Aby sme mohli pomocou testovacej stanice testovať magnetické tesnenie, potrebujeme riadiť jednotlivé prvky stanice, zabezpečujúce špecifické podmienky testovania. Testovací stand preto musí byť vybavený aj riadiacimi prvkami, ako je napríklad frekvenčný menič. Prípadne je nutné aby zariadenie obsahovalo nejaké regulačné prvky, napríklad na reguláciu tlaku a teploty.

1.2 Ovládanie trojfázových motorov

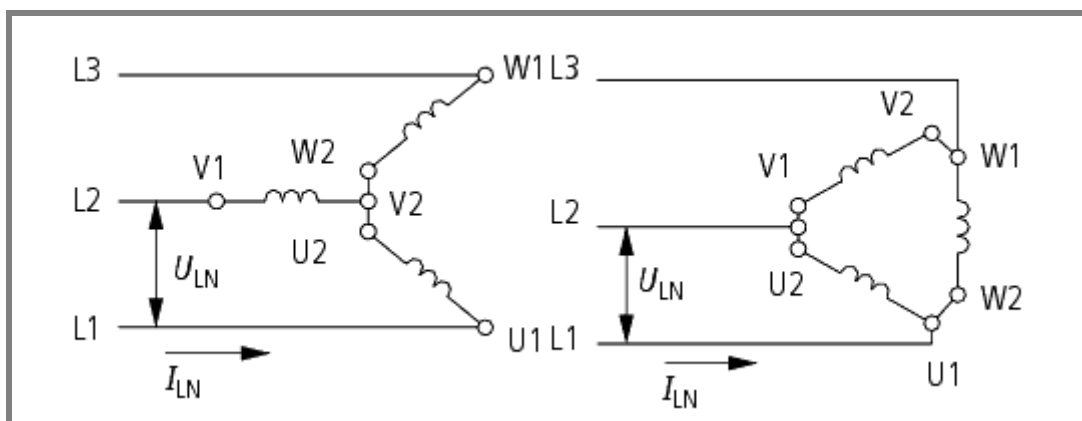
1.2

Jednou z hlavných častí testovacieho standu je asynchrónny trojfázový motor. Tento motor zabezpečuje otáčky hriadeľa pri testovaní tesnia. Ak chceme meniť otáčky motora, potrebujeme motor vhodným spôsobom ovládať. Riadenie asynchrónneho trojfázového motora za cieľom získania rôznych otáčok je realizované frekvenčným meničom, keďže zmenu otáčok docielime jedine zmenou frekvencie troch fáz striedavého prúdu na motore [2].

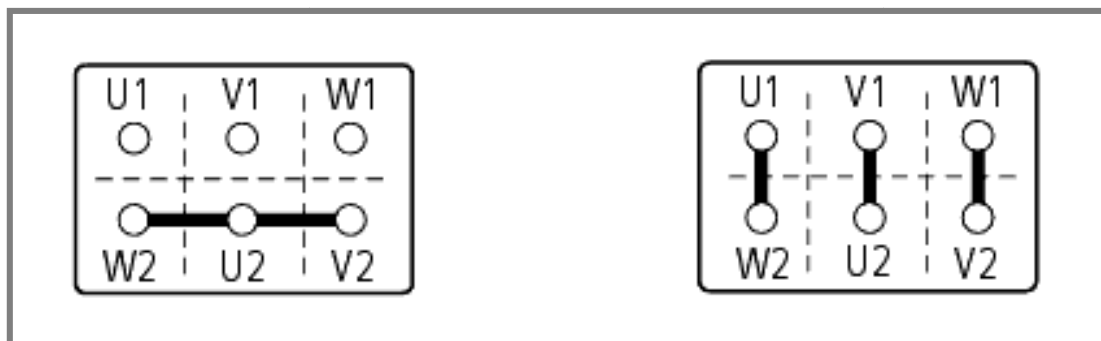
Trojfézový motor môže byť k frekvenčnému meniču zapojený dvojakým spôsobom. Prvý spôsob zapojenia je zapojenie do hviezdy, kedy sú jedny konce všetkých troch vinutí statoru spojené a fázy sú napojené na druhé konce vinutia.

Druhý spôsob zapojenia asynchrónneho trojfázového motora je zapojenie do trojuholníka. V tomto zapojení sú vinutia zapojené do série, pričom v schéme vytvorí trojuholník a fázy sú zapojené na uzly medzi jednotlivými vinutiami. Obe schémy zapojenia sú vidieť na obrázku 2.

Oba konce každého vinutia statoru motora sú vyvedené do svorkovnice motora, v ktorej sa nachádzajú vodivé prepojovacie členy, ktoré umožňujú motor zapojiť ako do hviezdy, tak aj do trojuholníka, viď obr. 3 [3].



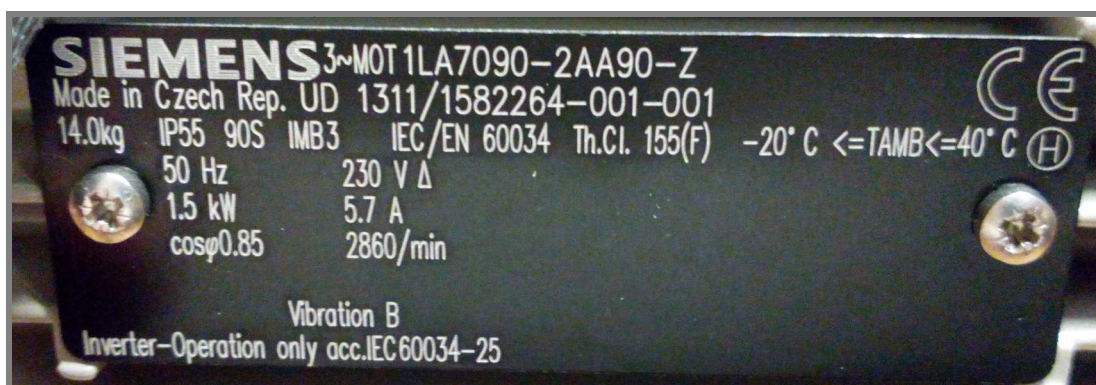
Obr. 2 Schéma zapojenia motoru do hviezdy (naľavo) a do trojuholníka (napravo) [3]



Obr. 3 Schéma usporiadania vodivých členov vo svorkovnici motoru pre zapojenie hviezda (naľavo) a trojuholník (napravo) [3]

Konkrétny spôsob zapojenia závisí od používaného motoru. Výrobca na štítku motoru uvádza pri akom napätí a prúde použiť ktoré zapojenie, prípadne uvádza len jeden spôsob zapojenia a jedno napätia.

Motor použitý v testovacej stanici má na štítku (obr.4) údaj 230V/ Δ , čo znamená, že motor má byť zapojený do trojuholníka a pracovať maximálne pri napätí 230V.



Obr. 4 Štítok asynchrónneho trojfázového motoru SIEMENS 1LA7

1.2.1

1.2.1 Riadenie frekvenčným meničom

Riadenie motora pomocou frekvenčného meniča spočíva v zmene frekvencie troch fáz na výstupe meniča, ktorý je napojený na elektromotor. Zmena tejto frekvencie spôsobuje, že stator motoru vytvára točivé elektromagnetické pole, ktoré sa v závislosti na frekvencii otáča rôznou rýchlosťou. Toto umožňuje pomocou zmeny frekvencie fáz, meniť otáčky elektromotoru. Frekvenčné meniče je možné rozdeliť na dva typy.

Frekvenčné meniče priame, u ktorých dochádza len k premene energie a ich výstupná frekvencia nemôže presiahnuť vstupnú.

Frekvenčné meniče nepriame, u ktorých dochádza k dvojitej premene energie. Elektrická energia je najskôr usmernená na jednosmernú a následne prebieha jej premena na striedavú s frekvenciou nezávislou na vstupnej frekvencii, takže výstupná frekvencia môže byť aj výrazne vyššia ako vstupná [3].

V testovacej stanici je použitý frekvenčný menič od firmy SIEMENS, konkrétne ide o model Micromaster 440 (obr.5), ktorý je nepriamym frekvenčným meničom, keďže

na vstupe je pripojený na jednofázový striedavý prúd s napätím 230V a na výstupe je prúd trojfázový, s nastaviteľnou frekvenciou a napätím v závislosti na frekvencii.



Obr. 5 Frekvenčný menič SIEMENS Micromaster 440 [4]

Ako už bolo spomenuté, na vstup frekvenčného meniča je privedený jednofázový striedavý elektrický prúd. Prívodný kábel je zapojený podľa označení na svorkovnici. Príslušná svorkovnica je vidieť na obrázku 6.



Obr. 6 Prívodná svorkovnica frekvenčného meniča [4]

Výstup frekvenčného meniča je zapojený cez trojžilový kábel na elektromotor. Jednotlivé fázy na výstupe meniča, značené U, V a W, vid' obr.7 a sú pripojené na svorkovnicu motoru označenú písmenami U_1 , V_1 , W_1 a U_2 , V_2 , W_2 . Tieto písmená označujú konce jednotlivých vinutí statoru vyvedené do svorkovnice motora.



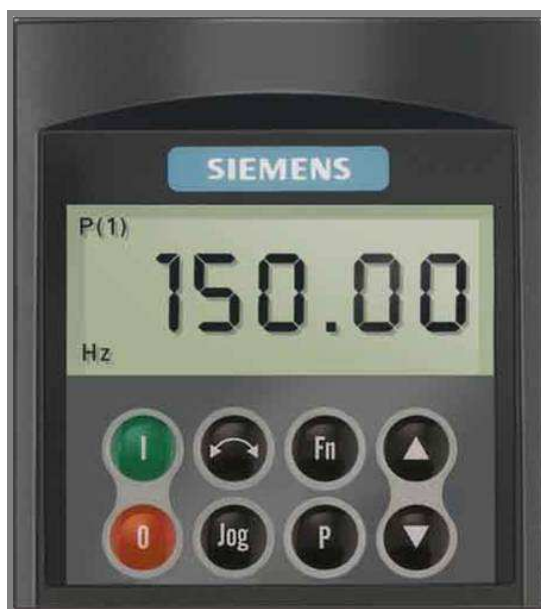
Obr. 7 Svorkovnica výstupu frekvenčného meniča [4]

1.2.2

1.2.2 Nastavenie frekvenčného meniča

Nastavenie frekvenčného meniča SIEMENS Micromaster 440 a zmenu jeho jednotlivých parametrov je možné realizovať niekoľkými spôsobmi.

Advanced Operator Panel (AOP) (obr.9) alebo Basic Operator Panel (BOP) (obr.8) umožňujú upravovať nastavenia frekvenčného meniča a jeho parametre. Možností úprav je s AOP o niečo viac ako s BOP, preto sa budeme ďalej zaoberať len AOP [5].



Obr. 8 Basic Operator Panel (BOP) [6]



Obr. 9 Advanced Operator Panel (AOP) [5]

Pred uvedením pripojeného motoru do chodu s použitím frekvenčného meniča a AOP je nutné previesť základné nastavenie parametrov frekvenčného meniča, veľkú časť z nich podľa štítku motoru, obsahujúceho základne parametre motoru, ktoré sa zadávajú do meniča v podobe parametrov. Ako ďalšie je možné v podobe parametrov vo frekvenčnom meniči nastaviť požadovanú výstupnú frekvenciu, dobu rozbehu, dobu dobehu, maximálnu a minimálnu výstupnú frekvenciu a mnohé iné. Pri spustení motora na určitých otáčkach zodpovedajúcich výstupnej frekvencii je možné ešte pomocou tlačidiel na AOP označených šípkami výstupnú frekvenciu meniča zvyšovať alebo znižovať [5].

Konkrétny postup zmeny parametrov za účelom nastavenia meniča podľa štítku motoru a nastavenia požadovanej frekvencie, napísaný v krokoch, sa nachádza v priloženom návode na obsluhu motoru testovacieho standu.

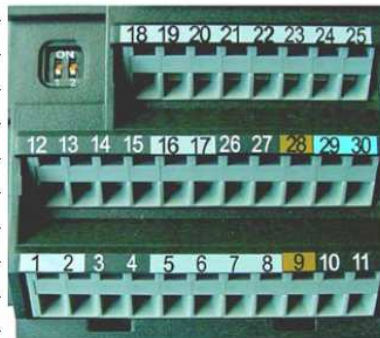
Za podmienky vymazania nepotrebných jazykových nastavení AOP, sa uvoľní časť pamäte, čo je možné využiť na uloženie parametrov frekvenčného meniča v AOP. AOP je potom možné pomocou konkrétneho PC connection kitu (obr.10) pripojiť k počítaču a pomocou STARTER softvéru v ňom jednotlivé parametre upravovať. Takto upravené parametre je po pripojení naspäť k frekvenčnému meniču možné nahráť do meniča [5].



Obr. 10 AOP to PC connection kit

Frekvenčný menič je možné ovládať aj cez USS protokol, cez rozhranie RS 485. Pripojenie musí byť v tomto prípade realizované na svorkovnicu frekvenčného meniča, konkrétne na svorky 29 a 30 vid' obrázok 11. Následne je nutné nastaviť parameter P0700=5 USS on COM link, čím sa svorky 29 a 30 nastaví ako príkazový zdroj [7].

Terminal	Designation	Function
1	–	Output +10 V
2	–	Output 0 V
3	ADC1+	Analog input 1 (+)
4	ADC1–	Analog input 1 (–)
5	DIN1	Digital input 1
6	DIN2	Digital input 2
7	DIN3	Digital input 3
8	DIN4	Digital input 4
9	–	Isolated output +24 V / max. 100 mA
10	ADC2+	Analog input 2 (+)
11	ADC2–	Analog input 2 (–)
12	DAC1+	Analog output 1 (+)
13	DAC1–	Analog output 1 (–)
14	PTCA	Connection for PTC / KTY84
15	PTCB	Connection for PTC / KTY84
16	DIN5	Digital input 5
17	DIN6	Digital input 6
18	DOUT1/NC	Digital output 1 / NC contact
19	DOUT1/NO	Digital output 1 / NO contact
20	DOUT1/COM	Digital output 1 / Changeover contact
21	DOUT2/NO	Digital output 2 / NO contact
22	DOUT2/COM	Digital output 2 / Changeover contact
23	DOUT3/NC	Digital output 3 / NC contact
24	DOUT3/NO	Digital output 3 / NO contact
25	DOUT3/COM	Digital output 3 / Changeover contact
26	DAC2+	Analog output 2 (+)
27	DAC2–	Analog output 2 (–)
28	–	Isolated output 0 V / max. 100 mA
29	P+	RS485 port
30	N–	RS485 port



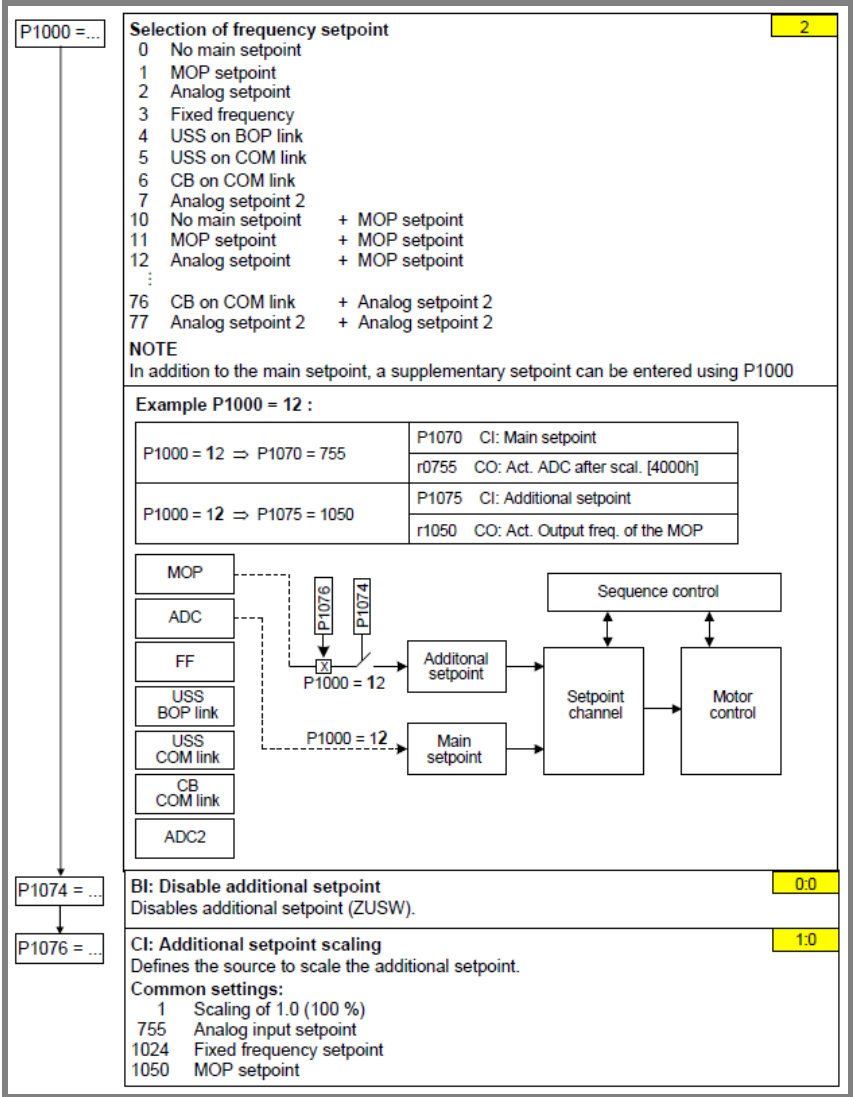
Obr. 11 Svorkovnica frekvenčného meniča s popisom [7]

Pomocou inverter to PC connection kitu (obr.12) je možné priamo prepojiť počítač s frekvenčným meničom cez sériový port. Následné je možné cez STARTER software meniť jednotlivé parametre frekvenčného meniča a ovládať ho [7].



Obr. 12 Inverter to PC connection kit [8]

Frekvenčný menič má na svorkovnici ešte dva analógové vstupy, cez ktoré je možné ovládať frekvenčný menič. Cez parameter P1000 je možné vybrať zdroj, ktorý bude určovať frekvenciu, konkrétne P1000=2 zodpovedá analógovému vstupu 1 a P1000=7 analógovému vstupu 2. Následne cez parameter P1076=755 Analog input setpoint určíme zdroj na škálovanie frekvencie [7].

