

# Řízení zkušebního zařízení pro zátěžové zkoušky rotačních tlumičů

Zdeněk Charous

---

Bakalářská práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Zdeněk Charous  
Osobní číslo: A16326  
Studijní program: B3902 Inženýrská informatika  
Studijní obor: Informační a řídicí technologie  
Forma studia: kombinovaná

Téma práce: Řízení zkušebního zařízení pro zátěžové zkoušky plastových rotačních tlumičů

Téma anglicky: The Control of Equipment for the Endurance Testing of Rotary Dumpers

Zásady pro vypracování:

1. Popište princip rotačních tlumičů, jejich využití a způsob jejich zátěžového měření ve zkušební laboratoři. Popište prvky použité pro měřicí zařízení.
2. Popište zkušební zařízení pro zátěžové zkoušky rotačních tlumičů. Analyzujte současný stav zkušebního zařízení po HW i SW stránce a navrhněte změny, které zefektivní jeho používání.
3. Na základě provedené analýzy provedte navržené změny HW, vše zdokumentujte, zpracujte elektrotechnickou dokumentaci k elektrickému rozvaděči. Jako základní prvky pro řízení využijte PLC Mitsubishi a krokový motor.
4. Vytvořte řídicí aplikaci v programu Control Web. Součástí aplikace bude zobrazení grafu, start/stop, uložení dat do souboru.
5. Provedte zkušební měření na rotačních tlumičích, prezentujte výsledky ve formě grafu. Uveďte různé možnosti vyhodnocení.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Mitsubishi Electric Europe B.V. [online]. 2000 [cit. 2010-02-01]. Dostupný z WWW: <http://www.mitsubishi-automation-cz.com/>.
2. BÍLÝ, Radek. Control Web 2000. 1. vyd. Praha : Computer Press, 1999. 382 s. ISBN 8072262580.
3. Moravské přístroje a.s. [online]. 2003 [cit. 2010-02-01]. Dostupný z WWW: <http://www.mii.cz/>.
4. ŠMEJKAL, Ladislav a Marie MARTINÁSKOVÁ. PLC a automatizace. 1. díl, Základní pojmy, úvod do programování. Praha: BEN – technická literatura, 1999. 223 s. ISBN 80-86056-58-9.
5. ŠMEJKAL, Ladislav. PLC A AUTOMATIZACE 2. 1. vyd. Praha : Ben, 2005. 208 s. ISBN 80-7300-087-3.

Vedoucí bakalářské práce:

**doc. Ing. Marek Kubalčík, Ph.D.**

Ústav řízení procesů

Konzultant:

**Mgr. Roman Dlabaja, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce:

**21. prosince 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**15. května 2019**

Ve Zlíně dne 21. prosince 2018

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
*děkan*



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce bylo zdokonalit zkušební zařízení pro zátěžové zkoušky rotačních tlumičů jak po hardwarové, tak i softwarové stránce. Práce obsahuje detailní popis principu a úprav zkušebního zařízení. Dále pojednává o řídicí aplikaci, která byla vytvořena ve vývojovém prostředí Control Web. Poslední část této práce se potom věnuje samotnému testování rotačních tlumičů, vyhodnocení získaných výsledků a doporučení v postupech zkušebního měření.

Klíčová slova: Rotační tlumič, Testování rotačních tlumičů, Control Web

## **ABSTRACT**

The aim of this bachelor thesis was to improve laboratory testing equipment for endurance testing of rotary dampers – both hardware and software. The thesis contains detailed description of the equipment principal and also the description of its planned modification. It also deals with the control application which was created in Control Web software development tool. The final part of this thesis is focused on real testing of the rotary dampers, analysis of the results and recommendation for test measurement procedures.

Key words: Rotary dampers, rotary damper testing, Control Web

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Marku Kubalčíkovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce, panu Mgr. Romanu Dlabajovi, Ph.D. za cenné rady a čas věnovaný konzultacím. Dále pak Institutu pro testování a certifikaci za možnost realizovat praktickou část této práce.

**Jméno, příjmení:** Zdeněk Charous

**Název bakalářské práce:** Řízení zkušebního zařízení pro zátěžové zkoušky rotačních tlumičů

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně, dne

Zdeněk Charous, v.r.  
podpis diplomanta

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 ROTAČNÍ TLUMIČE, JEJICH PRINCIP, TESTOVÁNÍ A VYUŽITÍ</b> .....	<b>11</b>
1.1 TESTOVÁNÍ ROTAČNÍCH TLUMIČŮ .....	15
1.2 VYUŽITÍ ROTAČNÍCH TLUMIČŮ .....	15
<b>2 PRINCIP ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>17</b>
2.1 JEDNOTLIVÉ PRVKY ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ .....	18
2.1.1 Programovatelný automat .....	18
2.1.2 Ovladač krokového motoru .....	20
2.1.3 Krokový motor .....	23
2.1.4 Tenzometrický snímač .....	25
2.1.5 Tenzometrický převodník .....	27
2.1.6 Jednotka pro sběr naměřených dat .....	29
2.1.7 Napájecí zdroj .....	32
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>33</b>
<b>3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>34</b>
3.1 ANALÝZA MECHANICKÉ ČÁSTI ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ.....	34
3.2 ANALÝZA ELEKTRICKÉ ČÁSTI ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ .....	34
3.3 ANALÝZA SOFTWARE ČÁSTI ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ .....	37
<b>4 NÁVRH ÚPRAV A JEJICH REALIZACE</b> .....	<b>38</b>
4.1 ÚPRAVY MECHANICKÉ ČÁSTI ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ .....	38
4.2 ÚPRAVY ELEKTRICKÉ ČÁSTI ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ.....	38
4.3 ÚPRAVY SOFTWARE ČÁSTI ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ .....	47
<b>5 ŘÍDICÍ APLIKACE</b> .....	<b>48</b>
5.1 ZÁKLADNÍ NÁVRH APLIKACE A POUŽITÉ SOFTWARE PROSTŘEDKY .....	48
5.2 UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ A ZÁKLADNÍ POPIS APLIKACE .....	49
5.3 PODROBNÝ POPIS APLIKACE .....	51
<b>6 ZKUŠEBNÍ MĚŘENÍ</b> .....	<b>59</b>
6.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ A POSTUPU TESTOVÁNÍ .....	59
6.2 NAMĚŘENÁ DATA .....	62
6.3 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKU TESTOVÁNÍ .....	63
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>66</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>67</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>69</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>70</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>72</b>

<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>73</b>
---------------------------	-----------



## ÚVOD

Rotační tlumiče jsou dnes neodmyslitelnou součástí především v oblasti automobilového, nábytkářského a elektro průmyslu. Tuto skutečnost potvrzuje i fakt, že existují desítky firem zabývajících se výrobou a prodejem těchto součástek. Zejména v automobilovém průmyslu jsou dnes velmi vysoké nároky na kvalitu a přesnost dodávaných dílů. Při návrhu a následné sériové výrobě totiž výrobce předpokládá přesnost parametrů dodávaných dílů a také jejich neměnnost v závislosti na daných podmínkách.

Rotační tlumiče jsou ve většině případů vyrobené z plastu. Technologie, kterou jsou vyráběny, je založena na principu tlakového vstřikování. Na dokonalou shodu jednotlivých výrobků při sériové výrobě se tedy nedá spoléhat, například z důvodu nepřesnosti nebo opotřebování vstřikovací formy.

Z výše uvedených skutečností vyplývá potřeba zkušebního měření parametrů rotačních tlumičů, a to jak na straně výrobce, tak na straně odběratele.

Tato práce vznikla ve spolupráci s fyzikální zkušebnou Institutu pro testování a certifikaci ve Zlíně, která se zabývá mimo jiné i testováním výrobků pro automotive. Úkolem bylo analyzovat stávající stav zkušebního zařízení pro testování rotačních tlumičů a navrhnout změny, které zefektivní jeho používání jak po hardwarové, tak i softwarové stránce. Hardwarové úpravy spočívaly zejména v úpravě elektroinstalace a korekci geometrie měřicího zařízení. V rámci softwarových úprav byla vytvořena řídicí aplikace v prostředí Control Web. Na upraveném zařízení bylo provedeno zkušební měření rotačních tlumičů. Výsledky tohoto měření jsme měli vyhodnotit na základě poznatků získaných při vypracování této práce a porovnat je s údaji udávanými výrobcem.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ROTAČNÍ TLUMIČE, JEJICH PRINCIP, TESTOVÁNÍ A VYUŽITÍ

Rotační tlumiče obecně slouží k řízenému zpomalení rotačních nebo lineárních pohybů. Jedná se o uzavřené bezúdržbové prvky malých rozměrů. Cílem jejich nasazení bývá snaha ochránit citlivé komponenty a zvýšit kvalitu a hodnotu výsledných produktů. [5]

Existuje několik kritérií, podle kterých můžeme rotační tlumiče rozdělovat:

- Podle směru tlumení
  - jednočinné (tlumení pouze v jednom směru rotace)
  - dvojitě (tlumení v obou směrech rotace)
- Podle způsobu upnutí (provedení pouzdra tlumiče) viz obrázek 1.



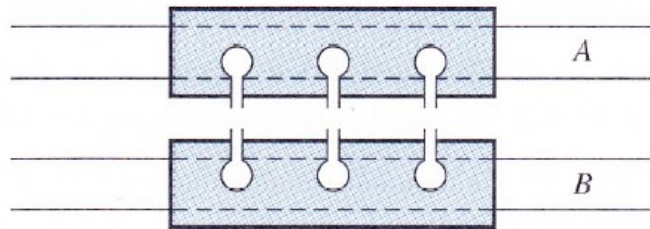
Obrázek 1 – Různá provedení rotačních tlumičů [4]

- Podle počtu zubů ozubeného kola
- Podle brzdného momentu

K vytváření tlumicí síly využívají rotační tlumiče principů hydrodynamiky. Hydrodynamika se zabývá mechanickými vlastnostmi kapalin v pohybu. Vlastnosti, která charakterizuje, jaký odpor klade kapalina, ať už vlastnímu pohybu (toku) nebo pohybu jiných částic v této kapalině, říkáme viskozita. Čím je hodnota viskozity větší, tím větší odpor vůči pohybu kapalina klade.

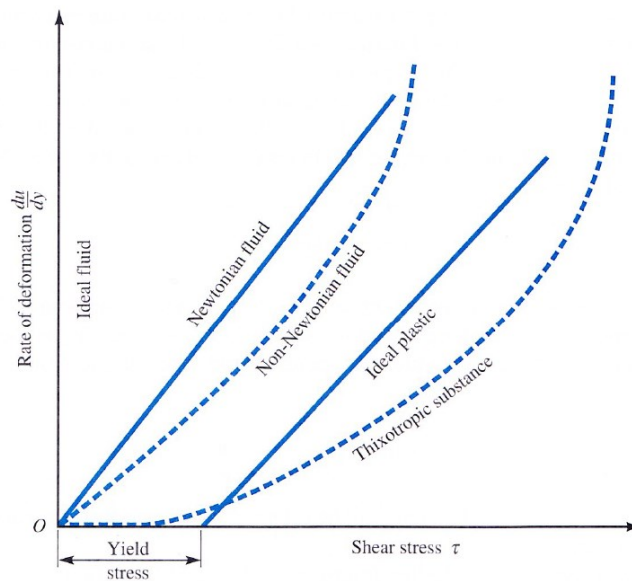
Viskozita kapalin je závislá na teplotě. Odolnost kapaliny vůči smykovému napětí závisí na její kohezi (soudržnosti) a rychlosti přenosu molekulární hybnosti. Koheze se tedy jeví jako převažující příčina viskozity kapalin, protože soudržnost klesá s rostoucí teplotou a stejně se chová i viskozita kapalin. Obecně lze pohyb kapaliny popsat modelem, ve kterém je kapalina rozdělena na pomyslné vrstvy proudnicemi, což jsou pomyslné čáry naznačující trajektorie molekul. Rychlost všech molekul náležící k jedné proudnici je stejná, avšak rychlost v jednotlivých proudnicích může být různá. V kapalinách probíhá obousměrný

přenos molekul napříč všemi vrstvami. Díky tomu dochází k molekulárnímu přenosu hybnosti mezi dvěma sousedními vrstvami viz obrázek 2.



Obrázek 2 – Model přenosu hybnosti v kapalině [2]

Dále lze zmínit, že kapalina v rotačním tlumiči je tzv Newtonská. To znamená, že má lineární závislost mezi velikostí aplikované síly (smykového napětí) a výslednou rychlostí deformace viz obrázek 3. Viskozita takové tekutiny tedy bude nezávislá na smykovém napětí.



Obrázek 3 – Závislost rychlosti deformace na smykovém napětí [2]

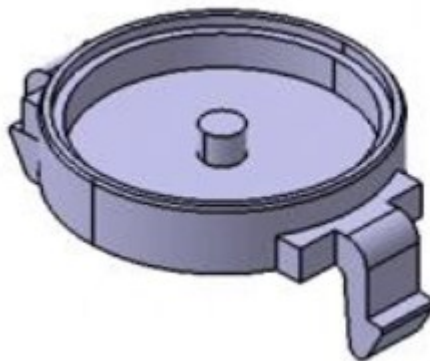
Zatížením ozubeného kola se rotor začne pohybovat ve viskózní kapalině. Kapalina tomuto pohybu klade odpor, protože vzniká jak vnitřní tření v pohybující se kapalině, tak vnější tření mezi kapalinou, rotorem a pouzdem tlumiče. Třecí síla mezi kapalinou a rotorem závisí jak na viskozitě kapaliny, tak na ploše rotoru. Podle třetího Newtonova zákona bude

třecí síla mezi kapalinou a rotorem působit proti síle, která toto tření způsobuje a projeví se tedy jako tlumicí síla působící proti směru otáčení rotoru. Ne všechna energie se přemění na tlumicí sílu, ale projeví se jako teplo, což způsobí pokles viskozity kapaliny. To bude mít za následek snížení tlumicí síly. Dále je zjevné, že čím rychleji budeme otáčet rotorem, tím větší bude i tlumicí síla.

Z toho vyplývá, že brzdný moment není konstantní, ale závisí na podmínkách, ve kterých je tlumič nasazen. Nejpodstatnějšími parametry potom jsou teplota okolí a rychlost rotace. [2]

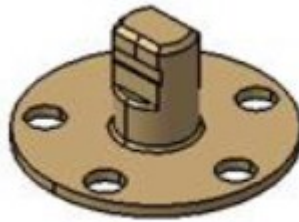
Rotační tlumič se skládá z následujících částí:

- Pouzdro – polykarbonátové tělo tlumiče včetně upínacích prvků. Materiál je velmi odolný proti nárazu a má dobrou tepelnou odolnost.



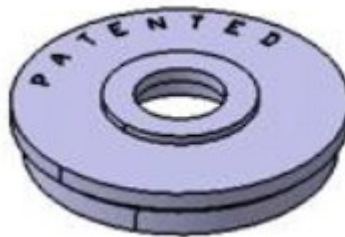
Obrázek 4 – Pouzdro rotačního tlumiče [4]

- Rotor – polyoxymetylenový kotouč s výstupní hřídelí. Materiál se vyznačuje vysokou tuhostí, mechanickou a tepelnou odolností, velmi nízkým koeficientem tření a rozměrovou stálostí.



Obrázek 5 – Rotor rotačního tlumiče [4]

- Kapalné médium – zde je použit silikonový olej. Tato hydraulická kapalina na bázi křemíku je tepelně stabilní, nehořlavá, chemicky inertní a degraduje pomaleji než hydraulické kapaliny na bázi uhlíku.
- O-kroužek – těsnicí kroužek vyrobený ze silikonu.
- Krytka – polykarbonátová těsnicí krytka.



Obrázek 6 – Krytka rotačního tlumiče [4]

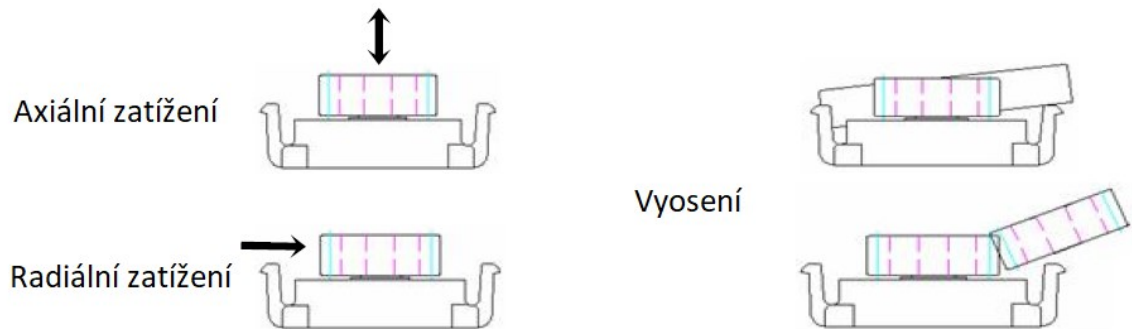
- Ozubené výstupní kolo – polyoxymetylénové ozubené kolo nasazené na výstupní hřídeli.



Obrázek 7 – Ozubené výstupní kolo [4]

Existují i další konstrukční provedení rotačních tlumičů, ta ale nejsou tématem této práce.

Při nasazení tlumiče do provozu je nutné se vyhnout nevhodné montáži. Tyto tlumiče nejsou uzpůsobeny k tomu, aby snášely axiální nebo radiální zatížení. Také evolventní ozubení by mělo být co nejvhodněji nainstalováno, aby nedocházelo ke zbytečnému opotřebení. Obrázek 8 znázorňuje nevhodné způsoby montáže tlumiče. Nevhodná montáž může výrazně zkrátit životnost tlumiče a ovlivnit jeho vlastnosti. V extrémním případě může dojít i k úniku kapaliny, a tedy zničení tlumiče. [4]



Obrázek 8 – Nevhodné způsoby montáže rotačního tlumiče [4]

## 1.1 Testování rotačních tlumičů

Jak bylo řečeno již dříve, tlumicí efekt závisí nejvíce na rychlosti rotace a okolní teplotě. Zátěžová zkouška by potom měla probíhat následovně. Rotor tlumiče je roztočen jmenovitými otáčkami při ustálené teplotě okolí a pomocí tenzometrického snímače naměříme brzdny moment tlumiče.

Opakováním tohoto procesu pro různé rychlosti a teploty je získáno několik datových sad, jejichž zpracováním vznikne graf závislosti brzdny momentu na otáčkách a okolní teplotě.

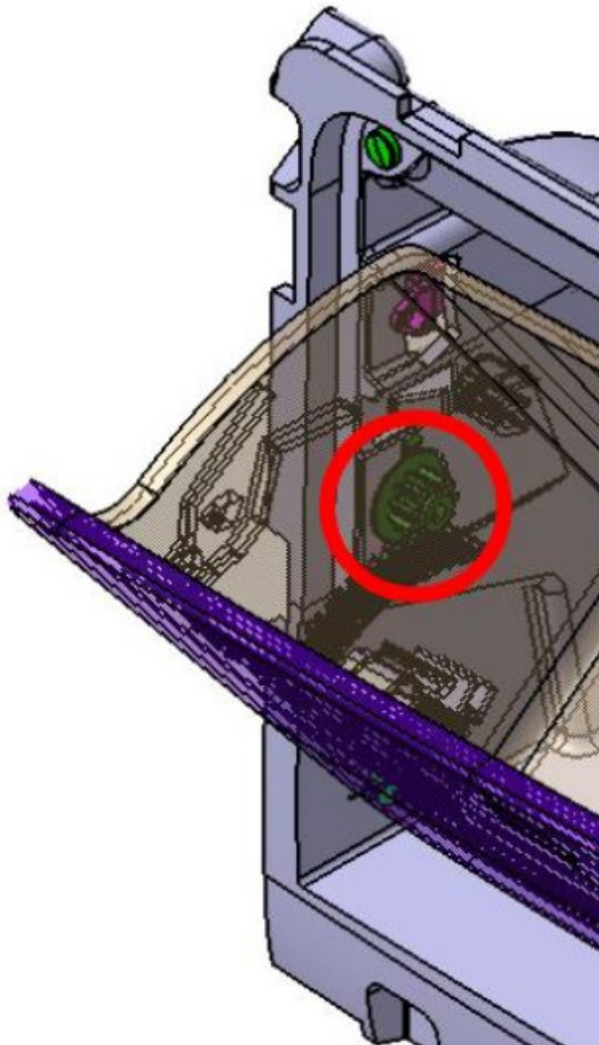
Dalším parametrem rotačních tlumičů je jejich životnost. Ta se udává jako počet cyklů, při jmenovitých otáčkách a okolní teplotě. Cyklem rozumíme rotaci o 360 stupňů a zpět. Pro tento počet cyklů má potom tlumič garantovány svoje tlumicí vlastnosti a mechanickou odolnost. [4]

## 1.2 Využití rotačních tlumičů

Oblast použití rotačních tlumičů je skutečně široká a mnohdy jsou velmi vhodně zakomponovány do produktu, takže si jejich přítomnost ani neuvědomujeme. Lze je použít pro tlumení jak rotačních, tak lineárních pohybů. Níže jsou popsány pouze některá odvětví a pro-

dukty, ve kterých našly rotační tlumiče uplatnění díky svým vlastnostem, snadné integraci a malým rozměrům.

- Automotive – dvířka, přihrádky, sluneční clony, přídržná madla, loketní opěrky, vnější kliky dveří aj.
- Elektronika – optické mechaniky, tiskárny, kopírky aj.
- Nábytek – posuvné dveře, zásuvky, kliky aj.



