

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH A NEELEKTRICKÝCH VELIČIN NA
MOTOROVÝCH POHONECH SPÍNACÍCH PŘÍSTROJŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

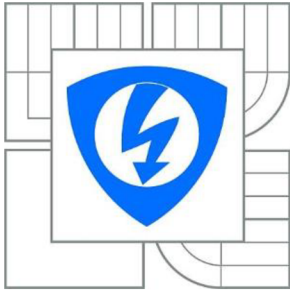
Dominik Pěček

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH A NEELEKTRICKÝCH VELIČIN NA MOTOROVÝCH POHONECH SPÍNACÍCH PŘÍSTROJŮ

MEASUREMENT OF ELEKTRICAL AND NONELECTRICAL QUANTITIES OF MOTOR DRIVE
FOR SWITCHGEAR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

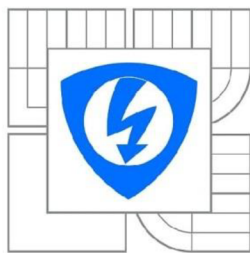
AUTHOR

DOMINIK PĚČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ VALENTA, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Dominik Pěček
Ročník: 3

ID: 153010
Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Měření elektrických a neelektrických veličin na motorových pohonech spínacích přístrojů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popište princip funkce a konstrukční řešení motorových pohonů pro ovládání jističe.
2. Popište princip měření elektrických a neelektrických veličin na konkrétním pohonu pro jednotlivé stavy.
3. Připravte měření na zadaném pohonu pro měření vybraných elektrických a neelektrických veličin.
4. Proveďte základní měření na pohonu dle pokynů vedoucího.
5. Výsledky vyhodnoťte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Havelka, O. a kol.: Elektrické přístroje, SNTL, 198
[2] Havelka, O. a kol.: Podklady a příklady pro navrhování elektrických přístrojů I, VUT v Brně, 1985

Termín zadání: 22.9.2014

Termín odevzdání: 2.6.2015

Vedoucí práce: Ing. Jiří Valenta, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá měřením elektrických a neelektrických veličin na motorovém pohonu MP-BD-X230. Úvodem je rozebrán přehled používaných pohonů u spínacích přístrojů a popsán jistič BD250. Dále je objasněno použití, základní podstata fungování a konstrukční řešení motorového pohonu MP-BD-X230. Následuje popis měřicího pracoviště a popis přístrojů, které budou k měření použity. Poté je popsán postup měření elektrických a neelektrických veličin spolu s vyhodnocením měření. Závěrem je popsán výpočet nejistot spolu s odkazem na výpočet nejistot pro jednotlivá měření a jsou zde také vyhodnoceny chyby měření.

Abstract

Bachelor's thesis deals with measurement of electrical and non-electrical quantities on motor drive MP-BD-X230. As an introduction the classification of drives for switchgear is analysed and circuit breaker BD250 is described. Thesis continues by explaining application, basic nature and design solution of motor drive MP-BD-X230. Another step is description of workplace and devices which will be used for measurement. Measurement procedure of electrical and non-electrical quantities is also carried out accompanied by evaluation of measurement. Final part of the work deals with calculation of uncertainty of measurements with a reference to each individual measurement calculation and also deals with determination of measurement errors.

Klíčová slova

pohony spínacích přístrojů; jistič BD250; motorový pohon MP-BD-X230; měření; síla; dráha; práce; nejistota měření

Keywords

drives for switchgear; circuit breaker BD250; motor drive MP-BD-X230; measurement; force; way; work; uncertainty of measurement

Bibliografická citace

PĚČEK, D. *Měření elektrických a neelektrických veličin na motorových pohonech spínacích přístrojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Valenta, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Měření elektrických a neelektrických veličin na motorových pohonech spínacích přístrojů* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

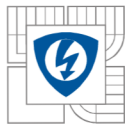
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Valentovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

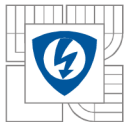
V Brně dne

Podpis autora



Obsah

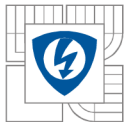
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
ÚVOD.....	12
1 POHONY SPÍNACÍCH PŘÍSTROJŮ.....	13
1.1 RUČNÍ POHONY	13
1.2 ELEKTROMAGNETICKÉ POHONY	13
1.3 PNEUMATICKÉ POHONY.....	14
1.4 MOTOROVÉ POHONY	14
2 JISTIČ BD250	15
3 MOTOROVÝ POHON MP-BD-X230.....	17
3.1 VNĚJŠÍ POPIS	19
3.2 VNITŘNÍ POPIS.....	20
3.2.1 OVLÁDACÍ OBVOD MP.....	20
3.2.2 ELEKTROMOTOR	21
3.2.3 PŘEVODOVKA	22
3.2.4 ROHATKA.....	22
4 MĚŘICÍ PRACOVNÍŠTĚ A POUŽITÉ PŘÍSTROJE	23
4.1 MĚŘICÍ PRACOVNÍŠTĚ.....	23
4.2 POUŽITÉ PŘÍSTROJE.....	24
4.2.1 SNÍMAČ SÍLY S2	24
4.2.2 MAGNETICKÝ SNÍMAČ A PÁSEK	25
4.2.3 MĚŘICÍ ÚSTŘEDNA	25
4.2.4 SOFTWARE CATMAN EASY.....	26
5 MĚŘENÍ NEELEKTRICKÝCH VELIČIN	27
5.1 POPIS MĚŘENÍ NEELEKTRICKÝCH VELIČIN	27
5.1.1 MĚŘENÍ VELIKOSTI SÍLY POHONU V ZÁVISLOSTI NA DRÁZE.....	27
5.1.2 MĚŘENÍ VELIKOSTI SÍLY POTŘEBNÉ PRO ZMĚNU POLOHY PÁKY JISTIČE	27
5.2 VÝSLEDKY MĚŘENÍ VELIKOSTI SÍLY POHONU V ZÁVISLOSTI NA DRÁZE.....	28
5.2.1 MĚŘENÍ VYPNUTO – ZAPNUTO	28
5.2.2 MĚŘENÍ ZAPNUTO – VYPNUTO	29
5.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ VELIKOSTI SÍLY POTŘEBNÉ PRO ZMĚNU POLOHY PÁKY JISTIČE	29
5.3.1 MĚŘENÍ VYPNUTO – ZAPNUTO	29
5.3.2 MĚŘENÍ ZAPNUTO – VYPNUTO	31
5.3.3 MĚŘENÍ TRIP – VYPNUTO	32
5.4 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ NEELEKTRICKÝCH VELIČIN.....	33
6 MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN.....	35



6.1 POPIS MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN	35
6.2 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN	36
7 NEJISTOTA MĚŘENÍ A CHYBY MĚŘENÍ.....	37
7.1 NEJISTOTA MĚŘENÍ.....	37
7.2 CHYBY MĚŘENÍ	38
8 ZÁVĚR	39
LITERATURA	41
PŘÍLOHY	42

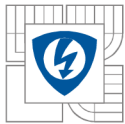
SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 2-1: Jistič BD250, modifikováno z [8].....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 3-1: Blokové schéma pro zálohování bez podélné spojky (vlevo) a s podélnou spojkou (vpravo), modifikováno z [10].....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 3-2: Motorový pohon MP-BD-X230-P, modifikováno z [7].....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 3-3: Blokové schéma MP, modifikováno z [6].....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 3-4: Schéma zapojení MP, modifikováno z [7].....</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 3-5: Znázornění principu převodovky, modifikováno z [3]</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 4-1: Měřicí pracoviště</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 4-2: Měřicí pracoviště</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 4-3: Magnetický snímač TMSL-05A-05 [17].....</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 4-4: Magnetická páska řady MT, modifikováno z [17]</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 4-5: Konfigurace měřicích přístrojů.....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 4-6: Grafické zpracování měření.....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 5-1: Závislost síly pohonu ze stavu Vypnuto – Zapnuto</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 5-2: Průběh vykonané práce pohonu ze stavu Vypnuto – Zapnuto</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 5-3: Síla potřebná pro změnu páky jističe z Vypnuto – Zapnuto</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 5-4: Průběh vykonané práce z Vypnuto – Zapnuto.....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 5-5: Síla potřebná pro změnu páky jističe z Zapnuto – Vypnuto</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 5-6: Průběh vykonané práce z Zapnuto – Vypnuto.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 5-7: Síla potřebná pro změnu páky jistoče z Trip – Vypnuto.....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 5-8: Průběh vykonané práce z Trip – Vypnuto</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 5-9: Porovnání sil pohonu a jističe pro stav Vypnuto – Zapnuto.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 5-10: Porovnání práce pohmu a jističe pro stav Vypnuto – Zapnuto.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 6-1: Schéma zapojení pro měření elektrických veličin</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 6-2: Průběh odebrané energie ze sítě při napájení MP ze stavu Zapnuto – Vypnuto ..</i>	<i>36</i>



SEZNAM TABULEK

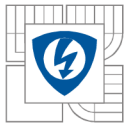
<i>Tabulka 2-1: Parametry jističe BD250, modifikováno z [7].....</i>	<i>15</i>
<i>Tabulka 3-1: Parametry pohonu MP-BD-X230, modifikováno z [7]</i>	<i>17</i>
<i>Tabulka 4-1: Parametry tenzometru S2, modifikováno z [15].....</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 5-1: Celková vykonaná práce pro jednotlivé stavy při měření neelektrických veličin..</i>	<i>33</i>



SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Popis	Jednotka
c	konstrukční konstanta stroje	-
ϕ	magnetický tok	Wb
I_a	proud kotvy	A
U	napětí	V
U_i	indukované napětí	V
M	moment	N·m
M_{red}	redukovaný moment	N·m
M_m	moment motoru	N·m
i	převod	-
ω	úhlová rychlost	rad·s ⁻¹
η_i	účinnost převodu	-
R_a	odpor kotvy	Ω
W	práce	J
F	síla	N
s	dráha	m
P	výkon	W
E	odebraná energie	J
T	třída přesnosti	-
M	hodnota nejvyššího měřicího rozsahu	N

Zkratka	Popis
OEZ	Orlické elektrotechnické závody
EMC	elektromagnetická kompatibilita
MP	motorový pohon
EP	elektrický pohon
tzv.	takzvaný
SS	stejnoseměrný
vn	vysoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí
PM	permanentní magnety
CAD	počítačem podporované kreslení



ÚVOD

V posledních letech vzrůstá poptávka po elektrické energii, která je nedílnou součástí lidských životů. Současně s ní také vzrůstají požadavky na bezpečnost, spolehlivost a ochranu elektrických zařízení.

Elektrické přístroje jsou speciální zařízení, která se snaží eliminovat vznik poruchových stavů jako jsou nadproudy, zkraty, přepětí či podpětí. Jejich hlavním cílem je ochrana před ohrožením zdraví osob, zvířat a majetku před zmíněnými poruchovými stavy a jsou nedílnou součástí každého elektrického obvodu.

Dojde-li v praxi k poruše na vstupu, například u velké výrobní haly či jiného průmyslového objektu, je zapotřebí co nejrychlejšího obnovení dodávky elektrické energie, aby vzniklé ekonomické ztráty byly co nejmenší. Toho se docílilo dálkovým ovládním příslušných elektrických přístrojů, což zajišťují tzv. jednotky dálkového ovládní neboli motorové pohony. Snahou výrobců při vývoji těchto pohonů, kromě co nejlepších technických vlastností, jako je doba zapnutí a vypnutí, bylo udělat tyto pohony z hlediska ovládní a montáže co nejjednodušší, aby nebylo zapotřebí žádných speciálních znalostí či montážních prostředků a zákazník si tak mohl vše obstarat sám.

Tato práce se zabývá popisem pohonů používaných u spínacích přístrojů, následně základní charakteristikou a popisem kompaktního jističe BD250. Dále popisem motorového pohonu MP-BD-X230, který patří mezi doplňkové příslušenství zmíněného jističe a následně měřením elektrických a neelektrických veličin na motorovém pohonu MP-BD-X230. Měření neelektrických veličin bylo rozšířeno o měření sil na páce jističe BD250 pro názornější vyhodnocení a porovnání výsledků měření. Závěrem byl proveden popis výpočtu nejistot s odkazem na výpočet u jednotlivých měření a určení chyb měření.

Motorové pohony jsou podřizovány několika zkouškám jako jsou např. zkoušky elektrické pevnosti, EMC zkoušky, zkoušky mechanické trvanlivosti pohonů a jiné. Měření elektrických a neelektrických veličin se dá také zařadit mezi zkoušky prováděné na motorových pohonech.

1 POHONY SPÍNACÍCH PŘÍSTROJŮ

Pohony, nacházející se u spínacích přístrojů, slouží ke zvýšení komfortu jejich obsluhy a ke zlepšení uživatelských vlastností. Jedná se o samostatné či vestavěné části, které mají za úkol dodat mechanickou energii pro pohyb spínacího systému. V dnešní době je většina pohonů modulární, což umožňuje rychlou montáž na přístroj či okamžitou výměnu při poruše. [1]

Podle použitého druhu hnací energie, lze rozdělit pohony na dva základní typy a to na pohony s elektrickými motory, tzv. elektropohony, které jsou definovány normou ČSN 34 5170 uvedené v [2] jako: „*Elektrický pohon je zařízení pro elektromechanickou přeměnu energie (včetně řízení této přeměny), které slouží k tomu, aby předepsaným způsobem uvedlo poháněný pracovní mechanismus nebo zpracovávanou látku do požadovaného pohybového stavu.*“ [2]. Druhým typem jsou pohony s neelektrickými motory např. pohony ruční, pneumatické, spalovací a jiné. [2]

Mezi hlavní přednosti elektrických pohonů oproti neelektrickým patří [3,4]:

- téměř okamžitá pohotovost nasazení, přičemž mohou být ihned plně zatěžovány,
- široké výkonové spektrum,
- široký rozsah momentů a otáček,
- jednoduché ovládání s dobrou říditelností mechanických veličin (moment, poloha, rychlost),
- relativně vysoká účinnost,
- snesou krátkodobé přetížení.