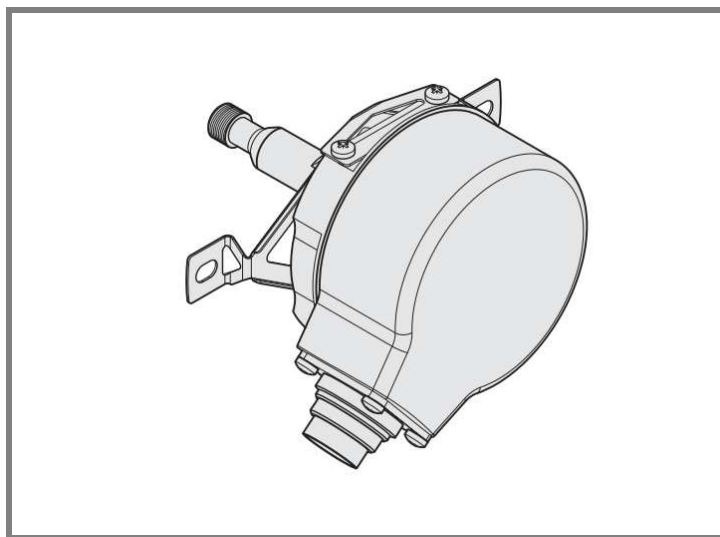


Obr. 13 Postup výberu frequency setpointu [7]

1.2.3

1.2.3 Spätnoväzbové riadenie s enkodérom

Spätnoväzbové riadenie alebo aj regulácia umožňuje zvýšiť presnosť regulovanej veličiny, v našom prípade otáčok motora, porovnaním odmeraných otáčok priamo na motore s riadiacim vstupom nastaveným na frekvenčnom meniči. Tento rozdiel je následnou reguláciou minimalizovaný. Rozdiel medzi otáčkami na motore a nastaveným riadiacim vstupom môže byť spôsobený zaťažovacím momentom [9]. Za týmto účelom je na frekvenčný menič pridaný modul enkodéru (obr.15), ktorý je cez svorkovnicu pripojený na enkodér (obr.14) na motore. Zapojenie svorkovnice a konektoru enkodéru je vidieť na obrázkoch 15 a 16 v podkapitole 1.3.1 Odmeriavanie otáčok.



Obr. 14 Rotačný pulzný enkodér 1XP8001-1 [10]



Obr. 15 SIEMENS Micromaster enkodér modul [11]

1.3 Odmeriavanie a senzory

1.3

Pomocou senzorov a meracích zariadení z testovacej stanice získame priebeh a hodnoty jednotlivých meraných veličín, ktoré nám pomôžu získať nové informácie a poznatky o testovanej súčasti. Pre testovanie hriadeľového tesnenia sú dôležité údaje o otáčkach tesneného hriadeľa, krútiaceho momentu prenášaného cez tesnenie, tlaku v utesňovanom priestore, prevádzkovej teplote a vibráciach.

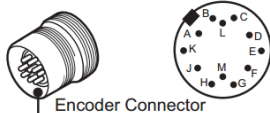
1.3.1 Odmeriavanie otáčok

1.3.1

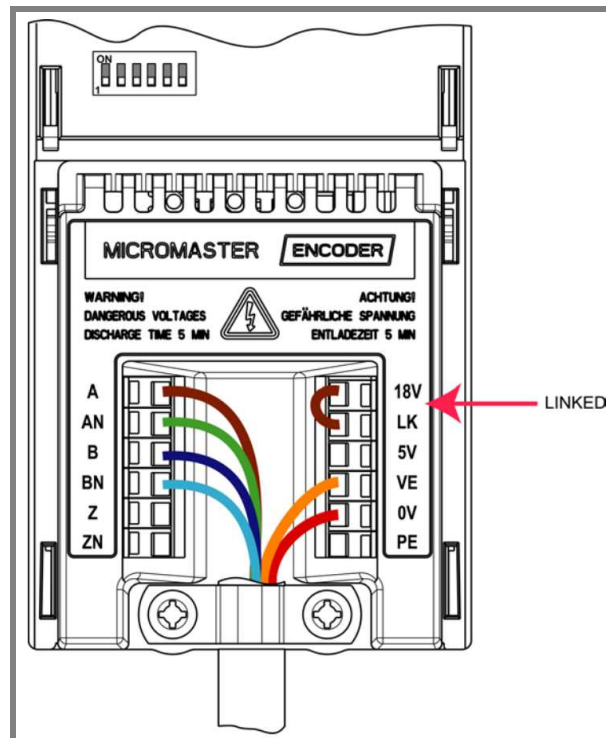
Otáčky rotoru motora alebo jeho výstupného hriadeľa je možné merať ručne, pomocou digitálnych alebo analógových prístrojov. Nevýhodou digitálnych prístrojov oproti analógovým je, že na ich použitie sú potrebné batérie alebo zdroj elektrického prúdu. Naopak výhodou digitálnych prístrojov je pohodlnosť pri meraní otáčok. Pomocou týchto prístrojov je možné merať otáčky kontaktné alebo bezkontaktné. Kontaktné meranie otáčok sa realizuje pomocou prítlaču prístroja na rotujúci hriadeľ cez vhodný adaptér. Nevýhodou tohto spôsobu je nepresnosť, ktorá môže vzniknúť kvôli preklzu v mieste kontaktu. Bezkontaktné meranie je realizované opticky, pomocou meracieho lúča. Výhodou je, že tento spôsob odmeriavania je bez skreslenia spôsobeného preklzom pri predošlej metóde.

Na snímanie otáčok sa okrem ručných meracích zariadení používajú aj inkrementálne rotačné snímače. Tieto snímače prevádzajú rotačný pohyb na elektrické signály pomocou fotoelektrického snímania rastru dvoch sklenených prvkov a to rotoru a statoru. Tieto snímače sú často použité v spojení s číslicovými indikáciami alebo riadiacimi systémami. Ponúkajú vysokú presnosť a spoľahlivosť odmeriavania otáčok [12].

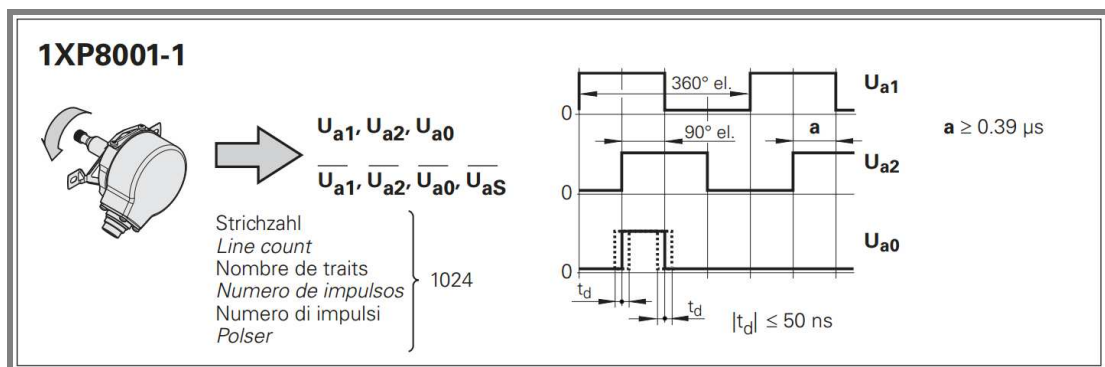
V navrhutej testovacej stanici je na motore namontovaný práve snímač od firmy SIEMENS, ktorý prevádza rotačný pohyb na elektrické pulzy. Výstupný signál snímača je vidieť na obrázku 18 a spôsobom zapojenia konektoru a svorkovnice enkodér modulu sa nachádza na obrázkoch 16 a 17.

SIEMENS Rotary Pulse Encoder 1XP8001-1 / $U_p = 10 \dots 30 \text{ V (HTL)}$ 1XP8001-2 / $U_p = 5 \text{ V} \pm 10\% \text{ (TTL)}$												
Encoder Connector Pin Designation	A	B	C	D	E	F	G	H		K	L	M
1xP8001 Encoder Designations	$\overline{U}_{a2}$	U_p	U_{a0}	$\overline{U}_{a0}$	U_{a1}	$\overline{U}_{a1}$	$\overline{U}_{aS}$	U_{a2}		0V	0V	U_p
MM4 Encoder Module Connections	BN	+24 V or +5 V	Z	ZN	A	AN	-	B		0 V	-	-

Obr. 16 Popis zapojenia konektoru enkodéru [13]

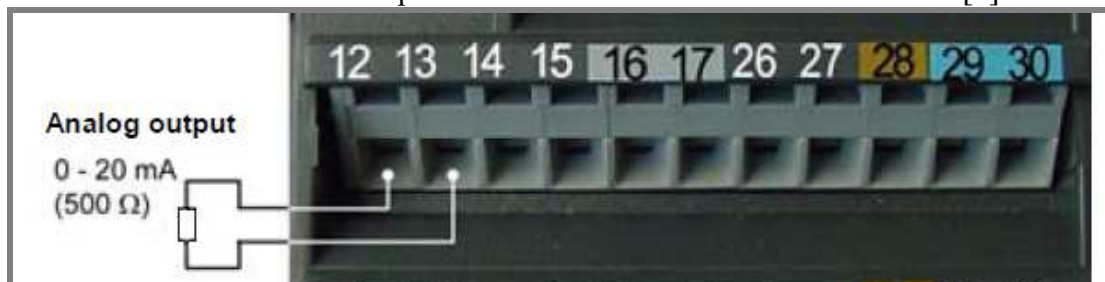


Obr. 17 Zapojenie svorkovnice enkodér modulu [13]



Obr. 18 Výstupný signál enkodéru [10]

Za účelom zaznamenávania priebehu otáčok pri testovaní, je možné otáčky odmerané enkodérom preniesť na analógový výstup frekvenčného meniča, vid' obrázok 19, kde sa rôzne otáčky prejavujú rôznym výstupným prúdom v rozsahu 0 až 20mA. Z toho vyplýva, že pre označený odpor 500Ω na výstupe, budeme môcť otáčky zaznamenávať ako hodnotu napätia na tomto rezistore v rozsahu 0 až 10V [7].



Obr. 19 Zapojenie analógového výstupu meniča s označeným prúdovým rozsahom a odporom[7]

1.3.2 Odmeriavanie krútiaceho momentu

1.3.2

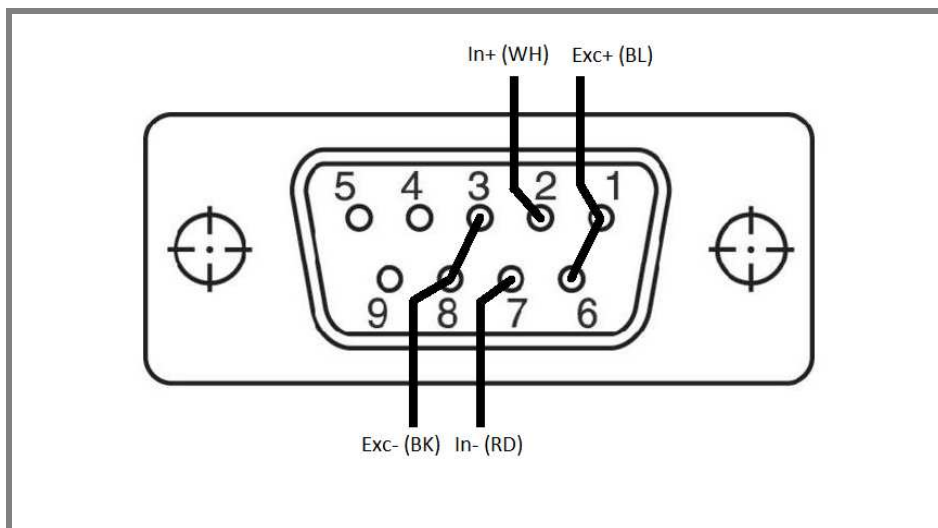
Odmeriavanie krútiaceho momentu je možné realizovať rôznymi spôsobmi. Jeden zo spôsobov je priame odmeriavanie krútiaceho momentu pomocou odporového snímača. Tieto snímače využívajú na svoju činnosť deformačný člen, ktorého deformáciu je možné merať dvoma spôsobmi. Odporový potenciometer pracuje na princípe snímania uhlovej výchylky. Tento spôsob odmeriavania vyžaduje veľké deformácie meracieho člena. Odporový tenzometer pracuje ako snímač šmykového napätia. Ako deformačný prvok sa pri tomto spôsobe odmeriavania obvykle využíva hriadeľ. Na jeho povrchu sú nalepené odporové tenzometre, ktoré v závislosti na deformácii hriadeľa menia odpor [12]. Tenzometrický snímač krútiaceho momentu je vidieť na obrázku 20.



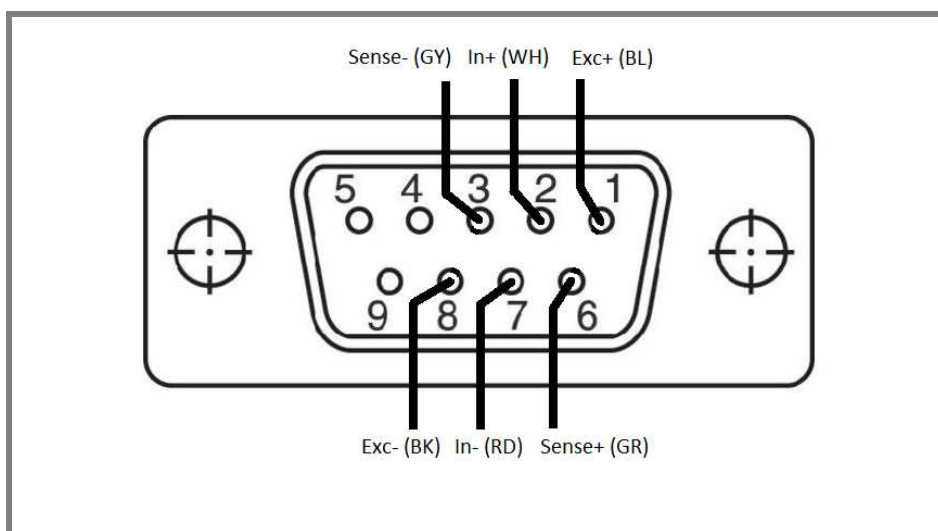
Obr. 20 Tenzometrický snímač krútiaceho momentu od výrobcu HBM

Ďalší spôsob určenia krútiaceho momentu je nepriamy, pomocou nameraných hodnôt napätia, prúdu a otáčok. Tento spôsob merania nie je veľmi vhodný z dôvodu nízkej presnosti, ktorá je spôsobená odchýlkou merania hneď niekoľkých veličín a obtiažnym určením účinnosti motora [12].

Krútiaci moment je ešte možné previesť pákovým mechanizmom na silové pôsobenie, merateľné silomerom. Na použitie v testovacej stanici máme možnosť výberu medzi dvoma silomerami od firmy HBM. Prvý s označením DF2S [14] a druhý s označením S2M [15]. Okrem iných parametrov sa tieto silomery odlišujú aj spôsobom zapojenia. Jeden zo silomerov má 4 vodiče, pomocou ktorých sa má zapojiť na merací modul a druhý má vodičov 6. Na merací modul [16] je pritom nutné zapojiť vždy 6 vodičov, z čoho vyplývajú dva spôsoby zapojenia, ktoré je vidieť na obrázkoch 21 a 22. Pri štvorvodičovom zapojení je nutné urobiť dve prepojenia na použitom konektore Canon 9SUB, aby od konektoru do meracieho modulu viedlo 6 vodičov.



Obr. 21 Štvorvodičové zapojenie silomeru [16]



Obr. 22 Šesťvodičové zapojenie silomeru [16]

1.3.3

1.3.3 Odmeriavanie tlaku

Odmeriavanie tlaku sa v praxi realizuje pomocou manometrov. Manometre je možné rozdeliť na digitálne a mechanické.

Mechanické tlakomery (obr.23) sú vyhotovené z meracích článkov vo forme pružnej trubice, membrány, kapsulovej membrány a vlnovky. Deformácia týchto meracích článkov je následne vhodným mechanizmom prenesená na ukazovateľ a spôsobí jeho výchylku. Meracie články môžu byť vyrobené zo zliatiny medi, legovanej ocele, alebo pre špeciálne účely aj z iných materiálov. Tieto tlakomery slúžia na meranie pretlaku, to znamená, na meranie kladného rozdielu tlaku oproti referenčnému atmosférickému tlaku [17].

Digitálne manometre (obr.24) fungujú na princípe piezodoporového snímača. Membrána sa pôsobením meraného tlaku ohýba a generuje elektrický signál, ktorý zodpovedá deformácii a teda aj meranému tlaku [18].



Obr. 23 Mechanické tlakomery v rôznych prevedeniach stupnice a veľkosti [17]



Obr.24 Digitálny manometer [18]

1.3.4 Odmeriavanie teploty

1.3.4

Merat' teplotu je možné rôznymi spôsobmi. Tieto spôsoby je možné rozdeliť na kontaktné a bezkontaktné. Medzi bezkontaktné meracie prístroje patria infračervené teplomery (obr.27). Týmito teplomermi je možné merať povrchovú teplotu materiálov. Najvhodnejšie sú na meranie teploty ťažko dostupných súčastí a povrchov s nebezpečne vysokou teplotou. Tieto teplomery zvyknú mať ešte laserové zameriavanie, ktoré napomáha jednoduchšiemu meraniu teploty na presnom mieste [19].

Výhodou kontaktného merania teploty je možnosť merať teplotu nie len na povrchu ale aj vo vnútri kvapalných alebo sypkých látok. Medzi kontaktné metódy je možné zaradiť viacero typov teplomerov. Objemové teplomery sú založené na tepelnej rozťažnosti látok a to kvapalín alebo pevných telies. Medzi kvapalinové teplomery sa

radia teplomery ortuťové, prípadne liehové (obr.26) a iné. Teplomery využívajúce rozťažnosť pevných látok obsahujú obvykle bimetalický pásik pozostávajúci z dvoch pásikov z rôznych materiálov s rôznou tepelnou rozťažnosťou, čo spôsobuje skrútenie pásiku, pri rozdielnych teplotách. Táto výchylka môže byť vhodným mechanizmom prenesená na ukazovateľ [20]. Bimetalový teplomer je vidieť na obrázku 25.



Obr. 25 Bimetalový teplomer [21]



Obr. 26 Liehový teplomer [22]



Obr. 27 Bezkontaktný infračervený teplomer [19]

Kontaktné meranie teploty je možné realizovať ešte pomocou odporových teplomerov, ktoré využívajú na svoju funkciu vlastnosti polovodičových a vodivých materiálov.