Obrázek 9 – Příklad použití rotačního tlumiče [4]



## 2 PRINCIP ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ

Z popisu testovací procedury rotačních tlumičů popsaných v kapitole 1.1 je zřejmé, že základními prvky zkušebního zařízení je tenzometrický snímač a akční člen, pomocí kterého je roztáčen tlumič určitou rychlostí. Vhodná volba obou těchto komponent je klíčová. Tenzometr musí být dostatečně citlivý a přesný, aby byl schopen zaznamenat i malé hodnoty krouticího momentu a jeho změny v čase.

Akční člen potom musí být dostatečně výkonný, aby byl schopen tlumič roztočit do jmenovitých otáček a tyto otáčky byl schopen regulovat a udržet na požadované hodnotě. Z těchto požadavků vyplývá, že nejvhodnější volbou bude krokový motor o dostatečném výkonu a krouticím momentu, aby nedocházelo k tzv. ztrátě kroku a přehřívání motoru.

Výše popsaná sestava však bez vhodně zvoleného řízení není schopna provádět měření. K tomuto účelu poslouží programovatelný automat, jehož flexibilita umožní rychle a komfortně měnit parametry zkušebního zařízení a zároveň mít přehled o stavu jednotlivých částí zařízení.

Výstupem měření potom bude číselná hodnota momentu v závislosti na čase. Tato data budou dále vyhodnocována a zpracovávána v počítači. Proto bude vhodné pro jejich vyčítání použít zařízení, které lze připojit k počítači rychlou a spolehlivou sběrnici. V našem případě je použit modul analogových vstupů připojitelný k počítači pomocí USB. Samozřejmě by bylo možné použít ke čtení hodnot analogové vstupy PLC, ale to v tomto případě komunikuje PLC s počítačem pomocí sériové linky RS232, jejíž spolehlivost se pro tento účel neosvědčila. Nicméně pro komunikaci mezi řídicí aplikací a PLC funguje bez problémů.

## 2.1 Jednotlivé prvky zkušebního zařízení

Níže jsou podrobněji popsány jednotlivé prvky zkušebního zařízení.

### 2.1.1 Programovatelný automat

Programovatelný logický automat je základním kamenem většiny aplikací pro řízení průmyslových a technologických procesů. K tomuto účelu je také přizpůsoben, a to jak hardwarově, tak softwarově.

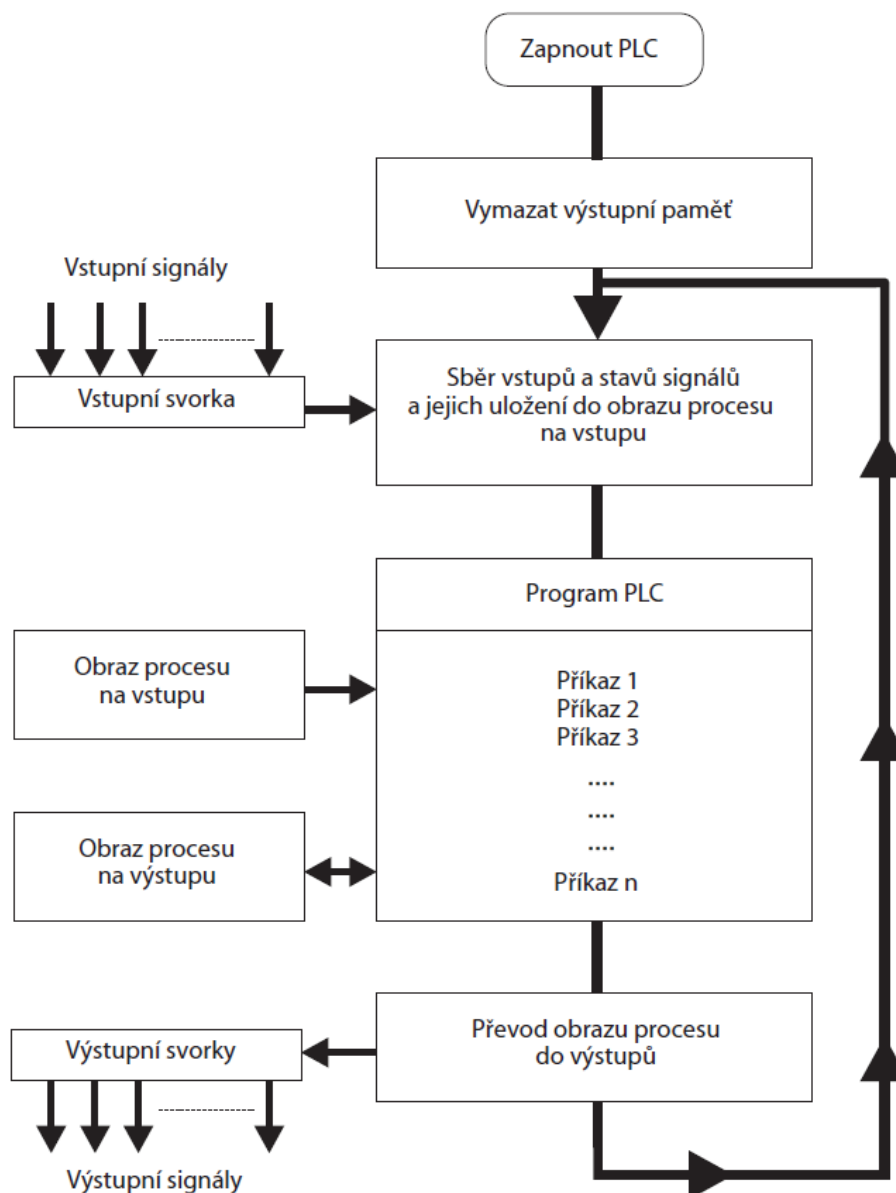
Hardwarové přizpůsobení PLC spočívá v jejich extrémní spolehlivosti, odolnosti proti vnějším vlivům jako jsou vibrace, rušení nebo drsné průmyslové prostředí (prach, vlhkost atd...).

Software PLC potom klade důraz zejména na rychlost, stabilitu a bezpečnost. PLC bývají vybaveny vnitřními bezpečnostními a diagnostickými funkcemi, které jsou schopny včas detekovat závadu, upozornit na ni a mnohdy ji dokonce automaticky opravit.

Co se týče výkonu, tak dnešní PLC jsou mnohonásobně výkonnější než jejich předchůdci. Zvládají tak i složité instrukce a výpočty daleko rychleji - u nejvýkonnějších modelů se udává doba reakce v jednotkách nanosekund. Vysoký výkon umožňuje zrychlení datových sběrnic a synchronizaci několika IO zařízení do jednoho vysoko-rychlostního řídicího systému.

Hlavní předností PLC je možnost rychlé realizace systému, a především jeho pozdějších úprav, což je u systému s pevnou logikou (např. reléové obvody) velmi náročné.

Obecně se funkce PLC od systémů s pevnou logikou neliší. Do vstupů PLC vstupují data, ta jsou zpracována programem a výsledek se přenese na výstupy. Celá tato sekvence se cyklicky opakuje. Čas potřebný pro vykonání jedné iterace se nazývá doba cyklu, popř. programová perioda. Obrázek 10 znázorňuje podrobnější popis tohoto procesu. [1]



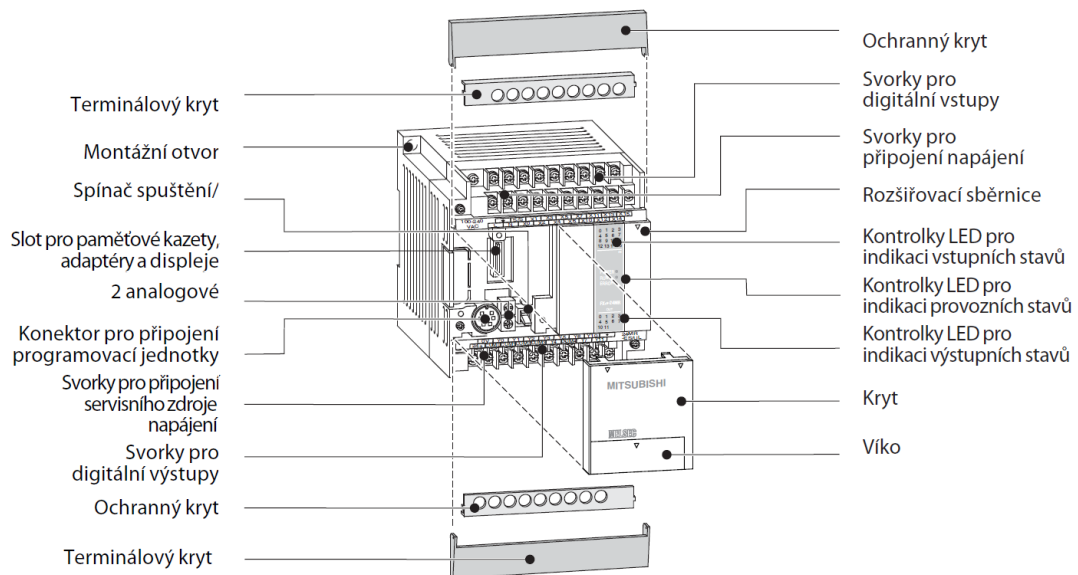
Obrázek 10 – Schématické znázornění vykonávání PLC programu [8]

Zkušební zařízení je řízeno programovatelným automatem od společnosti Mitsubishi s typovým označením FX1N 24-MT.

Jedná se o kompaktní PLC, které lze pomocí řady speciálních modulů rozšířit o další vstupy a výstupy, popř. speciální funkce jako jsou analogové vstupy, vstupy pro snímání teploty a jiné.

V základním provedení má toto PLC 14 digitálních vstupů a 10 digitálních tranzistorových výstupů. Komunikace probíhá pomocí sériové linky. V tomto případě je také vybaveno modulem FX1N-5DM, který slouží k zobrazování a úpravě PLC dat a přídatným modulem

analogových vstupů FX2N-4AD. Základní indikace stavu PLC je realizována trojicí LED kontrolky označených jako POWER, RUN a ERROR. Provozní teplota udávaná výrobcem je 0-50°C. Procesní rychlost je 0,55μs na jednu logickou instrukci. Paměť typu EEPROM uchovává data i po odpojení napájení a její kapacita umožňuje uložit program dlouhý až 8000 kroků. Dále je zde integrovaný PID a polohovací automat a samozřejmě jsou i integrované hodiny reálného času. [7]



Obrázek 11 – Programovatelný automat Mitsubishi FX1N-24MT [7]

### 2.1.2 Ovladač krokového motoru

Základem každého ovladače, popř. driveru krokového motoru je většinou tranzistorový H-můstek. Rozlišují se dva způsoby řízení krokových motorů, a to unipolární a bipolární. Při unipolárním řízení je vybudena vždy jen jedna cívka statoru. Toto řešení je méně náročné na ovládací elektroniku (postačí jeden spínač na jednu cívku), ale nikdy nedosáhne takového krouticího momentu, jako řízení bipolární. To je způsobeno tím, že při bipolárním řízení jsou spínány dvě protilehlé cívky, každá však s jinou polaritou budícího napětí. Pro toto řízení už jsou však zapotřebí dva H-můstky. Další možností, jak zvýšit krouticí moment krokového motoru, je dvoufázové řízení, při kterém jsou navíc stejnou polaritou budícího napětí vybudeny dvě sousední cívky a rotor se natočí do polohy mezi vybudené cívky. Toto má však přirozeně za následek zvýšení spotřeby. [10]

Kombinací jednofázového a dvoufázového řízení lze potom dosáhnout polovičního kroku. Tento způsob řízení se nazývá řízení s polovičním krokem, popř. „microstepping“. [9]

Použitý výkonový modul MKP1 (obrázek 12) je určen pro řízení dvoufázového krokového motoru s aktivním rotorem a umožňuje i řízení s polovičním krokem. K řízení motoru je použito bipolární můstkové zapojení. Výkonový modul je vybaven elektronickou ochranou proti zkratu a tepelnou ochranou. Dále také obsahuje interní generátor řídicí frekvence. [11]

### **Popis řídicích signálů a jejich význam:**

Tyto řídicí signály jsou vyvedeny na D-Sub konektoru viz příloha schéma zapojení.

#### **CLK – Řídicí frekvence**

Tento vstup slouží k připojení zdroje řídicích obdélníkových pulsů. Na každou nástupnou hranu signálu vykoná motor jeden krok. Minimální šíře impulsu je 3 ns. Maximální vstupní frekvence je 100 kHz.

#### **CW/C – Směr otáčení**

Tento vstup slouží k připojení logického signálu pro směr otáčení. Předstih signálu CW/C před signálem CLK musí být minimálně 1ns.

#### **EN – Odbuzení motoru**

Tento vstup slouží k připojení logického signálu pro odbuzení motoru tzn., že přivedení logické úrovně 1 způsobí, že vinutím motoru neteče žádný proud.

#### **MS – Přídavné dělení kroku**

Tento vstup slouží k připojení logického signálu pro externí ovládání velikosti kroku. Dělení kroku se nastavuje pomocí jumperů dle Tabulka 1.

*Tabulka 1 – Nastavení přídavného dělení kroku*

J2 (DM3)	J3 (DM2)	J4 (DM1)	Dělení	Kroků/ot.
OFF	OFF	OFF	16	3200
OFF	OFF	ON	8	1600
OFF	ON	OFF	4	800
OFF	ON	ON	2	400
ON	OFF	ON	1	200

## I2 – Externí snížení proudu

Tento vstup slouží k připojení logického signálu pro externí snížení proudu. Velikost proudu je snížena na cca 50% původní hodnoty.

## ERC – Havarijní blok vstup

Jedná se o kolektor havarijního optočlenu, který je řízen vnitřním signálem, který se vytváří při přehřátí výkonového modulu.

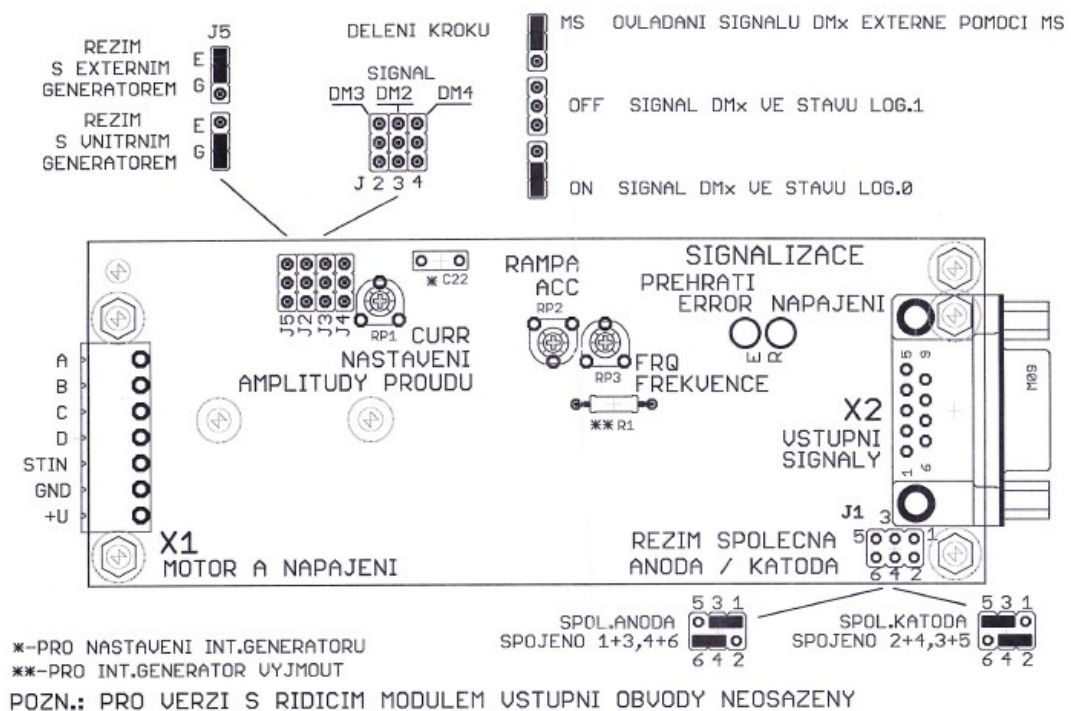
## ERE – Havarijní blok výstup

Jedná se o emitor havarijního optočlenu. Při přehřátí je havarijní optočlen rozepnut. Pokud je tedy výkonový modul v provozu bez poruchy, je na výstupu optočlenu ERE stejná logická úroveň jako na vstupu ERC.

Ovládací a signalizační prvky:

Zelená LED dioda indikuje napájení výkonového modulu.

Červená LED dioda indikuje stav přehřátí nebo „STANDBY“ režim řídicího modulu. [11]



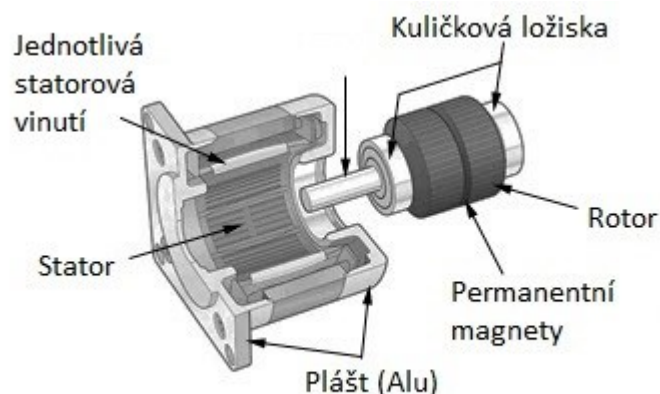
Obrázek 12 – Umístění konektorů, ovládacích a signalizačních prvků MKP1 [11]

Tabulka 2 – Technické údaje ovladače krokového motoru MKP1

Název	[-]	MKP1
Výrobce	[-]	JMF s.r.o.
Sériové číslo	[-]	XXXXX
Napájecí napětí (max)	[V]	30 DC
Odběr proudu (max)	[A/fáze]	1
Vstupní frekvence (max)	[kHz]	100
Příkon (max)	[VA]	15
Provozní teplota	[°C]	+5 až +40
Rozměry	[mm]	55x136x40
Hmotnost	[g]	180
Krytí	[-]	IP00

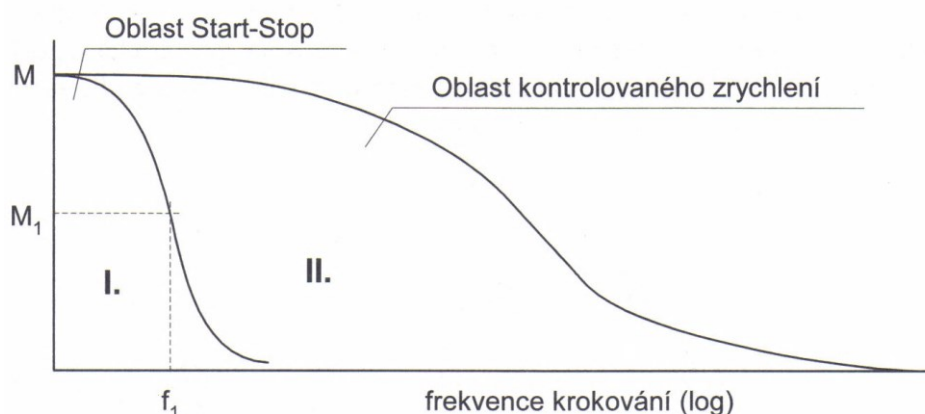
### 2.1.3 Krokový motor

Krokový motor je synchronní točivý stroj. Rotor se tedy pohybuje stejnou rychlostí jako točivé magnetické pole statoru. Toto pole je vytvářeno spínáním jednotlivých budících cívek statoru. Díky tomu je pohyb motoru nespojitý. Rotor se vždy natočí k nejbližší vybuzené cívice, popřípadě dvojici cívek, to záleží na zvoleném způsobu řízení. Pokud je tato cívka vybuzena trvale, pak rotor zaujme magnetickou klidovou polohu a je takzvaně „ve vazbě“. K tomu, aby byl motor uveden do plynulého pohybu, je tedy zapotřebí velmi rychle spínat jednotlivá vinutí statoru. K tomuto účelu se využívají speciální obvody tzv. ovladače krokových motorů, popř. drivery krokových motorů viz kapitola 2.1.2. [9]



Obrázek 13 – Konstrukční provedení krokového motoru [9]

Krokový motor umožňuje přesné řízení otáček a polohy bez použití zpětné vazby. Je velmi jednoduše říditelný ze všech digitálních systémů. Jelikož je tento typ motoru bezkartáčový (nemá komutátor, a tedy ani kartáče viz obrázek 13) dá se označit za bezúdržbový. Z jeho momentové charakteristiky (obrázek 14) je zřejmé, že disponuje vysokým točivým momentem v nízkých otáčkách. Nejvyšší tzv. přídržný moment má krokový motor při nulových otáčkách. Je tedy schopen udržet ovládanou zátěž ve stabilní poloze. Maximální otáčky těchto motorů zřídka přesáhnou 1500 rpm. [10]



Obrázek 14 – Závislost momentu motoru na frekvenci krokování [15]

Pokud je překročena hodnota maximálního momentu motoru, dojde k tzv. ztrátě kroku. Tato skutečnost je velmi podstatná zejména pokud je krokový motor používán pro přesné polohování zátěže. V takových případech je vhodné do aplikace zavést zpětnou vazbu např. enkodér, která případnou ztrátu kroku zaznamená.

Zkušební zařízení používá standardní hybridní dvoufázový krokový motor s aktivním rotorem. Jeho parametry jsou uvedeny v Tabulka 3.