Samozřejmě elektrické pohony nejsou ideální a jsou i jisté nevýhody, které omezují jejich používání [3,4]:

- závislost na dodávce elektrické energie (výjimku tvoří pohony napájené z akumulátorů, ovšem tento způsob řešení také není výhodný, jelikož akumulátory jsou obvykle těžké, drahé a dosahují velkých rozměrů),
- vyžadují mechanický převod kvůli vysokým jmenovitým otáčkám,
- problémy s chlazením.

V praxi se nejčastěji využívají pro spínací přístroje následující pohony.

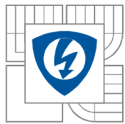
1.1 Ruční pohony

Ovládání i zdroj energie u ručních pohonů je zajištěn obsluhující osobou za pomoci ovládací hřídele. Ruční pohony patří mezi konstrukčně nejjednodušší, jedná se pouze o převodový mechanismus, který přeměňuje rotační pohyb na pohyb posuvný. [4]

Své využití naleznou například u pracovních strojů nebo u venkovních spínacích přístrojů [4].

1.2 Elektromagnetické pohony

Elektromagnetické pohony získávají energii z pohybujiícího se elektromagnetu, který přitahuje kotvu. Následný odpad kotvy zajišťují pružiny. Existují dva typy elektromagnetů



stejnoseměrný a střídavý. U stejnosměrného elektromagnetu, jehož magnetický obvod je tvořen z plného železa, závisí síla na velikosti vzduchové mezery. Síla vzrůstá s klesající vzduchovou mezerou. Výhoda u tohoto typu spočívá v tom, že při zapnutí nedochází k proudovému nárazu. Střídavý elektromagnet má magnetický obvod z plechů. Síla prakticky nezávisí na velikosti vzduchové mezery. Avšak při porovnání se silou vyvolanou stejnosměrným proudem, síla vyvolaná střídavým proudem pulsuje v čase s dvojnásobnou frekvencí sítě a dosahuje dvojnásobné velikosti. Nevýhodou je, že při zapnutí dochází k proudovému nárazu. [4]

Používají se u stykačů, relé nebo u jističů [4].

1.3 Pneumatické pohony

U pneumatických pohonů je zdrojem energie stlačený vzduch pohánějící píst ve válci. Jejich konstrukce je složitá, protože je zapotřebí zdroj stlačeného vzduchu (nejčastěji kompresor) a jeho následný rozvod. [4]

Používají se u starších typů odpojovačů a výkonových vypínačů vn a vvn [4].

1.4 Motorové pohony

Motorové pohony jsou tvořeny elektromotorem s velkým záběrným momentem, který je zdrojem energie. Tyto elektromotory jsou poměrně malé a dimenzované na krátkodobý chod. Napájení motorového pohonu je uskutečněno pomocí stejnosměrného napětí či síťového střídavého napětí. Pohyb vyvolaný motorem, je dále převáděn za pomoci převodovky buď do pružiny (střadačový pohon) a nebo přímo na kontaktní systém (přímý pohon). Ve střadačovém pohonu se energie akumuluje přímo v pružinách napínaných elektromotorem, popřípadě ručně pomocí klikového mechanismu. Pružina umožňuje mžikové spínání kontaktního mechanismu. Zapínací pružina zde hraje důležitou roli, proto je nutné, aby byla správně nadimenzována, jelikož vždy při svém pohybu napíná i vypínací pružinu. Motor tedy musí vyvinout vždy větší sílu, než by bylo zapotřebí k pouhému sepnutí spínacího přístroje, což je hlavní rozdíl oproti přímému pohonu, který ovládá přímo spínací přístroj. Samozřejmě konstrukce motorových pohonů pro jednotlivé typy spínacích přístrojů se liší, například pohony používané pro jističe nemají vypínací pružinu nebo pružiny u pohonů pro venkovní vypínače musí zvládnout funkci opětovného zapínání, kdy je zapotřebí dostatečného množství energie v pružině pro celý cyklus Vypnout – Zapnout – Vypnout, při kterém dochází k uvolňování energie postupně a nebo je použito více pružin. [4]

Motorové pohony se používají u výkonových vypínačů vn a vvn, jističů a odpínačů vn [4].

2 JISTIČ BD250

Jistič BD250 je elektrický přístroj, který slouží ke spínání a rozepínání silového obvodu, ale zároveň také obvod jistí proti přetížení či zkratu. Chrání zařízení před tepelnými a silovými účinky nadproudu. Používá se ve střídavých obvodech. [5,6]

Dřívější typy jističů obsahovaly časově závislou nadproudovou tepelnou spoušť tvořenou bimetalem a časově nezávislou elektromagnetickou zkratovou spoušť. Moderní jistič BD250 místo klasických spouští obsahuje elektrickou nastavitelnou nadproudovou spoušť typu D - distribuční. Tento typ se používá pro jištění transformátorů a vedení. Mezi hlavní výhody spouště D patří jejich výrobcem speciálně tvarovaná vypínací charakteristika, která umožňuje optimální zatěžování distribučních transformátorů až do 1,5 násobku jejich jmenovitého proudu a také fakt, že spoušť je tvořena samostatným blokem, který je možný kdykoliv dle potřeby či při poruše vyměnit za jinou spoušť jiného typu a o jiném rozsahu. [5,6]

Základní parametry jističe BD250 jsou uvedeny v tabulce 2-1.

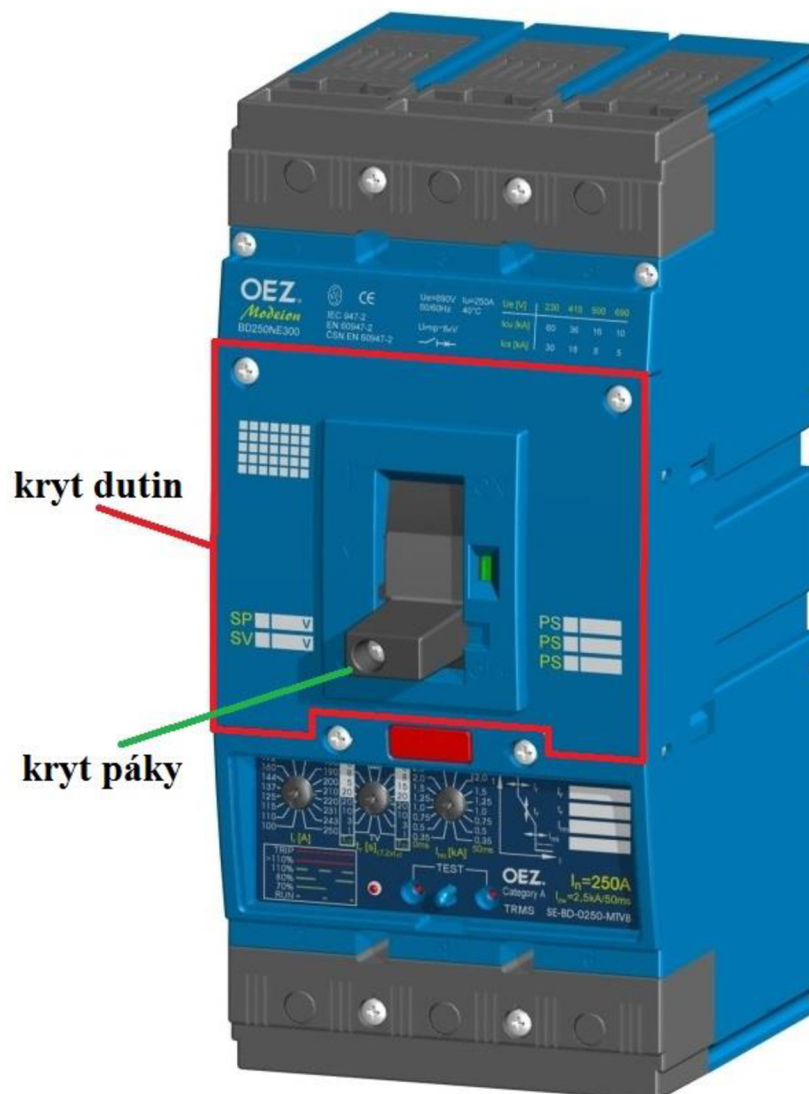
Jistič rozeznává dle pozice páky 4 základní stavy [6]:

- Poloha Zapnuto – jištěný obvod je sepnut. Obvodem protéká proud, jehož velikost nepřesahuje jmenovitou hodnotu. Při překročení jmenovité hodnoty (nadproud, zkrat) či při zapůsobení jedné z volitelných spouští (podpěťová či napěťová) jističe dojde k rozpojení obvodu jističem.
- Poloha Vypnuto – jistič nejistí daný obvod. Poloha, která nastane při záměrném vypnutí obsluhou (pomocí MP či ručně stažením páky).
- Poloha Trip – stav, kdy byl jistič vypnut poruchou.
- Poloha Reset – poloha sloužící k natažení jističe, pokud došlo k jeho vybavení vlivem poruchy. Nachází se mírně za polohou Vypnuto.

Tabulka 2-1: Parametry jističe BD250, modifikováno z [7]

Parametry jističe BD250N/BD250S	
Jmenovitý pracovní proud	100 A, 160 A, 200 A, 250 A
Jmenovitý trvalý proud	250 A
Jmenovité pracovní napětí	690 V a.c.
Jmenovitý kmitočet	50/60 Hz
Kategorie užití (režim spínání) / 690 V a.c.	AC-23B
Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost / 230 V	60 kA/100 kA
Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost / 400 V	36 kA/65 kA
Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost / 500 V	16 kA/25 kA
Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost / 690 V	10 kA/13 kA
Jmenovitá zkratová zapínací schopnost / 415 V a.c.	75 kA/140 kA
Počet pólů	3, 4
Ovládací síla	80 N

Montáž MP se provede po sejmutí krytu dutin a krytu páky pro ruční ovládání jističe, pod kterým se nachází páka pro ovládání pomocí MP. Oba kryty jsou znázorněny na obrázku 2-1. Kombinace MP s jističem se využívá především v nejnáročnějších aplikacích průmyslu, kde je zapotřebí automatizovaného a bezobslužného provozu elektrických zařízení. [1]



Obrázek 2-1: Jistič BD250, modifikováno z [8]

3 MOTOROVÝ POHON MP-BD-X230

MP slouží k dálkovému zapínání a vypínání jističe a může být namontován na jistič dvojitým způsobem. Buď se jedná o přímou montáž na páku (čelní pohon) jističe nebo se MP namontuje vedle jističe, potom se jedná o boční provedení (boční pohon). Samotný princip ovládání páky jističe je také dvojitý. Prvním typem provedení je pružinový střadač, který se nachází v MP-BD-X230. Princip pružinového střadače spočívá v tom, že nejdříve elektromotor nastřádá energii do pružiny a následně dojde k zapnutí jističe. Druhým typem provedení je přímý pohon. Tento typ pohonu zapíná nebo vypíná jistič ihned, tedy nestřádá energii do střadače.

Volba MP závisí na jeho parametrech a náročnosti jeho aplikace. Pro správnou volbu MP potřebuje projektant znát několik základních parametrů. Jedním z nich je velikost ovládacího napětí. Kromě toho, je nutné dodržet doporučené délky ovládacích impulsů a respektovat reakční časy (čas zapnutí a vypnutí jističe pomocí MP a čas do natažení MP). Délka reakčních časů je dána způsobem, jakým je daný jistič vypnut (pomocí nadproudové spouště, pomocné spouště či přímo samotným MP). Všechny tyto informace jsou uvedeny v katalogu přímo výrobcem a projektant je potřebuje znát, aby byl schopen správně navrhnout ovládací obvod MP, například je-li požadavek na automatické připojení zdroje k obvodu. [9]

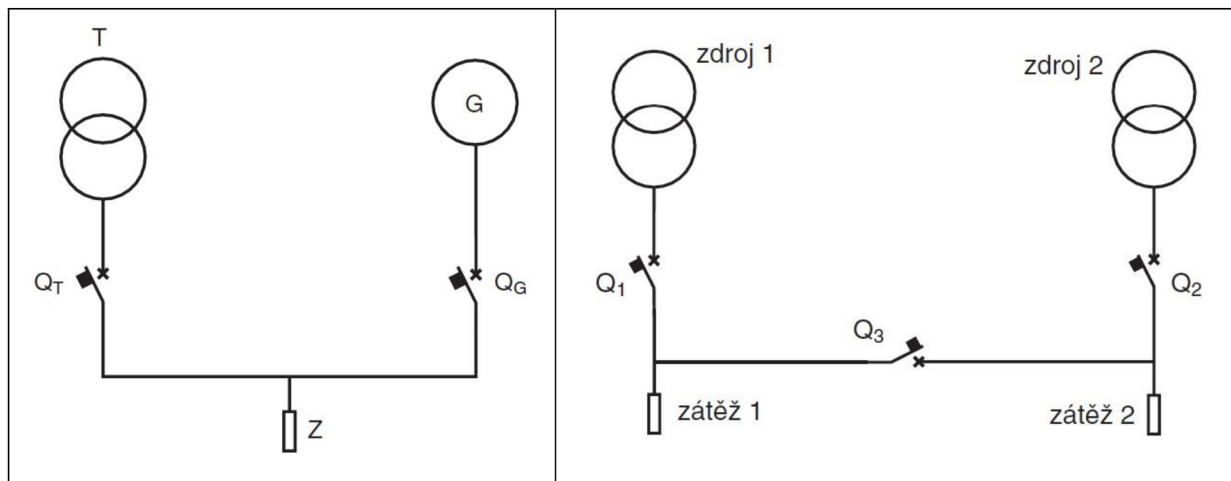
Motorový pohon MP-BD-X230 je charakterizován katalogovými hodnotami uvedených v tabulce 3-1.