Princípom kovových odporových senzorov je teplotná závislosť odporu kovu. Základnou materiálovou konštantou, dôležitou pri meraní teploty kovovým odporovým senzorom je teplotný súčiniteľ odporu α (K^{-1}). Pre malý rozsah meraných teplôt 0 až 100 °C je možné s drobnou nepresnosťou používať lineárny vzťah

$$R_t = R_0(1 + \alpha t),$$

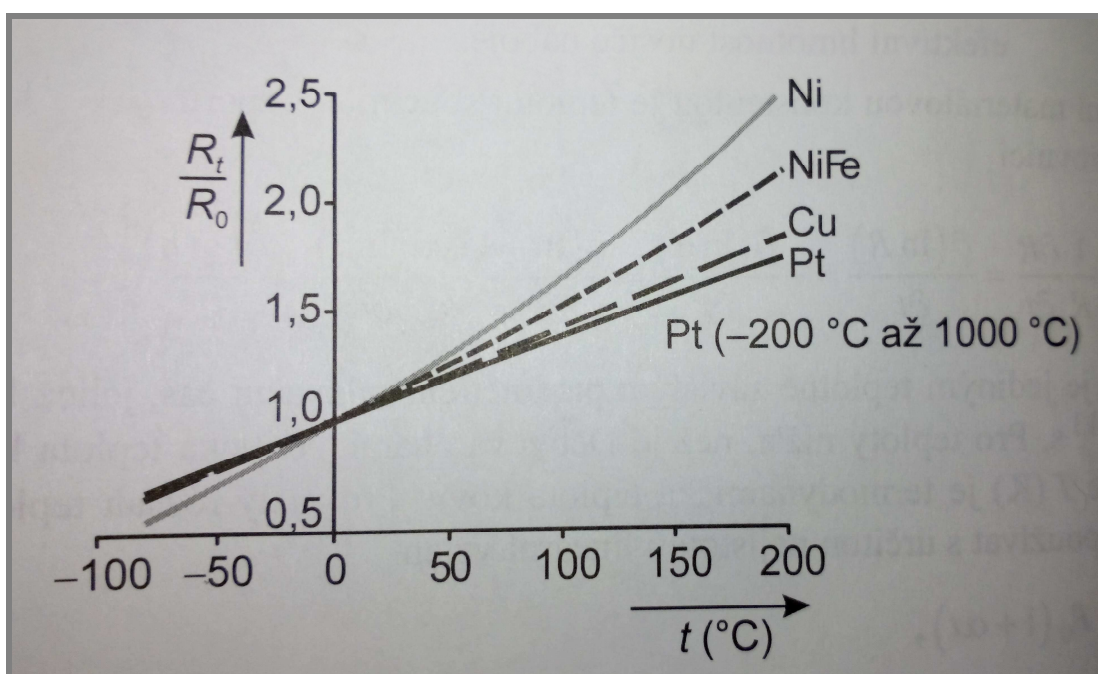
kde R_0 je odpor senzoru pri teplote 0°C . Pre väčšie rozsahy teplôt už nie je možné lineárne vzťahy používať. Napríklad pri použití platínového senzoru Pt100 je v rozsahu teplôt -200 až 850°C teplotná závislosť meracieho obvodu daná vzťahmi:

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + Ct^3 + (t - 100)] \text{ v oblasti } -200 \text{ až } 0^\circ\text{C}$$

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \text{ v oblasti } 0 \text{ až } 850^\circ\text{C}$$

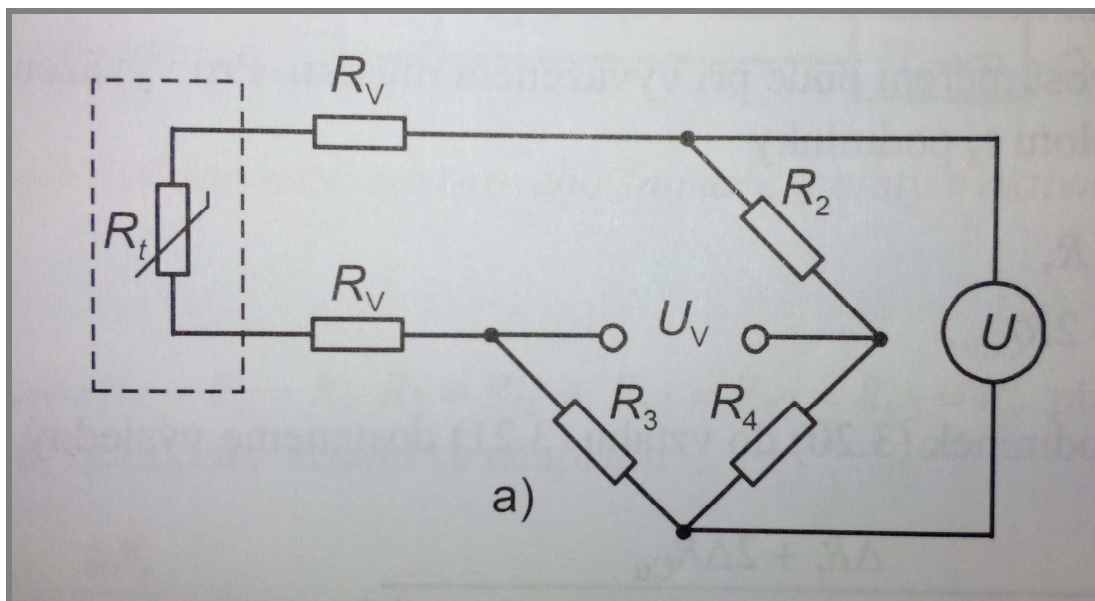
$$\text{kde } R_0 = 100\Omega; A = 3,90802 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}; B = -5,80195 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-2}; C = -4,2735 \cdot 10^{-12} \text{K}^{-4}$$

Najčastejšie materiály vhodné na realizáciu odporových kovových senzorov sú platina, nikel, Balco (Ni-Fe), meď, molybdén a pre extrémne nízke teploty od $0,5\text{K}$ zliatiny Rh-Fe, Pt-Co. Teplotná závislosť základných materiálov je vidieť na obrázku 28 [23].



Obr. 28 Teplotná závislosť materiálov odporových teplotných snímačov[23]

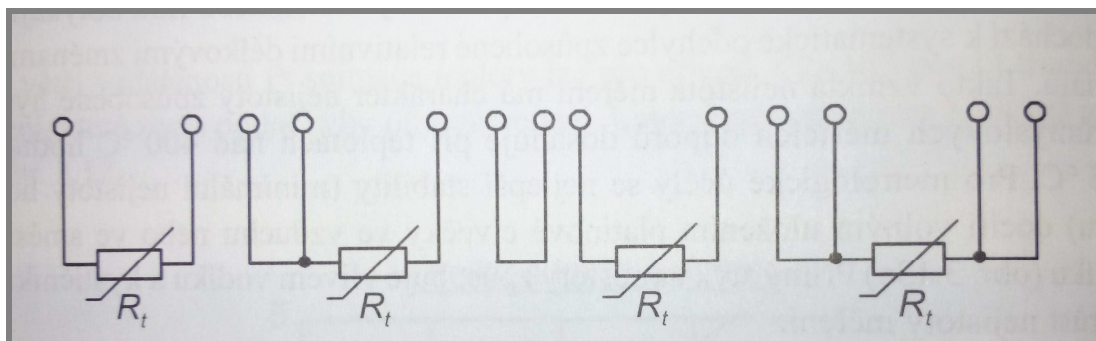
Medzi požiadavky na meracie obvody kovových odporových snímačov patrí minimalizácia vplyvu meracieho prúdu prechádzajúceho senzorom a minimálny vplyv odporu vedenia. Z toho vyplýva niekoľko spôsobov zapojenia snímača. Klasickým obvodom pre vyhodnotenie odporových snímačov teploty je Wheatstoneov mostík (obr.29), ktorý slúži na meranie malých odporov alebo malých zmien odporu [23].



Obr. 29 Dvojvodičové zapojenie s Wheatstonovým mostíkom [23]

Kvôli kompenzácii odporu vedenia a zvýšeniu presnosti merania sa vývody priemyselných meracích odporov pripájajú do meracích obvodov rôznymi spôsobmi, ktoré umožňujú vplyv odporu vedenia odčítať alebo nejakým iným spôsobom minimalizovať. Ide o zapojenie trojvodičové, zapojenie s kompenzačnou slučkou a zapojenie štvorvodičové [23].

Tieto zapojenia sú vidieť na obrázku 30.



Obr. 30 Zľava doprava zapojenie dvojvodičové, trojvodičové, s kompenzačnou slučkou a zapojenie štvorvodičové [23]

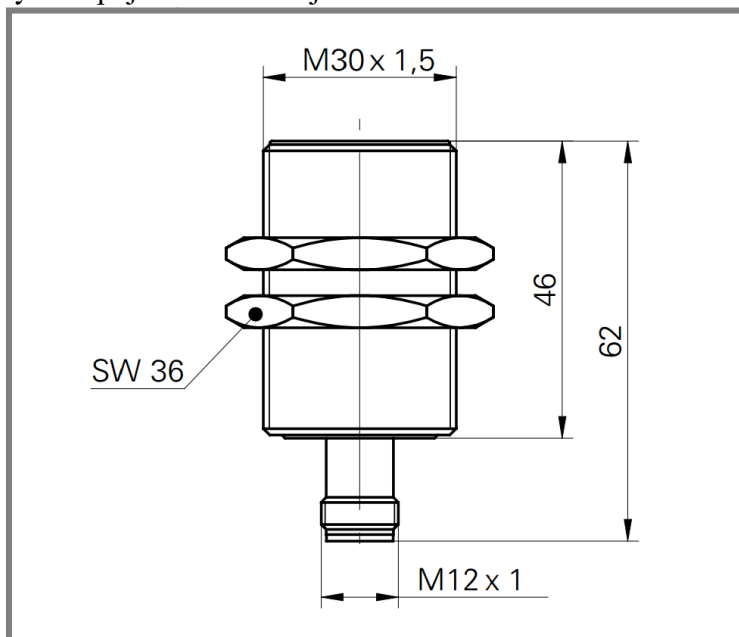
1.3.5

1.3.5 Odmeriavanie vibrácií

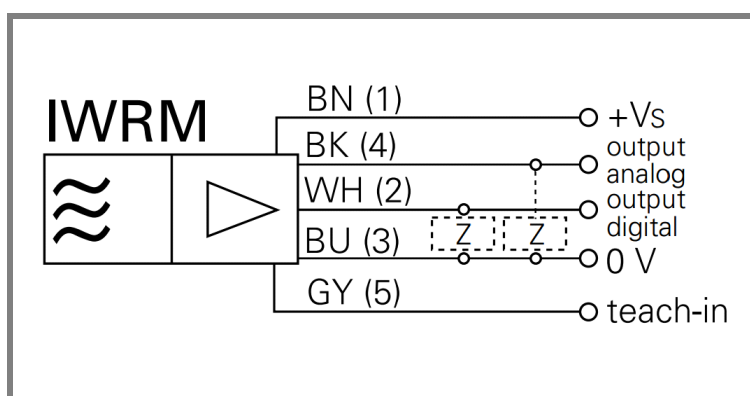
Na odmeriavanie vibrácií v testovacej stanici je použitý indukčný snímač. Indukčné snímače fungujú na princípe ovplyvňovania striedavého elektromagnetického poľa okolitými kovovými predmetmi. Prítomnosť alebo neprítomnosť kovových objektov je monitorovaná vo výrobcom definovanej vzdialenosti od snímača. Táto vzdialenosť je závislá na konštrukcii snímača [25].

Konkrétny snímač použitý v testovacej stanici je od firmy Baumer a má označenie IWRM 30Z8704/S14C. Meracia vzdialenosť tohto snímača je 0 až 16mm a rozlíšenie snímača 0,01mm pre snímanie statických aj pohybujúcich sa predmetov [24].

Rozmery snímača sa nachádzajú na obrázku 31 a označenie jednotlivých vodičov, z ktorých vyplýva zapojenie snímača je na obrázku 32.



Obr. 31 Základné rozmery indukčného snímača IWRM 30Z8704/S14C [24]



Obr. 32 Popis vodičov indukčného snímača IWRM 30Z8704/S14C [24]

1.4 Stavebnicové systémy hliníkových profilov

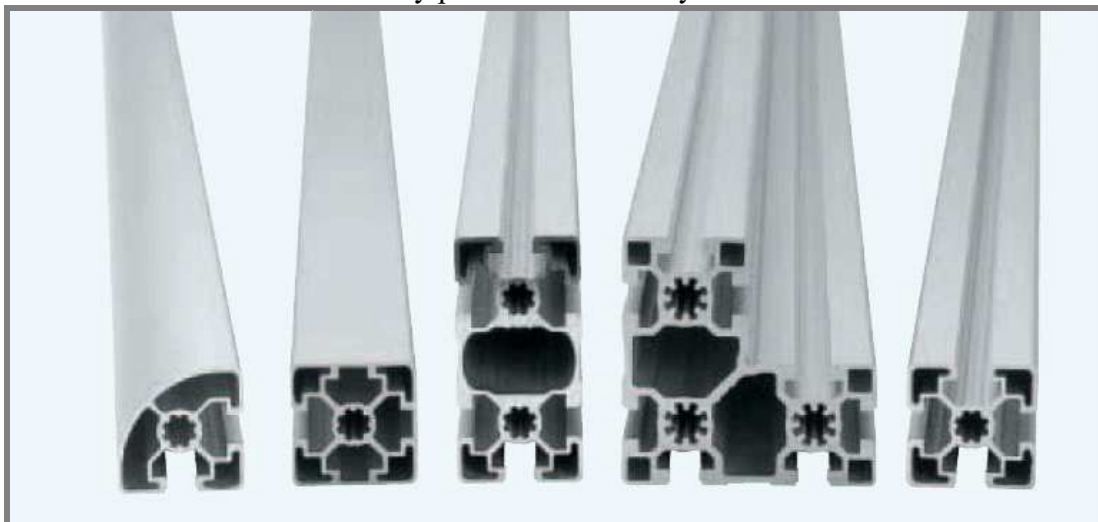
1.4

Stavebnicové systémy hliníkových profilov v mnohých oblastiach výroby a testovania nahrádzajú zvarané a montované konštrukcie montážnych, výrobných liniek a iných zariadení. Ich veľkou výhodou je ich univerzálnosť. Keďže sú dostupné v rôznych rozmerových skupinách, s rôznymi mechanickými vlastnosťami, s rôznymi rozmermi a počtom montážnych drážok a s rôznym príslušenstvom, je možné ich využiť pri stavbe takmer akejkoľvek konštrukcie. Ďalšou ich výhodou, je jednoduchá montáž a možnosť ľahko upraviť, prípadne prestavať konštrukciu zariadenia. Medzi ich nevýhody by sa dala zaradiť ich vyššia cena. Medzi najdostupnejšie stavebnicové systémy hliníkových profilov patria systémy od výrobcov Bosch, Item a Alutec K&K.

1.4.1

1.4.1 Systém profilov Bosch Rexroth

Bosch Rexroth je nemecká firma pôsobiaca predovšetkým v oblasti pohonných a riadiacich technológií už viac ako 200 rokov [26]. Stavebnicový systém profilov od tejto firmy pozostáva z profilov rozmerových rád 20, 30, 40, 45, 50 a 60mm s drážkami veľkosti 6, 8, a 10mm, v normálnych ale aj ľahkých verziách [27]. Na obrázku 33 sú vidieť rôzne druhy profilov od tohto výrobcu.



Obr. 33 Niektoré profily z ponuky výrobcu Bosch Rexroth[27]

V menovaných rozmerových radoch sú tiež profily s rôznym počtom drážok, napríklad profil rozmeru 45x45 sa vyrába s počtom drážok 1 až 4 [27].

Výrobca ponúka aj široké množstvo viacnásobných profilov v rôznych rozmerových radoch, ako napríklad radový trojprofil alebo do štvorca usporiadaný štvorprofil a mnohé iné [27]. Na obrázku 34 sa nachádzajú niektoré z ponúkaných viacnásobných profilov.

40x120L	
40x160L	
80x80L	
80x80L 4NVS	
80x80L 6N	
40x120x120L	

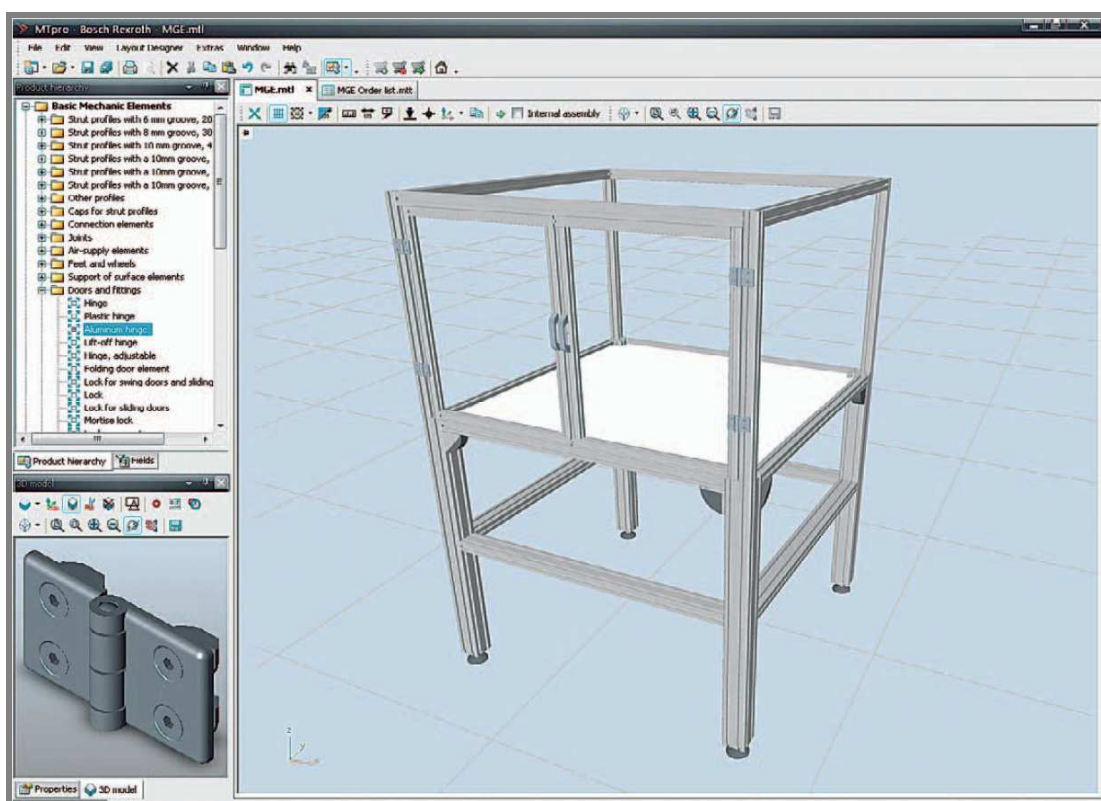
Obr. 34 Viacnásobné Bosch Rexroth profily [27]

K systému profilov je možné získať rôzne príslušenstvo od pántov, rôznych spojovacích členov, matíc do drážky, až po krytky koncov profilov a krytky drážok.

Zaujímavou súčasťou systému môže byť aj MTpro – planing software, ktorý slúži na zrýchlenie a zjednodušenie plánovania použitia profilov a návrhu rámov rôznych zariadení [27]. Na obrázkoch 35 a 36 sa nachádza časť ponúkaného príslušenstva a screenshot softvéru.