Tabulka 3 – Technické údaje krokového motoru Z42LJ179

Výrobce	[-]	MEZ Náchod
Typ motoru	[-]	Z42LJ179
Počet fází	[-]	2
Úhel kroku	[°]	1,8
Jmenovitý proud	[A]	3
Točivý moment	[N·m]	0,15
Mezní rozběhová frekvence	[Hz]	1000



### 2.1.4 Tenzometrický snímač

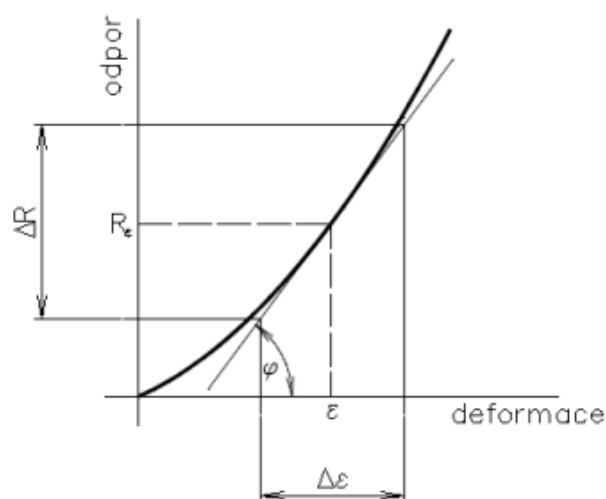
Tenzometrické snímače jsou prostředkem, umožňujícím sledovat mechanickou deformaci těles. Jelikož je tato deformace způsobena vnější silou, lze tuto působící sílu na základě míry deformace nepřímo změřit. Tenzometrické snímače tedy lze použít k měření síly, váhy, krouticího momentu, tlaku nebo vibrací.

Základní princip tenzometrických snímačů vychází z rovnice:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

kde  $R[\Omega]$  je elektrický odpor,  $\rho[\Omega \cdot m]$  je měrný elektrický odpor,  $l$  je délka vodiče,  $S[m^2]$  je průřez vodiče.

Z rovnice je zřejmé, že pokud je vodič podélně namáhán, tak výsledná hodnota poměru délky ku průřezu je větší, tzn. elektrický odpor namáhaného vodiče roste viz obrázek 15.

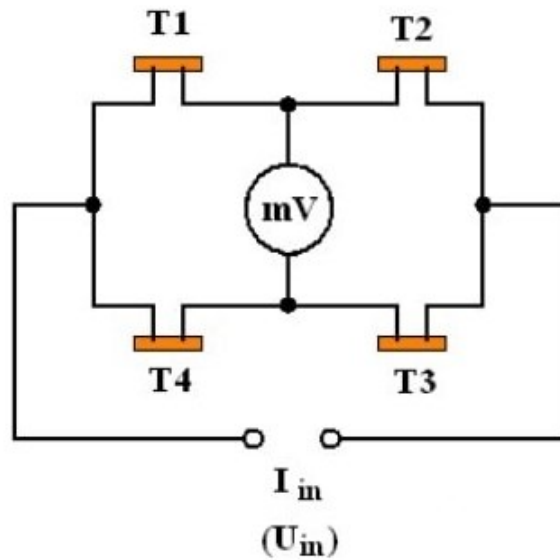


Obrázek 15 – Závislost odporu na deformaci (obecně) [12]

Dnes se v praxi setkáme nejčastěji se dvěma typy tenzometrických snímačů a jsou to kovové nebo polovodičové snímače.

Kovové tenzometrické snímače mají lineární závislost změny odporu na deformaci. Polovodičové tenzometrické snímače mají tuto závislost nelineární (kvadratickou). Oproti kovovým tenzometrickým snímačům jsou však daleko citlivější, mají větší frekvenční rozsah měření (řádově kHz) a menší rozměry. Případnou nelinearitu a teplotní závislost lze kom-

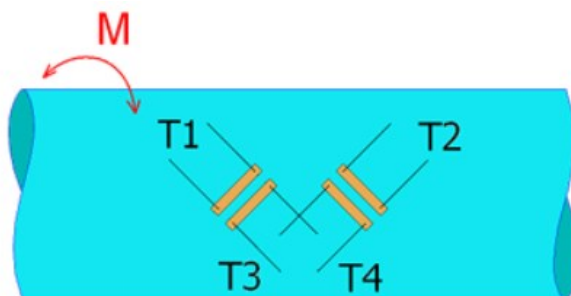
penzovat. Teplotní kompenzaci zajišťuje například zapojení tenzometrů do plného Wheatstoneova můstku (obrázek 16). Další výhodou tohoto zapojení je zvýšení citlivosti snímače až na čtyřnásobek oproti snímači s jedním tenzometrem. [12]



Obrázek 16 – Zapojení plného Wheatstoneova můstku [12]

Nelinearitu průběhu výstupního signálu potom může digitálně kompenzovat přídavná elektronika (převodník).

Použitý tenzometrický snímač od výrobce VTS Zlín má čtyři tenzometry uspořádaný tak, jak znázorňuje obrázek 17.



Obrázek 17 – Uspořádání tenzometrických pásek na snímači [12]

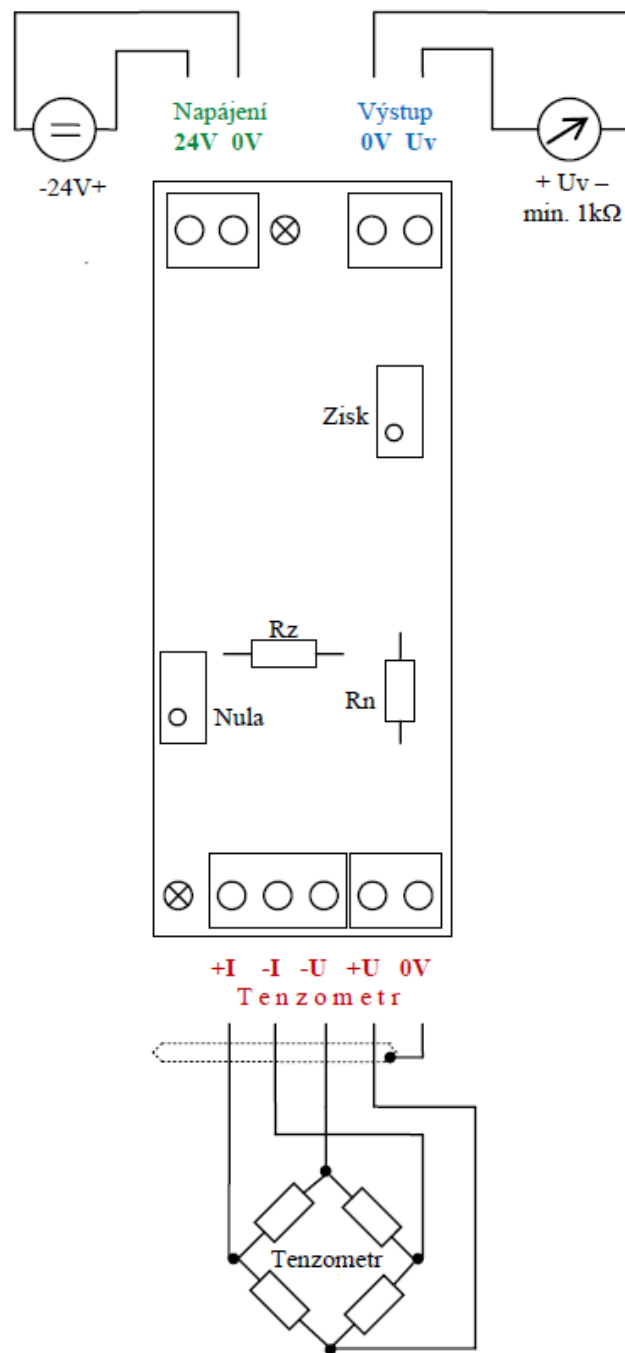
### 2.1.5 Tenzometrický převodník

Tenzometrický převodník je elektronické zařízení, které převádí signál získaný z tenzometrického snímače na unifikovaný signál vhodný pro další zpracování. Jedná se tedy o zesilovač, jehož zesílení je buď pevně dáno výrobcem, nebo je nastavitelné uživatelem. Jedná se o velice přesné zařízení velmi citlivé na rušení. Proto by mělo být provozováno dle určitých zásad ČSN EN 61000-4-4.

Zařízení je napájeno bezpečným napětím 24 V DC a nehrozí tedy nebezpečí úrazu elektrickým proudem.

Převodník od firmy Aterm je umístěn do plastového šasi určeného pro montáž na DIN lištu. Uvnitř je umístěna deska plošného spoje osazená standardními i SMD součástkami. Na desce jsou dále obvody pro napájení a měřicí elektronika, která obsahuje zdroj konstantního napětí pro napájení tenzometrického snímače. Dále se zde nachází operační zesilovač s nastavitelnou nulou (kompenzací) pomocí trimru označeného „Nula“. Pokud je tenzometrický můstek rozvážen natolik, že pomocí trimru „Nula“ nelze dosáhnout při nulovém zatížení nulové hodnoty výstupního signálu, je zde možnost změnit hodnotu odporu  $R_n$ , který je přiletován na pájecích špičkách. Zesílení vstupního signálu je dáno hodnotou rezistoru  $R_z$ . Tento rezistor je také přiletován na pájecích špičkách a lze ho v případě potřeby nahradit rezistorem s jinou hodnotou odporu. Pro nastavení přesné hodnoty zesílení pro jmenovitý signál lze použít trimr označený jako „Zisk“.

Tenzometrický snímač se připojuje prostřednictvím čtyř-žilového stíněného vodiče na svorky označené jako +I, -I pro napájení snímače (referenční hodnota) a +U, -U pro výstupní napětí snímače. Výsledný zesílený signál je odebírán na svorkách  $U_v$  a 0V. Hodnota výstupního signálu je  $\pm 10V$ . [13]



Obrázek 18 – Schéma tenzometrického převodníku [13]

Tenzometrický převodník je před použitím nutné nastavit pro konkrétní tenzometrický snímač. Postupujeme tak, že při nulovém zatížení nastavíme výstupní signál na nulovou hodnotu pomocí výše uvedených nastavovacích prvků. Poté je tenzometrický snímač zatížen závažím o jmenovité hodnotě a zesílení výstupního zesilovače nastaveno tak, aby měl

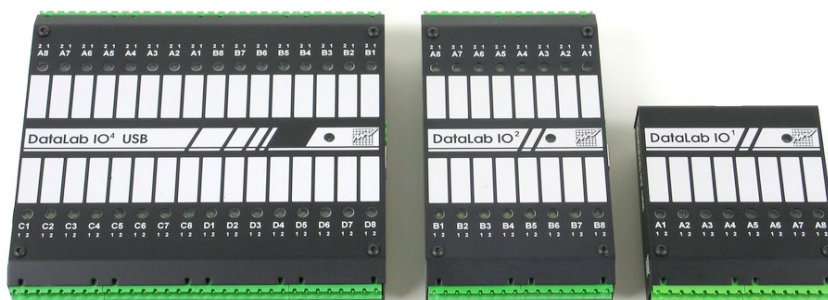
výstupní signál požadovanou hodnotu pro právě toto jmenovité zatížení. Poté se změní hodnota zátěže a celý proces ještě jednou zopakujeme. [13]

*Tabulka 4 – Technické údaje tenzometrického převodníku TZA14410*

Název	[-]	TZA16410
Výrobce	[-]	Aterm
Sériové číslo	[-]	070506
Napájecí napětí	[V]	24 DC
Odběr proudu	[mA]	100
Rozměry	[mm]	90x35x60
Krytí přístroje	[-]	IP20
Nelinearita	[%]	0,25
Provozní teplota	[°C]	-10 až +40
Elektromagnetické prostředí	[-]	Úroveň 2

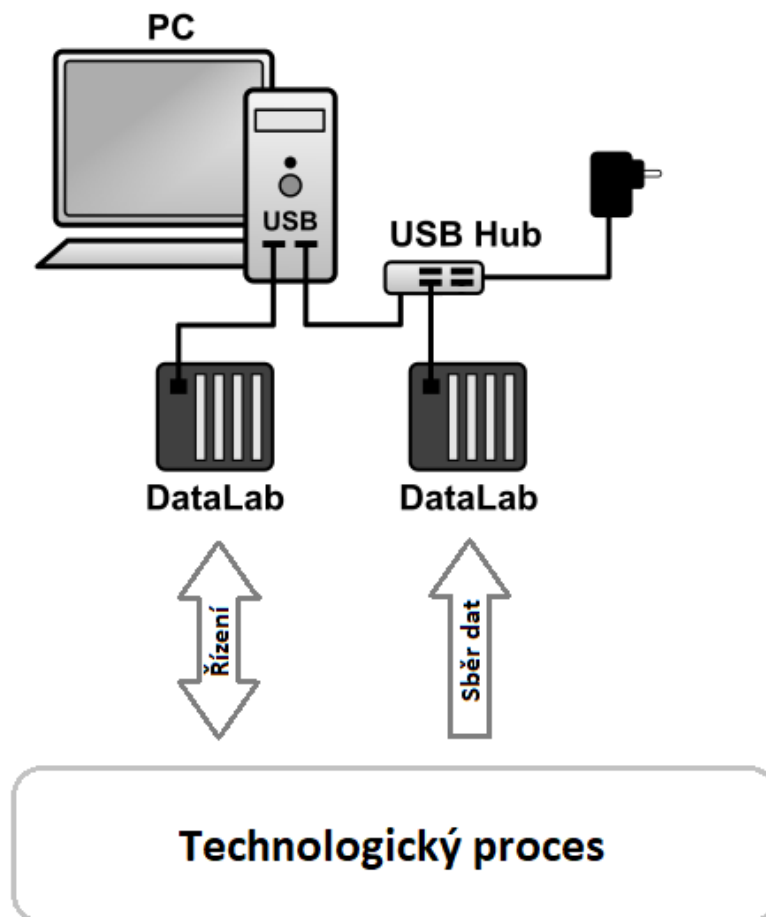
### 2.1.6 Jednotka pro sběr naměřených dat

Pro tento účel používá zkušební zařízení jednotku Datalab IO od českého výrobce Moravské přístroje a.s. Jedná se o modulární vstupně/výstupní systém, který umožňuje čtení a zápis analogových a digitálních veličin. Jednotky Datalab jsou na rozdíl od programovatelných automatů určeny pro spolupráci s nadřazeným počítačem, se kterým podle zvoleného typu jednotky komunikuje pomocí USB, ethernetu nebo RS485.



*Obrázek 19 – Jednotky Datalab IO v různých provedeních*

Ve své podstatě jsou tedy jednotky Datalab prostředkem, který umožňuje řídit a monitorovat technologické procesy pomocí obyčejného počítače se standardním operačním systémem.



Obrázek 20 – Schéma řízení technologického procesu pomocí Datalab IO [14]

Robustnost a stabilita takto sestaveného systému však není srovnatelná s programovatelnými automaty. Z tohoto důvodu jsou oblasti nasazení těchto jednotek omezené. V poslední době se však tento trend mění a může za to jak pokrok operačních systémů a softwarů, zejména pak jejich stability, tak i pokrok na poli hardwaru, díky kterému se dají PC nasadit i v náročnějších průmyslových podmínkách. S přihlédnutím k výpočetnímu výkonu dnešních počítačů a dostupným službám jako jsou komunikační a archivační funkce, databázové operace, programování ve vyšších programovacích jazycích, velmi výkonné simulační, výpočetní a vyhodnocovací programy, je potom zřejmé, že

jednotky Datalab jsou velmi sofistikovaným nástrojem v oblasti automatizace a sběru dat.  
[14] [1]

### **Hardware**

Základ jednotky Datalab tvoří procesorová deska. Díky modulárnímu řešení jsou potom k této desce na základě požadavků aplikace připojeny jeden až čtyři IO moduly. Existuje několik variant těchto modulů, mezi nimi i čítačové moduly, moduly pro řízení krokových motorů apod.

### **Software – vývojové prostředí Control Web**

Základní softwarovou výbavou dodávanou k jednotkám Datalab je program Control Web.

Control Web je komplexní softwarový nástroj pro tvorbu vizualizačních a řídicích aplikací. Díky různým rozšířením je nástrojem pro realizaci takřka libovolného řídicího algoritmu. Obsahuje také propracovaný grafický editor a velké množství připravených přístrojů pro tvorbu HMI. Pomocí softwaru Control Web tedy vznikla řídicí aplikace, která v sobě nese jak řídicí algoritmus, tak i grafické uživatelské rozhraní.

Dále je dodáván OPC server pro použití v dalších SCADA systémech.

Další možností je tvorba vlastního uživatelského programu. Pro tento účel je program Control Web vybaven rozhraním ActiveX. K jeho využití můžeme použít vývojové nástroje Microsoft Visual Studio (C++, Visual Basic, C#) nebo skriptovací jazyky (JScript, VBScript).

Každou jednotku Datalab lze osadit IO moduly podle požadavků dané aplikace. Existuje několik variant těchto modulů, mezi nimi i čítačové moduly, moduly pro řízení krokových motorů apod.

### 2.1.7 Napájecí zdroj

Všechny výše popsané komponenty potřebují ke svému fungování zdroj energie. Ve zkušebním zařízení je použit dnes nejběžnější typ napájecího zdroje, a to spínaný zdroj. Jeho hlavní výhodou oproti zdrojům lineárním je malá velikost a vysoká účinnost. Nevýhodou potom je především rušení vznikající při spínání výkonových tranzistorů a omezená životnost použitých kondenzátorů.



Obrázek 21 – Napájecí zdroj [16]



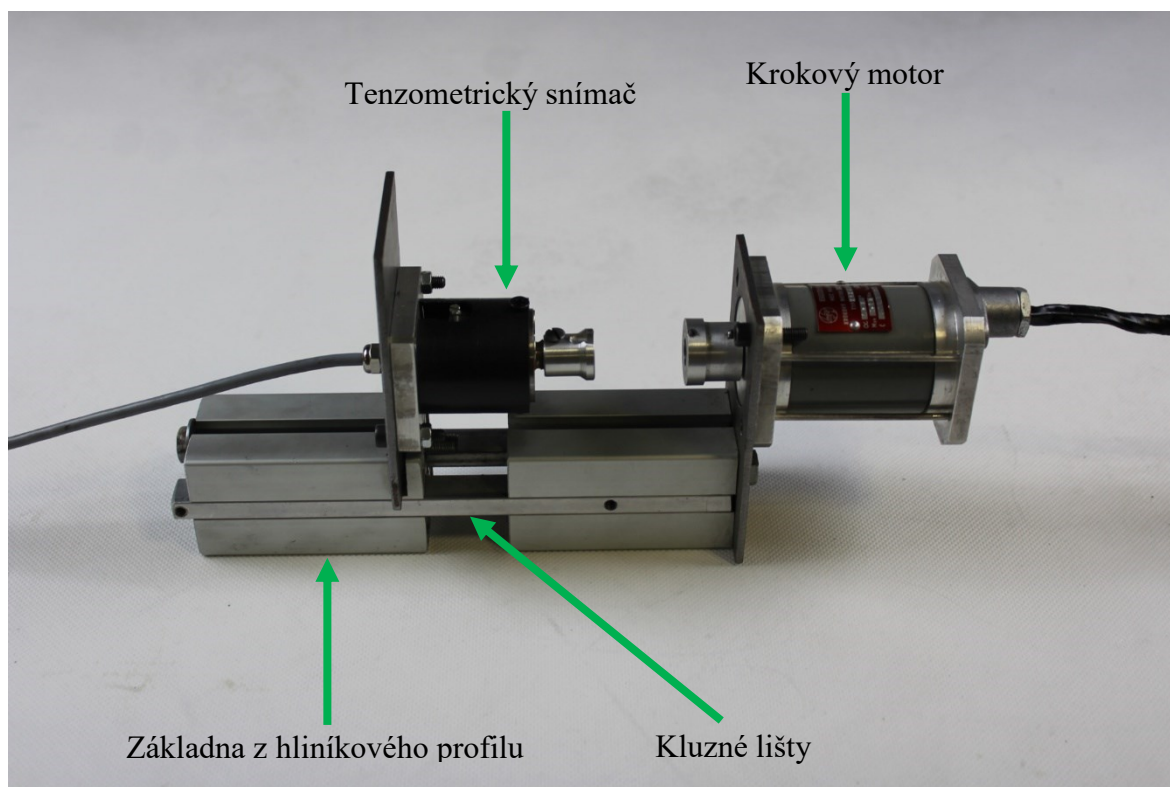
## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ

Tato kapitola se věnuje analýze stavu zkušebního zařízení, na základě jejichž výsledků poté budou navrženy potřebné úpravy a vylepšení zkušebního zařízení.

#### 3.1 Analýza mechanické části zkušebního zařízení

Mechanická část měřicího zařízení je z větší části tvořena děleným hliníkovým profilem viz obrázek 22. K jedné části je přišroubována příruba s krokovým motorem. K druhé části potom příruba s tenzometrickým snímačem. Tyto části spojují dvě hliníkové kluzné lišty, díky kterým lze k sobě motor a snímač přiblížit a vložit mezi ně testovaný vzorek. Osa krokového motoru by měla být co nejvíce shodná s osou tenzometrického snímače, aby nedocházelo k působení radiálních sil na testovaný vzorek a tím ke zkreslení výsledku měření. Vzorek by také měl být v obou částech upnut nejlépe bez vůle. Na zařízení byly nalezeny nedostatky zejména z hlediska geometrie.