Tabulka 3-1: Parametry pohonu MP-BD-X230, modifikováno z [7]

Parametry pohonu MP-BD-X230		
Pracovní napětí	U_e	230 V a.c.
		220 V d.c.
Jmenovitý kmitočet	f_n	50 Hz
Délka ovládacího impulsu	pro zapnutí	20 ms ÷ 700 ms
	pro vypnutí	400 ms ÷ ∞
Čas do zapnutí	t_z	< 50 ms
Čas do vypnutí	t_v	800 ms
Četnost cyklů	ZAP/VYP	3 cykly/min
Četnost cyklů - bezprostředně za sebou	ZAP/VYP	10 cyklů
Mechanická trvanlivost		30 000 cyklů
Příkon	AC	100 VA
	DC	100 W
Jmenovitý pracovní proud přepínače AUTO/MANUAL	I_e/U_e	5 A/250 V a.c.
		0,5 A/250 V d.c.
Propojovací kabel		OB-BHD-KA02
Počet vodičů	n	12
Průřez vodičů	S	0,35 mm ²
Délka vodičů	l	0,6 m

Pomocí motorového pohonu můžeme ovládat jistič jak ručně (při výpadku napájení), tak i dálkově pomocí elektrických impulsů, což je hlavní důvod proč si ho zákazníci pořizují. Při tomto způsobu ovládání je zapotřebí přivést na výstupní svorky pohonu napájení a to stejnosměrné 220 V, či síťové 230 V o frekvenci 50 Hz. Avšak v praxi může nastat situace, během které může dojít k výpadku napájení. Tuto situaci lze řešit dvěma způsoby. Jedním z nich je pořízení si záskokového automatu, který zajišťuje automatické a bezpečné řízení přepínání dvou zdrojů do zátěže. Zálohování je zajištěno z transformátorů či generátoru.

Jakmile je záložní zdroj připravený, automat je schopen provést záskok za 0,8 s. Automaty také umožňují i manuální ovládání, kdy spínání zdrojů provádí obsluhující osoba. Samotné spínání zdrojů zajišťují jističe, které jsou kvůli bezpečnosti blokovány podpěťovými spouštěmi. Přepínání dvou zdrojů do jedné zátěže je uskutečněno bez podélné spojky, jestliže je požadavek na přepínání do dvou zátěží, potom je přepínání zajištěno pomocí podélné spojky. Oba případy jsou znázorněny na obrázku 3-1, kde Q představuje jistič, který spíná zdroj. [10,11]



Obrázek 3-1: Blokové schéma pro zálohování bez podélné spojky (vlevo) a s podélnou spojkou (vpravo), modifikováno z [10]

Mezi hlavní požadavky, kladené na záskokové automaty, patří dodávka elektrické energie bez dlouhodobých výpadků a vyhodnocení stavu zdroje. Při zjištění poruchy jednoho zdroje musí proběhnout jeho odpojení a následně sepnutí druhého zdroje v co nejkratším možném čase. Dále je kladen důraz na zajištění bezpečnosti provozu. Záskokový automat nesmí sepnout oba zdroje současně či sepnout zdroj, jestliže došlo v obvodu k vypnutí přetížením nebo zkratem. Podstatná je i správná konfigurace četnosti spínání, aby nedocházelo ke spínání záskoků během krátkodobých výpadků či při poklesu napětí. Samotné napájení automatů může být realizováno z aktivního zdroje nebo ze záložního zdroje. Při napájení z aktivního zdroje není zapotřebí dalšího záložního napájení. Napájení automatu se vždy automaticky přepne do zdroje, kterým je zrovna napájena zátěž. Jsou-li oba aktivní zdroje mimo provoz, automat není napájen, tudíž není možné ani jeho nastavování či odečítání dat. Jakmile se na jednom ze zdrojů objeví napětí, automat sepne, po dosažení požadovaných parametrů, zdroj. Pokud užití automatu v daném místě vyžaduje aktivitu i při výpadku obou zdrojů, potom řešení nabízí právě záložní zdroj. [10,11]

Druhým způsobem řešení je mechanický přepínač režimů pohonu, nacházející se na čelním panelu, pomocí kterého můžeme pohon při výpadku napájecího napětí přepnout z režimu AUTO na režim MANUAL. V režimu MANUAL je zapotřebí mechanického ovládání MP, aby došlo k natažení střadače. To se provede pomocí výklopné rukojeti. Po natažení střadače lze jistič znovu zapnout zeleným tlačítkem, popřípadě vypnout červeným TEST tlačítkem. Obě tlačítka i výklopná rukojeť se nachází na čelní ploše izolačního krytu, jak ukazuje obrázek 3-2. V režimu MANUAL je funkce dálkového zapnutí blokována, ale funkce dálkového vypnutí je z bezpečnostních důvodů aktivní. Kromě výpadku napájecího napětí se tento režim používá také při nutných opravách či revizích, kdy je možné uzamknout MP ve vypnuté poloze až třemi visacími zámky o průměru třmenu 4,3 mm a tím zamezit vzniku škody či újmě na zdraví, ke které by mohlo dojít vlivem zapůsobení automatiky s nesystémovým zásahem. [7,9]

Za běžného provozu je pohon v režimu AUTO, ve kterém je pohon ovládán dálkově pomocí ovládacích tlačítek připojených na konektor pohonu. Tento režim vyžaduje napájecí napětí. Zeleným zapínacím tlačítkem je možné jistič zapnout a červeným tlačítkem TEST vypnout. Není tedy zapotřebí manuálního natahování střadače. [7]

3.1 Vnější popis

Samotný pohon a jeho čelní panel je znázorněn na obrázku 3-2.



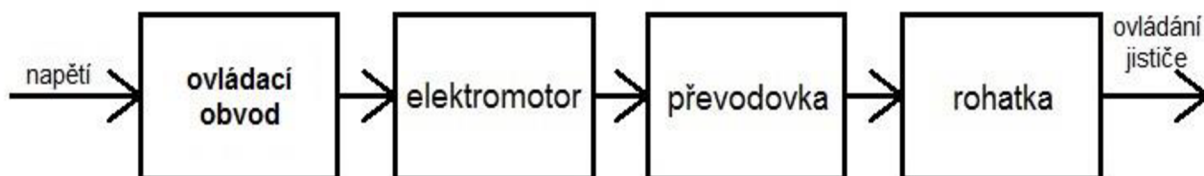
Obrázek 3-2: Motorový pohon MP-BD-X230-P, modifikováno z [7]

- 1) Výklopná rukojeť
- 2) Ukazatel stavu střadače
- 3) Přepínač režimů MANUAL/AUTO
- 4) Zámek
- 5) TEST (vypínací) tlačítko
- 6) START (zapínací) tlačítko
- 7) Ukazatel polohy páky jističe

Poznámka: Na obrázku 3-2 je pohon MP-BD-X230-P. Měření bylo provedeno na pohonu MP-BD-X230. Parametry ani vzhledově se dané pohony neliší, písmeno P znamená počítadlo cyklů, které pohon MP-BD-X230 nemá.

3.2 Vnitřní popis

MP se dá v režimu AUTO považovat za měnič energie. Uvnitř pohonu dochází k přeměně elektrické energie na energii mechanickou. Z hlediska konstrukčního řešení, lze pohon rozdělit na 4 základní části tak, jak znázorňuje obrázek 3-3. [6]



Obrázek 3-3: Blokové schéma MP, modifikováno z [6]

3.2.1 Ovládací obvod MP

Ovládací obvod MP je znázorněn na obrázku 3-4, jedná se o znázornění doporučeného zapojení ovládacích obvodů. Napětí potřebné pro napájení MP se přivede na svorky L+ a –N. Požadovaná činnost je uskutečněna napěťovým pulsem přivedeným na vstupní pin ON nebo OFF po dostatečně dlouhou dobu. Stisknutím tlačítka ON nebo OFF vykoná pohon požadovanou činnost. [6] Tlačítkem ON je ovládána zapínací cívka, která slouží k uvolnění střadače a následnému zapnutí jističe v čase do 50 ms. Pomocí tlačítka OFF je ovládána vypínací cívka s vypínací schopností do 800 ms. Pro urychlení je možné použít kombinaci MP s podpěťovou či napěťovou spouští. Na vstupu ovládacího obvodu se dále nachází jistič J MP. [7,9]

MP rozeznává pouze dvě stabilní polohy. V první poloze je jistič zapnutý. Jestliže je jistič vypnut v automatickém režimu ovládání MP nadproudovou či pomocnou spouští, TEST tlačítkem nebo vypínacím tlačítkem dojde k automatickému natažení pružinového střadače impulsem vygenerovaného z jističe pomocí spínače S. Spínač S zajišťuje automatické střádání pohonu. Jedná se o externí spínač, který není součástí dodávky. Jestliže spínač S není sepnutý, po vypnutí jističe pohon čeká na impuls od spínače S. Po přivedení impulsu je pohon nastřádan (jistič natažen) a přichystaný jistič zapnout. Bez nastřádaného pohonu by nebylo možné jistič zapnout. Ve druhé poloze je jistič vypnutý a pohon připravený, po přivedení ovládacího impulsu, jistič zapnout. Bohužel u tohoto typu MP není možná předvolba režimu současného střádání i zapnutí. Sekce K slouží k připojení ovládacích obvodů. [7,9]

Dále je na obrázku 3-4 zakreslen blok MP, kde je elektromotor spojený s převodovkou. O jednotlivých součástech téhle kombinace je pojednáno v dalších podkapitolách. Spínač S5 nám signalizuje režim, ve kterém pohon v daný moment pracuje. NO-C představuje režim AUTO, NC-C potom režim MANUAL. Na žádost zákazníka je výrobce schopen vyrobit spínač, který bude signalizovat stav střadače. Jak uvádí tabulka 3-1, mechanická trvanlivost pohonu je 30 000 cyklů. Pohon tak může být vybaven elektromechanickým počítadlem pracovních cyklů PC s možností připojení do sekce KPC, díky kterému bude mít uživatel přehled o jeho mechanickém stavu. [7,9]

SS motor s PM má konstantní magnetický tok, jehož velikost závisí na použitém typu magnetů a samotné konstrukci magnetického obvodu. Otáčky SS motoru lze měnit pouze změnou napětí kotvy. [13]

Pro obvod kotvy platí v ustáleném stavu rovnice rovnováhy elektrického napětí [13]:

$$U = R_a \cdot I_a + c \cdot \phi \cdot \omega \quad (2.3)$$

3.2.3 Převodovka

Převodovka je strojní zařízení, která v kombinaci s elektromotorem představuje hnací jednotku mající za úkol redukci otáček a zároveň zvětšení točivého momentu. Jinými slovy řečeno, jejím cílem je přeměna rotačního pohybu o vysokých otáčkách a malém momentu vytvořeného motorem na nižší otáčky, ale o větším momentu. [6]

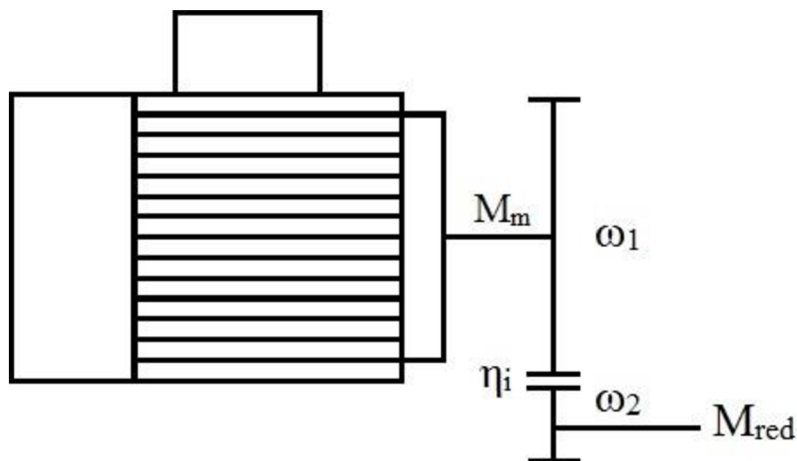
Převodovka je tvořena ozubenými koly, které převádějí točivý pohyb a přenáší mechanickou energii. Nejčastěji jsou tvořeny z oceli. Převodovka je charakterizována účinností η_i a převodovým poměrem i , který se určí jako poměr vstupní otáčiví rychlosti ω_1 ku výstupní otáčivé rychlosti ω_2 . Je-li $i > 1$, jedná se o převod dorychla, v opačném případě se jedná o převod dopomala. [3]

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (2.4)$$

Redukovaný (přepočítaný) moment se určí pomocí vztahu [3]:

$$M_{red} = M_m \cdot \frac{1}{i} \cdot \frac{1}{\eta_i} \quad (2.5)$$

Pro lepší představu je vše znázorněno na obrázku 3-5.