Obr. 35 Príslušenstvo k Bosch Rexroth profilom [27]

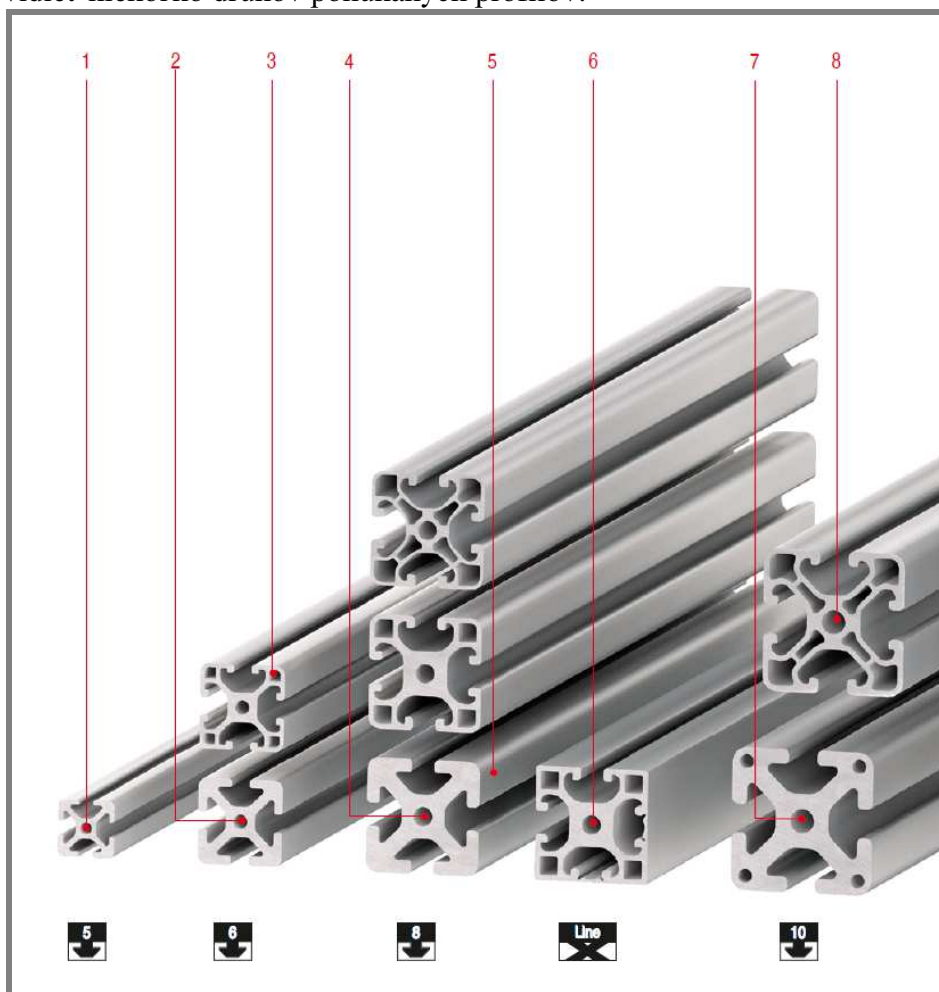


Obr. 36 MTpro-planing software [27]

1.4.2 Systém profilov Item

Spoločnosť Item je nemecká firma, ktorá vznikla v roku 1976, zaoberajúca sa hlavne výrobou stavebnicového systému hliníkových profilov a príslušenstva. Spoločnosť získala mnoho ocenení za dizajn svojho systému, medzi nimi aj ocenenia ako reddot alebo German Design Award [28].

Výrobca ponúka profily rozmerovej rady 20, 30, 40, 50 a 60mm s drážkami rozmerov 5, 6, 8, 10 a 12mm v normálnom ale aj ľahšom prevedení [29]. Na obrázku 37 je vidieť niekoľko druhov ponúkaných profilov.



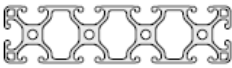
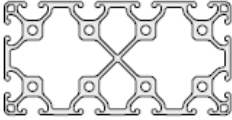
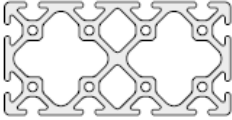
Obr. 37 Niektoré z ponúkaných Item profilov, 1- profil s drážkou s rozmerovým označením 5, 2- profil s drážkou s rozmerovým označením 6, 3- ľahké profily, 4- profil s drážkou s rozmerovým označením 8, 5- profily zo špeciálnych materiálov, 6- profily X-line, 7- profil s drážkou s rozmerovým označením 10, 8- Extra ľahké E profily [29]

Profilový systém tiež obsahuje profily s rôznym počtom drážok. Profily sa vyrábajú v prevedení s jednou až štyrmi drážkami [29]. Na obrázku 38 sú niektoré z týchto profilov.

	Profile 6 30x30 light		
	A [cm ²]	m [kg/m]	I _x [cm ⁴]
	3.43	0.93	2.90
	natural, cut-off max. 6000 mm		
	natural, 1 pce., length 6000 mm		
	Profile 6 30x30		
	A [cm ²]	m [kg/m]	I _x [cm ⁴]
	4.67	1.26	4.15
	natural, cut-off max. 6000 mm		
	natural, 1 pce., length 6000 mm		
	Profile 6 30x30 1N light		
	A [cm ²]	m [kg/m]	I _x [cm ⁴]
	3.49	0.94	2.91
	natural, cut-off max. 6000 mm		
	natural, 1 pce., length 6000 mm		
	Profile 6 30x30 2N90 light		
	A [cm ²]	m [kg/m]	I _x [cm ⁴]
	3.54	0.96	3.02
	natural, cut-off max. 6000 mm		
	natural, 1 pce., length 6000 mm		

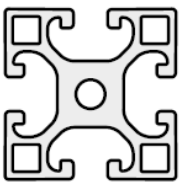
Obr. 38 Item profily s rôznym počtom drážok a niektorými parametrami [29]

Spoločnosť má v katalógu aj rôzne usporiadané viacnásobné profily (obr.39) , medzi ktorými sa vyskytujú aj profily najväčších rozmerov s pomedzi spomenutých výrobcov [29].

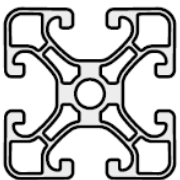
	Profile 6 120x30 light		
	A [cm ²]	m [kg/m]	I _x [cm ⁴]
	11.53	3.11	10.82
	natural, cut-off max. 6000 mm		
	natural, 1 pce., length 6000 mm		
	Profile 6 120x30		
	A [cm ²]	m [kg/m]	I _x [cm ⁴]
	16.00	4.32	15.42
	natural, cut-off max. 6000 mm		
	natural, 1 pce., length 6000 mm		
	Profile 6 120x60 light		
	A [cm ²]	m [kg/m]	I _x [cm ⁴]
	18.70	5.05	76.61
	natural, cut-off max. 6000 mm		
	natural, 1 pce., length 6000 mm		
	Profile 6 120x60		
	A [cm ²]	m [kg/m]	I _x [cm ⁴]
	24.84	6.71	102.71
	natural, cut-off max. 6000 mm		
	natural, 1 pce., length 6000 mm		

Obr. 39 Viacnásobné Item profily [29]

Je možné zakúpiť aj veľké množstvo špeciálne tvarovaných profilov a príslušenstva k nim. Systém ešte obsahuje profily s označením X, ktoré majú minimalizovaný rádius vonkajších hrán, pre vyskladanie hladkých plôch, menej náročných na čistenie. Ďalšie sú profily s označením E, ktoré sú upravené tak, aby obsahovali minimum materiálu a boli výrazne ľahšie. Výrobca ponúka aj vlastný software, v ktorom je možné navrhnuť konštrukciu z profilov [29]. Na obrázkoch 40 a 41 je profil X-line a profil typu E.

	Profile X 8 40x40 light		
	A [cm ²]	m [kg/m]	I _x [cm ⁴]
	6.61	1.78	9.47
	natural, cut-off max. 6000 mm		
	natural, 1 pce., length 6000 mm		

Obr. 40 X-line profil vhodný na vyskladanie hladkých stolov [29]

	Profile 8 40x40 E		
	A [cm ²]	m [kg/m]	I _x [cm ⁴]
	5.07	1.37	7.38
	natural, cut-off max. 6000 mm		
	natural, 1 pce., length 6000 mm		

Obr. 41 Extra ľahký E profil [29]

V porovnaní so systémom od Bosch Rexroth je tento systém chudobnejší o rozmerovú radu 45 ale na druhej strane ponúka profily s drážkami 5mm a 12mm, ktoré Bosch Rexroth nevyrába. Item navyše ponúka špeciálne profily s označením X a E s vyššie spomenutými vlastnosťami.

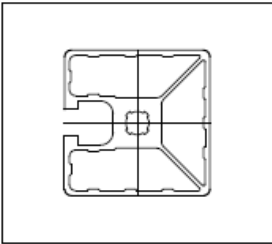
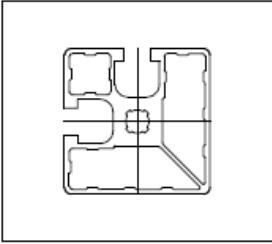
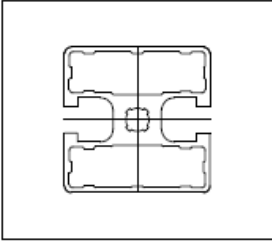
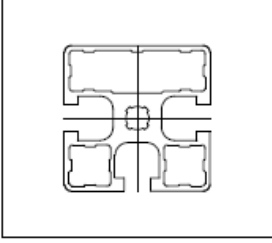
1.4.3 Systém profilov Alutec K&K

1.4.3

Spoločnosť Alutec K&K je jediným českým výrobcem hliníkového konštrukčného systému. Spoločnosť pôsobí v českej republike od roku 1994, začala ako dovozca hliníkového konštrukčného systému Alutec [30].

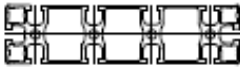
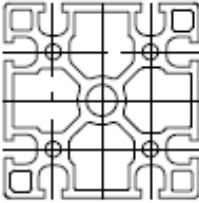
Výrobca ponúka profily rozmerovej rady 30, 40, a 45mm s drážkami 6, 8 a 10mm v prevedeniach ľahkých profilov, ekonomických a normálnych.

K dispozícii sú aj profily s rôznym počtom drážok. Napríklad profil 45x45 je dostupný s počtom drážok 1 až 4 [30]. Na obrázku 42 je niekoľko možných vyhotovení profilu 45x45 s rôznym počtom drážok.

	PROFIL 45 x 45 jedna drážka			
	Moment setrvačnosti Ix cm ⁴ Iy cm ⁴		Průřezový modul Wx cm ³ Wy cm ³	
	10,52	11,10	4,67	4,90
	PROFIL 45 x 45 dvě drážky			
	Moment setrvačnosti Ix cm ⁴ Iy cm ⁴		Průřezový modul Wx cm ³ Wy cm ³	
	10,80	10,80	4,70	4,70
	PROFIL 45 x 45 dvě drážky protilehlé			
	Moment setrvačnosti Ix cm ⁴ Iy cm ⁴		Průřezový modul Wx cm ³ Wy cm ³	
	9,82	10,96	4,36	4,87
	PROFIL 45 x 45 tři drážky			
	Moment setrvačnosti Ix cm ⁴ Iy cm ⁴		Průřezový modul Wx cm ³ Wy cm ³	
	10,57	11,19	4,51	4,97

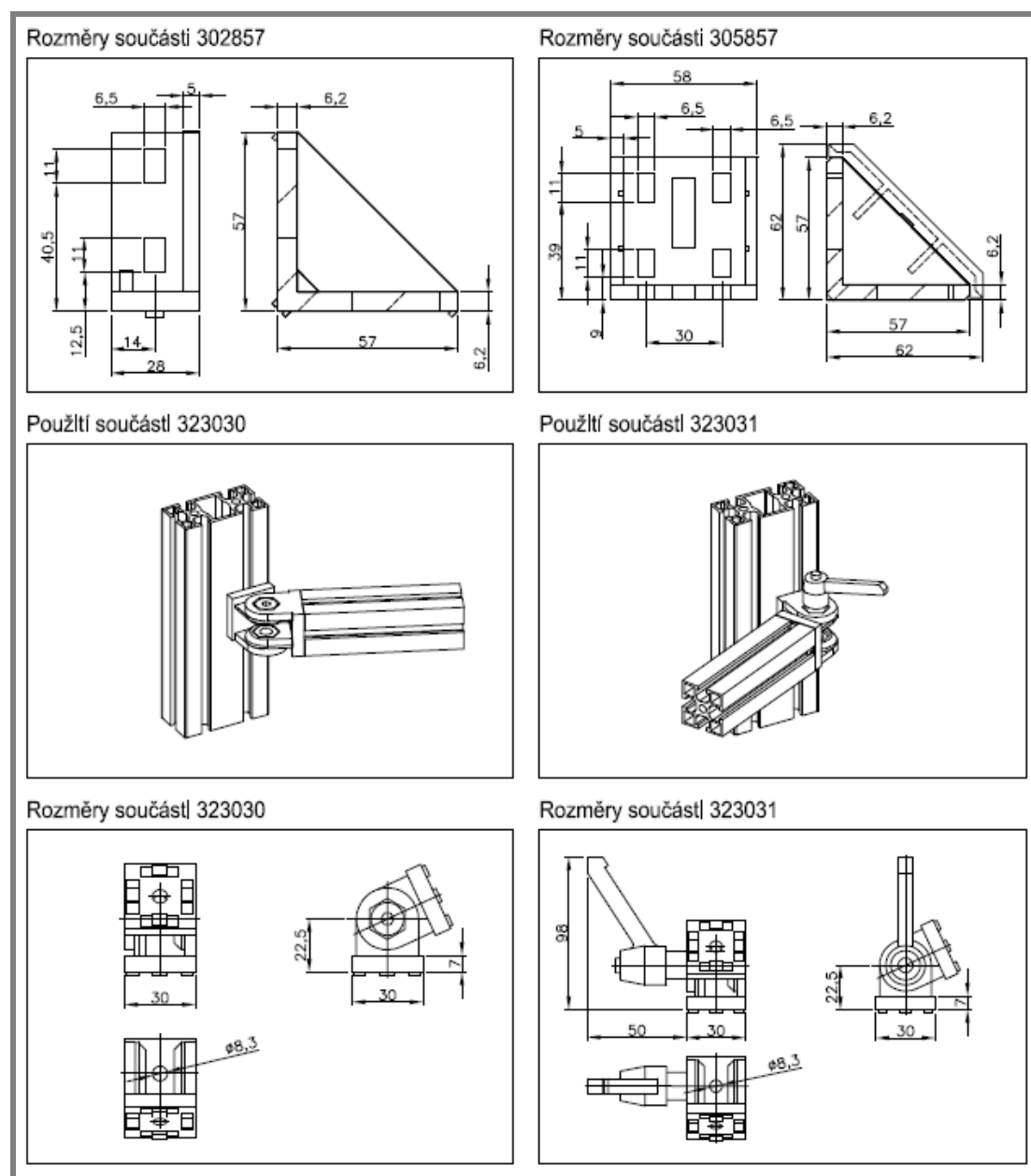
Obr. 42 Alutec profily s různým počtem drážek [30]

Rozmerové rady obsahujú aj viacnásobné profily v rôznych usporiadaniach. Dve z týchto usporiadaní sa nachádzajú na obrázku 43.

	PROFIL 45 x 180	
	Moment setrvačnosti Ix cm ⁴ Iy cm ⁴	
	42,54	628,68
	PROFIL 90 x 90	
	Moment setrvačnosti Ix cm ⁴ Iy cm ⁴	
	223,4	223,4

Obr. 43 Viacnásobné Alutec profily [30]

Alutec K&K ponúka aj veľké množstvo príslušenstva a software, ktorý slúži ako katalóg. Časť príslušenstva aj s jeho použitím je vidieť na obrázku 44.



Obr. 44 Niektoré ponúkané príslušenstvo k Alutec profilom

V porovnaní s ostatnými výrobcami Alutec K&K ponúka najmenej obsiahly systém hliníkových profilov ale stále dostatočne obsiahli pre použitie takmer na akúkoľvek konštrukciu. Hlavným obmedzením tohto systému je menej obsiahla rozmerová rada, dostupný počet rozmerov drážok a rozmerov uhlových profilov.

1.4.4

1.4.4 Ekonomickejšie alternatívy

Ako bolo spomenuté medzi najväčšie nevýhody stavebníkových systémov hliníkových profilov patrí ich vysoká cena a preto sa mnohým firmám, aj po zrušení výrobnéj linky alebo nepotrebnosti zariadenia zostaveného z profilov, opláca tieto profily znovu použiť.

Sú ale situácie, kedy môže byť prevoz profilov nákladnejší ako nákup nových alebo ich rozmer už znemožňuje použitie v požadovanej konštrukcii. V takýchto prípadoch končia profily v zbere, alebo predávané iným firmám, prípadne osobám, ktoré ich budú používať, alebo sprostredkujú ďalší predaj.

Takto získané použité profily sú výrazne lacnejšie v porovnaní s novými. Napríklad profil rozmeru 45x45 od Bosch Rexroth dĺžky 2m stojí približne 1030kč [32] , čo vychádza 515kč na jeden meter profilu. Použitý profil rovnakého rozmeru od rovnakej firmy môže stáť približne 100kč na meter profilu. Jedinou nevýhodou takto získaných profilov je, že môžu byť mierne deformované, prevrútené po predošlom uchytení alebo inak opotrebované.

2 ANALÝZA PROBLÉMU A CIEĽ PRÁCE

V rámci výskumu MR kvapalín na Ústave konštruovania FSI VUT v Brne vznikla myšlienka použiť MR kvapalinu aj ako tesniaci člen hriadeľového tesnenia. Za účelom overenia tohto použitia MR kvapaliny je nutné navrhnuť spôsob testovania a výskumu magnetického tesnenia. Na to bol navrhnutý testovací stand, na ktorom majú byť upevnené jednotlivé prvky na zabezpečenie špecifických podmienok testovania. Z toho vyplývajú nasledujúce problémy a požiadavky:

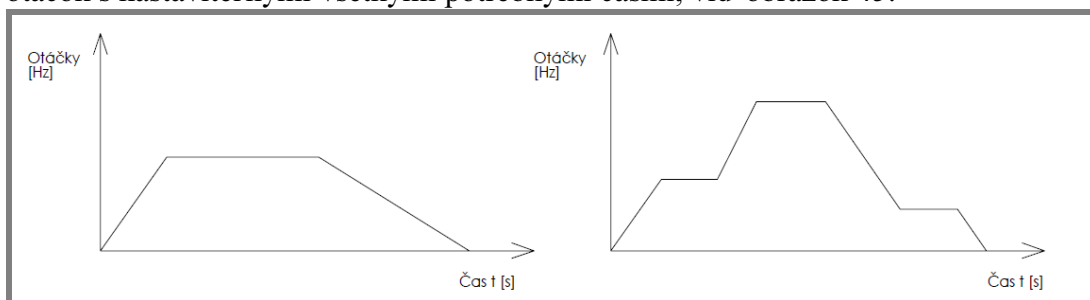
- Problém upevnenia prvkov na základnú dosku
- Regulácia otáčok tesneného hriadeľa
- Zaistenie zvýšeného tlaku v utesňovanom priestore pri testovaní
- Zaistenie testovania pri vyšších teplotách
- Zapojenie jednotlivých prvkov a meracieho reťazca

Na upevnenie jednotlivých prvkov na upínaciu dosku je nutné aby doska bola vhodne navrhnutá a skonštruovaná, obsahovala napríklad otvory alebo drážky umožňujúce montáž jednotlivých prvkov standu.

Riadenie a regulácia jednotlivých testovacích podmienok bude prebiehať priamo na jednotlivých prvkoch zabezpečujúcich tieto podmienky. Najširšie možnosti ovládania ponúka frekvenčný menič, ktorý ovláda elektromotor, ktorý zabezpečuje otáčky hriadeľa pri testovaní. Frekvenčný menič je možné nastavovať a ovládať hneď niekoľkými spôsobmi.

Zisťovanie priebehov jednotlivých veličín pri testovaní zabezpečujú senzory umiestnené na testovacom zariadení a stande. Je potrebné zistiť, ako sa tieto senzory zapájajú, zvoliť vhodný spôsob zapojenia a následne ho realizovať. Časové priebehy jednotlivých veličín budú následne zaznamenávané pomocou meracích modulov.