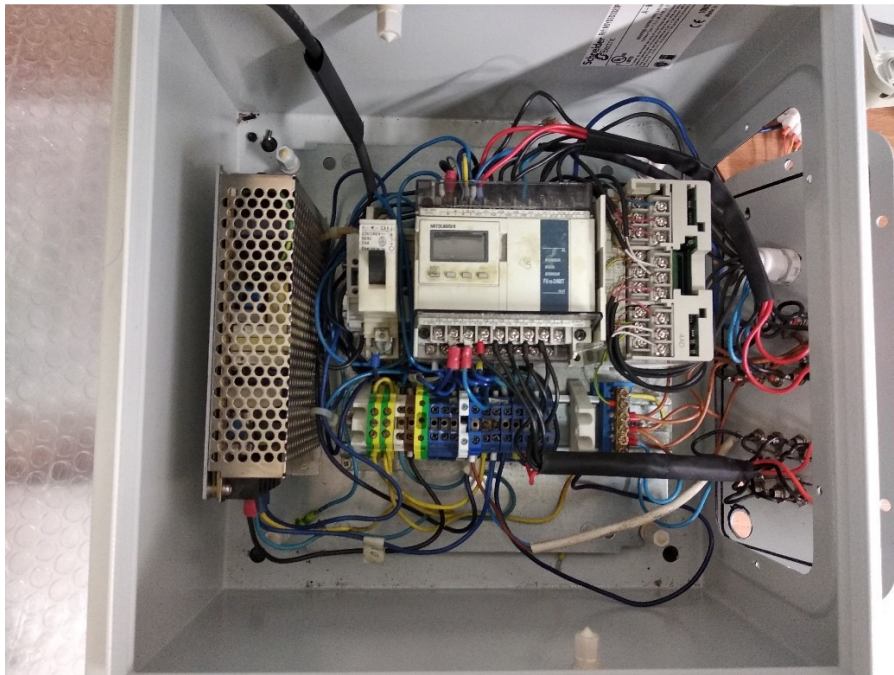


Obrázek 22 – Zkušební zařízení

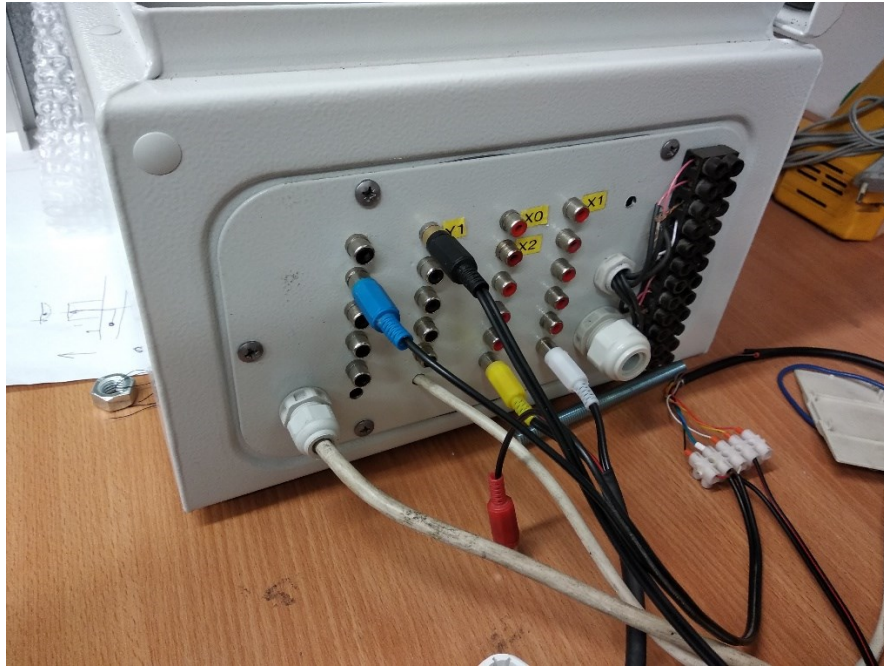
#### 3.2 Analýza elektrické části zkušebního zařízení

Jednotlivé komponenty se nacházejí celkem ve třech rozvaděčích. V prvním rozvaděči (obrázek 23) se nachází programovatelný automat a napájecí zdroj stejnosměrného napětí.

Na víku rozvaděče je hlavní vypínač, který spíná 230 V pro napájecí zdroj. Vstupy a výstupy PLC použité v aktuální konfiguraci jsou vyvedeny na čelní panel pomocí konektorů RCA. Toto řešení bylo zvoleno z důvodu potřeby často měnit konfiguraci zařízení a jeho nasazení na různé aplikace dle potřeby. Konektory RCA (obrázek 24) je nutné pájet, což je zdlouhavé, takže výsledný modulární efekt není ideální. Vnitřní zapojení je potom poměrně chaotické, jednotlivé vodiče nejsou označeny a pro neznalou osobu je orientace v zapojení velmi obtížná.

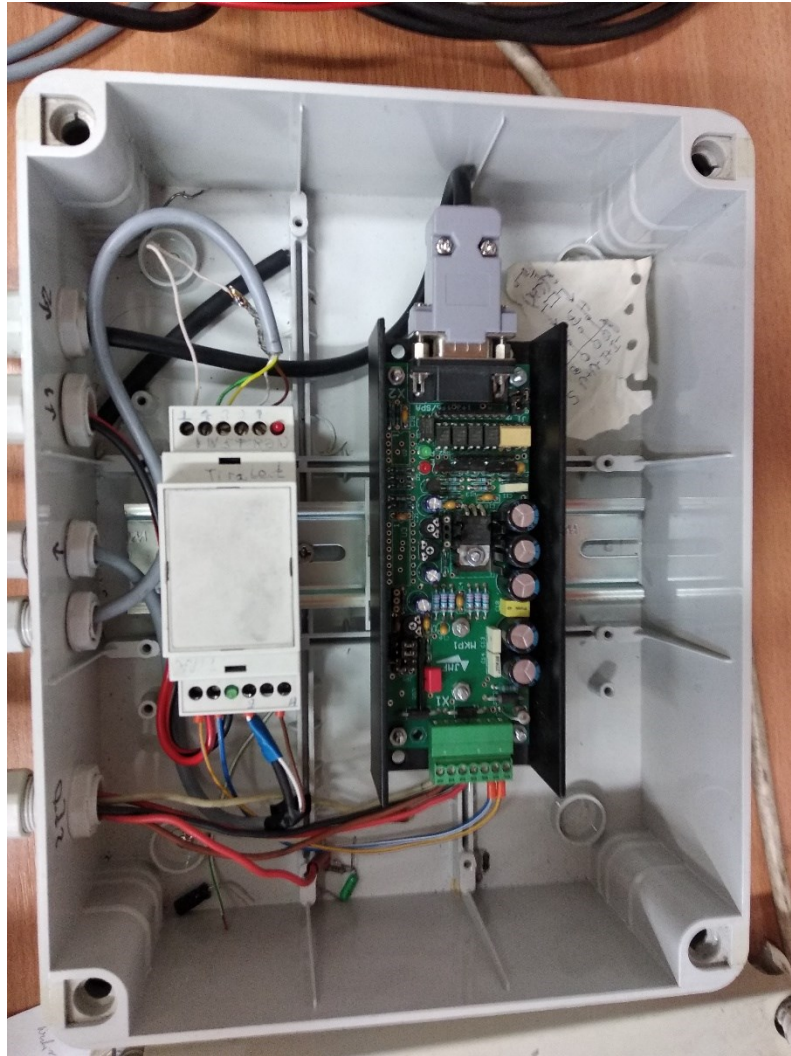


*Obrázek 23 – Vnitřní zapojení PLC rozvaděče (původní stav)*



*Obrázek 24 – Čelní panel PLC rozvaděče (původní stav)*

V druhém rozvaděči (obrázek 25) se nachází ovladač krokového motoru a tenzometrický převodník. Napájení je přivedeno stíněným kabelem a oba spotřebiče jsou zapojeny z pohledu napájení paralelně. Řízení ovladače krokového motoru je vyvedeno pomocí D-sub konektoru, nicméně na straně PLC je připojení realizováno svorkovnicí. Krokový motor je připojen pomocí terminálu jednotlivými stíněnými vodiči. Tenzometrický můstek je připojen k převodníku stíněným čtyř-žilovým kabelem. Výsledný signál je potom vyveden stíněným dvou-žilovým kabelem.



Obrázek 25 – Vnitřní zapojení rozvaděče s ovladačem krokového motoru a tenzometrickým převodníkem

Ve třetím rozvaděči se nachází pouze jednotka Datalab IO, která slouží pro vyčítání výsledných dat do počítače. Napájení je přivedeno nestíněným dvou-žilovým kabelem.

### 3.3 Analýza softwarové části zkušebního zařízení

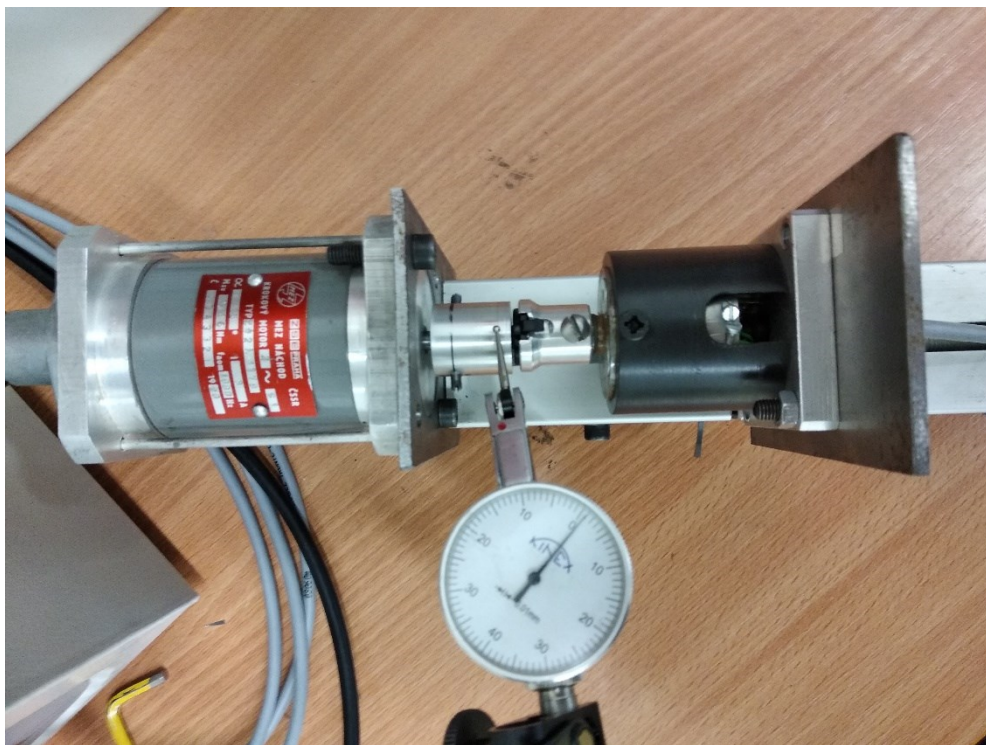
Řídící aplikace pro toto zařízení dosud nebyla vytvořena. Ovládání zkušebního zařízení probíhá spínáním PLC vstupů pomocí přepínačů. Čas je měřen pomocí stopek a data jsou vyčítána pomocí jednotky Datalab IO a dále zpracována v počítači.

## 4 NÁVRH ÚPRAV A JEJICH REALIZACE

Tato kapitola popisuje navržené úpravy a jejich realizaci na základě provedené analýzy. Cílem těchto úprav je nejen zjednodušení zkušebního měření z pohledu obsluhy, ale také kvalitnější a přesnější výsledek zkoušky.

### 4.1 Úpravy mechanické části zkušebního zařízení

Mechanická část zařízení byla navržena vhodně a nejsou tak nutné žádné větší úpravy. Z důvodů zlepšení výsledků měření byla provedena kontrola geometrie měřícího zařízení. Na přípravku, který je unášen hřídelí motoru bylo zjištěno obvodové házení a byl tedy nahrazen novým. Tenzometrický snímač byl lehce vyosený, byla tedy provedena korekce pomocí podkládacích plechů.



Obrázek 26 – Kontrola geometrie zkušebního zařízení

### 4.2 Úpravy elektrické části zkušebního zařízení

Rozvaděč PLC byl kompletně přepracován. Změnila se pozice jednotlivých komponent z důvodu lepšího využití prostoru. Byl sjednocen druh použitých vodičů na měděné lanko o průměru 0,5 mm. Všechny vodiče byly označeny a uloženy do kabelových žlabů o roz-

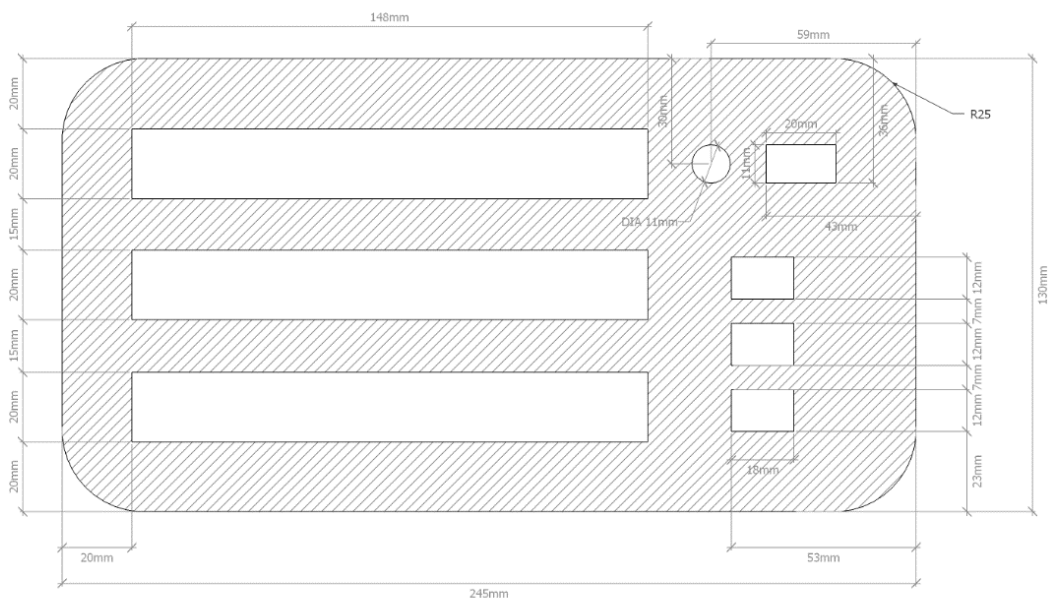
měru 25x45 mm. Řadové svorkovnice byly nahrazeny jednotným provedením s číselným značením.

Podstatnější změnou prošel čelní panel. Jelikož programovatelný automat může pouhou změnou programu obsluhovat úplně odlišnou aplikaci (zkoušku), bylo cílem úprav podobně zjednodušit i změnu zapojení PLC. Vznikla tak ucelená jednotka obsahující vše potřebné pro řízení mnoha aplikací.

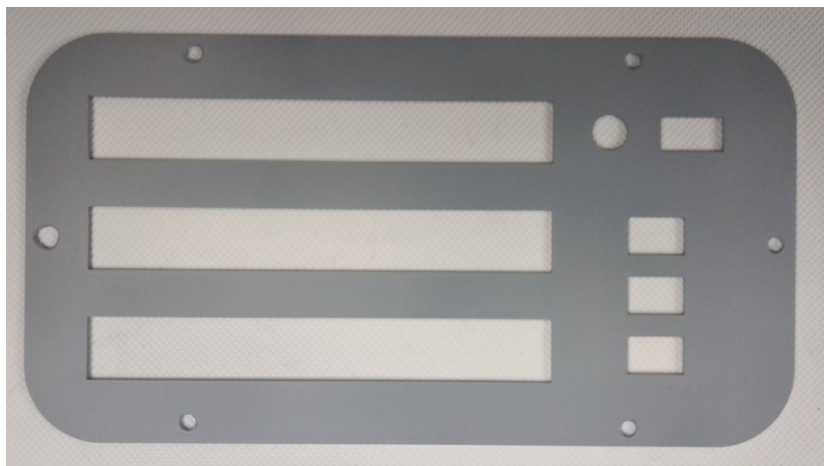
K tomuto účelu byly použity následující komponenty:

- Čelní panel

Aby bylo možné osadit níže uvedené komponenty, bylo nutné vytvořit nový čelní panel rozvaděče. Rozmístění jednotlivých komponent bylo zakresleno do výkresu (obrázek 27) a výsledný produkt (obrázek 28) byl zhotoven na CNC laserové řezačce.

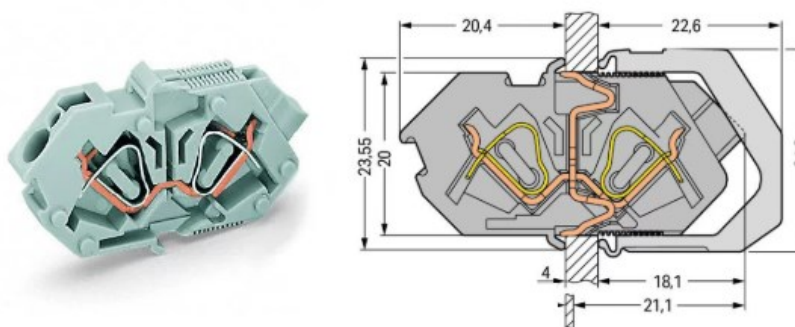


Obrázek 27 – Návrh čelního panelu rozvaděče



Obrázek 28 – Nové provedení čelního panelu rozvaděče

- Průchozí středový modul s možností řadového připojení WAGO  
K vytvoření vstupně výstupního terminálu na čelním panelu rozvaděče byly použity řadové průchozí svorkovnice od výrobce WAGO. Tato svorkovnice má jednoduchý a spolehlivý systém připojování vodičů CAGE CLAMP pomocí pružinového mechanismu. K připojení nebo odpojení vodiče potom stačí použít plochý šroubovák k uvolnění pružiny. [17]



Obrázek 29 – Průchozí středový modul WAGO [17]

- Konektor určený pro montáž do panelu Weidmueller  
Tento typ konektoru byl použit jako náhrada klasické zásuvky pro napájení externích zařízení. Má tři pozice, které jsou využity jako 24 V napájení + stínění.





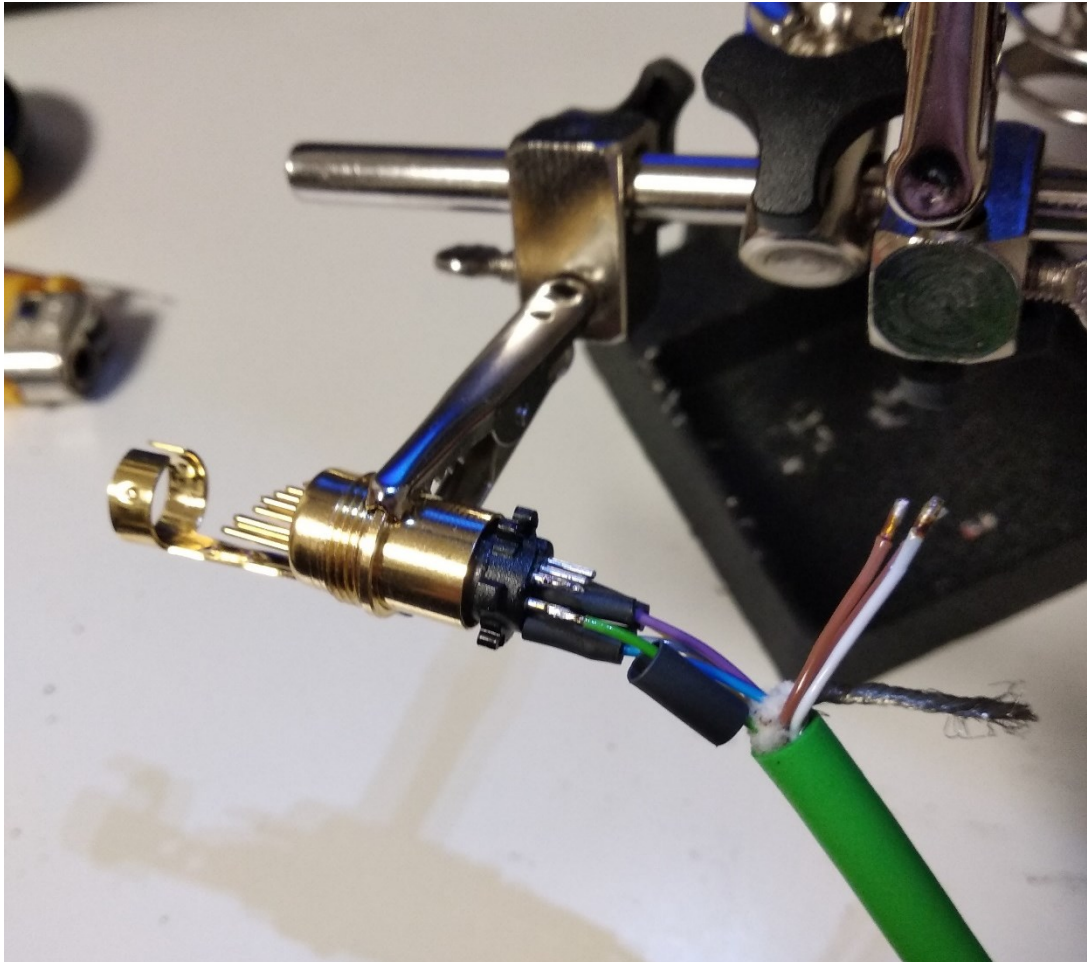
Obrázek 30 – Konektor Weidmüller

- Mini din konektor a zástrčka

PLC Mitsubishi komunikuje pomocí sériové linky, která je vyvedena pomocí devíti-pinového mini din konektoru. Z důvodu komfortního připojení k PLC bez nutnosti otvírání rozvaděče byl vytvořen prodlužovací kabel zakončený mini din zásuvkou na čelním panelu rozvaděče. K propojení byl použit devíti-žilový stíněný kabel.