Obrázek 3-5: Znázornění principu převodovky, modifikováno z [3]

3.2.4 Rohatka

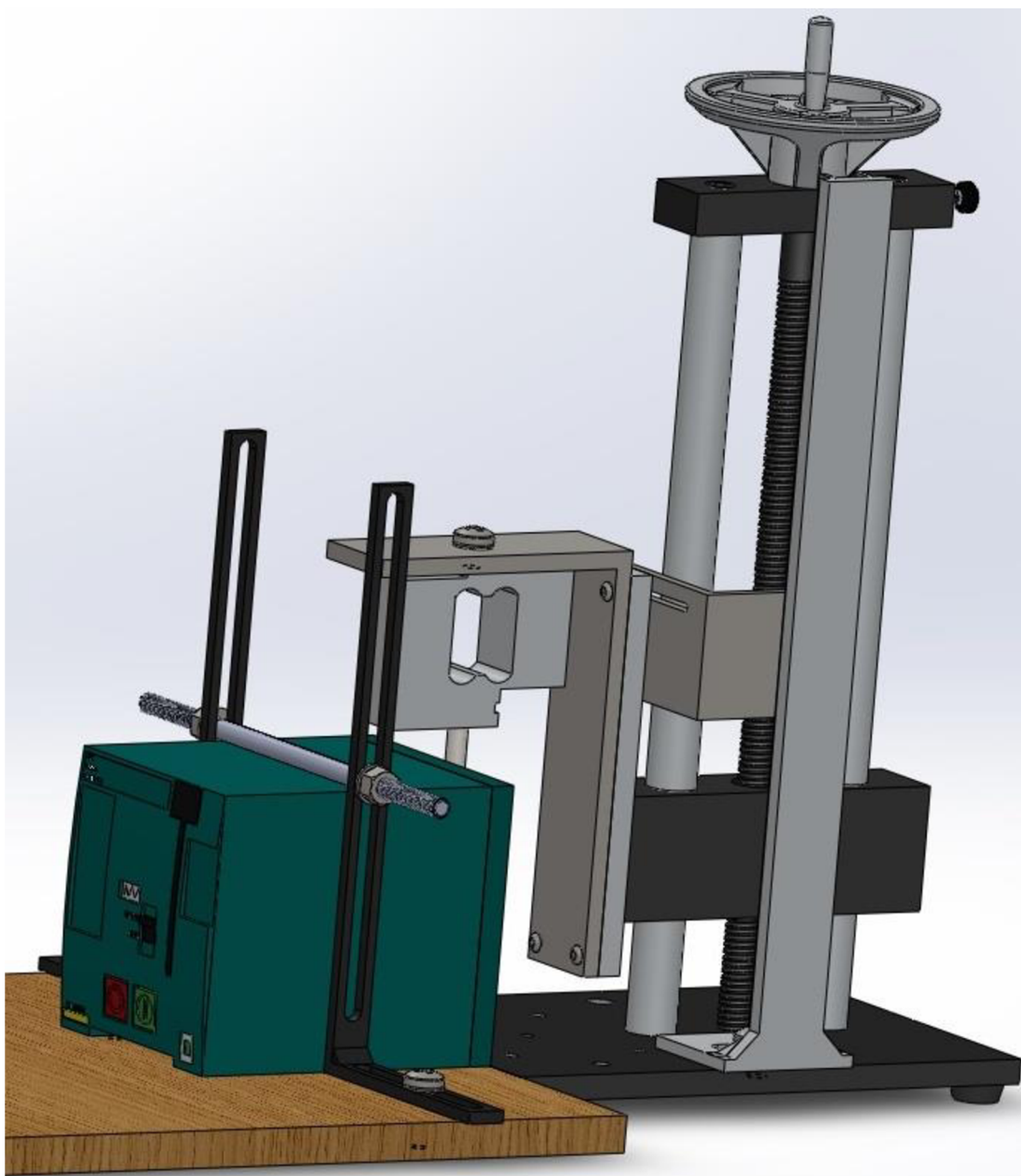
Rohatka spolu se západkou tvoří mechanismus, který slouží k přeměně rotačního pohybu na výstupu z převodovky. Tento pohyb je přeměněn na pohyb posuvný, pomocí kterého je uveden do pohybu tzv. most, který je v kontaktu s pákou jističe. Západka zde plní funkci blokovacího ústrojí. [6]

4 MĚŘICÍ PRACOVISTĚ A POUŽITÉ PŘÍSTROJE

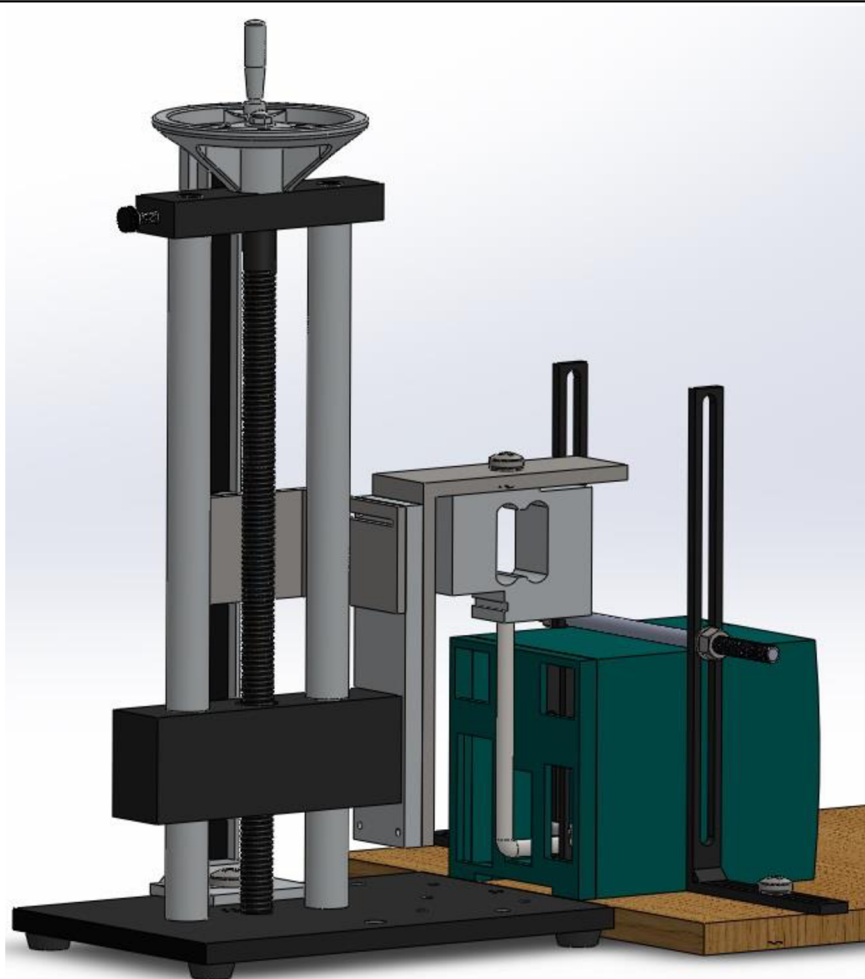
Měření elektrických a neelektrických veličin se uskutečnilo na měřicím pracovišti znázorněného na obrázku 4-1 a obrázku 4-2. Fotodokumentace reálného měřicího pracoviště je potom uvedena v příloze 2. Měření bylo uskutečněno pomocí přístrojů uvedených v podkapitole 4.2.

4.1 Měřicí pracoviště

Model měřicího pracoviště, znázorněného na obrázku 4-1 a obrázku 4-2, byl vytvořen programem Solidworks. Jedná se o 3D CAD systém pro navrhování modelů a výrobků.



Obrázek 4-1: Měřicí pracoviště



Obrázek 4-2: Měřicí pracoviště

4.2 Použité přístroje

Pro uchycení níže uvedených přístrojů ke stojánku řady SLJ s nastavitelnou výškou, bylo zapotřebí navrhnout mechanické díly. Výkresová dokumentace těchto dílů je uvedena v příloze 1.

4.2.1 Snímač síly S2

Pro měření síly bude použit snímač síly – tenzometr typu S2, jehož základní parametry jsou uvedeny v tabulce 4-1.

Tenzometr je zařízení, které slouží k nepřímému měření mechanického napětí v závislosti na deformaci materiálu tahem nebo tlakem. Samotný princip snímače je založen na poznatku, že vlivem zatížení dochází k deformaci a následně ke změně elektrického odporu vodiče. Tato změna je lineárně úměrná vzhledem k deformaci materiálu. [14]

Tabulka 4-1: Parametry tenzometru S2, modifikováno z [15]

Tenzometr S2		
Jmenovitá síla	F_{nom}	200 N
Třída přesnosti	T	0,05
Maximální síla	F_G	150 %
Absolutní chyba	Δ	0,15

4.2.2 Magnetický snímač a pásek

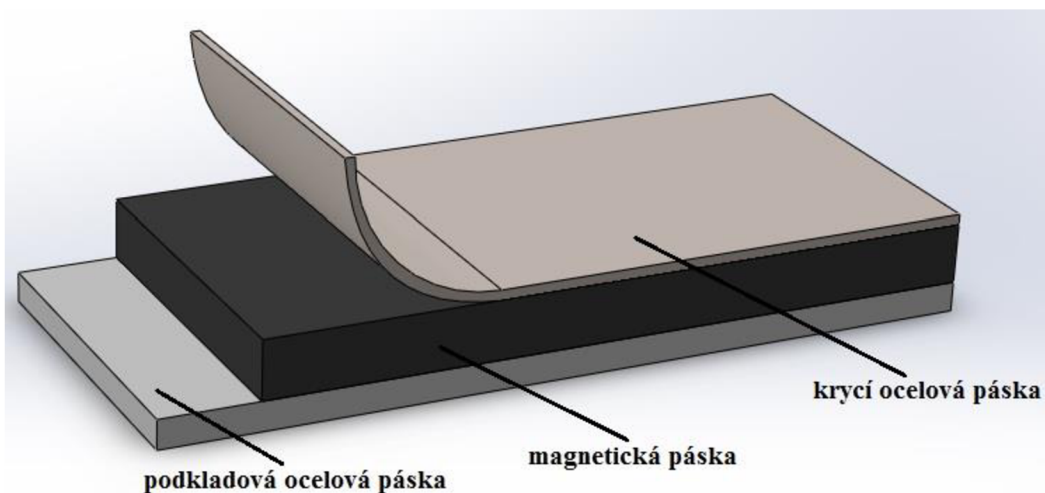
Měření polohy bude zajišťovat kombinace magnetického snímače TMSL-05A-05 a magnetického pásku TM-05-02 umístěného v ochranném hliníkovém profilu AP-02.

Princip magnetického snímače spočívá v detekci změny polarity magnetického pole permanentního magnetu snímaného Hallovým snímačem. Kromě Hallového snímače obsahuje také vyhodnocovací elektroniku. Magnetické snímače se používají pro měření lineárního posunutí v rozsahu nula až několik desítek metrů nebo také pro měření úhlové výchylky. [16]



Obrázek 4-3: Magnetický snímač TMSL-05A-05 [17]

Magnetický pásek představuje permanentní magnet, na kterém pravidelně dochází ke střídání severního a jižního pólu, díky čemu se v pohybujiícím se snímači generuje střídavý impulsní nebo analogový elektrický signál. Tyto signály umožňují měření relativní polohy s přesností až 5 μm . Dále také umožňují měřit rychlost pohybu, která je vyhodnocena na základě rychlosti pohybu periody střídání impulsů. Přesnost této metody závisí na velikosti plošek pólů střídajících se na pásce. [16]



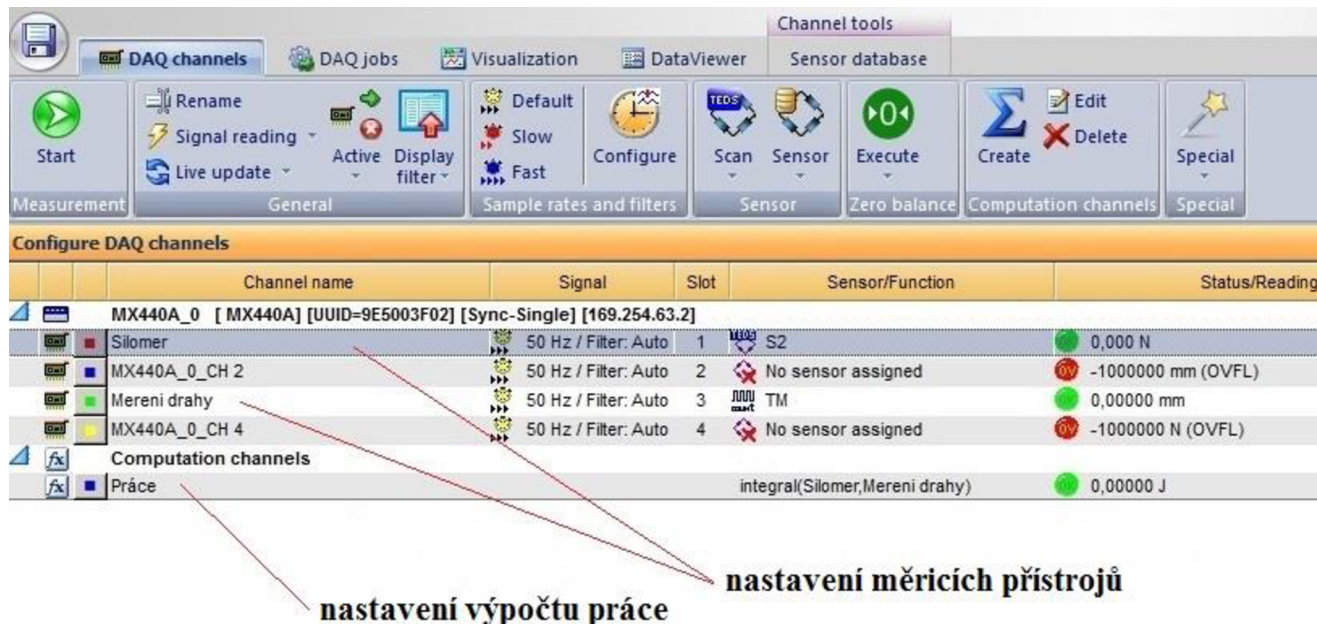
Obrázek 4-4: Magnetická páska řady MT, modifikováno z [17]

4.2.3 Měřicí ústředna

Všechny získané signály bude zapotřebí zpracovat a vyhodnotit. K tomu bude sloužit měřicí ústředna QuantumX MX440a, která bude připojena na notebook, kde bude vytvořeno speciální vyhodnocovací okno pomocí softwaru catman Easy.