Cieľom práce je teda navrhnuť upínaciu dosku standu na testovanie magnetického tesnenia, na ktorej bude umiestnené testovacie zariadenie, namontované jednotlivé prvky zabezpečujúce potrebné podmienky a osadené jednotlivé senzory. Tiež je dôležité oboznámiť sa s jednotlivými možnosťami ovládania frekvenčného meniča, z ktorých by mal byť vybraný najvhodnejší spôsob ovládania, ktorý je dostatočne prehľadný a jednoduchý a využiť tento spôsob na realizovanie požadovaných priebehov otáčok hriadeľa pri testovaní. Jedná sa o jednoduchý priebeh, pozostávajúci z plynulého rozbehu na konštantné otáčky a plynulého dobehu s nastaviteľnými časmi rozbehu, dobehu, a výdrže na otáčkach a zložitejší priebeh s plynulými prechodmi medzi dvoma prípadne viacerými konštantnými priebehmi otáčok s nastaviteľnými všetkými potrebnými časmi, vid' obrázok 45.



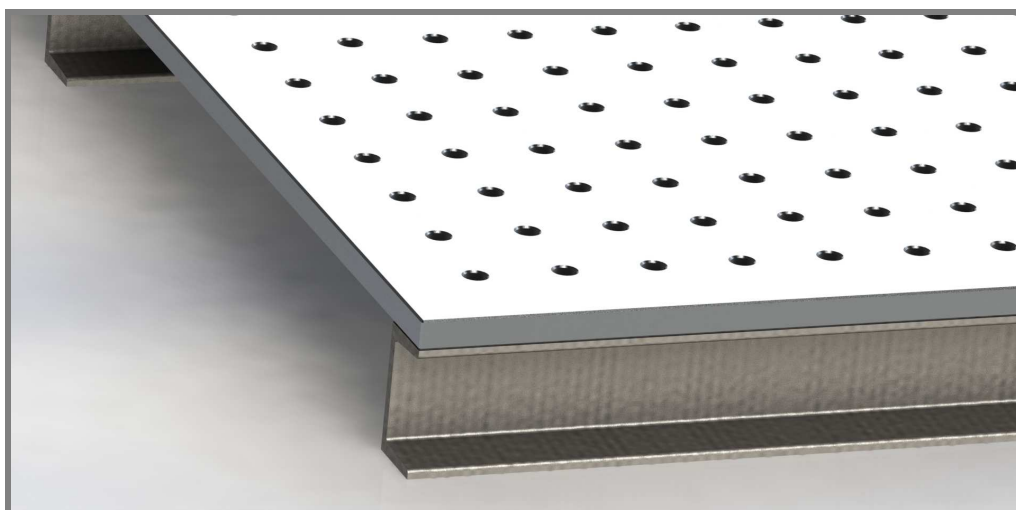
Obr. 45 Časový priebeh otáčok pri testovaní – naľavo jednoduchý, napravo zložitejší

3 NÁVRH KONŠTRUKČNÉHO RIEŠENIA

3

Pri návrhu konštrukcie testovacieho standu je nutné sa sústrediť hlavne na jeho základnú konštrukciu, na ktorej budú osadené všetky prvky potrebné pre testovanie. Táto základná konštrukcia musí umožňovať pevné upnutie jednotlivých prvkov na rôzne pozície podľa potreby testovania. Úplne ideálnym riešením je v tomto prípade vytvoriť základný upínací stôl. Stôl pozostáva zo základných profilov, nastaviteľných nožičiek a upínacej dosky. V nasledujúcich kapitolách sa koncepcie budú odlišovať hlavne v návrhu upínacej dosky stola, ktorá je pre celkovú konštrukciu standu najdôležitejšia. Z pomedzi možností ovládania objasnených v kapitole 1 bola na riadenie a nastavenie frekvenčného meniča zvolená možnosť ovládania cez panel na frekvenčnom meniči (AOP) a možnosť ovládania pomocou PC to Inverter connection kitu, ktorý umožňuje frekvenčný menič ovládať pomocou počítača.

3.1 Konštrukcia s doskou s predvrtanými otvormi

3.1

Obr. 46 Bližší pohľad na upínací stôl s doskou s predvrtanými otvormi

V tejto konštrukcii je ako montážna doska stola použitá hrubá hliníková platňa s predvrtanými otvormi pre skrutky so závitom M8, vid' obrázok 46. Otvory sú rozmiestnené v pravidelných vzdialenostiach 50mm v pozdĺžnom aj priečnom smere. Upínací stôl s touto platňou umožňuje jednoduchú montáž jednotlivých prvkov pomocou už spomínaných skrutiek M8 a matic s podložkami, ktoré sú zo spodnej strany stola dobre prístupné a výmena alebo prípadný presun prvku nepôsobí žiadne veľké komplikácie.

Nevýhodou takéhoto stola je, že pri zmene pozície prvku je možné ho presunúť v oboch smeroch len o násobky vzdialenosti jednotlivých otvorov. Tento problém by bol čiastočne riešiteľný v jednom smere vyfrézovaním otvorov do tvaru podobného drážke na pero, vid' obrázok 47.

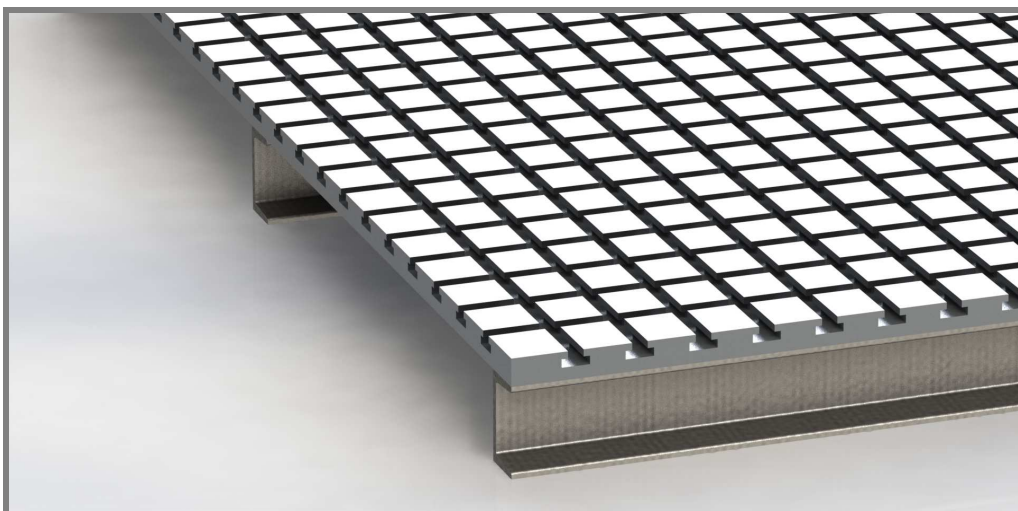


Obr. 47 Upravená doska s otvormi v podobe drážok

Ďalšou nevýhodou tejto koncepcie je nutnosť obrábania dosky. Vyvrtanie, prípadne vyfrézovanie otvorov trvá dosť dlhú dobu a je technologicky náročné dosiahnuť požadovanú presnosť. Problém by mohol nastať aj pri určení hrúbky upínacej dosky, aby mala dostatočnú tuhosť.

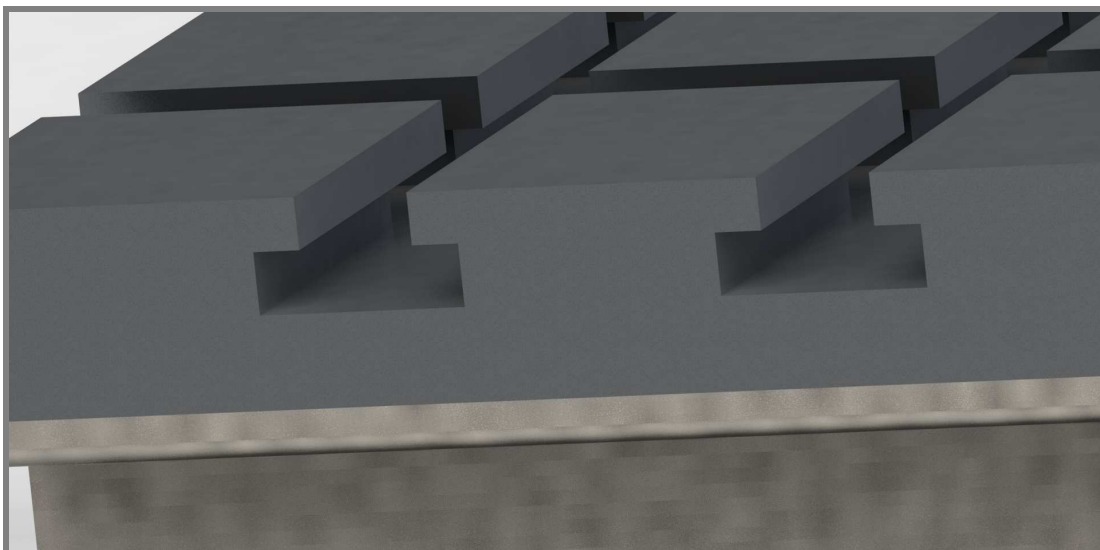
3.2

3.2 Konštrukcia s doskou s vyfrézovanými T drážkami



Obr. 48 Upínací stôl s doskou s T drážkami

Tento variant základného stola stanu obsahuje hliníkovú upínaciu dosku s vyfrézovanými T drážkami v priečnom aj pozdĺžnom smere, ktoré sú medzi sebou vzdialené 50mm, vid' obrázok 48. Drážka môže byť vyfrézovaná tak, že do nej budú sedieť aj štandardné matice so závitom M8. Detailnejší pohľad na profil je vidieť na obrázku 49.



Obr. 49 Detailnejší pohľad na T drážku upínacej dosky

Výhodou tohto návrhu je možnosť posuvu jednotlivých prvkov v oboch smeroch o akúkoľvek vzdialenosť. To výrazne zlepšuje aj celkové možnosti zmeny usporiadania celej testovacej stanice.

Nevýhodou sa v tomto prípade stala trochu komplikovanejšia montáž, pri ktorej je nutné niekedy zložito manipulovať s maticami v drážkach. Tiež je nevýhodou nutnosť dlhého obrábania upínacej dosky, ktoré je aj značne technologicky náročné pri požadovanej presnosti. Rovnako ako v predošlej variante by bolo nutné určiť minimálnu hrúbku upínacej dosky, kvôli zabezpečeniu dostatočnej tuhosti.

3.3 konštrukcia s doskou vyskladanou z profilov

3.3



Obr. 50 Upínacia doska vyskladaná s Bosch Rexroth profilov

Tento návrh obsahuje upínaciu dosku stola vyskladanú zo stavebnicových profilov od firmy Bosch Rexroth s rozmerom 45x45, vid' obrázok 50. Takto vyskladaná

upínacia doska má drážky vzdialené od seba 45mm. Tieto drážky sú ale len v pozdĺžnom smere.

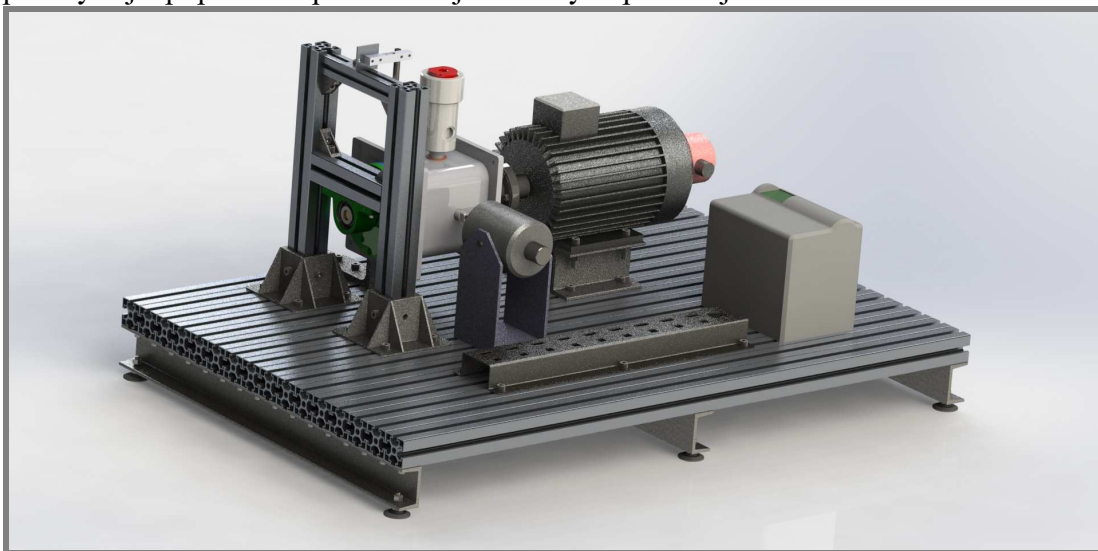
Z tejto koncepcie vyplýva teda hneď niekoľko výhod. Konštrukcia je montovaná, teda nutnosť obrábania je minimálna a zužuje sa len na zrezanie profilov na jednotnú dĺžku a navrtanie dier do priečných profilov. Pri použití nových profilov by bolo toto riešenie značne drahé a z ekonomických dôvodov by bolo vhodnejšie použiť hliníkovú dosku s dierami ale vďaka voľbe používaných profilov je táto montážna doska výrazne lacnejšia. Tým pádom je jej výhodou aj cena. Profily tiež zabezpečujú dostatočujúcu tuhosť upínacej dosky. Koncepcia umožňuje aj posúvať jednotlivé prvky o ľubovoľnú vzdialenosť, aj keď len v jednom smere.

Nevýhodou zostáva komplikovanejšia montáž prvkov na takto skonštruovaný základný stôl a použitie špeciálnych matic do drážok.

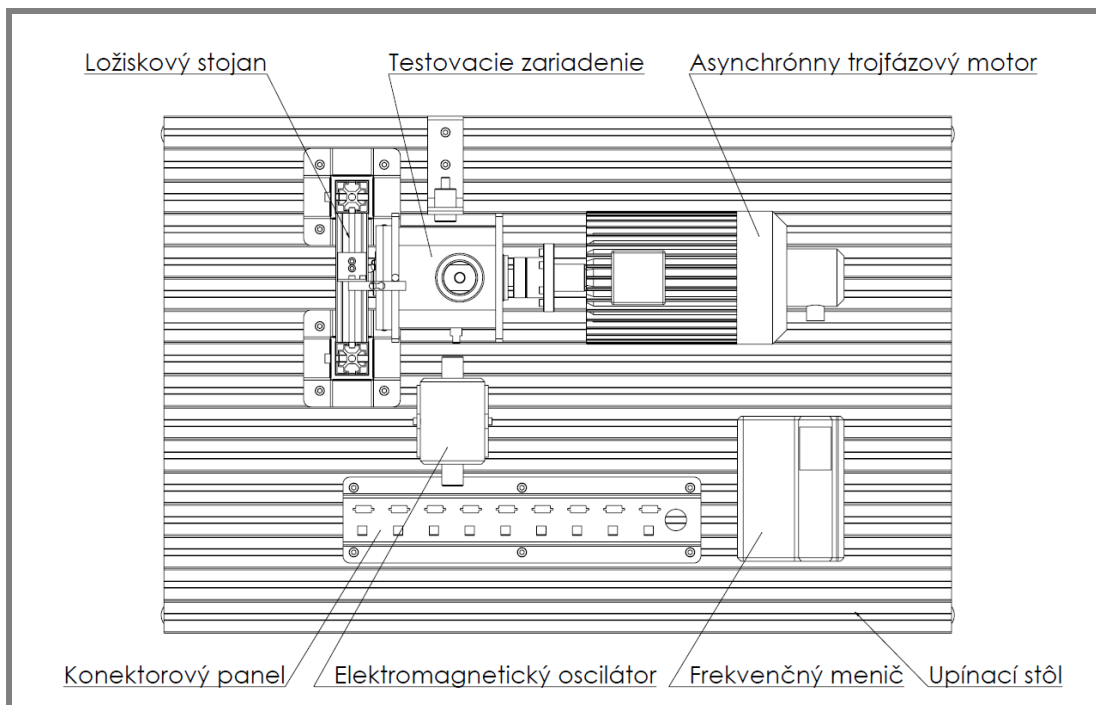
4 VÝSLEDNÉ KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE

4

Výsledné riešenie je založené na tretej koncepcii, obsahujúcej upínaciu dosku montovanú z použitých profilov Bosch Rexroth. Výsledný stôl ponúka už vyššie spomínané výhody a jeho nevýhody nie sú až tak kritické ako pri ostatných koncepčných riešeniach. Výsledný návrh testovacej stanice je na obrázku 51 a jej pôdorys aj s popisom usporiadania jednotlivých prvkov je na obrázku 52.



Obr. 51 Výsledný návrh stanice na testovanie magnetického tesnenia.



Obr. 52 Pôdorys testovacej stanice s popisom

V nasledujúcich podkapitolách sú detailnejšie popísané jednotlivé dôležité časti testovacej stanice, ich parametre, spôsob montáže, údaje o zapojení a iné dôležité informácie.

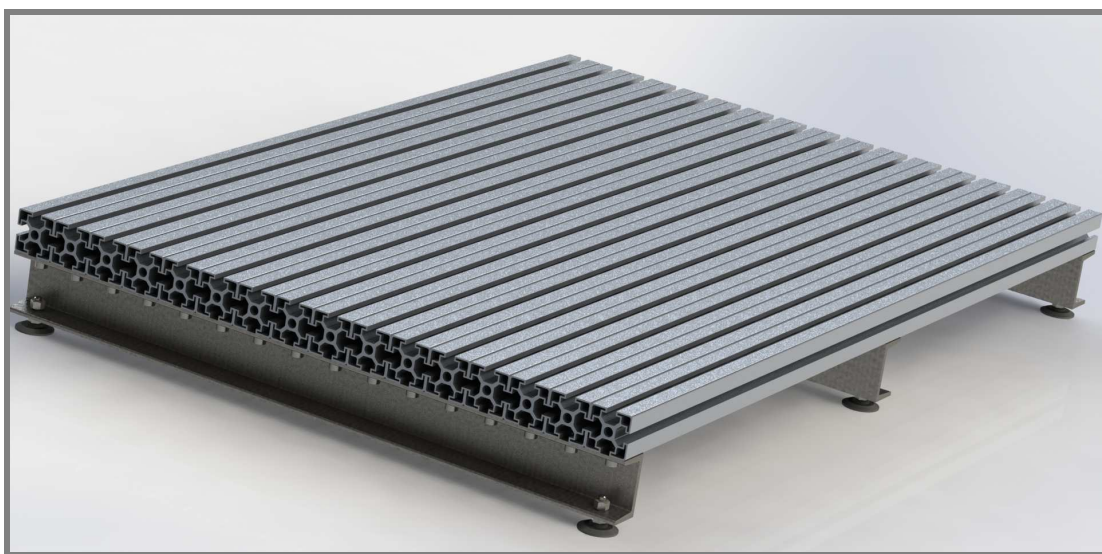
4.1

4.1 Základný stôl

Základný stôl standu (obr.53) pozostáva z montovanej upínacej dosky z šiestnástich Bosch Rexroth profilov a troch priečných valcovaných U profilov s výškou 65mm, na ktoré sú profily upínacej dosky namontované. Valcované U profily majú v porovnaní s ohýbanými výrazne vyššiu tuhosť a tak značnou mierou prispievajú aj k celkovej tuhosti konštrukcie základného stolu.