Obrázek 31 – Mini din konektor a zástrčka [16]



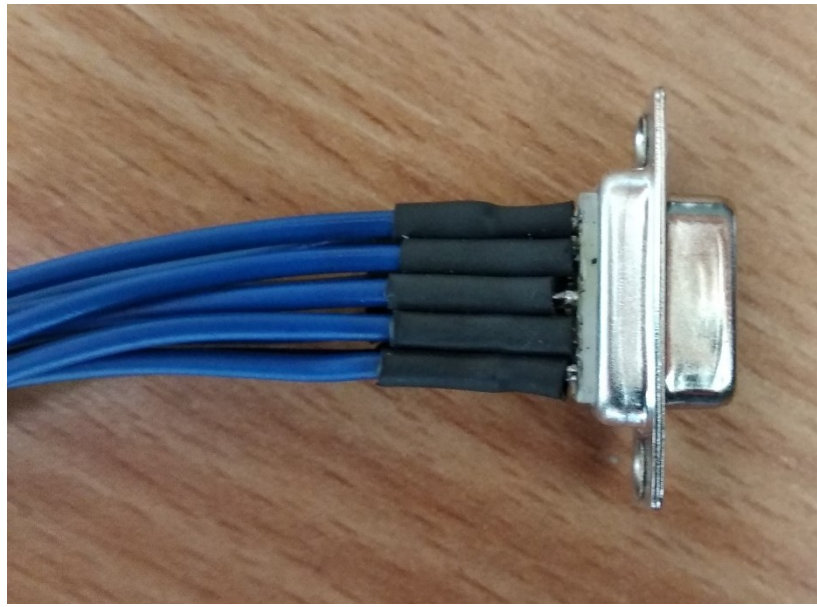
*Obrázek 32 – Letování mini din konektoru*

- D-sub konektor a zásuvka

Dále se na čelním panelu nachází D-sub zásuvka. Tímto konektorem je připojen ovladač krokového motoru. Aby toto bylo možné, bylo nutné nainstalovat D-sub konektor na kabel ovladače krokového motoru. Jelikož se jedná o hojně využívaný způsob připojení, je naše zásuvka vyvedena nejdříve na vnitřní řadovou svorkovnici a teprve potom k jednotlivým vstupům a výstupům. Díky tomu lze pohodlně a rychle změnit zapojení jednotlivých pinů a použít zásuvku pro připojení jiného zařízení.



Obrázek 33 – D-sub konektor a zásuvka [16]



Obrázek 34 – Příprava D-sub zásuvky

- Tlačítko nouzového zastavení

Z důvodu bezpečnosti bylo na víko rozvaděče přidáno tlačítko nouzového zastavení, které v případě stisknutí odpojí zařízení od napájení. Tlačítko také obsahuje integrovanou světelnou kontrolku, která indikuje jeho aktivitu.

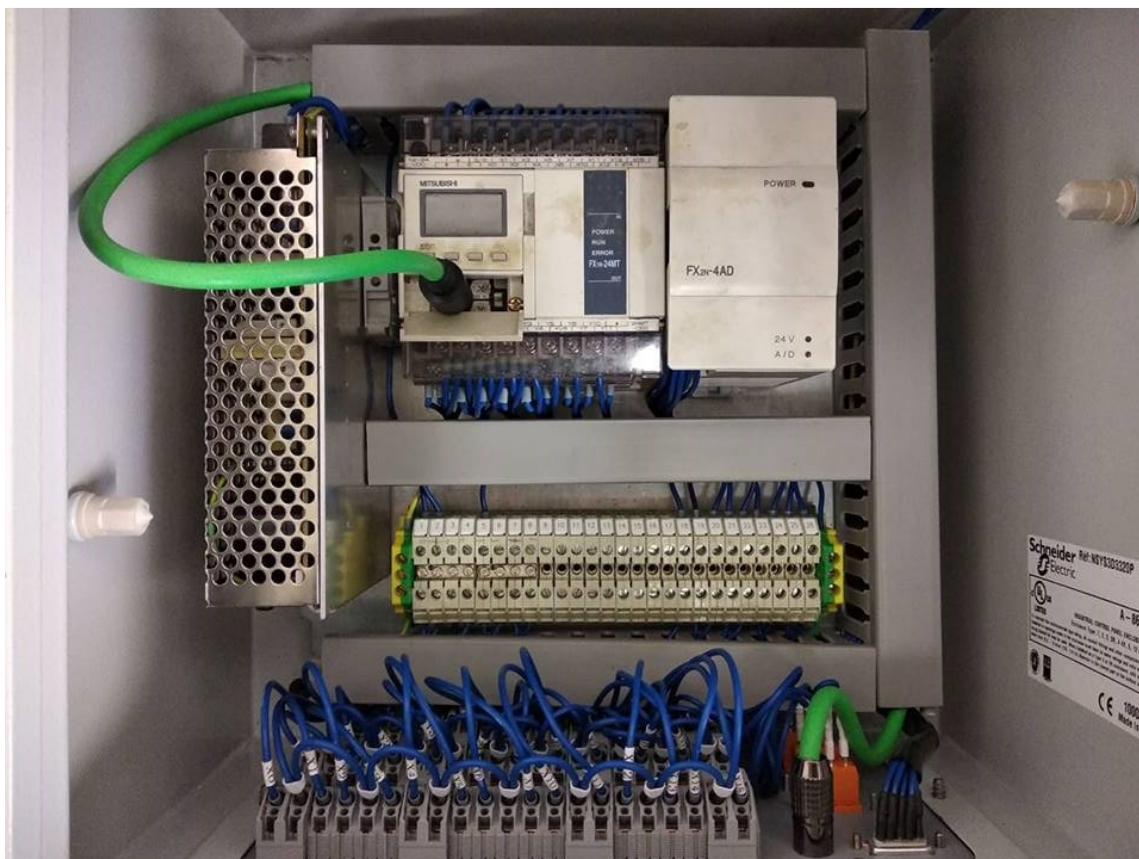


*Obrázek 35 – Tlačítko nouzového zastavení [16]*

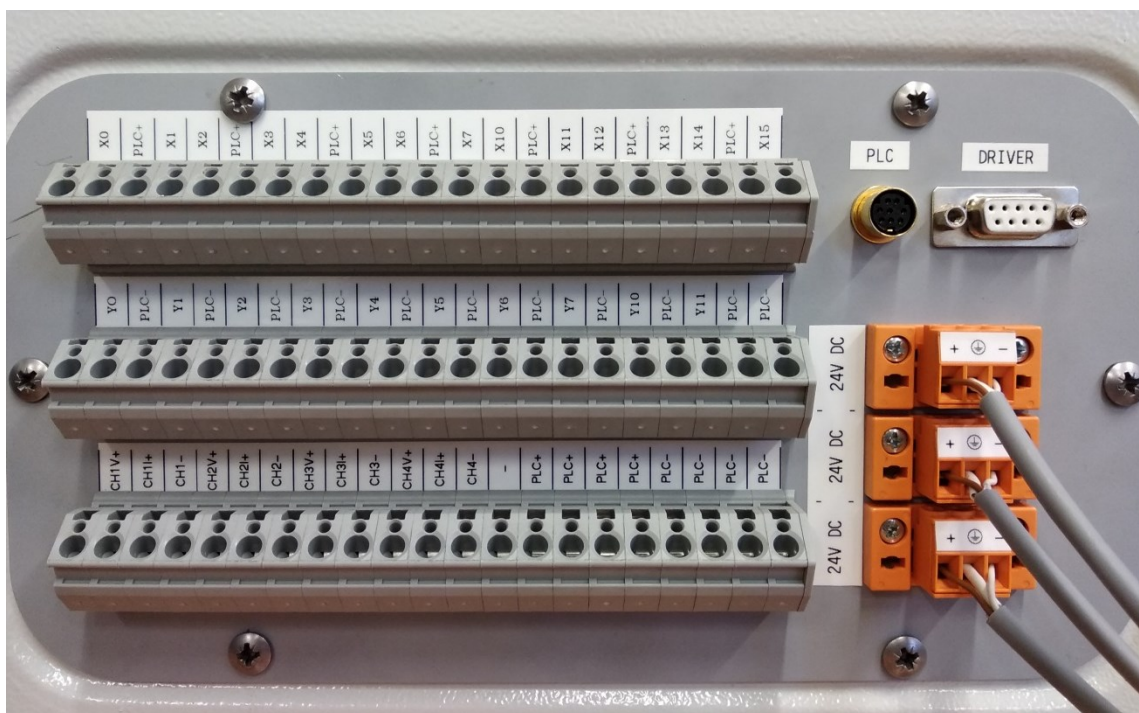


*Obrázek 36 – Umístění tlačítka nouzového zastavení*

Finální provedení PLC rozvaděče můžeme vidět na obrázku 37 a obrázku 38.



Obrázek 37 – Zapojení PLC rozvaděče



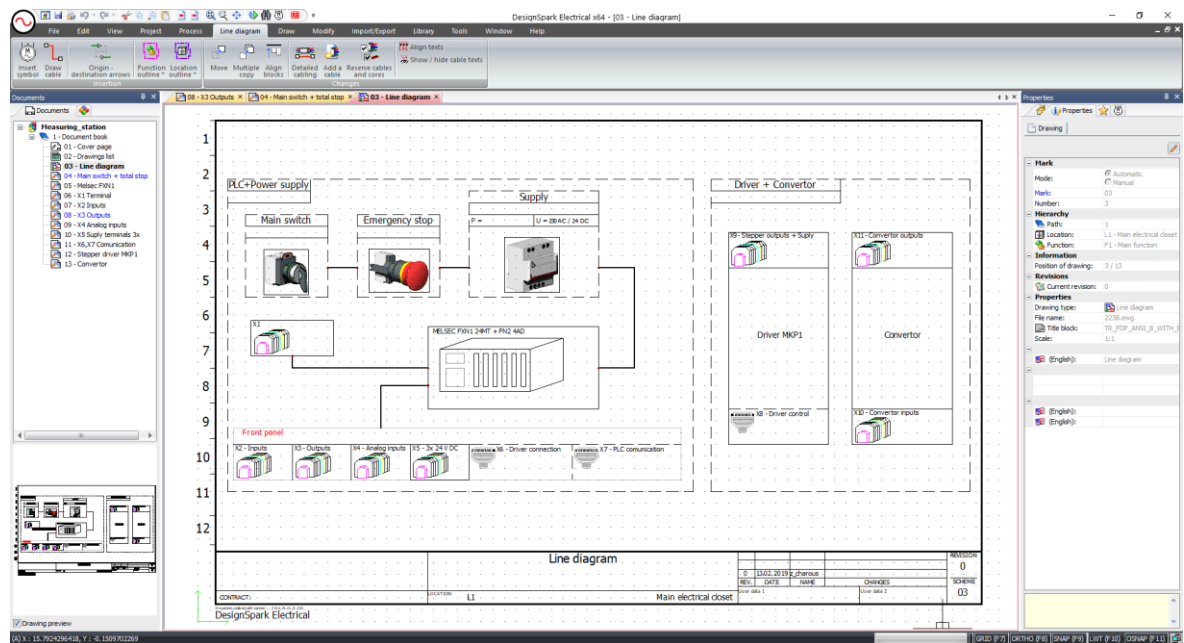
Obrázek 38 – Čelní panel PLC rozvaděče (finální provedení)

Další podstatnou úpravou prošel krokový motor, respektive jeho přívodní vodiče. Ty byly umístěny do kovové chráničky, která byla galvanicky spojena s kostrou motoru a se zemí. Připojení motoru bylo realizováno pomocí průmyslového konektoru Harting. Vznikl tak stíněný kabel, který zamezí šíření rušení vznikajícího spínáním jednotlivých fází motoru.



*Obrázek 39 – Úprava přívodního kabelu krokového motoru*

Také byly provedeny drobné úpravy v zapojení, zejména pak každé zařízení dostalo vlastní stíněný napájecí přívod. Dále byly upraveny délky vodičů, provedena kontrola zapojení aj. Zapojení bylo zdokumentováno a bylo vypracováno kompletní schéma zapojení v softwaru DesignSpark Electrical. Tato dokumentace je součástí této práce jako příloha 1.



Obrázek 40 – Tvorba elektrodokumentace v programu DesignSpark Electrical

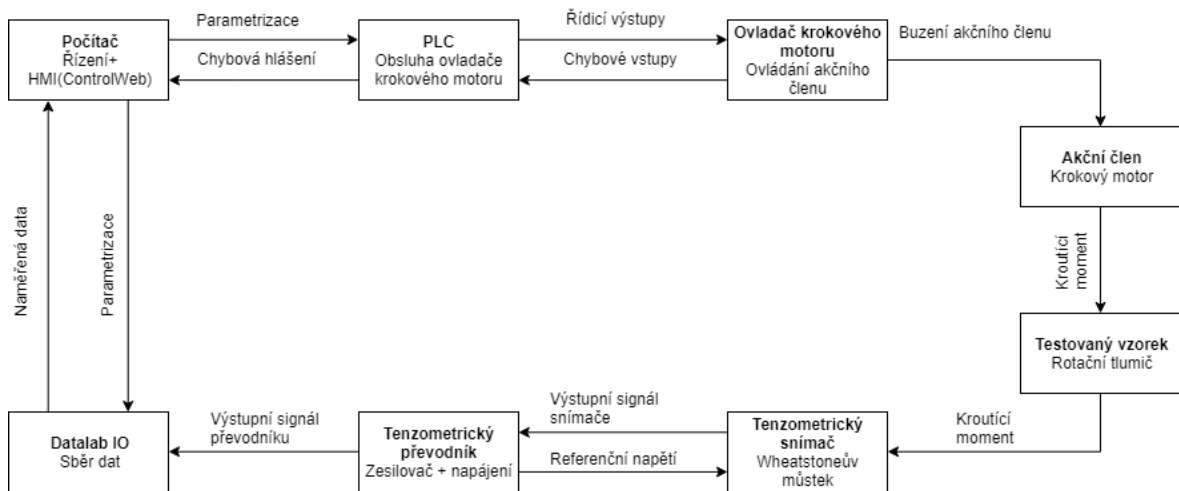
### 4.3 Úpravy softwarové části zkušebního zařízení

Bylo nutné vytvořit komplexní řídicí aplikaci, která umožní jak ovládání (parametrizace) měřicího zařízení, tak i zobrazení a archivaci výstupních dat. Popisu řešení tohoto problému se věnuje kapitola 5.

## 5 ŘÍDICÍ APLIKACE

### 5.1 Základní návrh aplikace a použité softwarové prostředky

Základní návrh aplikace vycházel z požadavků vyplývajících z kapitol 1.1 a 4.3. Pro lepší orientaci bylo sestaveno blokové schéma, které popisuje jednotlivé prvky (bloky) zkušebního zařízení a jejich činnost.



Obrázek 41 – Blokové schéma zkušebního zařízení

Řídicí aplikace potom bude obsluhovat zkušební zařízení pomocí tří bloků z obrázku 41 a to jsou „Počítač“, „PLC“ a „Datalab IO“.

#### Blok „Počítač“

Tento blok plní jak funkci centrální jednotky, tak i funkci ovládacího panelu operátora. Je zde spuštěna řídicí aplikace vytvořená v prostředí Control Web. V pozadí aplikace potom běží ovladače, s jejichž pomocí aplikace komunikuje s PLC a jednotkou Datalab IO. Dále zde probíhá archivace naměřených dat na pevný disk.

#### Blok „PLC“

Tento blok má za úkol na základě parametrů nastavených v řídicí aplikaci generovat signály, které řídí ovladač krokového motoru a případně snímat chybové signály generované ovladačem krokového motoru. Programovatelný automat byl tedy pomocí softwarového nástroje GX Works naprogramován tak, aby byl schopen zastávat funkci:



- Frekvenčního generátoru

Na základě parametru „Rychlost otáčení“ z řídicí aplikace se pomocí výpočtu získá požadovaná frekvence. Tento údaj je potom předán programovatelnému automatu, který začne na určeném výstupu generovat obdélníkový signál o právě této frekvenci. Algoritmus výpočtu frekvence je následující:

Známe nastavení ovladače krokového motoru, resp. kolik kroků je třeba na jednu otáčku hřídele motoru. Dále známe požadovanou rychlost, kterou se má motor otáčet. Výsledná frekvence je potom určena ze vztahu:

$$f = \frac{n}{60} \cdot s$$

kde  $f$  [Hz] je výsledná frekvence,  $n$  [-] počet kroků na otáčku,  $s$  [rpm] rychlost otáčení.

- Vstupní/výstupní zařízení

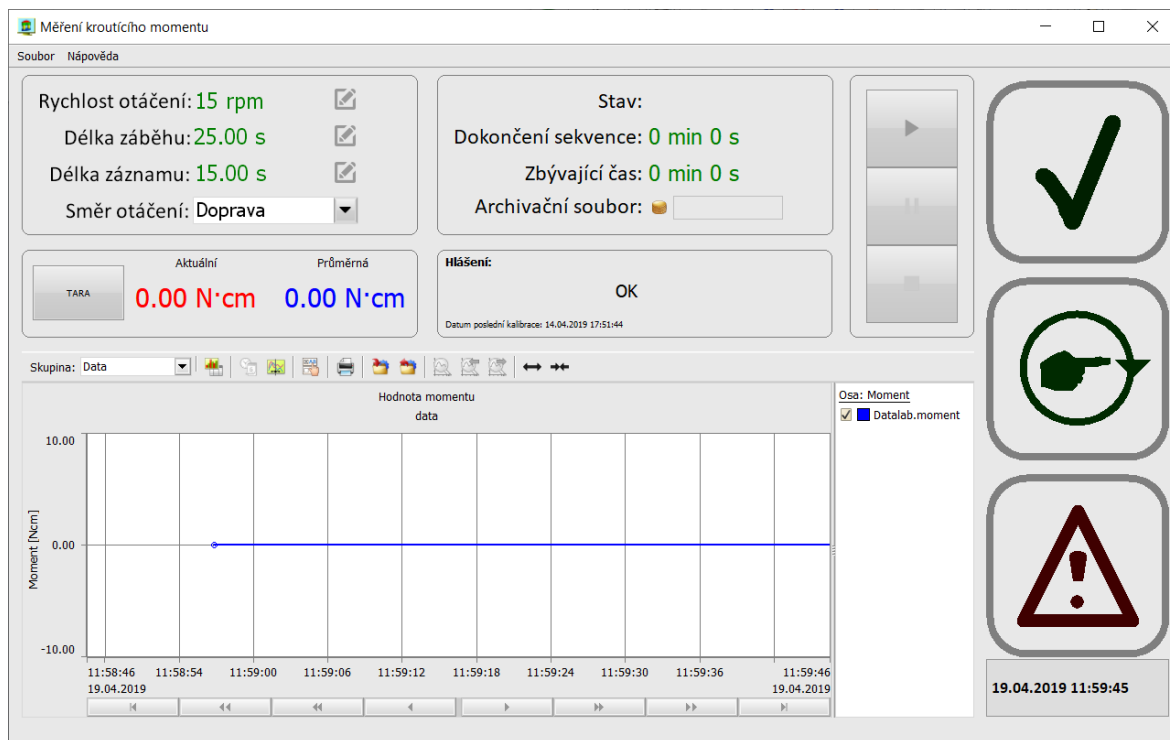
Jak je řečeno v kapitole 2.1.2, k řízení ovladače krokového motoru jsou zapotřebí kromě řídicí frekvence i další signály. Aby bylo možné ovládat tyto signály, musí řídicí aplikace ovládat vstupy a výstupy PLC. K tomuto účelu lze využít merkery, tedy jednobitové paměťové buňky PLC. PLC merkery mohou být čteny nebo zapisovány pomocí PLC programu nebo pomocí speciálního ovladače určeného pro daný typ PLC, který lze nainstalovat do prostředí Control Web.

### **Blok „Datalab IO“**

Tento blok zajišťuje snímání dat z tenzometrického převodníku a následně jejich přenos do řídicí aplikace. K tomuto účelu je použit již zmíněný rozšiřující ovladač prostředí Control Web. Díky tomu lze nastavovat např. vzorkovací frekvenci přímo z řídicí aplikace.

## **5.2 Uživatelské rozhraní a základní popis aplikace**

Uživatelské rozhraní je vytvořeno pomocí již zmiňovaného softwaru Control Web. Byly použity jak standardní prvky, které aplikace nabízí tak i prvky graficky upravené speciálně pro tuto aplikaci. Aplikace běží v jednom okně a skládá se z několika panelů (obrázek 42). Některé panely jsou skryté a zobrazují se až při požadavku uživatele (např. nápověda, uložení konfigurace aj.).



Obrázek 42 – Hlavní okno aplikace

Hlavní okno aplikace obsahuje následující panely:

- Nastavení parametrů zkoušky
  - Rychlost otáčení
  - Délka záběhu
  - Délka záznamu
  - Směr otáčení
- Aktuální a průměrný snímaný moment včetně možnosti tárování
- Zobrazení aktuálního stavu zkoušky
- Hlášení
- Ovládací tlačítkový panel
  - Spust'
  - Pauza
  - Stop
- Indikační panel
  - Dokončený měřicí cyklus
  - Běh motoru
  - Chybová hlášení
- Zobrazení časového průběhu
- Hodiny

V menu položce Soubor se nacházejí možnosti

- Uložit konfiguraci zkoušky
- Nahrát konfiguraci zkoušky
- Kalibrovat
- Konec

Dále se zde nachází menu položka nápověda, která nabízí dvě možnosti:

- Ovládání aplikace
- O aplikaci

### 5.3 Podrobný popis aplikace

V této kapitole jsou podrobněji popsány možnosti a funkce jednotlivých částí aplikace a vysvětleny nejdůležitější části řídicího algoritmu.

#### Podrobný popis jednotlivých panelů a jejich prvků:

##### Nastavení parametrů zkoušky

Tento panel slouží k nastavení parametrů zkoušky. Pokud právě probíhá měření, není možné upravovat hodnoty, dokud není měření dokončeno nebo přerušeno tlačítkem „Stop“.