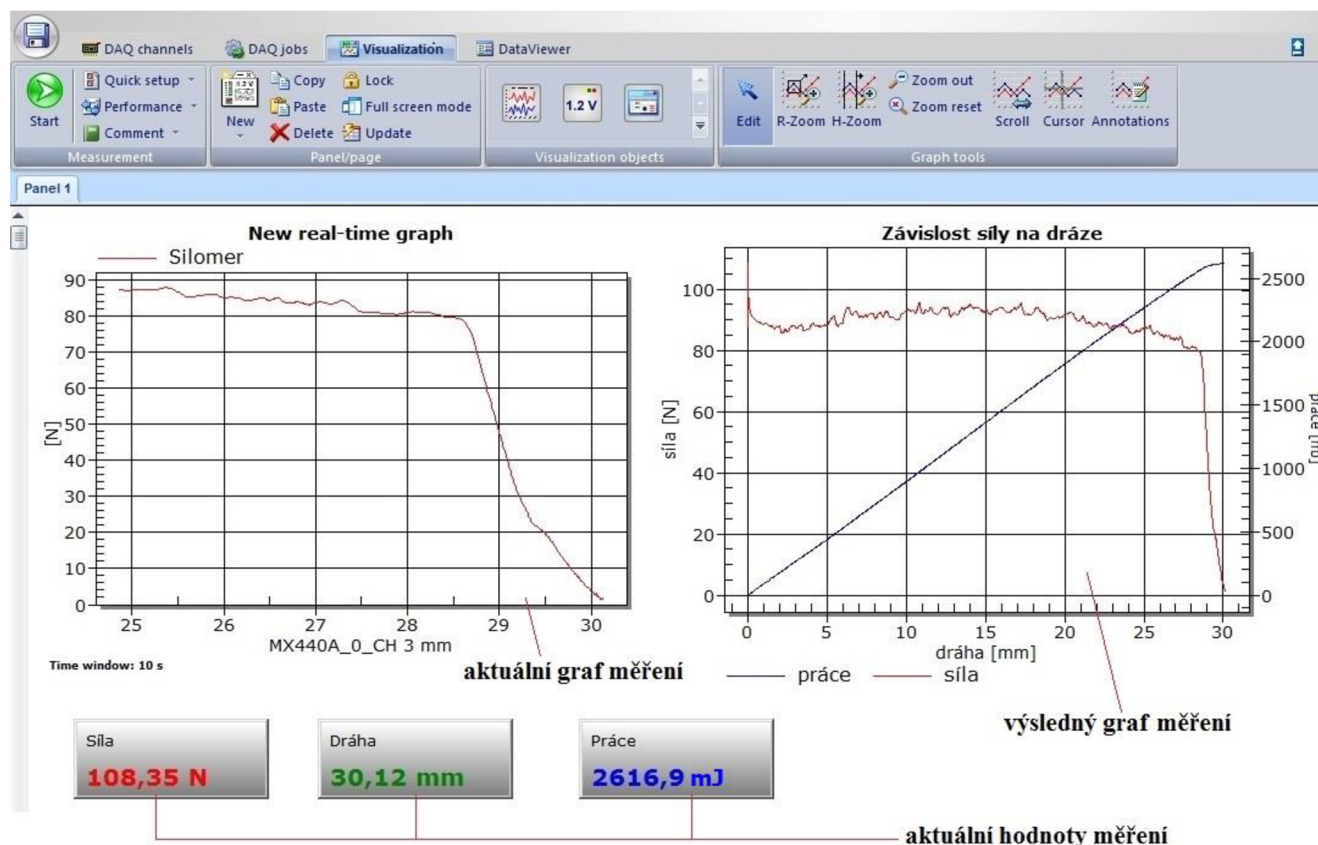
4.2.4 Software catman Easy

Software catman Easy od firmy HBM umožňuje a zjednodušuje získávání, vizualizaci a analýzu měřených dat. Na obrázku 4-5 je vidět základní nastavení a připojení měřicích přístrojů k měřicí ústředně QuantumX MX440a.



Obrázek 4-5: Konfigurace měřicích přístrojů

Na obrázku 4-6 je znázorněno grafické zpracování měření.



Obrázek 4-6: Grafické zpracování měření

5 MĚŘENÍ NEELEKTRICKÝCH VELIČIN

Cílem měření neelektrických veličin bude:

- a) Změřit velikost síly, kterou vyvine pohon v závislosti na dráze ze stavu,
 - a. Vypnuto – Zapnuto,
 - b. Zapnuto – Vypnuto,
- b) Změřit velikost síly, potřebnou pro změnu polohy páky jističe ze stavu,
 - a. Vypnuto – Zapnuto,
 - b. Zapnuto – Vypnuto,
 - c. Trip – Vypnuto.

Kromě změřené síly a dráhy, bude vypočítán a graficky znázorněn průběh mechanické práce. Výpočet automaticky provádí software catman Easy po předchozím nastavení. Jelikož síla, kterou vyvíjí pohon či páka jističe není konstantní, není možné použít vztah:

$$W = F \cdot s \quad (5.1)$$

Vzhledem k měnící se síle, je třeba práci vypočítat pomocí integrálu:

$$W = \int_{s_1}^{s_2} F ds \quad (5.2)$$

5.1 Popis měření neelektrických veličin

Jednotlivá měření neelektrických veličin byla provedena následujícím způsobem.

5.1.1 Měření velikosti síly pohonu v závislosti na dráze

Při měření velikosti síly v závislosti na dráze byla měřena síla, kterou působil pohon na páku jističe při ručním strádání. Energie byla ručně nasrádána pomocí výklopné rukojetě. Síla byla vyhodnocena snímačem síly, který byl připevněn pomocí držáku ke stojánku. Ze spodu byl k němu připevněn hák, který byl v kontaktu s mostem jističe. Dále byl ke stojánku připevněn magnetický snímač a spolu s magnetickým páskem, uchyceným v ochranném profilu, zajišťovali měření dráhy. Při tomto měření bylo využito principu lineárního posunutí. Následně byl veškerý signál zpracován pomocí měřicí ústředny.

5.1.2 Měření velikosti síly potřebné pro změnu polohy páky jističe

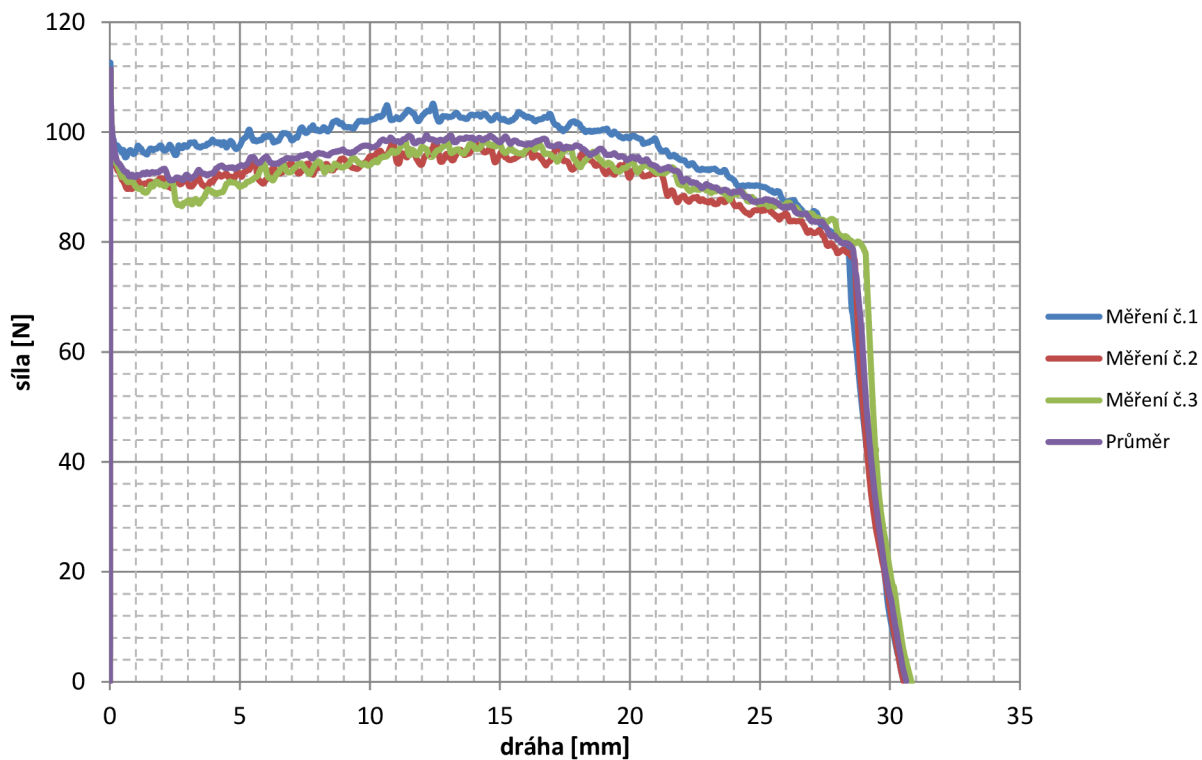
Měření velikosti síly potřebné pro změnu polohy páky jističe bylo uskutečněno tak, že hák, který se plynule pohyboval, byl neustále v kontaktu s pákou jističe. Pro lepší manipulaci při ručním ovládní je na páce jističe kryt. Tento kryt byl sundán a měření probíhalo na páce, která slouží pro MP. Cílem měření bylo změřit sílu potřebnou pro změnu polohy páky jističe a následně porovnat sílu vyvinutou pohonem se silou, která je potřebná pro změnu polohy páky jističe.

5.2 Výsledky měření velikosti síly pohonu v závislosti na dráze

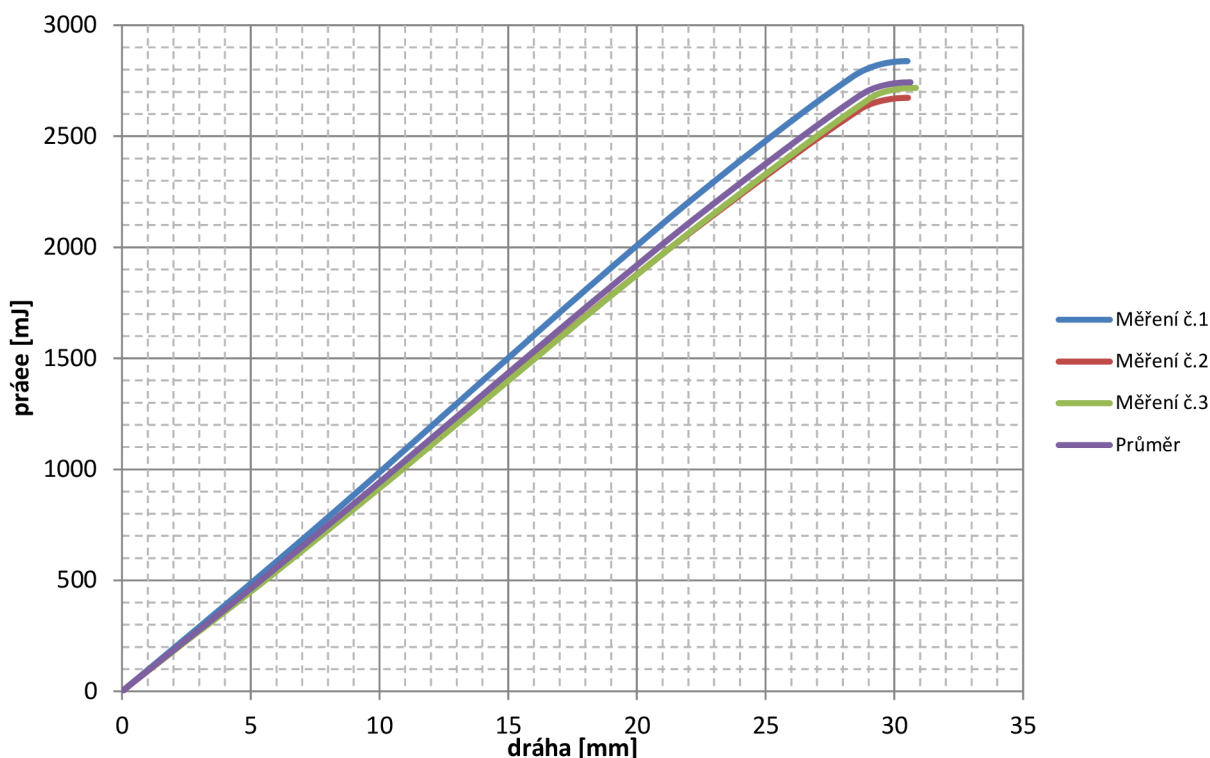
Měřením velikosti síly pohonu v závislosti na dráze bylo dosaženo následujících výsledků.

5.2.1 Měření Vypnuto – Zapnuto

Průběh síly pohonu je uveden na obrázku 5-1, vykonaná práce pohonu na obrázku 5-2. Nula v grafu odpovídá stavu, kdy most pohonu byl ve stavu Vypnuto a připravený zapnout jistič.