Pred samotnou montážou stolu bolo nutné použiť profily upínacej dosky najskôr narezat' na jednotnú dĺžku, následne bolo potrebné navrátať diery do priečných U profilov na namontovanie profilov upínacej dosky a nastaviteľných nožičiek.

Následne bol stôl pomocou skrutiek so závitom M8 a špeciálnych matíc poskladaný a osadený šiestimi nastaviteľnými nožičkami. Obrázok modelu zostaveného stolu je vidieť na obrázku.

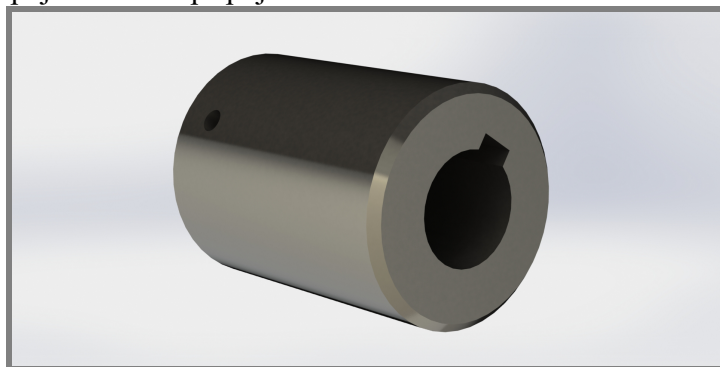


Obr. 53 Základný stôl standu

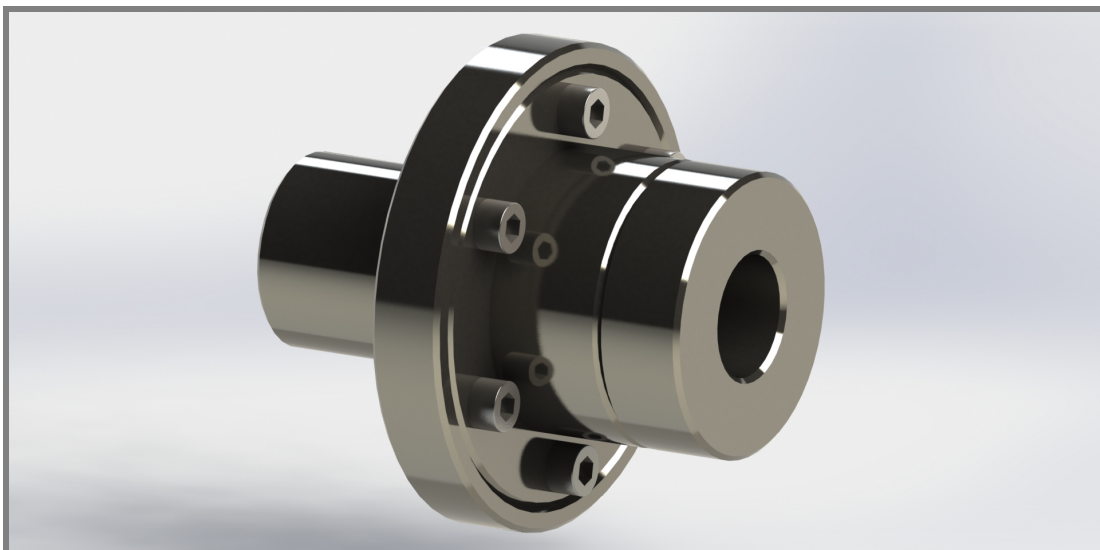
4.2

4.2 Hriadeľová spojka

Hriadeľová spojka bola pôvodne navrhnutá ako valcová pevná spojka z jedného kusu (obr.54) ale nakoniec sa ukázalo, že z dôvodu jednoduchšej manipulácie a výroby bude vhodnejšie vyrobiť prírubovú spojku (obr.55). Prírubová spojka umožňuje jednoducho odpojiť a znovu pripojiť testovacie zariadenia.



Obr. 54 Valcová hriadeľová spojka



Obr. 55 Prírubová hriadeľová spojka

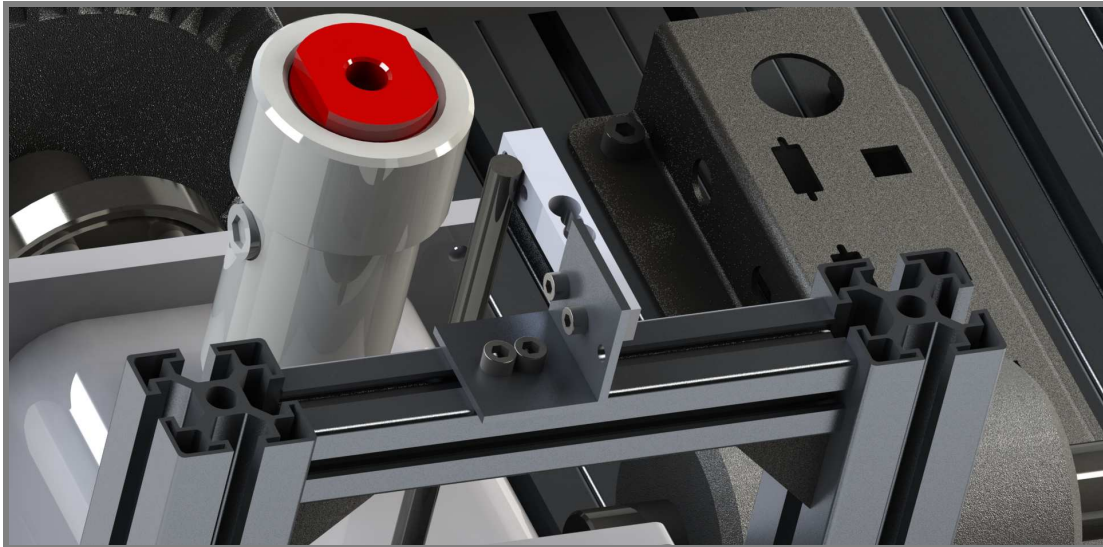
4.3 Ložiskový stojan

4.3

Ložiskový stojan je zostavený z Bosch Rexroth profilov tak, že je výškovo nastaviteľný, približne v intervale 40 až 440mm a v obmedzenej miere umožňuje aj posun ložiska na strany o približne 20mm na každú stranu. Stojan je tiež možné použiť aj na montáž iných prvkov testovacej stanice, ako napríklad na namontovanie silomeru. Ložiskový stojan je zobrazený na obrázku 56, silomer uchytený na vrchný profil stojanu je možné vidieť na obrázku 57.



Obr. 56 Ložiskový stojan prevažne zostavený Bosch Rexroth profilov



Obr. 57 Silomer uchytený na ložiskový stojan

4.4 **4.4 Zaistenie testovacích podmienok**

4.4.1 **4.4.1 Zaistenie otáčok hriadeľa**

Základnou podmienkou pri testovaní je zabezpečenie otáčok tesneného hriadeľa. To je zabezpečené pomocou trojfázového elektromotora, ktorý zabezpečí otáčky pri dostatočujúcom krútiacom momente.

Motor použitý v zariadení je trojfázový asynchrónny motor SIEMENS – SIMOTICS Low-voltage motor typu 1LA7 s maximálnou frekvenciou vstupného prúdu 50Hz, maximálnym napätím 230V, výkonom 1,5kW, maximálnymi otáčkami 2860/min a je vyvažovaný na maximálne prípustné otáčky 6000/min. Motor je osadený na základný stôl standu a podložený dvoma U profilmi s výškou 75mm, aby bola os motoru vo výške 165mm nad základným stolom a zhodovala sa s osovou výškou oscilátoru. Motor je určený k ovládaniu len pomocou frekvenčného meniča a je podľa štítku (obrázok 4 v kapitole 1) zapojený do trojuholníka k frekvenčnému meniču. Konkrétny frekvenčný menič použitý v testovacej stanici je frekvenčný menič SIEMENS Micromaster 440 veľkosti konštrukcie B. Tento frekvenčný menič mení jednofázový prúd s napätím 230V na trojfázový s požadovanou frekvenciou. Frekvenčný menič je teda cez príslušnú svorkovnicu a napájací kábel zapojený do štandardnej elektrickej siete 230V/50Hz. Trojfázový motor je k meniču pripojený cez trožilový kábel na príslušne svorky označené U V W.

4.4.2 **4.4.2 Zaistenie tlaku**

Ďalšou podmienkou je zvýšený tlak v utesňovanom priestore. Ten je zabezpečený pomocou napojenia testovacieho zariadenia na tlakový zásobník vzduchu, ktorý bude zabezpečovať dostatočný a regulovateľný pretlak v utesňovanom priestore.

4.4.3 **4.4.3 Zaistenie zvýšenej teploty**

Konštantná zvýšená teplota pri testovaní bude zabezpečená pripojením testovacej stanice na externé zariadenie, ktoré bude teplotu regulovať a udržiavať na

požadovanej hodnote. Konkrétne ide o temperačnú jednotku, ktorá bude pripojená cez príslušné prípojky vyvedené na stande.

4.4.4 Zaistenie vibrácií a excentricity

4.4.4

Zaťaženie vibráciami bude pri testovaní zabezpečené elektromagnetickým oscilátorom, osadeným na testovacom stande.

Excentricita uloženia hriadeľa je zabezpečená posunutím testovacieho zariadenia voči hriadeľu. Pred posunutím je ale nutné vybrať ložiská z testovacieho zariadenia.

4.5 Senzory v testovacej stanici

4.5

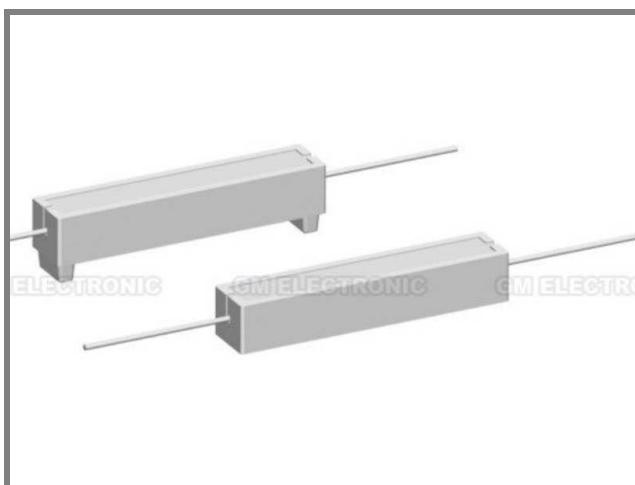
4.5.1 Enkodér a enkodér modul

4.5.1

Jedným z najdôležitejších senzorov v testovacej stanici je enkodér, ktorým sú odmeriavané otáčky motoru. Konkrétny použitý enkodér je SIEMENS rotačný pulzný enkodér 1XP8001-1. Tento enkodér vytvára 1024 pulzov na otáčku [10] a je zapojený k Micromaster enkodér modulu podľa obrázkov 16 a 17 v kapitole 1. Enkodér a enkodér modul je tiež vidieť na obrázkoch 14 a 15 v kapitole 1.

Otáčky sú v podobe merateľného napätia vyvedené na analógový výstup frekvenčného meniča, čo umožňuje ich zaznamenávanie v priebehu testovania. Analógový výstup je ale prúdový, v rozsahu 0 až 20mA a na meracej karte sú len napäťové zesilňovače. Za týmto účelom je nutné vybrať vhodný rezistor, na ktorom bude meraný úbytok napätia a cez Ohmov zákon bude dopočítavaný prúd, z ktorého budú počítané otáčky hriadeľa motoru. Zvolený rezistor musí byť dostatočne predimenzovaný, aby nedošlo k jeho zahriatiu, následnej zmene odporu a skresleniu meraných otáčok. Predpísaný maximálny odpor je vidieť na obrázku 19 v kapitole 1. Rezistor použitý v testovacej stanici je stavaný na výkon 20W a má odpor $R=100\Omega$ [31], to znamená, že pre prúdový rozsah na výstupe bude možné merať napäťový rozsah 0 až 2V a maximálny výkon na rezistore bude $P=0,04W$, z čoho vyplýva, že zvolený rezistor je 500-násobne predimenzovaný a k jeho zahrievaniu by nemalo dôjsť.

Výstup otáčok na frekvenčnom meniči je možné ešte škálovať pomocou parametrov P0777 až P0780.



Obr. 58 Výkonový rezistor s odporom 100 Ω [31]

4.5.2

4.5.2 Silomer

Konkrétny spôsob merania krútiaceho momentu na testovacej stanici je realizovaný cez pákový mechanizmus, ktorý prevádza krútiaci moment na silové pôsobenie, merateľné pomocou tenzometru. Dôležité je, aby mechanizmus bol čo najjednoduchší, aby dochádzalo len k minimálnym silovým stratám v mechanizme, ktoré bude možné považovať za nulové. Inak tieto straty môžu spôsobiť výraznú nepresnosť merania. Tiež je nutné krútiaci moment prepočítavať na silu v závislosti na dĺžke ramena sily. Tabuľka 1 ukazuje prepočítaný potrebný rozsah silomeru v závislosti na ramene sily do dĺžky 250mm pre maximálny krútiaci moment 20 Nm.

Tab.1 Potrebné maximum rozsahu silomeru pre rôzne ramená sily

Rameno sily r [mm]	Vrchná hranica rozsahu silomeru $F_{\max}$ [N]
80	250
90	222,2
100	200
110	181,8
120	166,7
130	153,8
140	142,9
150	133,3
160	125
170	117,6
180	111,1
190	105,3
200	100
210	95,2
220	90,9
230	87
240	83,3
250	80

Na meranie silového pôsobenia v testovacej stanici je použitý silomer od firmy HBM, konkrétne ide o silomer s označením DF2S s maximálnou záťažou 20kg. Tento silomer sa zapája na modul Dewetron DAQP-STG cez Canon 9SUB konektor s deviatimi pinmi pomocou štvorvodičového zapojenia. Keďže sa normálne silomery zapájajú na tento modul cez 6 vodičov, je nutné niektoré vodiče prepojiť s dvoma pinmi. Tento štvorvodičový spôsob zapojenia je objasnený v kapitole 1.

4.5.3

4.5.3 Snímač tlaku

Tlak v utesňovanom priestore v testovacom zariadení je meraný pomocou piezoodporového snímača.

4.5.4 Snímač teploty

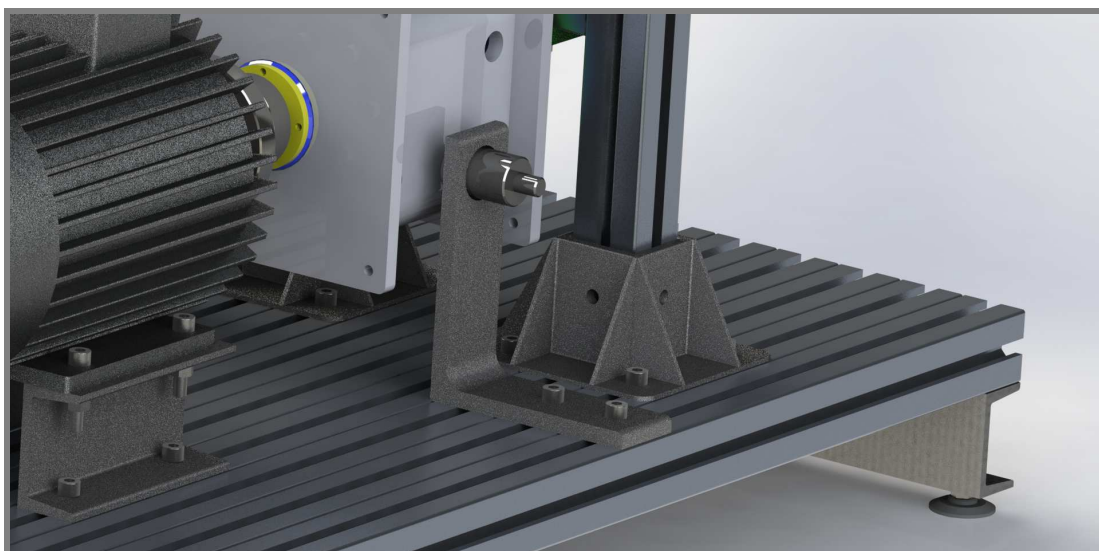
4.5.4

Teplota pri testovaní magnetického tesnenia je odmeriavaná pomocou kovového odporového snímača.

4.5.6 Indukčný snímač

4.5.6

Priebeh vibrácii a excentricita sú pri testovaní zaznamenávané indukčným snímačom od firmy Baumer, ktorý má označenie IWRM 30Z8704/S14C. Tento snímač je na stand namontovaný pomocou upraveného krátkeho kusu L profilu a je umiestnený tak, aby stena testovacieho zariadenia bola v strede meracieho rozsahu snímača. To umožní merať rovnako veľkú výchylku v oboch smeroch. Obrázok snímača zo zakótovaných rozmermi a popis jednotlivých vodičov senzoru sa nachádzajú v kapitole 1. Umiestnenie a uchytenie snímača je vidieť na obrázku 59.

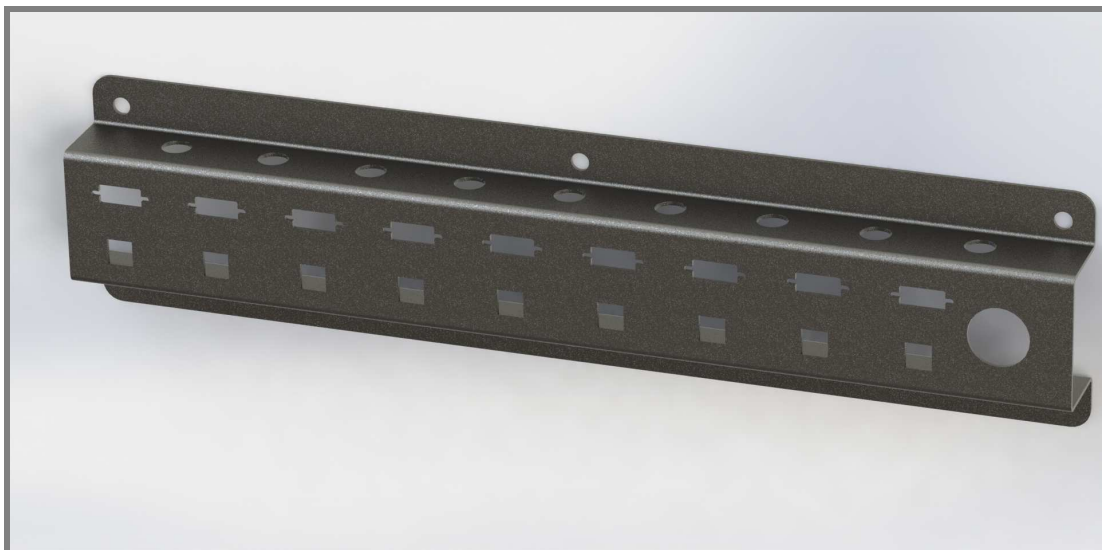


Obr. 59 Umiestnenie indukčného senzoru v testovacej stanici

4.5.7 Konektorový panel

4.5.7

Konektorový panel je vyrobený z ohýbaného plechu o hrúbke 2mm, obsahuje diery na prívod káblov ku konektorom, diery na pripevnenie k základnému stolu pomocou špeciálnych matíc a skrutiek so závitom M8 a vyrezané diery na príslušné konektory, prípadne tlačidlá a ich uchytenie. Návrh panelu je vidieť na obrázku 59.