Parametry, které lze nastavit jsou:

- Rychlost otáčení

Umožňuje nastavit rychlost otáčení. Zadaná hodnota je počet otáček za minutu (rpm).

- Délka záběhu

Umožňuje nastavit časový interval, po který bude krokový motor působit na testovaný vzorek, ale nebudou zaznamenávána data z tenzometrického snímače. Toho lze využít k dosažení provozních podmínek rotačního tlumiče před zahájením měření.

- Délka záznamu

Umožňuje nastavit časový interval, po který budou zaznamenávána data z tenzometrického snímače. Tento interval začíná ihned po skončení časového intervalu záběhu.

- Směr otáčení

Určuje směr otáčení krokového motoru.

### Aktuální a průměrný snímaný moment včetně možnosti tárování

- **Tára**  
Tlačítko pro vytárování (vynulování) aktuální hodnoty momentu, pokud je tenzometrický snímač bez zatížení, a přesto není aktuální hodnota nulová.
- **Aktuální hodnota**  
Zobrazení aktuální hodnoty snímaného krouticího momentu.
- **Průměrná hodnota**  
Po dokončení měření zobrazuje průměrnou hodnotu krouticího momentu. Ta se získá pomocí námi vytvořené funkce, která otevře soubor s uloženými daty a vypočte aritmetický průměr.

### Zobrazení aktuálního stavu zkoušky

- **Stav**  
Informace o tom, v jakém stavu se právě nachází konečný automat, pomocí kterého je realizováno řízení průběhu zkoušky. Jednotlivé stavy jsou:
  - **INIT**  
V tomto stavu jsou kontrolovány vstupní parametry zkoušky a vnější chybová hlášení.
  - **PAUSE**  
V tomto stavu automat setrvává, dokud je stisknuté tlačítko „Pause“. Nevykonávají se žádné akce, pouze se kontroluje, zda nebylo stisknuto jiné ovládací tlačítko.
  - **WARMUP**  
V tomto stavu automat setrvává, pokud je stisknuto tlačítko „Start“ a doposud nevypršel časový interval určený parametrem „Doba záběhu“. Motor je v chodu a probíhá odpočet.
  - **MEASURING**  
V tomto stavu automat setrvává, pokud je stisknuto tlačítko „Start“, již byla dokončena sekvence WARMUP a doposud nevypršel časový interval určený parametrem „Doba záznamu“.
  - **EVALUATION**

Do tohoto stavu se automat dostane po dokončení sekvence MEASURING.  
Provádí se zde výpočet průměrné hodnoty momentu.

➤ STOP

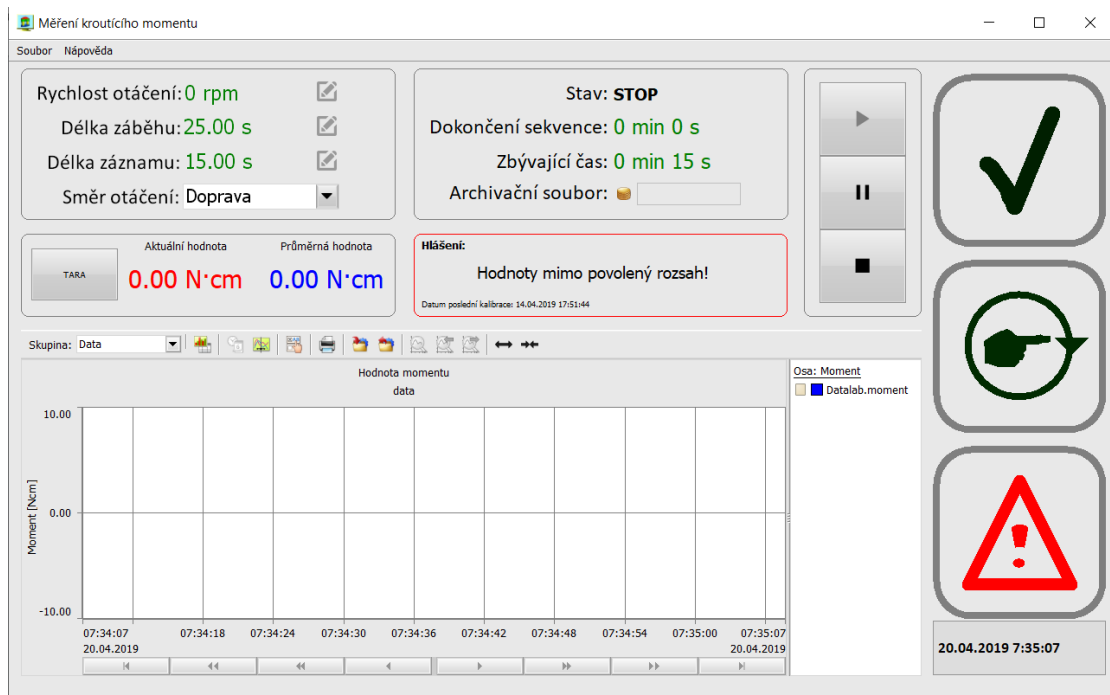
Výchozí stav automatu. Nachází se zde, pokud je stisknuto tlačítko „Stop“ nebo byla dokončena a vyhodnocena zkouška.

V každé iteraci výše uvedeného stavu je volána funkce, která vyhodnocuje stisknutí ovládacích tlačítek a chybová hlášení.

- Dokončení sekvence  
Časový údaj, informující o době zbývajících do konce právě vykonávané sekvence (stavu).
- Zbývajících čas  
Časový údaj, informující o době zbývajících do konce právě prováděné zkoušky.
- Archivační soubor  
Zobrazuje název souboru, do kterého jsou aktuálně zapisována data. Také lze využít možnost prohlížení dříve uložených souborů.

### Hlášení

- Aktivní chybové hlášení  
Zobrazuje bližší informace k aktivním alarmům
- Datum poslední kalibrace  
Zobrazuje datum poslední kalibrace, které získává ze souboru calibration.ini.



Obrázek 43 – Příklad chybového hlášení

### Ovládací tlačítkový panel

- Start  
Spuštění zkoušky, popř. pokračování, pokud bylo stisknuto tlačítko „Pauza“.
- Pauza  
Dočasné přerušení zkoušky. Je zastaven motor a pozastaven odpočet času.
- Stop  
Úplné přerušení zkoušky. Je zastaven motor a vynulovány čítače uplynulého času.

### Indikační panel

- Dokončený měřicí cyklus  
Aktivní, pokud je zkouška úspěšně dokončena tzn. nebyla přerušena uživatelem ani alarmem.
- Motor v chodu  
Aktivní vždy pokud je motor v pohybu.
- Chybová hlášení  
Aktivní, pokud nastane nekorektní situace (nesprávné parametry, vnější alarmy aj.). Doplňující informace jsou zobrazeny v panelu „Hlášení“. Kliknutím na tuto ikonu vymažeme aktivní chybová hlášení.

**Zobrazení časového průběhu**

Umožňuje zobrazení časového průběhu měřeného děje. Lze volit mezi grafickým a tabulkovým zobrazením, libovolně nastavovat vlastnosti jednotlivých os nebo zvolenou část průběhu vytisknout.

**Hodiny**

Zobrazení systémového času. Tento údaj je shodný s časovou značkou použitou při ukládání naměřených dat.

**Uložit konfiguraci zkoušky**

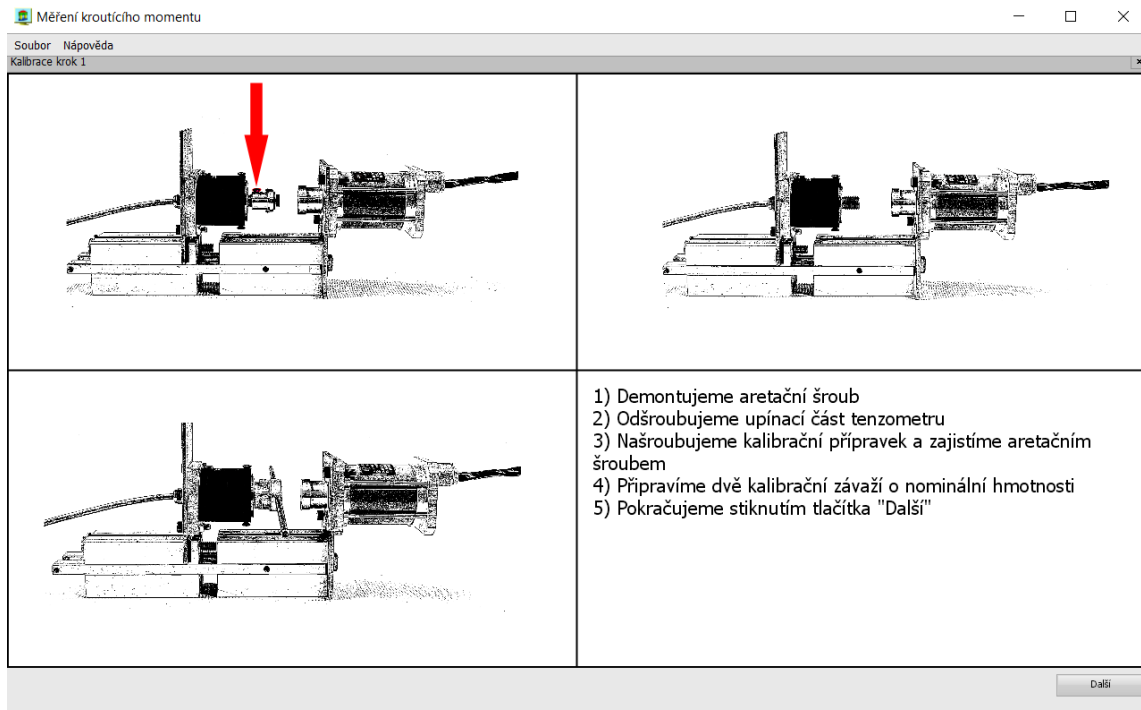
Tato volba nabízí možnost uložit aktuální nastavení zkoušky do souboru. Tento soubor lze vytvořit pomocí standardního průzkumníka Windows po stisknutí tlačítka „Procházet“. Soubor je potom uložen ve formátu INI.

**Nahrát konfiguraci zkoušky**

Tato volba nabízí možnost nahrát nastavení zkoušky z dříve uloženého souboru.

**Kalibrovat**

Tato volba spustí interaktivního průvodce procesem kalibrace (obrázek 44) tenzometrického snímače. Kalibrací je myšleno určení konstanty udávající poměr mezi výstupním signálem a hodnotou krouticího momentu působícího na tenzometrický snímač.



Obrázek 44 – Interaktivní průvodce kalibračním procesem

V tomto případě je tato závislost lineární, jedná se tedy o přímku. K určení konstanty bude potřeba určit alespoň dva body ležící na grafu závislosti:

$$u_{výst} = f(M_Z)$$

kde  $u_{výst}$  [V] je výstupní signál snímače,  $M_Z$  [N·m] je zátěžný moment působící na snímač

Tyto body jsou získány tak, že je tenzometrický snímač zatížen jmenovitým momentem a je odečtena hodnota výstupního signálu. Stejný postup se aplikuje s jinou hodnotou zátěžného momentu. K tomuto účelu použijeme kalibrační přípravek, který je součástí zkušebního zařízení. Jedná se o vyvážené rameno o nominální délce. Na toto rameno umístíme přesné laboratorní závaží o dané hmotnosti. Výsledný moment působící na snímač vypočteme ze vztahu:

$$M = m \cdot l \cdot g$$

kde  $M$  [N·m] je krouticí moment,  $m$  [kg] je hmotnost,  $l$  [m] je délka ramene,  $g$  [-] gravitační konstanta



Tímto postupem je získána soustava dvou rovnic o dvou neznámých, jejímž řešením je námi hledaná konstanta.

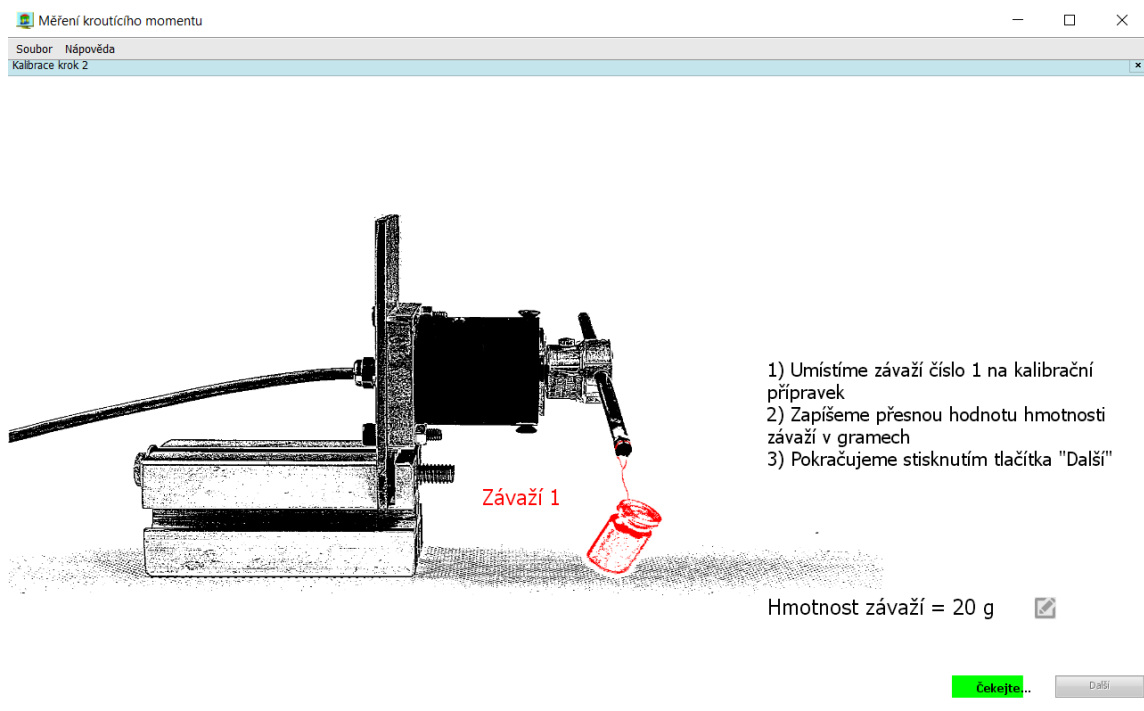
$$M_1 = k \cdot u_1 + q$$

$$M_2 = k \cdot u_2 + q$$

kde  $M_1$  a  $M_2$  [N·m] jsou zátěžné momenty různých hodnot,  $u_1$  a  $u_2$  [V] jsou výstupní signály

Řešení soustavy rovnic. Výsledkem je kalibrační konstanta  $k$ :

$$k = \frac{M_2 - M_1}{u_2 - u_1}$$



Obrázek 45 – Průběh kalibrace

Obrázek 45 zobrazuje průběh kalibrace. Z důvodu zpřesnění výsledku je hodnota výstupního signálu snímána vícekrát a výsledná hodnota je vypočtena jako aritmetický průměr. Výsledek kalibrace je zapsán do souboru včetně data, kdy byla kalibrace provedena.

**Konec**

Tato volba ukončí aplikaci.

### **Nápověda**

- Ovládání aplikace  
Tato volba zobrazí panel obsahující nápovědu k ovládání aplikace.
- O aplikaci  
Tato volba zobrazí informace o aplikaci.

## 6 ZKUŠEBNÍ MĚŘENÍ

Posledním bodem zadání bylo provedení zkušebního měření na rotačních tlumičích. Byla to také možnost ověřit funkčnost a spolehlivost zkušebního zařízení a řídicí aplikace. K dispozici byly i klima komory značky Vötsch a Binder (obrázek 49), díky kterým bylo zkušební měření provedeno ve větším rozsahu teplot.

### 6.1 Příprava vzorků a postupu testování

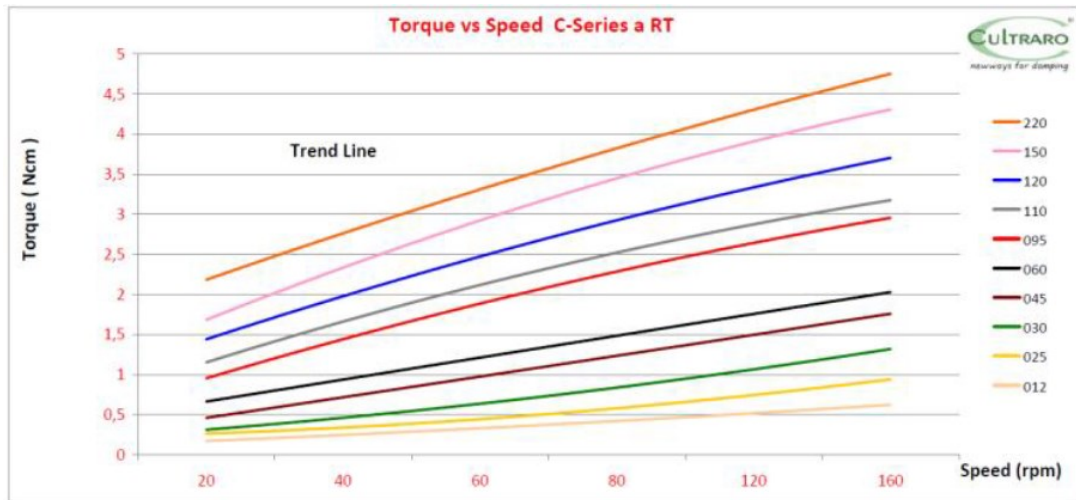
Testování probíhalo na rotačních tlumičích značky Cultraro s typovým označením 045. Z dodané šarže k testování bylo náhodně vybráno 10 vzorků, které byly očíslovány, viz obrázek 46.



Obrázek 46 – Výběr testovaných vzorků

Takto připravené vzorky byly podrobeny několika zátěžovým zkouškám. Inspirací byl datasheet výrobce, respektive uváděné průběhy tlumicího momentu v závislosti na podmínkách měření.

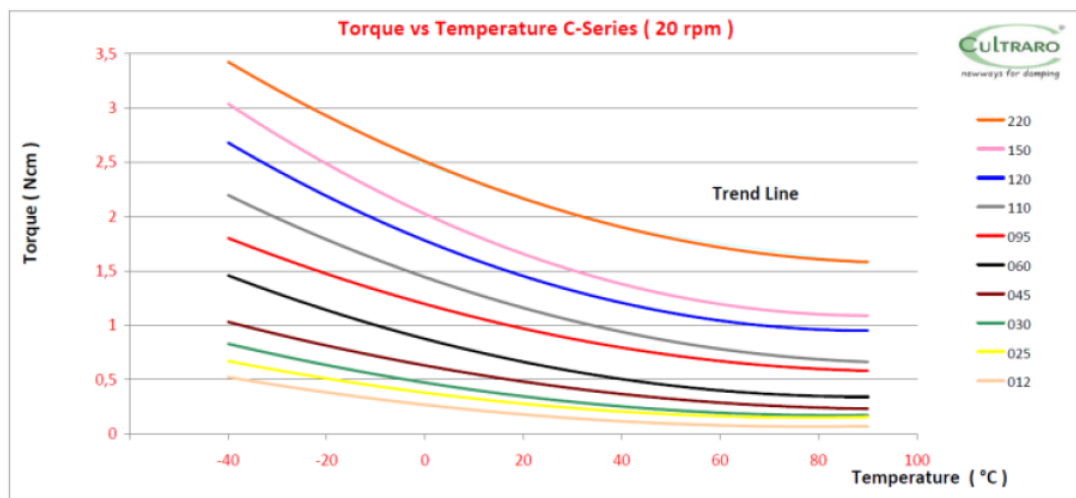
První průběh zobrazuje závislost tlumicího momentu na rychlosti otáčení.



Obrázek 47 – Graf závislosti tlumicího momentu na rychlosti otáčení udávaný výrobcem

Byla vytvořena tabulka pro rozsah rychlostí 20 rpm – 160 rpm. Na každém vzorku potom bylo provedeno zkušební měření a výsledný tlumicí moment pro dané rychlosti byl zaznamenán. Měření probíhalo v klimatizované místnosti při okolní teplotě 22,5° C. Výsledky měření jsou uvedeny v Tabulka 5.

Druhý průběh udávaný výrobcem je závislost tlumicího momentu na okolní teplotě. Toto měření mohlo být uskutečněno díky výše zmíněným klima komorám.



Obrázek 48 – Graf závislosti tlumicího momentu na okolní teplotě udávaný výrobcem

Byla vytvořena tabulka pro rozsah teplot  $-40^{\circ}\text{C}$  až  $+80^{\circ}\text{C}$ . Tlumiče byly poté umístěny vždy na 40 minut do klima komory ustálené na požadované teplotě. Takto temperované vzorky byly podrobeny měření tlumičícího momentu při jmenovitých otáčkách 20 rpm. Výsledky jsou uvedeny v Tabulka 6.



*Obrázek 49 – Temperování vzorků v klima komoře*

## 6.2 Naměřená data

Níže jsou uvedeny tabulky s naměřenými daty. Jednotlivé vzorky jsou reprezentovány sloupci. V řádcích jsou potom hodnoty tlumicího momentu pro dané podmínky měření. Poslední sloupec obsahuje průměrnou hodnotu tlumicího momentu všech zkoumaných vzorků pro dané podmínky.