Obrázek 5-1: Závislost síly pohonu ze stavu Vypnuto – Zapnuto



Obrázek 5-2: Průběh vykonané práce pohomu ze stavu Vypnuto – Zapnuto

5.2.2 Měření Zapnuto – Vypnuto

Měření velikosti síly pohonu ze stavu Zapnuto – Vypnuto se nepodařilo uskutečnit a to z následujících důvodů:

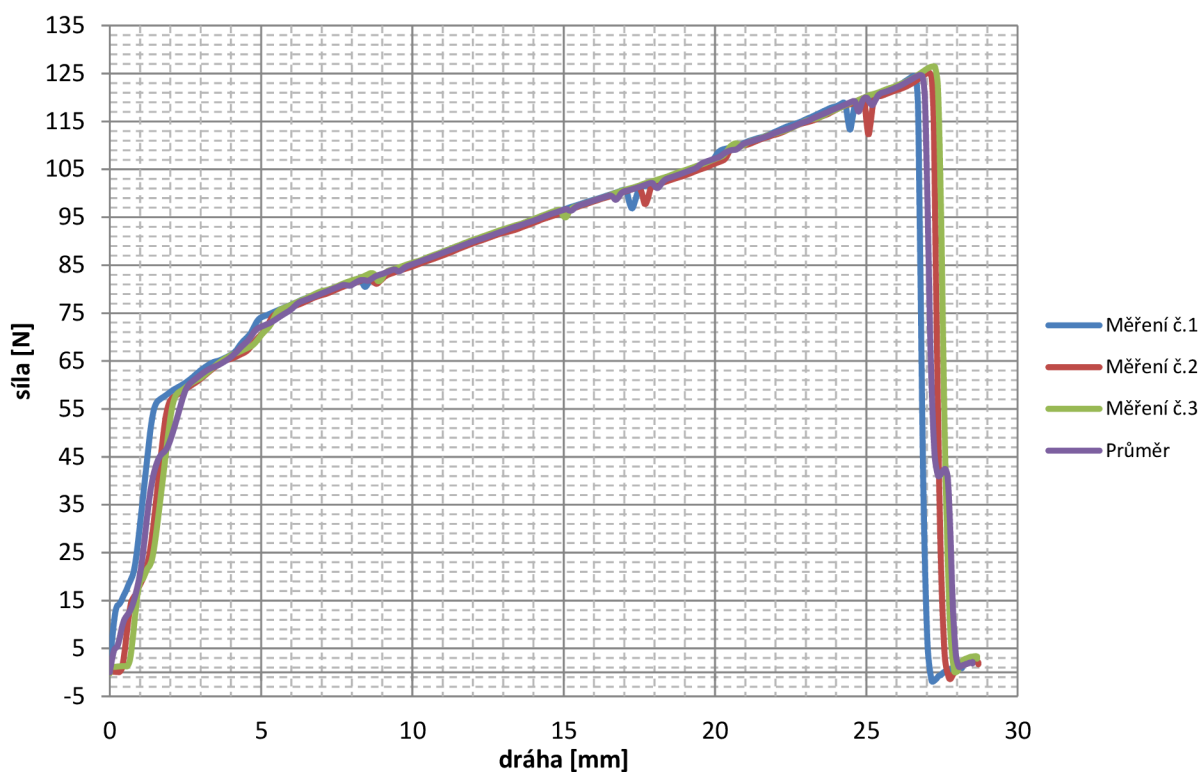
- Měřicí pracoviště nebylo konstruováno na sílu, kterou vyvíjí motor pohonu (tato skutečnost byla zjištěna až při pokusu měření dané závislosti).
- Rozsah měřicího přístroje neodpovídal síle, kterou vyvíjel motor pohonu (siloměr byl pouze do nominální síly 200 N a motor už na začátku měření vyvíjel sílu 300 N a větší).

5.3 Výsledky měření velikosti síly potřebné pro změnu polohy páky jističe

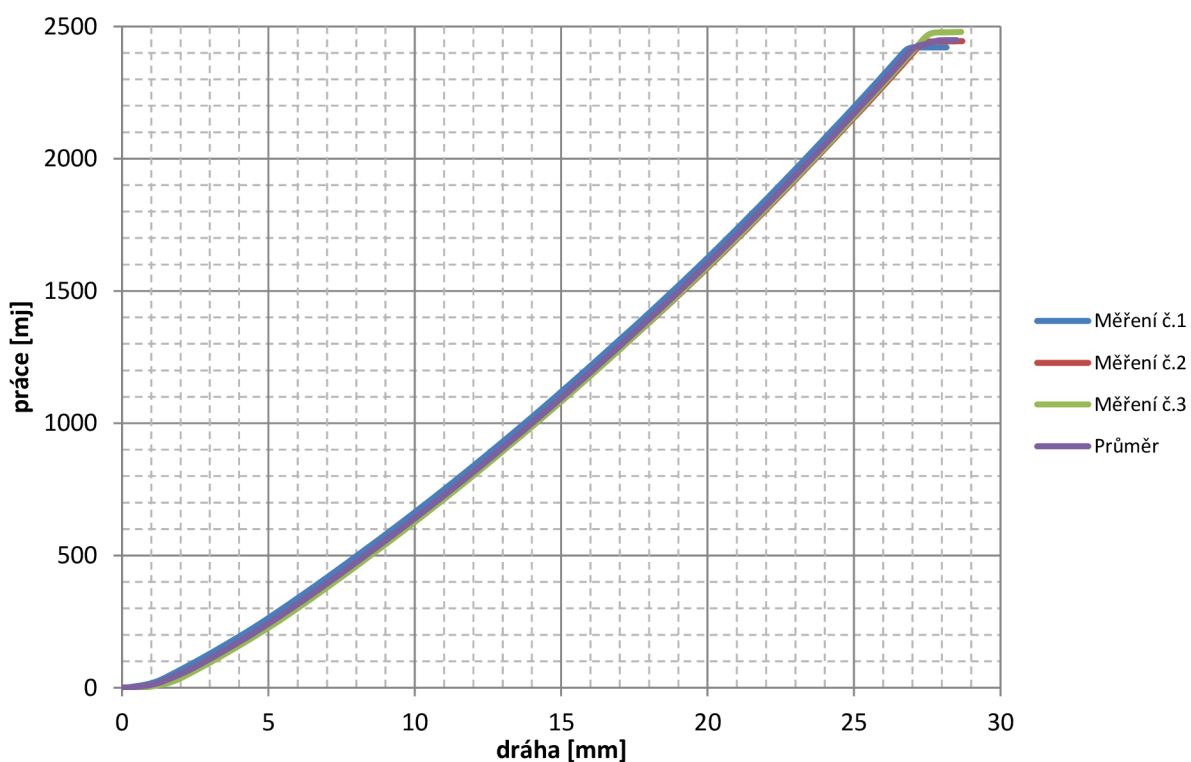
Při měření velikosti síly na páce jističe bylo dosaženo pro jednotlivé stravy následujících charakteristik.

5.3.1 Měření Vypnuto – Zapnuto

Průběh síly, která je potřebná pro změnu polohy páky jističe z Vypnuto – Zapnuto, je na obrázku 5-3, vykonaná práce pro tento stav je uvedena na obrázku 5-4. Nula v grafu odpovídá stavu, kdy poloha páky jističe byla ve stavu Vypnuto.



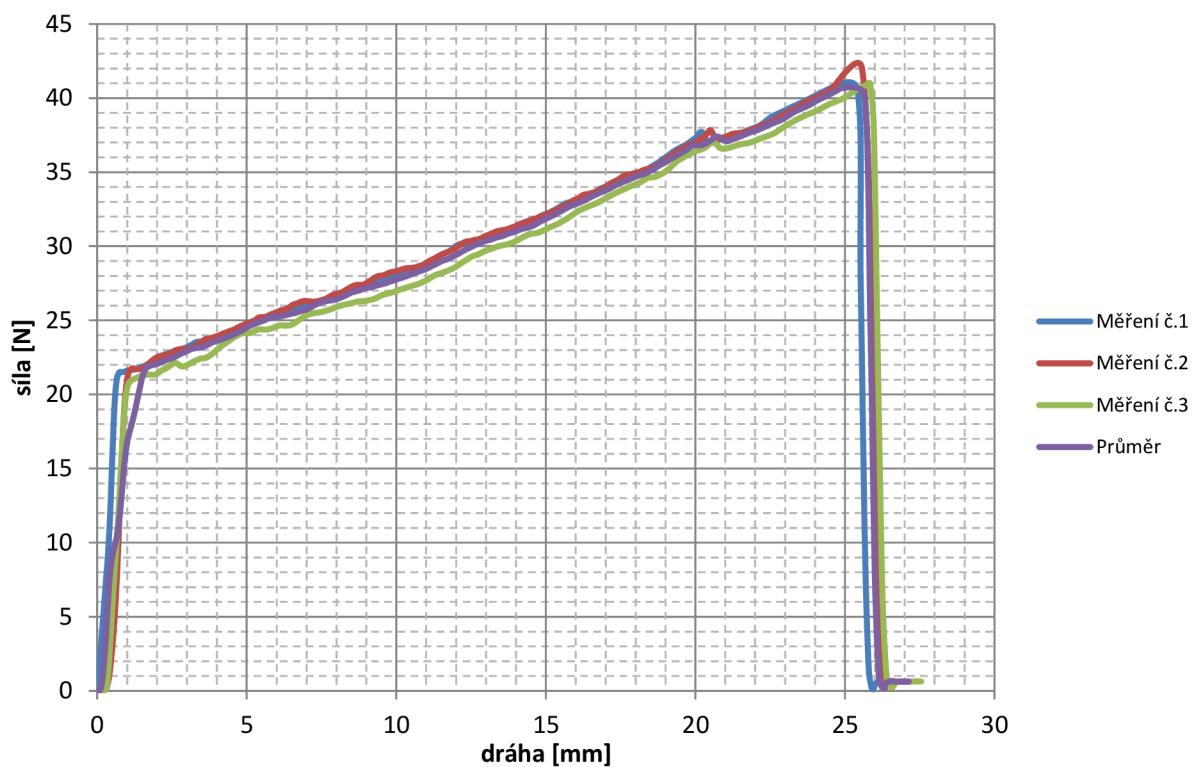
Obrázek 5-3: Síla potřebná pro změnu páky jističe z Vypnuto – Zapnuto



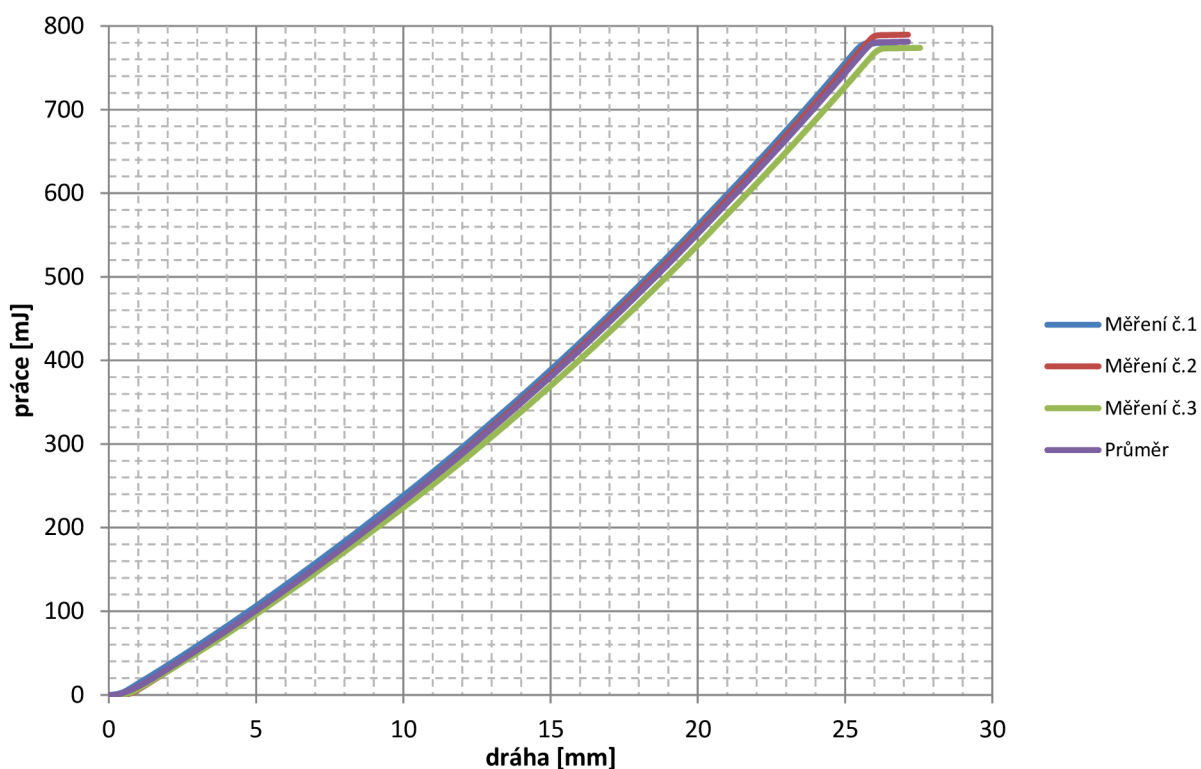
Obrázek 5-4: Průběh vykonané práce z Vypnuto – Zapnuto

5.3.2 Měření Zapnuto – Vypnuto

Průběh síly, která je potřebná pro změnu polohy páky jističe ze Zapnuto – Vypnuto, je na obrázku 5-5, vykonaná práce pro tento stav je uvedena na obrázku 5-6. Nula v grafu odpovídá stavu, kdy poloha páky jističe byla ve stavu Zapnuto.