Obr. 60 Navrhnutý konektorový panel

4.6

4.6 Riadenie

Regulácia jednotlivých testovacích podmienok bude prevažne realizovaná na jednotlivých prvkoch zabezpečujúcich testovacie podmienky. Otáčky motora zabezpečujúceho otáčky tesneného hriadeľa bude nutné riadiť pomocou frekvenčného meniča, ktorý je možné nastavovať a ovládať viacerými spôsobmi.

Tieto spôsoby sú bližšie popísané v kapitole 1. Pri nastavovaní a riadení sme využívali dva spôsoby ovládania a to pomocou AOP a PC connection kitu. Po odskúšaní týchto spôsobov ovládania sme rozhodli, že najvhodnejší je spôsob ovládania pomocou PC to Inverter connection kitu cez STARTER softvér. Tento spôsob ovládania je výrazne prehľadnejší a pohodlnejší ako ovládanie pomocou AOP, ktorého prostredie je trochu neprehľadné a chaotické. Detailnejšie informácie o nastavení parametrov motora vo frekvenčnom meniči, nastavenie spätnoväzbového riadenia, vyvedenia otáčok na výstup frekvenčného meniča je možné nájsť v priloženom návode na obsluhu motoru testovacieho standu. Nasledujúca tabuľka 2 obsahuje len základné parametre potrebné na obsluhu a nastavenie frekvenčného meniča s krátkym popisom.

Tab.2 Základné parametre pre nastavenie a ovládanie motoru a frekvenčného meniča.

P1120	Čas rozbehu na maximálnu frekvenciu
P1121	Čas dobehu z maximálnej frekvencie
P1080	Minimálna frekvencia
P1082	Maximálna frekvencia
P1000	Výber frekvenčného setpointu
P0700	Parameter dovoľujúci meniť príkazový zdroj.
r0311	Otáčky motora uvádzané výrobcom na štítke
r0310	Frekvencia motoru uvádzaná výrobcom na štítke
r0308	Účinník motoru uvádzaný výrobcom na štítke
r0307	Výkon motoru uvádzaný výrobcom na štítke
r0305	Prúd udávaný výrobcom motoru na štítke
r0304	Napätie udávaný výrobcom motoru na štítke
P0010	Parameter dovoľujúci zmenu údajov motoru vo frekvenčnom meniči, predchádzajúce r parametre sa zmenia na P.
P0003	Parameter určujúci úroveň prístupu a tým pádom aj počet prístupných parametrov.

Konštrukcia standu z veľkej časti spĺňa požiadavky a kritéria na ňu kladené. Základný stôl má dostačujúcu tuhosť a umožňuje montáž jednotlivých prvkov standu na požadované miesto. Stôl je tiež možné pomocou nastaviteľných nožičiek umiestniť aj na nerovnejšie povrchy a nastaviť ho do vodorovnej roviny.

Nedostatkom standu je trochu komplikovanejšia montáž prvkov kvôli zložitej manipulácii s maticami. A tiež chýba priečny posun prvkov o ľubovoľnú vzdialenosť, čo by ale mohlo byť riešiteľné pomocou menšieho priečneho stolu zo zbytkových profilov po rezaní, ktorý by bol namontovateľný na základný stôl. Tento priečny stôl by mohol byť upravený aj tak, aby umožňoval otočenie prvku standu o do ľubovoľného uhlu.

Použité Bosch Rexroth profily sú po predchádzajúcom použití len veľmi mierne poškodené a trochu špinavé. Po očistení sú však takmer bez vady a až na drobné škrabance sú vo veľmi dobrom stave, pričom majú výrazne nižšiu cenu v porovnaní s novými. Po predchádzajúcom použití sa v profiloch nachádzajú aj diery, pomocou ktorých boli montované v predošlej konštrukcii, tieto diery sme sa rozhodli využiť na spojenie jednotlivých dvojíc profilov pred namontovaním na priečne profily.

Nie všetky profily sa ale podarilo zohnať ako lacnejšie už používané profily. To bolo spôsobené hlavne dĺžkou potrebných profilov, keďže dlhšie profily sa väčšinou znovu využívajú a aj ako použité sa nezvyknú predávať. Preto posledných päť profilov základného stolu je nahradených dvoma novými profilmi, jedným štandardným profilom 45x45 a jedným štvorprofilom rozmerovej rady 45. Oba profily majú drážku na použitie skrutiek so závitom M8 a sú od firmy Alutec K&K, čo je druhý ekonomicky najvýhodnejší variant profilov.

Špeciálne matice do drážok sú tiež z veľkej časti zohnané ako používané, sú to však matice od firmy item ale sú použiteľné aj v drážke Bosch Rexroth profilov. Ostatné matice sú nové štvorhranné matice. Nové matice do profilu Bosch Rexroth majú síce tvar, ktorý lepšie sedí do drážky a umožní preniesť väčšie sily ale pri cene 25 Kč na kus sú v porovnaní s použitými item maticami za 7 Kč viac ako trikrát drahšie. Ekonomicky najvýhodnejšie však vychádzajú štvorhranné matice s cenou 0,80 Kč.

Pri ovládaní testovacieho standu je potrebné sa sústrediť hlavne na ovládanie frekvenčného meniča, ktorý ovláda asynchrónny trojfázový motor. Reálne sme odskúšali dve možnosti ovládania a to pomocou AOP a PC to Inverter connection kitu. Pri ovládaní bol vyžadovaný priebeh otáčok s nastaviteľnou dobou rozbehu a dobehu a dobou výdrže na konštantných otáčkach. Tiež bolo cieľom realizovať zložitejší priebeh otáčok, konkrétne plynulý rozbeh na konkrétne otáčky, po určitom čase plynulý prechod na iné otáčky a po ďalšom nastaviteľnom čase plynulý dobeh motora, prípadne znovu prechod na iné otáčky.

S použitými spôsobmi riadenia sa podarilo realizovať prevažne len jednoduchý priebeh otáčok s plynulým rozbehom na konštantné otáčky a plynulým dobehom. V ovládacom paneli STARTER softvéru je ale možné za chodu motoru prepisovať požadované otáčky, pričom po prepísaní motor plynule prejde na nové zadané otáčky. Nepodarilo sa však nastaviť čas výdrže na konštantných otáčkach a motor je nutné vypnúť, prípadne mu zadať iné otáčky manuálne, cez AOP alebo STARTER softvér po požadovanom čase.

Ovládaním frekvenčného meniča pomocou AOP sa nám úspešne podarilo pristupovať k jednotlivým parametrom a boli sme tak schopní nastaviť v meniči

jednotlivé parametre motoru podľa štítku, nastaviť plynulé rozbehy a dobehy motoru a nastaviť frekvenciu na ktorú sa motor rozbehne.

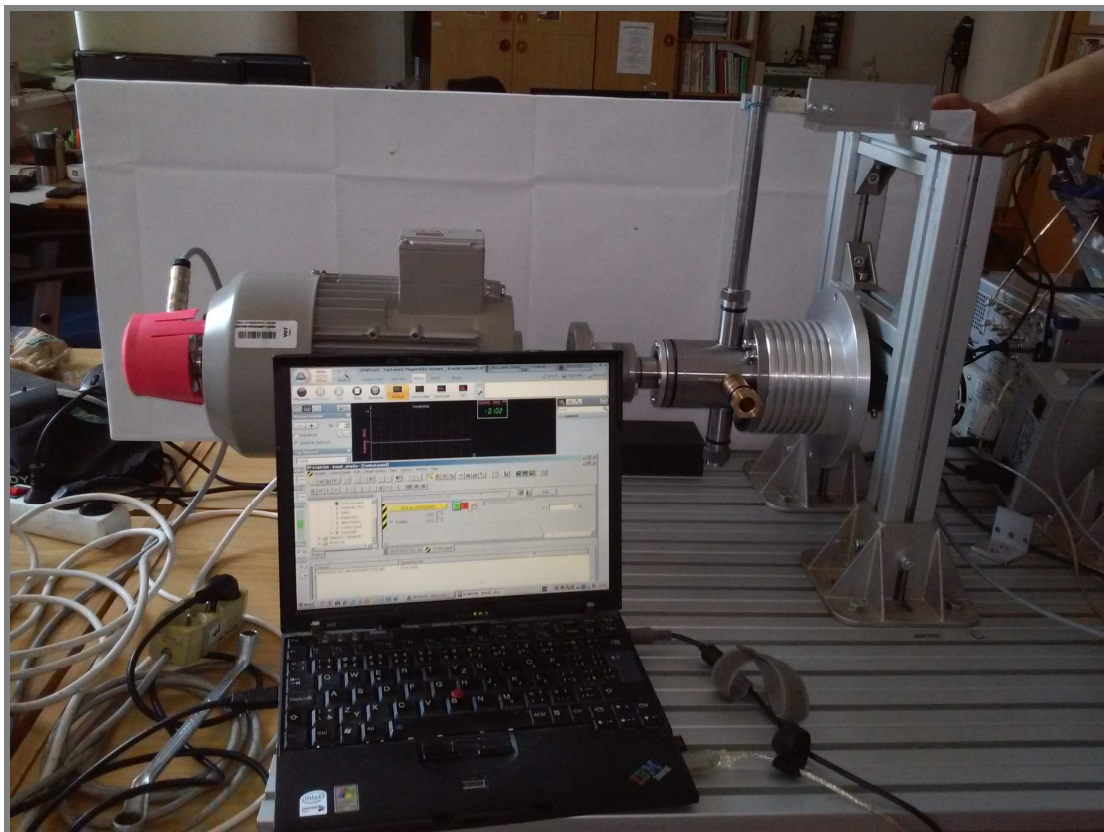
Ďalej sme pri nastavovaní pokračovali pomocou STARTER softvéru a PC to inverter connection kitu a realizovali sme nastavenie spätnoväzbového riadenia, pripojenie a nastavenie enkodéru a vyvedenie otáčok na výstup frekvenčného meniča.

Všetky spomenuté postupy sú ale realizovateľné ako pomocou AOP, tak aj pomocou STARTER softvéru. Detailnejšie objasnenie jednotlivých postupov je obsiahnuté v prílohe.

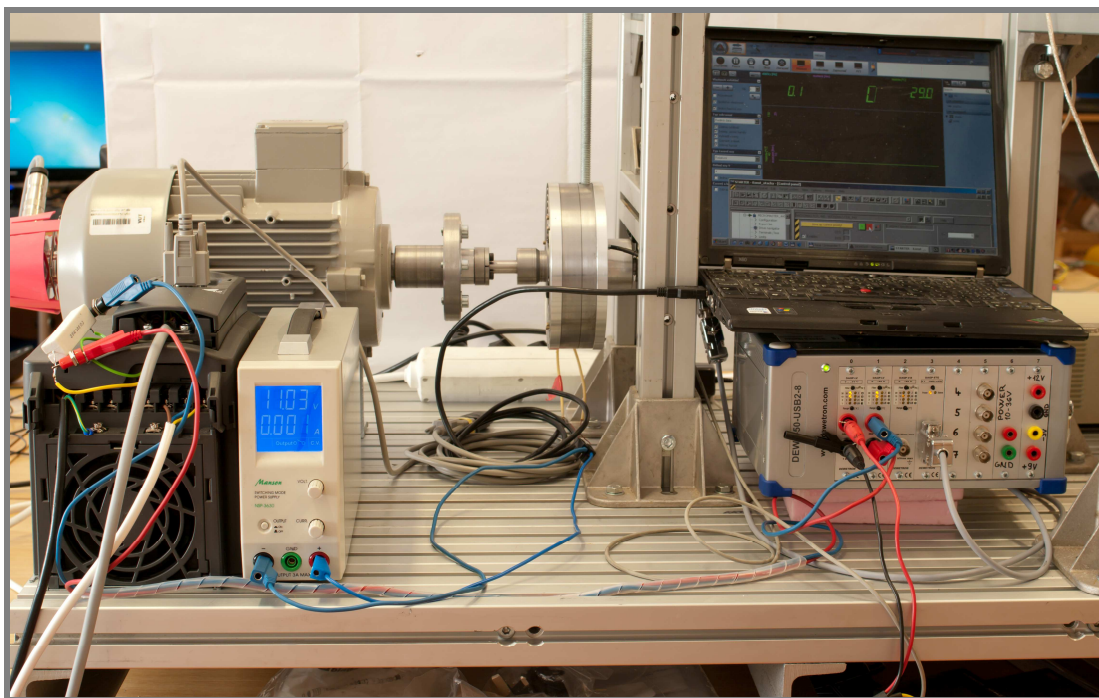
Pri riadení sme sa stretli ešte s niekoľkými problémami s jednotlivými connection kitmi a súčasťami potrebnými na riadenie. Ako prvý nastal problém s prepojením frekvenčného meniča a počítača, pričom sme mali AOP to PC connection kit, pomocou ktorého podľa predajcu malo byť možné online riadenie frekvenčného meniča s použitím počítača. Pri pokuse o pripojenia frekvenčného meniča k počítaču pomocou tohto kitu sme zistili, že prepojenie nemožno realizovať a že tento connection kit pravdepodobne slúži len na prepojenie AOP s počítačom, čo nám potvrdil aj výrobca, ktorý nam na online riadenie odporučil iný connection kit, ktorý bolo nutné zakúpiť. Tiež sme sa takto dozvedeli, že do AOP je možné uložiť parametre z frekvenčného meniča a pomocou AOP to PC connection kitu ich cez STARTER softvér meniť. Pri realizácii tohto postupu však došlo k poruche AOP, ktoré bolo odoslané na reklamáciu. Medzi tým prišiel druhý kit na online riadenie, ten však tiež nefungoval správne a bol v rámci reklamácie vymenený za iný, funkčný. Pomocou toho sa už podarilo realizovať online riadenie. Po tom, čo prišlo nové AOP z reklamácie sme sa už k postupu úpravy uložených parametrov v AOP nevrátili, keďže sme už mali k dispozícii jednoduchší online spôsob ovládania.

Problematika riadenia asynchrónnych motorov pomocou frekvenčného meniča je veľmi obširná, čo potvrdzujú aj zoznamy parametrov frekvenčného meniča, konkrétne Extended list a Expert list. Tieto zoznamy obsahujú veľké množstvo parametrov, ktorých pochopenie a odskúšanie ich presnej funkcie by si vyžadovalo výrazne väčšie množstvo času. Orientáciu v týchto zoznamoch značne uľahčil zoznam parametrov od výrobcu frekvenčného meniča, ktorý obsahoval aj podrobnejší popis a bolo možné v ňom vyhľadať potrebné nastavenia a parametre. Tiež sa pre zlepšenie orientácie vo veľkom množstve parametrov podarilo vytvoriť v STARTER softvéri vlastný zoznam parametrov, ktorý obsahuje len parametre potrebné pre základne nastavenia, ovládanie motoru.

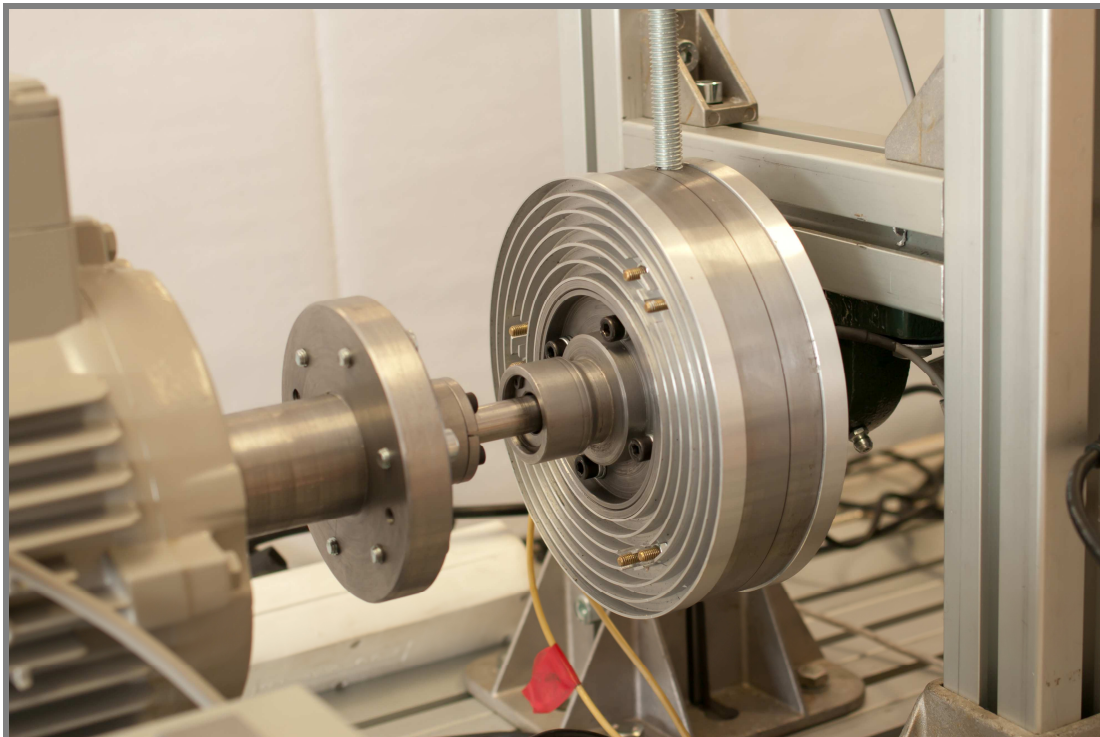
Pri zostavovaní testovacej stanice sa zatiaľ nepodarilo realizovať zapojenie celého meracieho reťazca, pripojenie temperačnej jednotky a zaistenie pretlaku pri testovaní z dôvodu zdržania výroby testovacieho zariadenia v dielňach Ústavu konštruovania. Na testovacej stanici sa ale aj napriek tomu začína realizovať testovanie magnetického tesnenia a testovanie magnetoreologickej spojky. Fotky z priebehu testovania sa nachádzajú na obrázkoch 61 až 63.



Obr. 61 Príprava na testovanie magnetického tesnenia



Obr. 62 Testovanie magnetoreologickej spojky



Obr. 63 Magnetoreologická spojka osadená v testovacom stanici

6 ZÁVER

V tejto práci sa úspešne podarilo realizovať väčšinu stanovených cieľov. Podarilo sa navrhnuť a skonštruovať potrebnú upínaciu dosku standu, oboznámiť sa z jednotlivými časťami standu, zapojeniami jednotlivých prvkov a spôsobmi riadenia. Tiež sme sa snažili parametre meniča uložiť do AOP a cez príslušný PC connection kit ich zmeniť a následne s AOP stiahnuť nové hodnoty parametrov do frekvenčného meniča. Tento postup sa nepodarilo realizovať, keďže po vymazaní jazykového nastavenia a nahraní parametrov do uvoľnenej pamäte AOP prestal správne pracovať a nebolo možné v postupe pokračovať. Podarilo sa ale realizovať online riadenie pomocou výrobcom odporúčaného kitu a tak nebolo nutné sa po návrate AOP z reklamácie venovať vyššie zmienenému postupu.