Tabulka 5 – Výsledky měření tlumicího momentu v závislosti na rychlosti otáčení

rpm	Hodnota tlumicího momentu [N·cm]										
	Vz. 1	Vz. 2	Vz. 3	Vz. 4	Vz. 5	Vz. 6	Vz. 7	Vz. 8	Vz. 9	Vz. 10	Ø
20	0,57	0,47	0,40	0,39	0,41	0,38	0,51	0,41	0,4	0,4	0,43
30	0,68	0,60	0,51	0,48	0,49	0,40	0,53	0,43	0,43	0,52	0,51
40	0,88	0,74	0,69	0,62	0,51	0,51	0,70	0,57	0,50	0,57	0,63
50	0,96	0,83	0,79	0,75	0,60	0,58	0,81	0,64	0,57	0,63	0,72
60	1,04	0,94	0,82	0,81	0,70	0,60	0,89	0,69	0,59	0,66	0,77
70	1,18	1,03	0,98	0,90	0,73	0,64	0,91	0,78	0,74	0,74	0,86
80	1,25	1,10	1,00	0,97	0,79	0,71	0,96	0,83	0,83	0,81	0,93
90	1,34	1,15	1,01	1,02	0,87	0,74	1,01	0,87	0,89	0,90	0,98
100	1,41	1,20	1,10	1,09	1,03	0,82	1,07	0,95	0,94	0,95	1,06
110	1,48	1,23	1,15	1,15	1,17	0,86	1,11	1,01	0,99	1,03	1,12
120	1,55	1,30	1,23	1,21	1,33	0,97	1,13	1,11	1,15	1,07	1,21
130	1,69	1,39	1,36	1,30	1,35	0,99	1,18	1,14	1,26	1,14	1,28
140	1,82	1,48	1,42	1,36	1,48	1,09	1,21	1,23	1,28	1,19	1,36
150	1,86	1,53	1,48	1,46	1,54	1,11	1,25	1,33	1,35	1,24	1,42
160	1,90	1,62	1,57	1,54	1,56	1,34	1,39	1,43	1,53	1,38	1,53

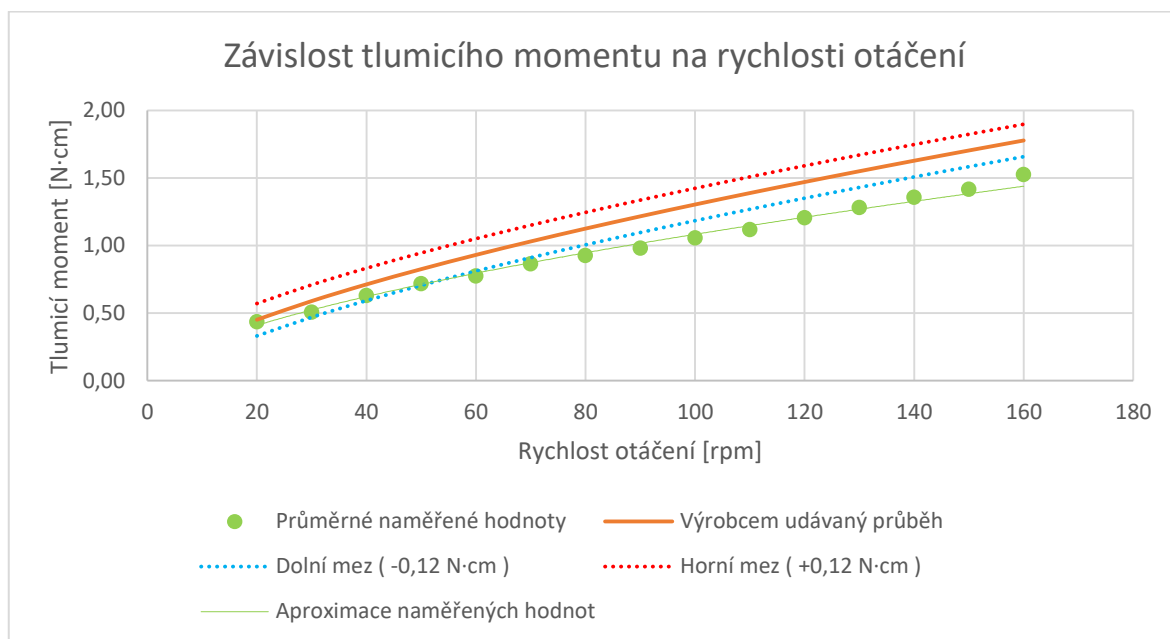
Tabulka 6 – Výsledky měření tlumicího momentu v závislosti na teplotě

Teplota [°C]	Hodnota tlumicího momentu [N·cm]										
	Vz. 1	Vz. 2	Vz. 3	Vz. 4	Vz. 5	Vz. 6	Vz. 7	Vz. 8	Vz. 9	Vz. 10	Ø
-40	1,05	1,00	1,06	1,03	1,13	1,14	1,04	1,00	1,16	1,02	1,06
-20	0,77	0,79	0,75	0,79	0,75	0,83	0,82	0,83	0,84	0,77	0,79
0	0,62	0,61	0,58	0,67	0,61	0,60	0,61	0,63	0,59	0,57	0,61
22,5	0,57	0,47	0,40	0,39	0,37	0,34	0,51	0,41	0,35	0,40	0,42
40	0,37	0,39	0,35	0,40	0,40	0,36	0,39	0,38	0,37	0,34	0,38
80	0,32	0,26	0,28	0,31	0,38	0,22	0,29	0,30	0,27	0,30	0,29

### 6.3 Vyhodnocení výsledku testování

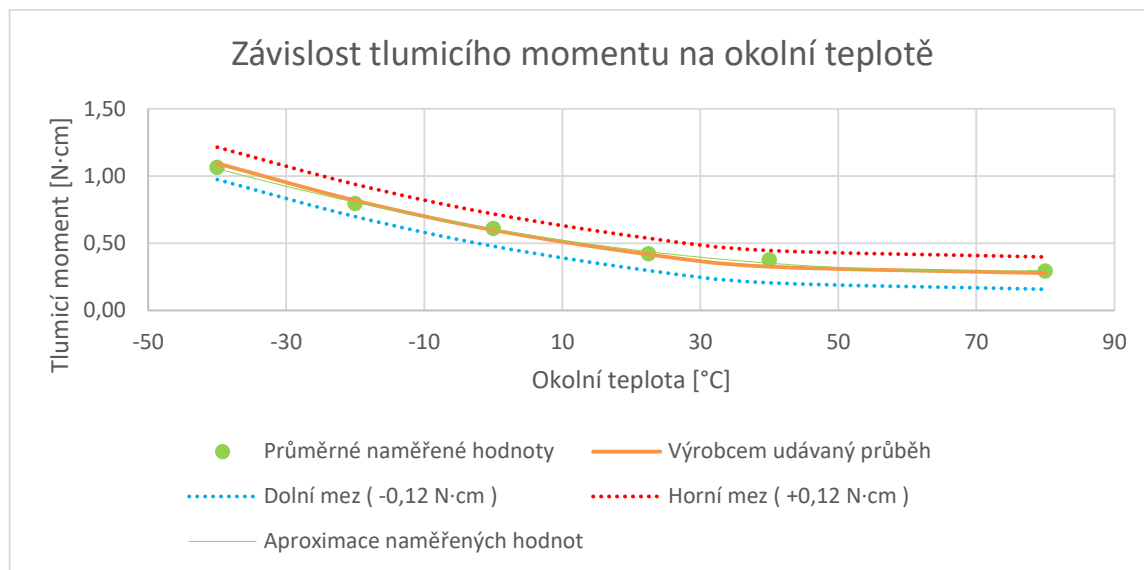
Tato kapitola se zabývá vyhodnocením výsledků měření.

V prvním grafu (obrázek 50) lze pozorovat porovnání naměřených výsledků a hodnot udávaných výrobcem. V grafu je naznačena tolerance, kterou výrobce pro tento model tlumiče udává. Konkrétně  $\pm 0,12$  N·cm. Přibližně v pátém bodě (rpm = 60) se naměřený průběh začíná odchylovat z tolerančního pásma a tato odchylka postupně narůstá. Hodnota této odchylky je nepřijatelná, protože se blíží dvojnásobku udávané tolerance.



Obrázek 50 – Naměřený a výrobcem udávaný průběh momentu v závislosti na rychlosti otáčení

Bylo tedy provedeno vyhodnocení druhého měření. Opět byla data zpracována do grafu (obrázek 51), včetně dovolených mezních odchylek. Výsledek druhého měření dopadl o poznání lépe, bude-li posuzována shoda naměřených hodnot a hodnot udávaných výrobcem.



*Obrázek 51 - Naměřený a výrobcem udávaný průběh momentu v závislosti na teplotě*

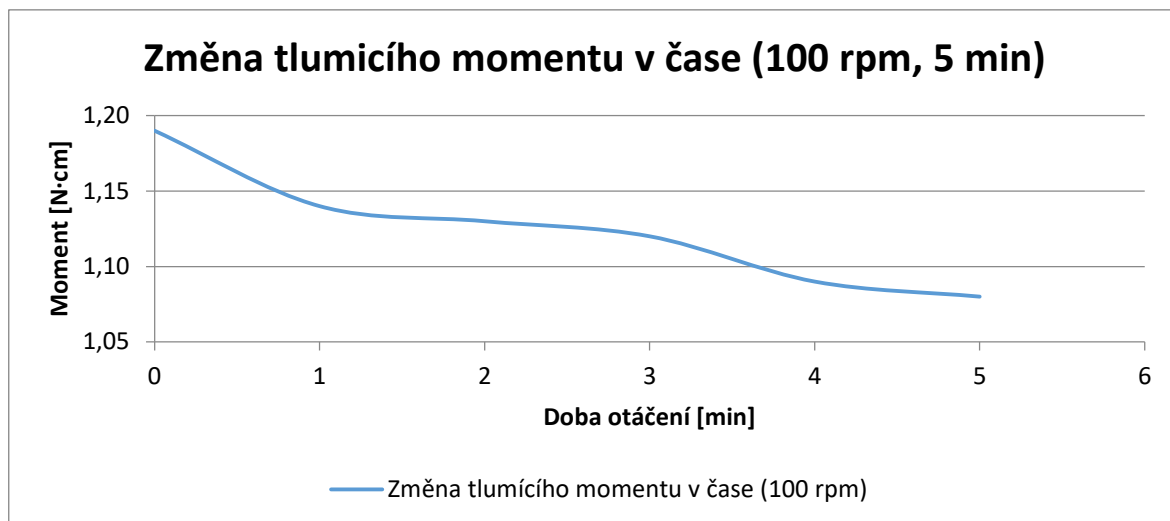
Vyvstává tedy otázka, proč se výsledek prvního měření tolik liší od hodnot udávaných výrobcem, když výsledek druhého měření se s průběhem udávaným výrobcem téměř dokonale shoduje. Odpověď na tuto otázku se skrývá v postupu provádění zkušební měření.

Druhé zkušební měření probíhalo tím způsobem, že všechny vzorky byly umístěny do klima komory nastavené na určitou teplotu. Poté byl jeden vzorek po druhém z komory vytahován a provádělo se na něm zkušební měření. Tímto způsobem bylo provedeno měření na všech vzorcích. Vzorky byly následně ponechány v pokojové teplotě a poté umístěny do klima komory nastavené na další požadovanou teplotu. Jelikož doba měření vzorku byla nastavená na 10 vteřin, lze říci, že při měření měl vzorek celou dobu přibližně konstantní teplotu.

Naproti tomu první zkušební měření probíhalo tím způsobem, že byl jeden vzorek podroben měření na celém rozsahu rychlostí tzv. na jedno upnutí. Jelikož byla měření pro jednotlivé rychlosti otáčení prováděna v těsném sledu za sebou, došlo tímto k zahřátí tlumiče a tím k poklesu jeho tlumicí účinnosti.

K potvrzení této teorie bylo provedeno ještě jedno zkušební měření. Toto měření probíhalo tím způsobem, že byl vzorek vystaven otáčkám 100 rpm po dobu 5 minut a každou minutu byl změřen tlumicí moment. Výsledky jsou zaneseny do grafu (obrázek 52). V grafu je viditelný pokles tlumicího momentu v čase.





Obrázek 52 – Změna tlumicího momentu v čase

Pravdou je, že při měření v pokojové teplotě byly předpokládány konstantní podmínky testu v čase. Doba pro snímání momentu byla tedy nastavena na jednu minutu. Jednotlivá měření byla prováděna v těsném sledu, takže byl tlumič téměř stále v zátěži. Přestože měření bylo prováděno za konstantní teploty okolí, projevíly se při něm důsledky mechanického namáhání tlumicí kapaliny v tlumiči, a to poklesem tlumicího momentu. Na obrázku 48 je patrné, že odklon od požadovaného průběhu nenastává ihned, ale až při měření přibližně páté hodnoty, což při délce měření jednotlivých hodnot odpovídá pěti minutám otáčení.

Samozřejmě je možné, že na výsledném nižším tlumicím momentu jednotlivých vzorků se může podílet více faktorů. Jedním z nich může být stáří výrobků (námi testovaná šarže je stará cca 4 roky). Dalším faktorem může být projev nedokonalostí měřicího zařízení ve vyšších rychlostech otáčení.

Závěrem lze konstatovat, že je vhodné zkušební měření provádět tím způsobem, aby rotační tlumič nebyl zatížen dlouhodobě. Je tedy vhodné volit kratší dobu měření a mezi jednotlivá měření zařadit krátkou prodlevu. Tento postup se jeví jako správný, protože i v praxi jsou tyto typy tlumičů nasazovány do aplikací, kde jsou zatěžovány méně často a po krátkou dobu.

## ZÁVĚR

V rámci zadání této bakalářské práce byly po analýze stávajícího stavu zkušebního zařízení provedeny úpravy zefektivňující nejen jeho používání, ale také přesnost a elektromagnetickou odolnost. Návrh centrálního rozvaděče následoval myšlenku modulárního zařízení, které bude schopno jednoduše měnit svoji konfiguraci dle požadavků řízené zkoušky.

Vytvořená řídicí aplikace plní svůj účel a splňuje všechny požadavky jak na pohodlné řízení zkušebního zařízení, tak na vyhodnocení a archivaci naměřených dat. Nabízí také několik užitečných funkcí jako je interaktivní kalibrace tenzometrického snímače, ukládání konfigurace zkoušky do souboru nebo nápovědu.

Bezproblémová funkčnost celého zařízení byla otestována při provádění zkušebního měření. To bylo díky vybavení fyzikální zkušebny ITC provedeno ve velkém rozsahu teplot. Výsledky zkušebního měření byly zpracovány a porovnány s údaji, které poskytnul přímo výrobce. Vyskytly se zde drobné odchylky, zejména pak při měření ve vyšších rychlostech otáčení. Jelikož ale další měření odpovídalo téměř přesně údajům výrobce, byla vypracována a ověřena teorie, která neshodu vysvětluje. Z této teorie bylo vyvozeno i doporučení pro postup při zkušebním měření rotačních tlumičů.

Tuto práci tedy lze použít jako podporu při návrhu zkušebního zařízení a provádění zkušebního měření na rotačních tlumičích. Uvedené postupy jsou navrhnuté autorem práce, inspirované údaji udávanými výrobcem a neopírají se o žádnou zkušební normu.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ŠMEJKAL, Ladislav a Marie MARTINÁSKOVÁ. PLC a automatizace. Praha: BEN - technická literatura, 1999. ISBN 80-860-5658-9.
- [2] STREETER, Victor L., E. Benjamin WYLIE a Keith W. BEDFORD. Fluid mechanics. 9th ed. Boston: McGraw-Hill, c1998. ISBN 0-07-062537-9.
- [3] ČSN EN 61000-4-4 Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Zkušební a měřicí technika - Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů - Zkouška odolnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [4] Rotary Dumper - CJ series Datasheet [online]. Cultraro Automazione Engineering S.r.l. - HQ [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.cultraro.it/en/two-ways-small-rotary-dampers/small-rotary-damper-big-rear-clip.php>
- [5] Rotační tlumiče ACE [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.bibus.cz/prehled-produktu/mechatronika/hydraulicke-tlumice-razu-olejove-a-rotacni-brzdy/rotacni-tlumice-ace/>
- [6] Návod k použití výkonového modulu MKP1. JMF s.r.o.
- [7] Melsec FX1N - Hardware Manual [online]. Mitsubishi Electric Europe [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual>
- [8] Programovatelné automaty Melsec FX - příručka pro začátečníky [online]. Mitsubishi Electric Europe, 2009 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: [http://www.accs.cz/Files/FA/PLC/FX\\_Prirucka\\_pro\\_zacatecniky.pdf](http://www.accs.cz/Files/FA/PLC/FX_Prirucka_pro_zacatecniky.pdf)
- [9] Stepper motors - construction, types [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.electricaltechnology.org/2016/12/stepper-motor-construction-types-and-modes-of-operation.html>
- [10] Krokový motor [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/809>
- [11] Návod k použití výkonového modulu MKP1. JMF s.r.o.
- [12] Tenzometrické snímače [online]. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://vtsz.cz/tenzometry>

- [13] Technická dokumentace TZA16410 [online]. Aterm [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.aterm.cz>
- [14] Referenční a uživatelský popis průmyslových jednotek DataLab IO [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.mii.cz>
- [15] NOVÁK, Petr. Mobilní roboty : pohony, senzory, řízení. 1. vyd. Praha : Ben - technické literatury, 2005. ISBN 80-7300-141-1. Krokový motor, s. 41-69.
- [16] Conrad [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://velkoobchod.conrad.cz/>
- [17] WAGO [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.wago.com/cz/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ČSN	Česká technická norma
DC	Direct Current
DIN	Deutsches Institut für Normung
HMI	Human Machine Interface
IO	Inputs - Outputs
ITC	Institut pro testování a certifikaci
OPC	Ole for Process Control
PLC	Programmable Logic Controller
RCA	Konektor CINCH
rpm	Revolutions Per Minute
RS-232	Sériová linka (standard)
RS-484	Sériová linka (standard)
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SMD	Surface Mount Device
USB	Universal Serial Bus

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 – Různá provedení rotačních tlumičů [4] .....	11
Obrázek 2 – Model přenosu hybnosti v kapalině [2].....	12
Obrázek 3 – Závislost rychlosti deformace na smykovém napětí [2].....	12
Obrázek 4 – Pouzdro rotačního tlumiče [4].....	13
Obrázek 5 – Rotor rotačního tlumiče [4] .....	14
Obrázek 6 – Krytka rotačního tlumiče [4] .....	14
Obrázek 7 – Ozubené výstupní kolo [4] .....	14
Obrázek 8 – Nevhodné způsoby montáže rotačního tlumiče [4].....	15
Obrázek 9 – Příklad použití rotačního tlumiče [4] .....	16
Obrázek 10 – Schématické znázornění vykonávání PLC programu [8].....	19
Obrázek 11 – Programovatelný automat Mitsubishi FX1N-24MT [7] .....	20
Obrázek 12 – Umístění konektorů, ovládacích a signalizačních prvků MKP1 [11] .....	22
Obrázek 13 – Konstrukční provedení krokového motoru [9].....	23
Obrázek 14 – Závislost momentu motoru na frekvenci krokování [15].....	24
Obrázek 15 – Závislost odporu na deformaci (obecně)[12] .....	25
Obrázek 16 – Zapojení plného Wheatstoneova můstku [12].....	26
Obrázek 17 – Uspořádání tenzometrických pásek na snímači [12].....	26
Obrázek 18 – Schéma tenzometrického převodníku [13].....	28
Obrázek 19 – Jednotky Datalab IO v různých provedeních .....	29
Obrázek 20 – Schéma řízení technologického procesu pomocí Datalab IO [14].....	30
Obrázek 21 – Napájecí zdroj [16].....	32
Obrázek 22 – Zkušební zařízení .....	34
Obrázek 23 – Vnitřní zapojení PLC rozvaděče (původní stav) .....	35
Obrázek 24 – Čelní panel PLC rozvaděče (původní stav).....	36
Obrázek 25 – Vnitřní zapojení rozvaděče s ovladačem krokového motoru a tenzometrickým převodníkem.....	37
Obrázek 26 – Kontrola geometrie zkušebního zařízení.....	38
Obrázek 27 – Návrh čelního panelu rozvaděče .....	39
Obrázek 28 – Nové provedení čelního panelu rozvaděče.....	40
Obrázek 29 – Průchozí středový modul WAGO [17].....	40
Obrázek 30 – Konektor Weidmueller .....	41
Obrázek 31 – Mini din konektor a zástrčka [16] .....	41

Obrázek 32 – Letování mini din konektoru .....	42
Obrázek 33 – D-sub konektor a zásuvka [16].....	43
Obrázek 34 – Příprava D-sub zásuvky .....	43
Obrázek 35 – Tlačítko nouzového zastavení [16] .....	44
Obrázek 36 – Umístění tlačítka nouzového zastavení .....	44
Obrázek 37 – Zapojení PLC rozvaděče .....	45
Obrázek 38 – Čelní panel PLC rozvaděče (finální provedení).....	45
Obrázek 39 – Úprava přívodního kabelu krokového motoru .....	46
Obrázek 40 – Tvorba elektrodokumentace v programu DesignSpark Electrical .....	47
Obrázek 41 – Blokové schéma zkušebního zařízení .....	48
Obrázek 42 – Hlavní okno aplikace.....	50
Obrázek 43 – Příklad chybového hlášení .....	54
Obrázek 44 – Interaktivní průvodce kalibračním procesem.....	56
Obrázek 45 – Průběh kalibrace .....	57
Obrázek 46 – Výběr testovaných vzorků.....	59
Obrázek 47 – Graf závislosti tlumicího momentu na rychlosti otáčení udávaný výrobcem .....	60
Obrázek 48 – Graf závislosti tlumicího momentu na okolní teplotě udávaný výrobcem .....	60
Obrázek 49 – Temperování vzorků v klima komoře .....	61
Obrázek 50 – Naměřený a výrobcem udávaný průběh momentu v závislosti na rychlosti otáčení .....	63
Obrázek 51 - Naměřený a výrobcem udávaný průběh momentu v závislosti na teplotě.....	64
Obrázek 52 – Změna tlumicího momentu v čase .....	65