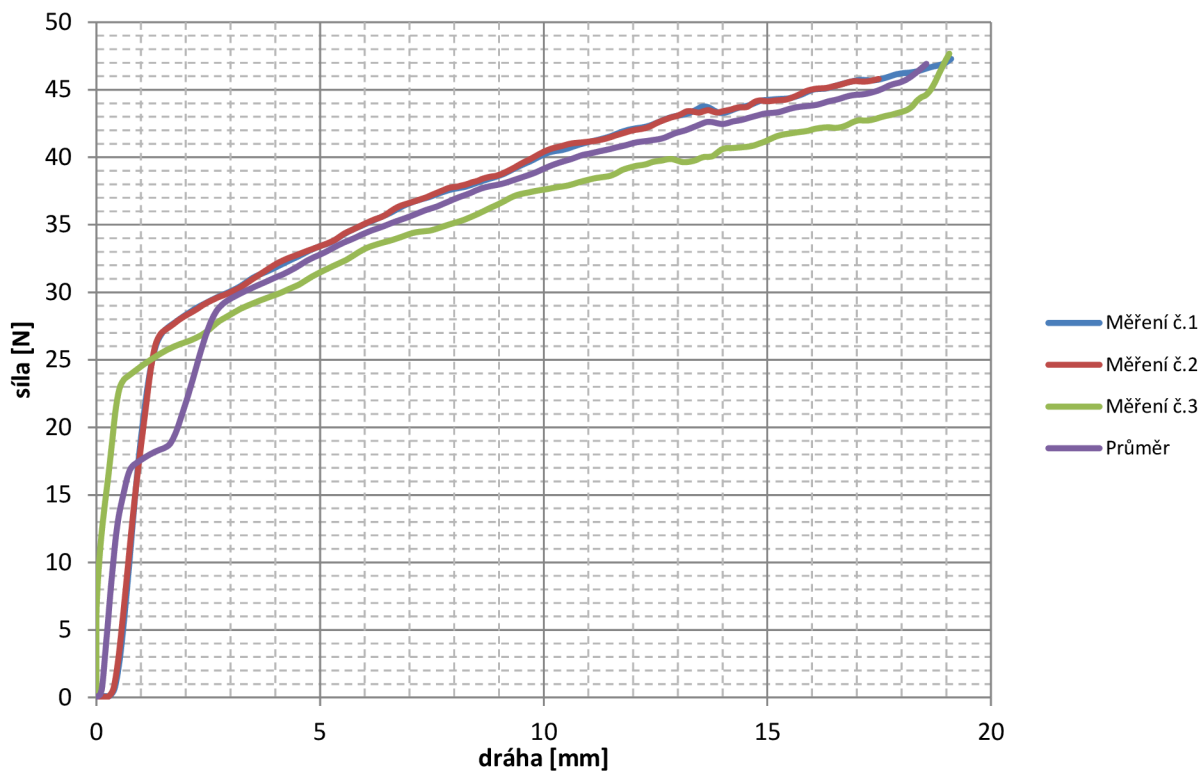
Obrázek 5-5: Síla potřebná pro změnu páky jističe z Zapnuto – Vypnuto



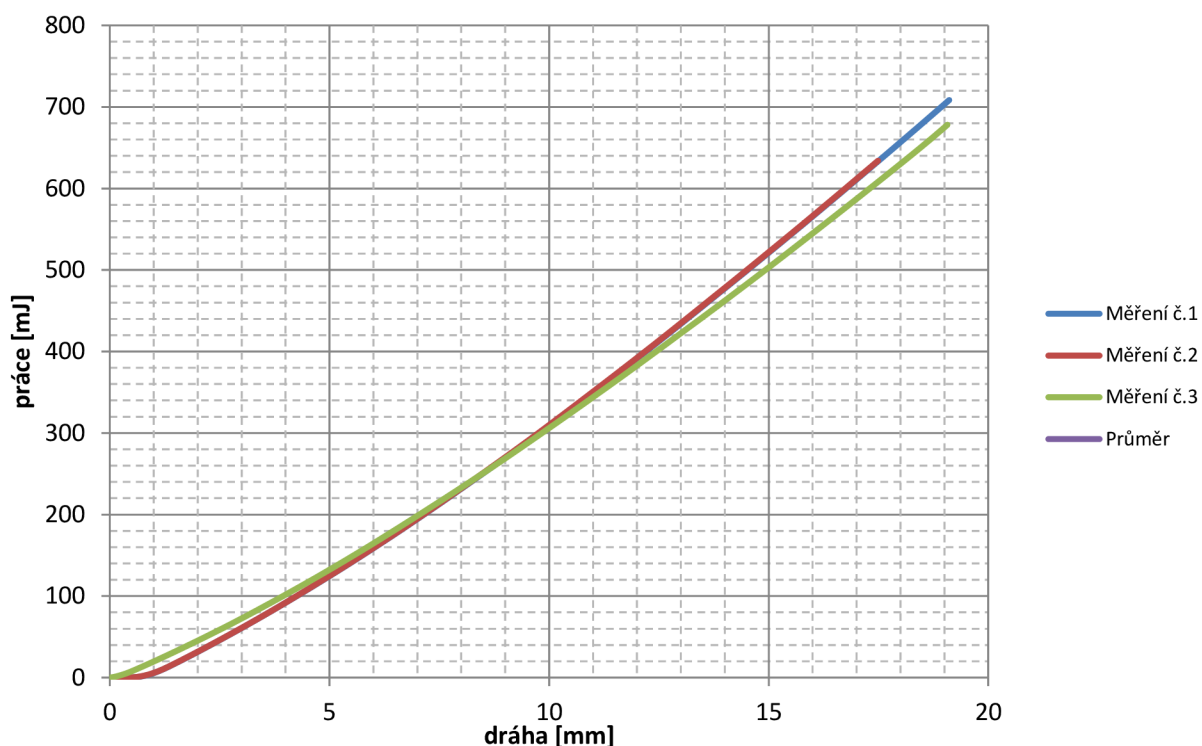
Obrázek 5-6: Průběh vykonané práce z Zapnuto – Vypnuto

5.3.3 Měření Trip – Vypnuto

Průběh síly, která je potřebná pro změnu polohy páky jističe z Trip – Vypnuto, je na obrázku 5-7, vykonaná práce pro tento stav je uvedena na obrázku 5-8. Nula v grafu odpovídá stavu, kdy poloha páky jističe byla ve stavu Trip.



Obrázek 5-7: Síla potřebná pro změnu páky jističe z Trip – Vypnuto



Obrázek 5-8: Průběh vykonané práce z Trip – Vypnuto

5.4 Vyhodnocení měření neelektrických veličin

Po změření síly a výpočtu práce pro pohon a jistič ze stavu Vypnuto – Zapnuto bylo provedeno porovnání obou charakteristik. Jak vyplývá z charakteristiky uvedené na obrázku 5-9, síla, kterou vyvíjí pohon vůči páce jističe není po celé dráze větší. Jelikož se jedná o pohon střadačový, tak není zapotřebí, aby pohon vykonal po celé dráze sílu větší, než je síla, kterou požaduje jistič. Vlivem dynamiky a daným typem pohonu dojde k natažení jističe. Pokud by se jednalo o pohon přímý, tak by pohon vzhledem k výsledným charakteristikám nebyl schopen jistič natáhnout. U přímého pohonu je zapotřebí, aby síla vyvinutá pohonem byla po celé dráze větší, než je síla jističe a to s dostatečnou rezervou, jelikož působí přímo na páku jističe a energie není střádána.

Dále je třeba, aby dráha pohonu do stavu Zapnuto, byla větší než je dráha jističe, jinak by hrozilo, že by nemuselo dojít k zapnutí jističe. Z obrázku 5-9 je vidět, že dráha pohonu je větší.

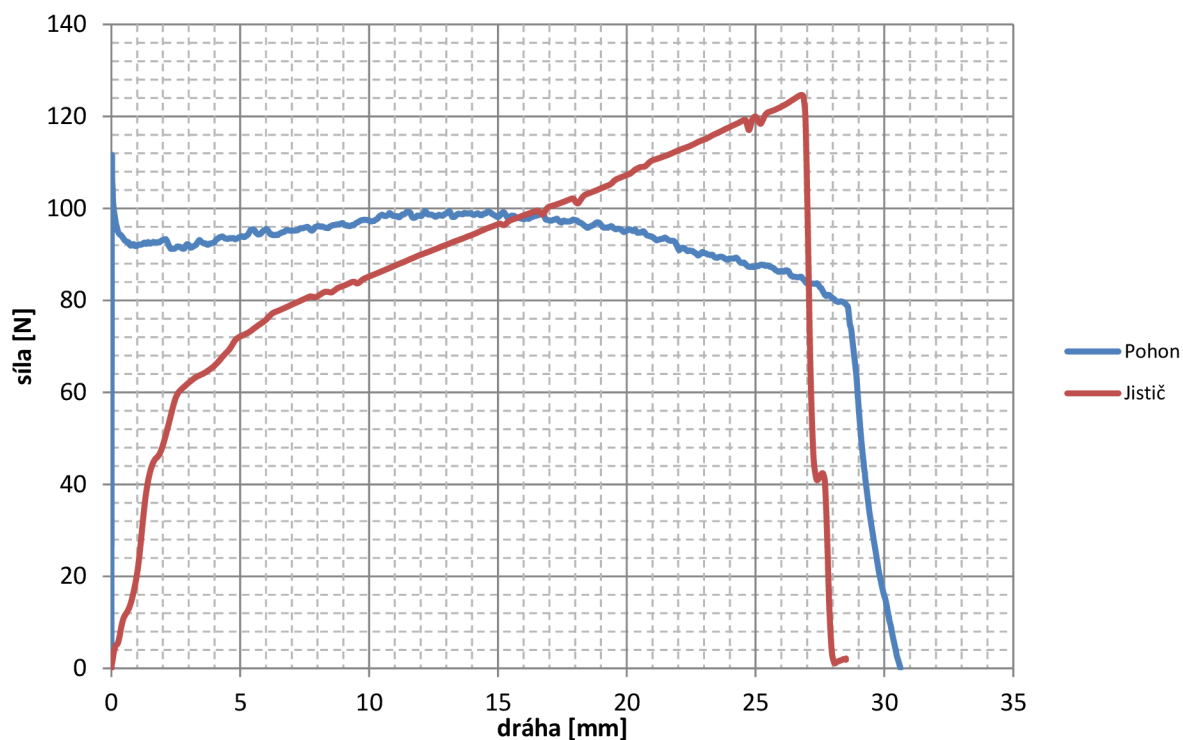
Vizuálním porovnáním charakteristik práce uvedených na obrázku 5-10 je vidět, že pohon vykonal větší práci, než je ve skutečnosti třeba. To bylo nakonec ověřeno i výpočtem celkové práce. Výsledky celkové práce, nejen pro pohon a jistič pro stav z Vypnuto – Zapnuto, jsou uvedeny v tabulce 5-1.

Tabulka 5-1: Celková vykonaná práce pro jednotlivé stavy při měření neelektrických veličin

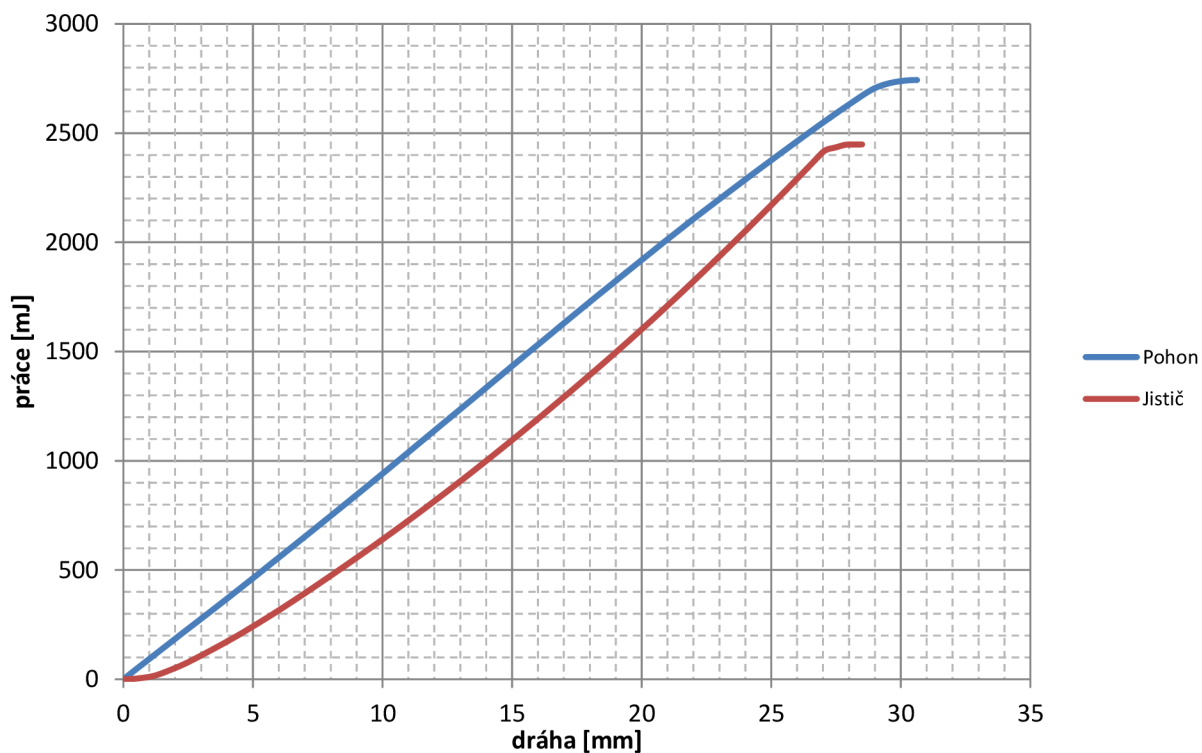
	stav	celková vykonaná práce [mJ]
pohon	Vypnuto - Zapnuto	2745,03
jistič	Vypnuto - Zapnuto	2454,54
jistič	Zapnuto - Vypnuto	777,80
jistič	Trip - Vypnuto	665,05
vadný pohon	Vypnuto - Zapnuto	1843,84

Během měření bylo dále zjištěno, že původní měření bylo provedeno na vadném pohonu, který dle výsledné charakteristiky, uvedené v příloze 4, nebyl schopen daný jistič zapnout. To bylo následně ověřeno porovnáním celkové práce i praktickou zkouškou, kdy byl MP namontován na jistič.