Zložitejšie priebehy otáčok sa podarilo realizovať len manuálnym prepísaním požadovanej frekvencie, tým pádom nebolo možné presne dodržať časové intervaly konštantných otáčok, ktoré pravdepodobne nebude možné nastaviť ani pomocou AOP, ani pomocou STARTER softvéru. Za účelom realizácie presných zložitejších priebehov otáčok by sa musel naprogramovať skript v Matlabe alebo v C++ na riadenie frekvenčného meniča cez RS485 vstup na svorkovnici.

Výstupom práce je hotový a funkčný testovací stand s návodom na riadenie motoru standu, ktorý umožní testovať magnetické tesnenie, za účelom získania nových znalostí a poznatkov o správaní MR kvapalín. Tieto nové poznatky pomôžu zistiť vlastnosti magnetického tesnenia, jeho možnosti a prípadné širšie použitie v priemysle, v doprave, zdravotníctve a iných oblastiach.

7 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

7

- [1] KUBIK, M. *Návrh testovacího standu pro stanovení provozních parametrů magnetického hřídelového těsnění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 94s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jakub Roupec Ph.D.
- [2] HAMMER, Miloš, Bohumil KUDLÁČ a Bedřich BALABÁN. 1999. *Elektrotechnika: Laboratorní cvičení pro bakalářské studium*. Brno, 104 s. [cit. 2015-05-15].
- [3] ELEKTRONICKÉ SPOUŠTĚČE MOTORŮ A POHONY. 2009. *Moeller* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.eatonelektrotechnika.cz/priruckazapojeni/drives002.html>
- [4] Inverter drive. *Siemens Micromaster 440 2.2kW 400V AC Inverter Drive Speed Controller, Unfiltered* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <https://www.inverterdrive.com/group/AC-Inverter-Drives-400V/Siemens-Micromaster-440-2200W-400V/>
- [5] SIEMENS PLC AUTOMATION AND DRIVES. *AOP Operating Instructions* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné také z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/563/24532563/att_56885/v1/aop_24532563_0705_en.pdf
- [6] Park electrical services. *SIEMENS Micromaster* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.parkelect.co.uk/siemens-micromaster>
- [7] SIEMENS. 2006. *Micromaster 440 operating instructions* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné také z: http://www.siemens.no/ccmi/bu/ad/pdf/f/MM440_Kompakt_manual.pdf
- [8] Inverter drive. *Siemens Micromaster RS-232 PC to Drive Connection Kit* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <https://www.inverterdrive.com/group/Accessories/Siemens-Micromaster-RS232-PC-Drive-Connection-Kit/>
- [9] ŠVARC, Ivan. 2002. *Základy automatizace* [online]. Brno [cit. 2015-05-16]. Dostupné také z: <http://autnt.fme.vutbr.cz/svarc/ZakladyAutomatizace.pdf>
- [10] SIEMENS. 2006. *Rotary pulse encoder: Mounting instructions*. Dostupné také z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/532/5853532/att_71346/v1/5173077730.pdf
- [11] Inverter drive. *Siemens Micromaster 440 Encoder Feedback Module* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <https://www.inverterdrive.com/group/Encoder-Feedback/Siemens-Micromaster-440-Encoder-Module/>

- [12] Vávra, J. Zpusoby merení otáček a krouticího momentu v automatizovaných systémech, Brno: FEKT VUT v Brně, 2009. 68 s.
- [13] SIEMENS. *Micromaster Encoder Module: Operating Instructions* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné také z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/339/19142339/att_52885/v1/MM4_EncMod_19142339_04_04_76.pdf
- [14] HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GMBH. 2001. *DF2S-5 / DF2S-3: Data sheet* . [cit. 2015-05-16].
- [15] HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GMBH. 2001. *S2M: Data sheet* . [cit. 2015-05-16].
- [16] DEWETRON. 2012. *Dewe - Modules: Technical reference manual* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné také z: http://www.dewamerica.com/resources/Manuals/modules_manual.pdf
- [17] Hydraflex: hydraulika, pneumatika. *Mechanické tlakomery* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.hydrflex.sk/41/manometre/>
- [18] Meratex: meracia technika. *Digitálne manometre* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.merlatex.sk/meracie-pristroje/digitalne-manometre/mikromanometre>
- [19] Celzius.sk. *TEPLOMERY / INFRA BEZKONTAKTNÉ* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.celzius.sk/infra-bezkontaktne?popis>
- [20] ŠTÁVA, Radek. Název: Bezdotykové měření povrchových teplot při obrábění. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 65 s., příloh. Ing. Aleš Polzer, Ph.D.
- [21] PPA Controll. *Bimetalové teploměry* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.ppa.sk/?p=158>
- [22] Vika. *Teplomery liehové* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.vika.sk/sk/produkty/catalog/id/5041/>
- [23] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřící obvody*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 239 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-7300-145-4.
- [24] BAUMER. *Inductive distance measuring sensors: IWRM 30Z8704/S14C* [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné také z: http://pfinder.baumer.com/pfinder_sensor/downloads/Produkte/PDF/Datenblatt/Induktive_Sensoren/IWRM_30Z8704_S14C_web_EN.pdf

- [25] Sensors-Drive-Automation. *Indukčné snímače* [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.s-d-a.sk/index.php/vyrobcovia/proxitron/indukcne-snimace>
- [26] Rexroth: Bosch group. *O společnosti Bosch Rexroth* [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.boschrexroth.com/cs/cz/spolecnost/o-spolecnosti-bosch-rexroth/fakta-a-cisla/facts-and-figures-1>
- [27] REXROTH: BOSCH GROUP. *Basic Mechanic Elements* [online]. 2013 [cit. 2015-05-19]. Dostupné také z: https://brmv2.kittelberger.net/borexmvz2-internet/?publication=NET&ccat_id=40530&publication=NET&language=en-GB&remindCcat=on
- [28] Item24. *The item story* [online]. 2013 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://timeline.item24.com/index.php/en>
- [29] ITEM. *MB Building Kit System* [online]. 2012 [cit. 2015-05-19]. Dostupné také z: http://www.testwebben.se/6668/Filer/PDF-Dokument/MB_Building_Kit_System.pdf
- [30] Alutec KaK, a.s. *Hliníkový konstrukční systém* [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.aluteckk.cz/>
- [31] GM electronic. *Rezistory pevné: RD 100R 20W 5%* [online]. [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/rd-100r-20w-5-p114-565>
- [32] RS. *Podpěrný profil 2000mm Hliník 45 x 45mm* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://cz.rs-online.com/web/p/products/3900032>

8 8 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, SYMBOLOV A VELIČÍN

MR kvapalina		Magnetoreologická kvapalina
AOP		Advanced operator panel
BOP		Basic operator panel
α	K^{-1}	Teplotný súčiniteľ odporu
R_t	Ω	Odpor kovového odporového snímača teploty
R_0	Ω	Odpor kovového odporového snímača pri teplote 0°C
R_t	Ω	Odpor kovového odporového snímača teploty
R_0	Ω	Odpor kovového odporového snímača pri teplote 0°C
P	W	Výkon na rezistore
R	Ω	Odpor rezistoru
U	V	Napätie na rezistore
r	mm	Rameno sily
F_{max}	N	Maximum silového rozsahu silomeru

9 ZOZNAM OBRÁZKOV A GRAFOV

9

Obr. 1 Stanica na testovanie magnetického tesnenia	14
Obr. 2 Schéma zapojenia motoru do hviezd a do trojuholníka [3]	15
Obr. 3 Schéma usporiadania vodivých členov vo svorkovnici motoru pre zapojenie hviezda a trojuholník [3]	16
Obr. 4 Štítok asynchrónneho trojfázového motoru SIEMENS 1LA7	16
Obr. 5 Frekvenčný menič SIEMENS Micromaster 440 [4]	17
Obr. 6 Prívodná svorkovnica frekvenčného meniča [4]	17
Obr. 7 Svorkovnica výstupu frekvenčného meniča [4]	18
Obr. 8 Basic Operator Panel (BOP) [6]	18
Obr. 9 Advanced Operator Panel (AOP) [5]	19
Obr. 10 AOP to PC connection kit	19
Obr. 11 Svorkovnica frekvenčného meniča s popisom [7]	20
Obr. 12 Inverter to PC connection kit [8]	21
Obr. 13 Postup výberu frequency setpointu [7]	21
Obr. 14 Rotačný pulzný enkodér 1XP8001-1 [10]	22
Obr. 15 SIEMENS Micromaster enkodér modul [11]	22
Obr. 16 Popis zapojenia konektoru enkodéru [13]	23
Obr. 17 Zapojenie svorkovnice enkodér modulu [13]	24
Obr. 18 Výstupný signál enkodéru [10]	24
Obr. 19 Zapojenie analógového výstupu meniča s označeným prúdovým rozsahom a odporom [7]	24
Obr. 20 Tenzometrický snímač krútiaceho momentu od výrobcu HBM	25
Obr. 21 Štvorvodičové zapojenie silomeru [16]	26
Obr. 22 Šesťvodičové zapojenie silomeru [16]	26
Obr. 23 Mechanické tlakomery v rôznych prevedeniach stupnice a veľkosti [17]	27
Obr.24 Digitálny manometer [18]	27

Obr. 25 Bimetalový teplomer [21]	28
Obr. 26 Liehový teplomer [22]	28
Obr. 27 Bezkontaktný infračervené teplomery [19]	28
Obr. 28 Teplotná závislosť materiálov odporových teplotných snímačov[23]	29
Obr. 29 Dvojvodičové zapojenie s Wheatstonovým mostíkom [23]	30
Obr. 30 Zapojenie kovových odporových snímačov teploty [23]	30
Obr. 31 Základné rozmery indukčného snímača IWRM 30Z8704/S14C [24]	31
Obr. 32 Popis vodičov indukčného snímača IWRM 30Z8704/S14C [24]	31
Obr. 33 Niektoré profily z ponuky výrobcu Bosch Rexroth[27]	32
Obr. 34 Viacnásobné Bosch Rexroth profily [27]	32
Obr. 35 Príslušenstvo k Bosch Rexroth profilom [27]	33
Obr. 36 MTpro-planing software [27]	33
Obr. 37 Niektoré z ponúkaných Item profilov [29]	34
Obr. 38 Item profily s rôznym počtom drážok a niektorými parametrami [29]	35
Obr. 39 Viacnásobné Item profily [29]	36
Obr. 40 X-line profil vhodný na vyskladanie hladkých stolov [29]	37
Obr. 41 Extra ľahký E profil [29]	37
Obr. 42 Alutec profily s rôznym počtom drážok [30]	38
Obr. 43 Viacnásobné Alutec profily [30]	39
Obr. 44 Niektoré ponúkané príslušenstvo k Alautec profilom [30]	40
Obr. 45 Časový priebeh otáčok pri testovaní	42
Obr. 46 Bližší pohľad na upínací stôl s doskou s predvŕtanými otvormi	43
Obr. 47 Upravená doska s otvormi v podobe drážok	44
Obr. 48 Upínací stôl s doskou s T drážkami	44
Obr. 49 Detailnejší pohľad na T drážku upínacej dosky	45
Obr. 50 Upínacia doska vyskladaná s Bosch Rexroth profilov	45
Obr. 51 Výsledný návrh stanice na testovanie magnetického tesnenia.	47

Obr. 52 Pôdorys testovací stanice s popisom	47
Obr. 53 Základný stôl standu	48
Obr. 54 Valcová hriadeľová spojka	48
Obr. 55 Prírubová hriadeľová spojka	49
Obr. 56 Ložiskový stojan prevažne zostavený Bosch Rexroth profilov	49
Obr. 57 Silomer uchytený na ložiskový stojan	50
Obr. 58 Výkonový rezistor s odporom 100 Ω [31]	51
Obr. 59 Umiestnenie indukčného senzoru v testovací stanici	53
Obr. 60 Navrhnutý konektorový panel	54
Obr. 61 Príprava na testovanie magnetického tesnenia	58
Obr. 62 Testovanie magnetoreologickej spojky	58
Obr. 63 Magnetoreologická spojka osadená v testovací stanici	59

10 ZOZNAM TABULIEK

Tab.1 Potrebné maximum rozsahu silomeru pre rôzne ramená sily 52

Tab.2 Základné parametre pre nastavenie a ovládanie motoru a frekvenčného meniča. 55

11 ZOZNAM PRÍLOH

11

PRÍLOHA I. – Návod na ovládanie motoru testovacej stanice

NASTAVENIE PARAMETROV MOTORA

Pred spustením motoru a realizáciou akéhokoľvek priebehu otáčok motoru pri testovaní je vhodné nastaviť parametre motoru vo frekvenčnom meniči. V opačnom prípade hrozí, že motor nebude poskytovať požadovaný výkon alebo mu pri nesprávnom nastavení hrozí poškodenie.

Nasledujúci postup nastavenia je realizovaný pri štandardnej úrovni prístupu, teda parameter P0003=1.

1. S použitím AOP alebo STARTER softvéru otvorte parameter list
2. Vyhľadajte parameter P0010 a nastavte jeho hodnotu na 1 (Quick commissioning) . Parametre motoru označené pôvodne ako r---- by mali mať teraz označenie v tvare P---- a malo by byť možné meniť ich hodnoty.
3. Uistite sa, že parameter P0100 je nastavený na hodnotu 0 Europe (kW/50Hz)
4. Nastavte parameter P0311 (Otáčky motoru) podľa štítku na pripojenom motore
5. Nastavte parameter P0310 (Frekvencia motoru) podľa štítku na pripojenom motore
6. Nastavte parameter P0308 (Účinník) podľa štítku na pripojenom motore
7. Nastavte parameter P0307 (Výkon motoru) podľa štítku na pripojenom motore
8. Nastavte parameter P0305 (Prúd motoru) podľa štítku na pripojenom motore
9. Nastavte parameter P0304 (Napätie motoru) podľa štítku na pripojenom motore
10. Nastavte parameter P0010 na hodnotu 0 (Ready)
11. Nastavenie je týmto kompletne a môžeme pristúpiť k ovládaniu motoru

REALIZÁCIA JEDNODUCHÉHO PRIEBEHU OTÁČOK

Na realizáciu jednoduchého priebehu otáčok realizujte nasledujúci postup nastavenia.

1. S použitím AOP alebo STARTER softvéru otvorte parameter list
2. Nastavte parameter P0700 (Príkazový zdroj) na požadovanú hodnotu podľa tabuľky.

P0700	Príkazový zdroj
Hodnota	Popis
0	Pôvodné továrenské nastavenie
1	Klávesnica BOP
2	Terminál
4	USS on BOP link
5	USS on COM link
6	CB on COM link

3. Nastavte parameter P1000 (Frekvenčný setpoint) na požadovanú hodnotu podľa tabuľky.

P1000	Frekvenčný setpoint
Hodnota	Popis
1	Žiaden hlavný setpoint
2	MOP setpoint
3	Analógový setpoint
4	USS on BOP link
5	USS on COM link
6	CB on COM link
7	Analógový setpoint 2

4. Nastavte parametre P1080 (Minimálna frekvencia) a P1082 (Maximálna frekvencia) na požadované hodnoty
5. Nastavte parametre P1120 (Čas rozbehu) P1121 (Čas dobehu) na požadované hodnoty.

Pozor! Požadovaný čas rozbehu je nutné prepočítať. Zadaný čas sa vzťahuje k rozbehu na maximálnu frekvenciu. Na prepočet slúži nasledujúci vzťah.

$$tn = tp \frac{f_{max}}{f_{set}}$$

Kde t_p je požadovaný čas rozbehu na frekvenciu f_{set} , f_{max} je nastavená maximálna frekvencia (P1082) a t_n je čas nastavený, ktorý sa zadáva do parametrov P1120 a P1121.

6. Týmto je nastavenie ukončené a cez klávesnicu AOP alebo Control panel je možné motor spustiť so zadanými dobehmi a rozbehmi na zadanú frekvenciu setpointu.

V prípade voľby MOP setpointu, je možné meniť jeho frekvenciu cez parameter P1040 (Setpoint of the MOP) do ktorého sa zadáva frekvencia v Hz (prístupný len vo vyšších úrovniach prístupu P0003=2 alebo 3).

NASTAVENIE SPÄTNOVÄZBOVÉHO RIADENIA

Na realizáciu spätnoväzbového riadenia a odmeriavania otáčok musí byť na motore umiestnený enkodér a na frekvenčnom meniči enkodér modul, ktorý je s enkodérom správne zapojený.

Na nastavenie enkodéru a príslušných parametrov slúži nasledujúci postup.

Pozor! Tento postup už vyžaduje parametre, ktoré sú prístupné len s vyššou úrovňou prístupu, P0003 nastavený na hodnoty 2 (Extended) a 3 (Expert).

1. Vyhľadajte a nastavte parameter P0400 (Typ enkodéru) na požadovanú hodnotu podľa tabuľky

P0400	Typ enkodéru
Hodnota	Popis
0	Žiaden enkodér
1	Enkodér s jedným výstupom (A)
2	Enkodér s dvoma výstupmi (A+B)

Pozor! Pri použití enkodéru s jedným výstupom, s nastaveným spätnoväzbovým riadením je možné s motorom pracovať len v jednom smere otáčania. V prípade zadania zápornej frekvencie a teda pokusu o otáčanie v opačnom smere môže dôjsť k nepredvídateľnému správaniu motora a môže hroziť aj jeho poškodenie.

2. Nastavte parameter P0408 (Počet pulzov enkodéru na otáčku) podľa dokumentácie k namontovanému enkodéru (Enkodér 1XP8001-1 1024 pulzov)
3. Nastavením parametrov P0491, P0492 a P0494 je možné nastaviť detekciu straty signálu enkodéru a následnú reakciu (prechod na iný typ riadenia)
4. Nastavením parametru P1300 (Mód riadenia) je možné nastaviť spätnoväzbové riadenie. Pre hodnotu 21 ide o spätnoväzbové riadenie rýchlosti (otáčok), pre hodnotu 23 ide o spätnoväzbové riadenie momentu.
5. Týmto je spätnoväzbové riadenie nastavené. Otáčky odmerané enkodérom môžeme sledovať ako hodnotu parametru r0061 v Hz.

VYVEDENIE OTÁČOK NA VÝSTUP FREKVENČNÉHO MENIČA

V prípade, že chceme otáčky odmeriavať a zaznamenávať ich priebeh, je nutné otáčky odmerané enkodérom vyviesť na výstup frekvenčného meniča. Na to slúži nasledujúci postup.

1. Nastavte parameter P0771 na hodnotu 61. Týmto definujete funkciu analógového výstupu, na ktorom sa bude teraz meniť výstupný prúd v závislosti na otáčkach.
2. Výstup je možné škálovať pomocou parametrov P0777, P0778, P0779 a P0790.

PARAMETER LISTY A DOKUMENTÁCIA

V STARTER softvéri je možné vytvoriť vlastný parameter list podľa aktuálnej potreby ovládania. Tento list môže výrazne zlepšiť orientáciu v parametroch a výrazne pohodlnejšie sa s ním pracuje. V softvéri sa tiež nachádza Help, v ktorom je možné vyhľadávať parametre a presnejšie sa oboznámiť s ich funkciou.

Zoznam všetkých parametrov frekvenčného meniča Micromaster 440 je možné zohnať aj online od výrobcu vo formáte pdf.

V prípade nutnosti oboznámenia sa s orientáciou v prostredí AOP je online od výrobcu dostupný aj dokument AOP operating instructions vo formáte pdf, v ktorom sa nachádzajú niektoré základné postupy a popis funkcie jednotlivých kláves AOP.