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 – Nastavení přídatného dělení kroku .....	21
Tabulka 2 – Technické údaje ovladače krokového motoru MKP1 .....	23
Tabulka 3 – Technické údaje krokového motoru Z42LJ179 .....	24
Tabulka 4 – Technické údaje tenzometrického převodníku TZA14410 .....	29
Tabulka 5 – Výsledky měření tlumicího momentu v závislosti na rychlosti otáčení .....	62
Tabulka 6 – Výsledky měření tlumicího momentu v závislosti na teplotě.....	62



## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Elektrodokumentace

Příloha 2 – Kompaktní disk obsahující elektronickou verzi této práce a zdrojové kódy PLC programu a řídicí aplikace

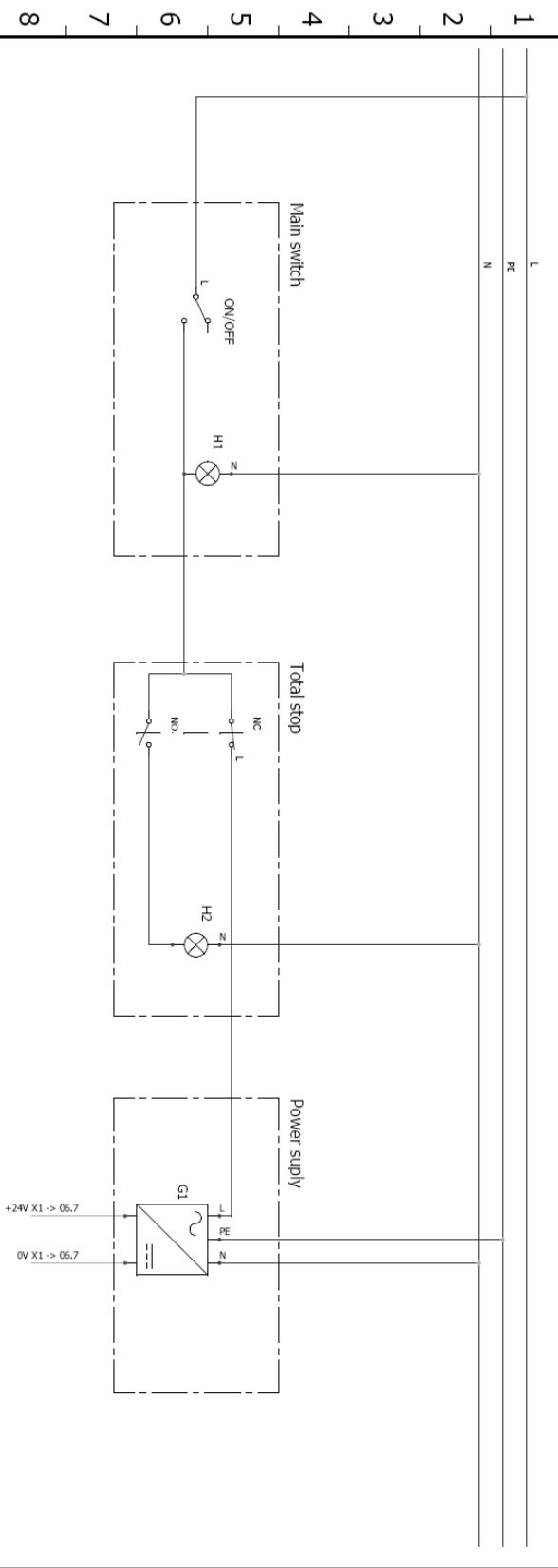


1-Document book									
Drawing	Function	Location	Revision	Date	Created by	Description	Folder designation		
01	F1	L1	0	13.02.2019	z_charous	Cover page			
02	F1	L1	0	13.02.2019	z_charous	Drawings list			
03	F1	L1	0	13.02.2019	z_charous	Line diagram			
04	F1	L1	0	20.03.2019	z_charous	Main switch + total stop			
05	F1	L1	0	21.03.2019	z_charous	Melsec FXN1			
06	F1	L1	0	19.03.2019	z_charous	X1 Terminal			
07	F1	L1	0	18.03.2019	z_charous	X2 Inputs			
08	F1	L1	0	18.03.2019	z_charous	X3 Outputs			
09	F1	L1	0	20.03.2019	z_charous	X4 Analog inputs			
10	F1	L1	0	20.03.2019	z_charous	X5 Supply terminals 3x			
11	F1	L1	0	20.03.2019	z_charous	X6 X7 Communication			
12	F1	L1	0	26.03.2019	z_charous	Stepper driver MKP1			
13	F1	L1	0	26.03.2019	z_charous	Signal convertor			

Zdeněk Charous Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky		Drawings list		Main electrical closet		REVISION 0	
CONTRACT:		LOCATION: L1		CHANGES		SCHEME 02	





1	L								
2	PE								
3	N								
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									

**Zdeněk Charous**  
 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
 Fakulta aplikované informatiky

**Main switch + total stop**

LOCATION: L1

Main electrical closet

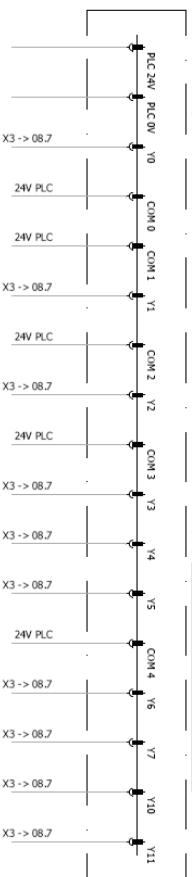
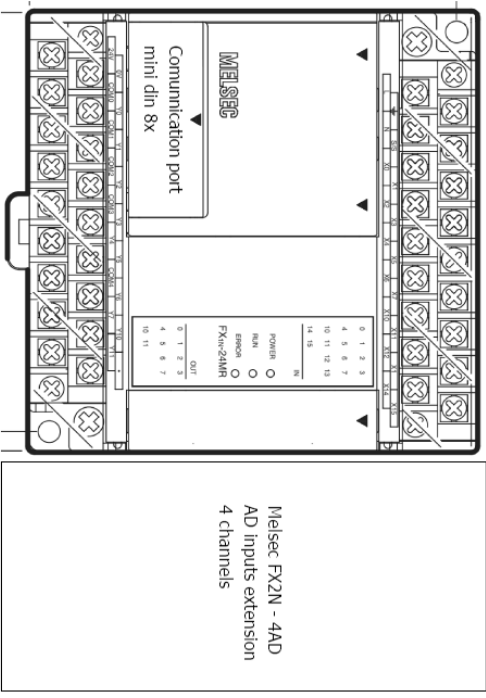
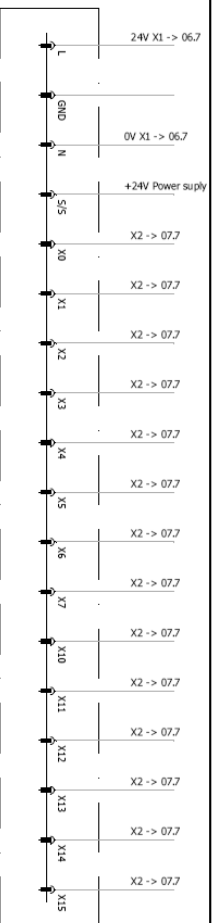
REV.	DATE	NAME	CHANGES
0	20.03.2019	Z. Charous	

REVISION: 04

CONTRACT: Projekt: Instalace elektrického systému - 23.44.0.2.20

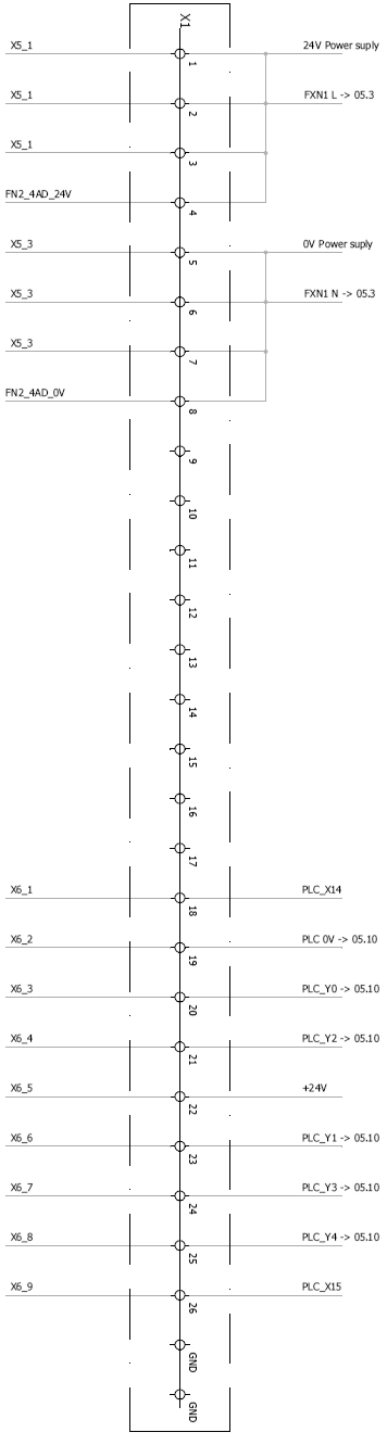
**DesignSpark Electrical**

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12



<b>Zdeněk Charous</b> Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky		<b>Melsec FX1N1</b> <b>Melsec FX2N-4AD</b>		REVISION <b>0</b>
CONTRACT:	LOCATION: L1	Main electrical closet		CHANGES
Zdeněk Charous Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky		REV.: 0	DATE: 21.03.2019	NAME: Z. Charous
DesignSpark Electrical		CHANGES		SCHEME <b>05</b>

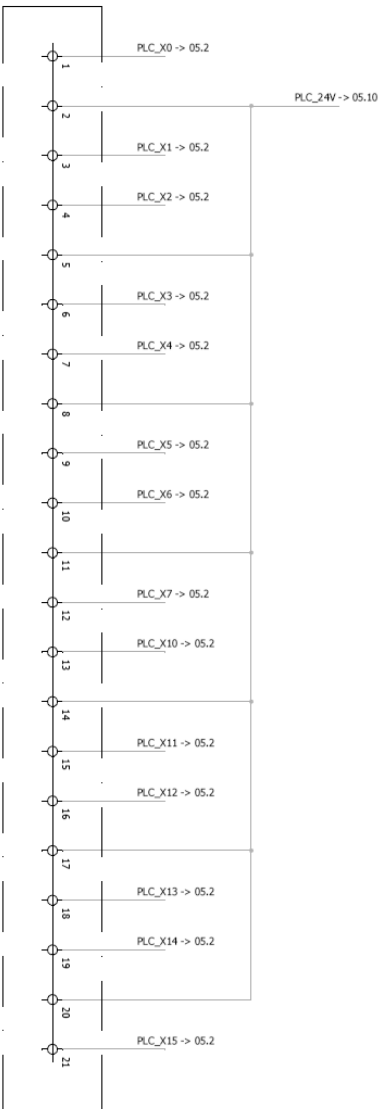
Contract number: 2344-0-23



1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12

<b>Zdeněk Charous</b> Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky		<b>X1 Terminal</b> Internal		Main electrical closet		REVISION <b>0</b>
CONTRACT: DesignSpark Electrical	LOCATION: L1	REV. 0 DATE 19.03.2019 NAME Z. Charous	CHANGES			SCHEME <b>06</b>

Document created by: 23.03.2019  
 DesignSpark Electrical

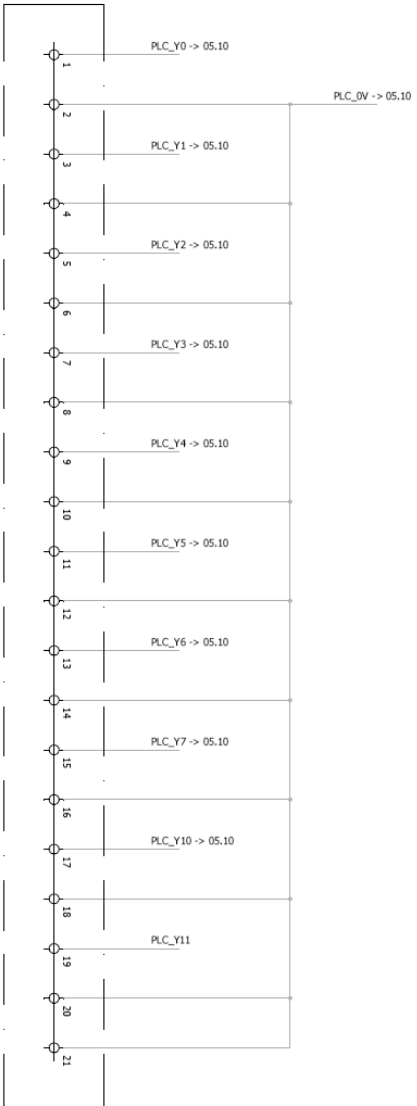


1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12

<b>Zdeněk Charous</b> Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky		<b>X2 Inputs</b> Front panel		REVISION <b>0</b>
CONTRACT: DesignSpark Electrical	LOCATION: L1	Main electrical closet	REV. DATE NAME	CHANGES
			0 18.03.2019 Z. Charous	
				07 SCHEME

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
 Fakulta aplikované informatiky  
 DesignSpark Electrical

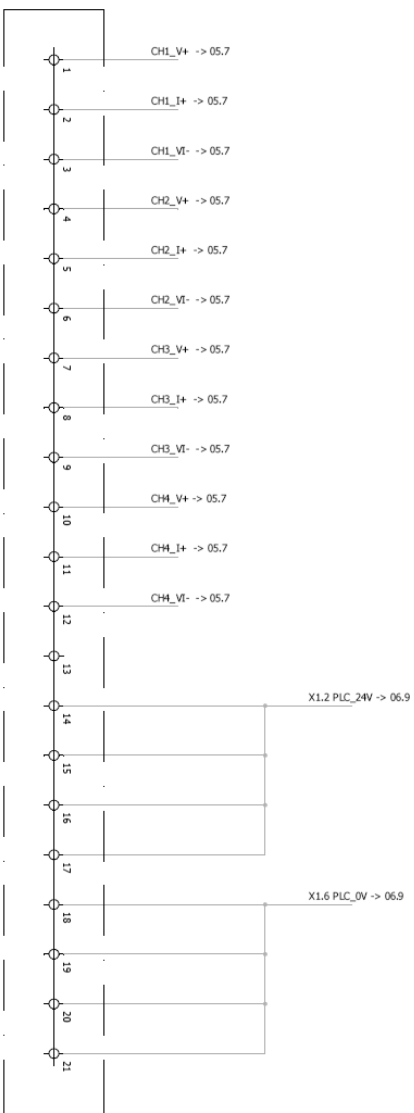




1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12

<b>Zdeněk Charous</b> Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky		<b>X3 Outputs</b> Front panel		REVISION <b>0</b>
CONTRACT: DesignSpark Electrical		LOCATION: L1		Main electrical closet
REV.	DATE	NAME	CHANGES	SCHEME
0	18.03.2019	Z. Charous		08

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
 Fakulta aplikované informatiky  
 DesignSpark Electrical

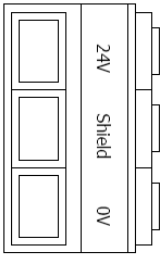
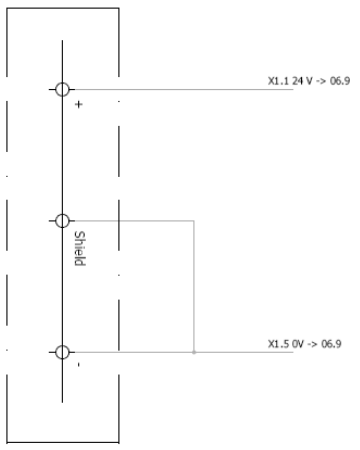


1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12

<b>Zdeněk Charous</b> Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky		<b>X4 Analog inputs</b> Front panel		Main electrical closet		REVISION <b>0</b>
CONTRACT: DesignSpark Electrical	LOCATION: L1	REV.: 0	DATE: 20.03.2019	NAME: charous	CHANGES	SCHEME <b>09</b>

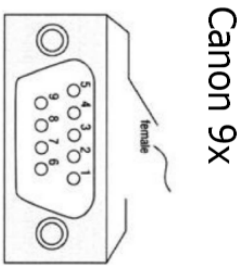
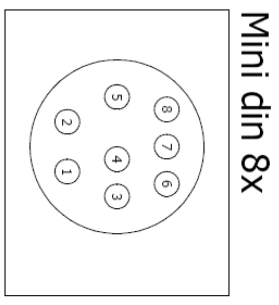
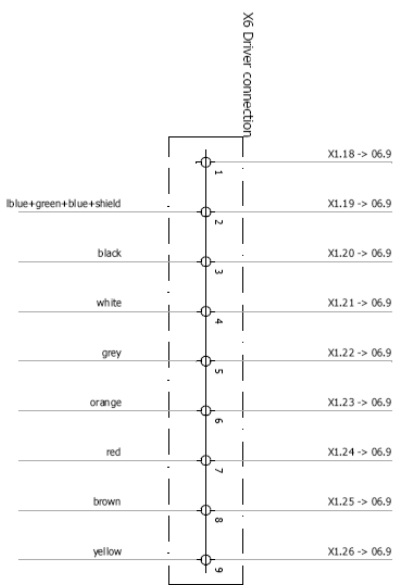
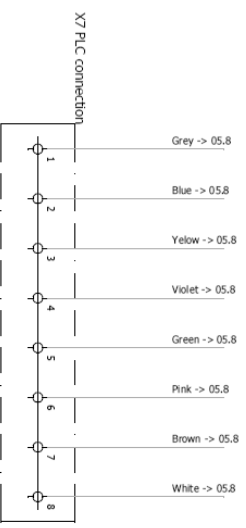
Project number: 2544-0-2-2  
 DesignSpark Electrical

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12



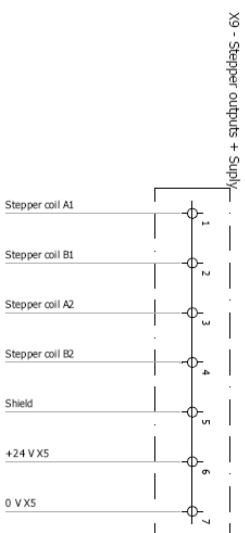
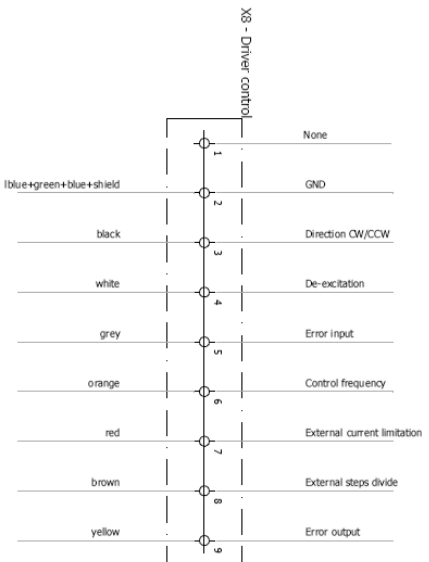
<b>Zdeněk Charous</b> Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky		<b>X5 Supply terminals 3X</b> Front panel		Main electrical closet		REVISION <b>0</b>
CONTRACT: DesignSpark Electrical	LOCATION: L1	REV. 0	DATE 20.03.2019	NAME Charous	CHANGES	SCHEME <b>10</b>

Project number: 2544-0-25  
 DesignSpark Electrical



<b>Zdeněk Charous</b> Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky		<b>X6, X7 Communication</b> Front panel		REVISION <b>0</b>	
CONTRACT:		LOCATION: L1		CHANGES	
DesignSpark Electrical		Main electrical closet		SCHEME <b>11</b>	

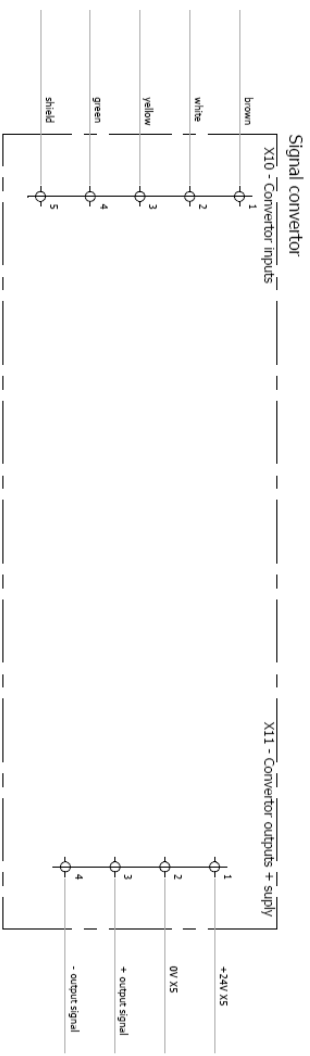
Revizní změny: 20.03.2019



1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12

<b>Zdeněk Charous</b> Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky		<b>Stepper driver MKP1</b>		REVISION <b>0</b>
CONTRACT:		LOCATION: L1		Main electrical closet
0 REV.		26.03.2019 DATE		Z. Charous NAME
CHANGES		CHANGES		12 SCHEME

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12



<b>Zdeněk Charous</b> Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky		<b>Signal convertor</b>		REVISION <b>0</b>
CONTRACT: DesignSpark Electrical	LOCATION: L1	Main electrical closet		CHANGES
0 REV.	26.03.2019 DATE	Z. Charous NAME		13 SCHEME

Project created at: 26.03.2019  
 DesignSpark Electrical