Jelikož měření síly pohonu ze stavu Zapnuto – Vypnuto nebylo uskutečněno z důvodů uvedených v podkapitole 5.2.2, nebylo možné porovnat charakteristiky jističe pro zbývající stavy. Nicméně charakteristiky byly změřeny a zpracovány.



Obrázek 5-9: Porovnání sil pohonu a jističe pro stav Vypnuto – Zapnuto



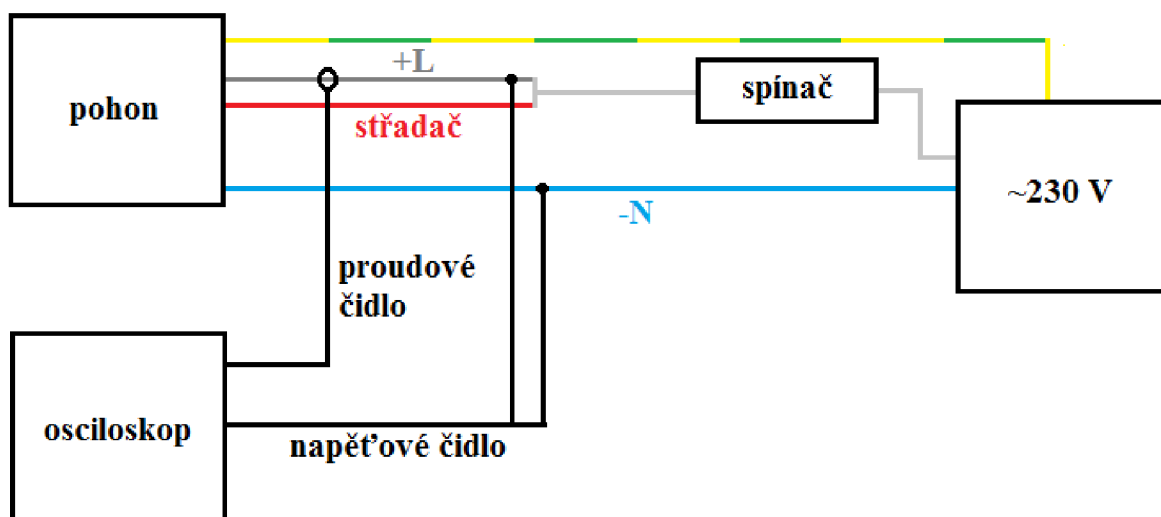
Obrázek 5-10: Porovnání práce pohonu a jističe pro stav Vypnuto – Zapnuto

6 MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN

Cílem měření elektrických veličin na MP bylo změřit průběh napětí a proudu pohonu naprázdno (pohon nebyl namontovaný na jistič) ze stavu Zapnuto – Vypnuto, kdy MP střádá energii do střadače a následně vypočítat celkovou odebranou energii ze zdroje a určit střední hodnotu příkonu motoru.

6.1 Popis měření elektrických veličin

Měření elektrických veličin bylo uskutečněno dle zapojení znázorněného na obrázku 6-1. Pohon byl napájen síťovým napětím 230 V. Na vstupním konektoru MP byl měřen proud pomocí klešťového proudového adaptéru Chauvin Arnoux E3N s transformačním poměrem 100 mV/A. Dále mezi fází a nulový vodič byla připojena napěťová sonda TEK 5100. Následně bylo vše zobrazeno na digitálním čtyř kanálovém osciloskopu Tektronix TPS 2014B. Pomocí kurzorů byl změřen zapínací čas T_z , během kterého byl MP v chodu a vypočítaná celková odebraná energie ze sítě a střední hodnota příkonu motoru.



Obrázek 6-1: Schéma zapojení pro měření elektrických veličin

Odebraná elektrická energie je závislá na třech veličinách. Mimo proud to je napětí a čas, po který byly dané dvě veličiny odebrány.

Celková odebraná elektrická energie ze sítě E se vypočítá jako:

$$E = \int_0^{T_z} p(t) dt = \int_0^{T_z} u(t) \cdot i(t) dt \quad (6.1)$$

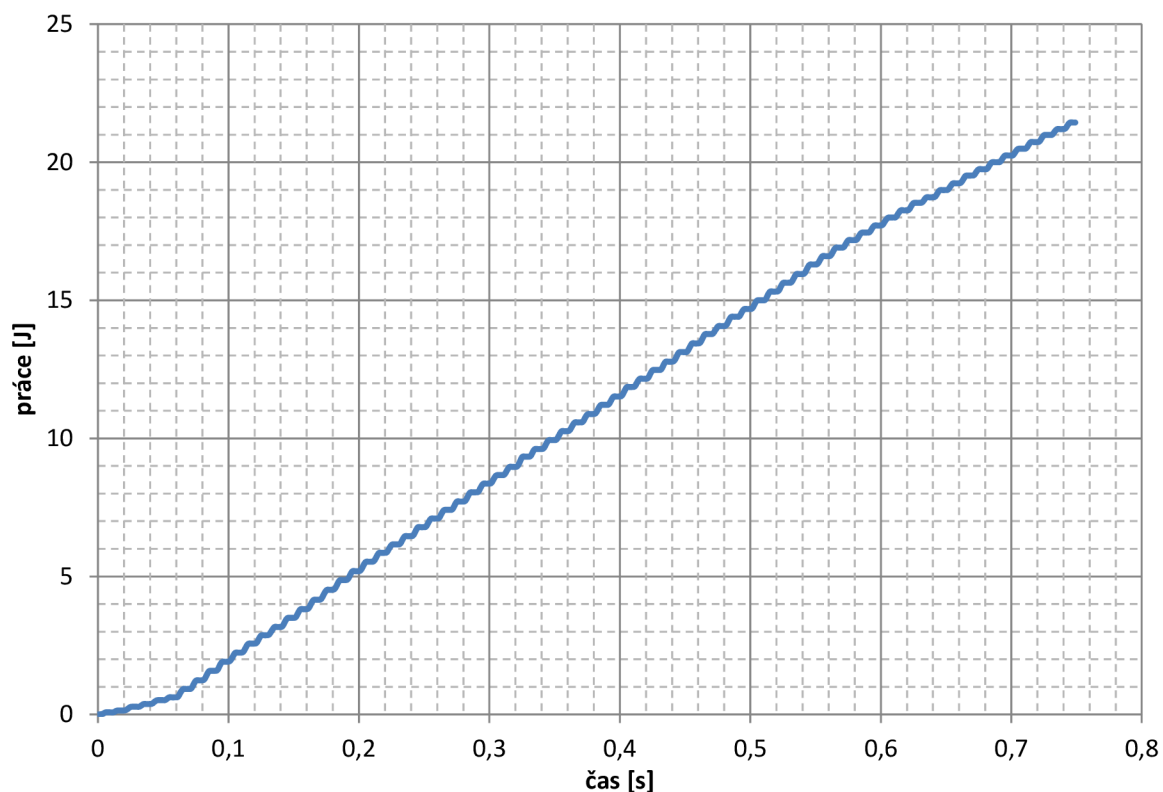
kde $p(t)$ je okamžitý příkon, $u(t)$ hodnota okamžitého napětí a $i(t)$ hodnota okamžitého proudu.

Střední hodnota příkonu P_0 motoru za periodu T_z se potom určí jako:

$$P_0 = \frac{1}{T_z} \int_0^{T_z} u(t) \cdot i(t) dt \quad (6.2)$$

6.2 Vyhodnocení měření elektrických veličin

Z měření elektrických veličin vyplývá, že celkový zapínací čas, během kterého probíhá změna polohy mostu ze stavu Zapnuto – Vypnuto, je 750 ms. Střední hodnota příkonu motoru pohonu vyšla 28,55 VA. Celková odebraná elektrická energie ze sítě vyšla 21,41 J. Průběh odebrané elektrické energie ze sítě je znázorněn na obrázku 6-2. Průběh napětí a proudu z osciloskopu je uveden v příloze 6.



Obrázek 6-2: Průběh odebrané energie ze sítě při napájení MP ze stavu Zapnuto – Vypnuto

7 NEJISTOTA MĚŘENÍ A CHYBY MĚŘENÍ

Aby se zjistilo, s jakou přesností bylo měření uskutečněno a co mohlo ovlivnit přesnost měření, je zapotřebí stanovit nejistotu měření a vyhodnotit chyby měření.

7.1 Nejistota měření

Jak uvádí [6,18], nejistota měření charakterizuje interval, ve kterém se s určitou pravděpodobností nachází skutečná hodnota měřené veličiny. Nejistota měření je závislá na několika faktorech, jako jsou například přesnost měřících přístrojů, zvolená metoda měření či různé náhodné vlivy ovlivňující dané měření. Základem vyhodnocení nejistot je statistický přístup a dle typu vyhodnocení rozlišujeme nejistotu typu A a nejistotu typu B.

Nejistota typu A se stanovuje z opakovaného měření hodnoty měřené veličiny za stejných podmínek. Čím větší počet opakování měření, tím je nejistota menší. Příčiny, které způsobují nejistotu typu A, se považují všeobecně za neznámé. Výpočet nejistoty typu A se provede pomocí vztahu (7.4) a je rovna směrodatné odchylce aritmetického průměru naměřených hodnot.

Jelikož každé měření neelektrických veličin bylo provedeno desetkrát, tak není zapotřebí nejistotu A násobit korekčním koeficientem, jehož hodnota závisí na počtu opakování měření. Jeho hodnota je při deseti a vícenásobném opakování rovna jedné.

Nejprve je třeba si určit výběrový průměr \bar{y} z n -naměřených hodnot y_i podle vztahu:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (7.1)$$

Výběrový rozptyl $s^2(y_i)$, který reprezentuje odhad rozptylu naměřených hodnot, se vypočítá ze vztahu:

$$s^2(y_i) = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1} \quad (7.2)$$

Výběrová směrodatná odchylka charakterizující rozptyl naměřených hodnot kolem výběrového průměru \bar{y} , je dána odmocninou z výběrového rozptylu.

Rozptyl výběrových průměrů $s^2(\bar{y})$ je dán vztahem:

$$s^2(\bar{y}) = \frac{s^2(y_i)}{n} \quad (7.3)$$

Nejistota typu A je dána směrodatnou odchylkou výběrových průměrů $s(\bar{y})$ a určí se ze vztahu:

$$u_A(x) = s(\bar{y}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n(n - 1)}} \quad (7.4)$$

Nejistota typu B je způsobena známými či odhadnutelnými příčinami. Stanovuje ji experimentátor. Nejistota typu B se určí podle vztahu (7.5) kde Δ je absolutní chyba měřicího přístroje a k je koeficient závisící na typu rozdělení. Pro výpočet bylo uvažováno rovnoměrné rozdělení, kdy hodnota k je rovna $\sqrt{3}$. Při tomto typu rozložení je nejistota určena s 58 % pravděpodobností. [6,18]

$$u_B = \frac{\Delta}{k} \quad (7.5)$$

Absolutní chyba tenzometru S2, uvedená v tabulce 4-1, byla podle [19] vypočítána jako:

$$\Delta = \frac{T}{100} \cdot M = \frac{0,05}{100} \cdot 1,5 \cdot 200 = 0,15 \text{ N} \quad (7.6)$$

Kombinací nejistoty typu A a nejistoty typu B získáme dle [6,18] nejistotu typu C podle:

$$u_C = \sqrt{(u_A^2 + u_B^2)} \quad (7.7)$$

Pro větší pravděpodobnost správného výsledku se stanoví rozšířená standartní nejistota U , která se získá vynásobením kombinované nejistoty korekčním činitelem k_u , jehož hodnota je rovna dvěma. Rozšířená standartní nejistota zvýší spolehlivost na 95 % oproti standartní nejistotě s pravděpodobností 68 %.

Nejistota se udává buď samostatně bez znaménka či za výslednou hodnotu se znaménkem \pm . [6,18]

Pro vybrané úseky z jednotlivých měření neelektrických veličin byla vypočítána nejistota měření. Výsledky pro jednotlivá měření jsou uvedeny v příloze 7.

7.2 Chyby měření

Chyby, které mohly ovlivnit přesnost měření, jsou následující:

- Nepřesně určené místo dotyku mostu pohonu či páky jističe kde docházelo ke kontaktu s hákem. To mohlo mít za následek měření dráhy a síly s odchylkou. Jelikož při měření byl hák umístěn blíže k jističi, tudíž výsledná síla může dosahovat o něco vyšší hodnoty a dráha naopak hodnoty nižší než by mohl uvádět výrobce.
- Posun háku, zajištěný točením kola na stojánku, nebyl vždy uskutečněn konstantní rychlostí. To mělo za následek měření o různém počtu hodnot. I když v podkapitole 7.1 bylo zmíněno, že každé měření bylo uskutečněno desetkrát, do výsledných grafů byly vyneseny jen tři charakteristiky se stejným počtem naměřených hodnot, aby bylo možné vypočítat průměrnou křivku.
- Nepřesné vynulování tenzometru S2 před začátkem každého měření. Mohlo dojít k nesprávnému nastavení polohy háku. Bylo zapotřebí, aby hák byl co nejbliže a zároveň nebyl v kontaktu s mostem pohonu či s pákou jističe.
- Chyba měřicích přístrojů.
- Lidský faktor.

8 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo popsat konstrukční řešení MP, připravit měřicí pracoviště a změřit elektrické a neelektrické veličiny na motorovém pohonu MP-BD-X230, který patří mezi doplňkové příslušenství jističe BD250.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

Teoretická část práce obsahuje základní rozdělení pohonů používaných v praxi a jejich princip získávání energie. Dále zde je objasněn rozdíl mezi elektrickým a neelektrickým pohonem, výhody a nevýhody. Je zde pojednáno o jističi BD250, o jeho principu fungování a také o polohách páky jističe. Následuje vnitřní a vnější popis MP, na kterém bylo provedeno měření, spolu s řešením situace, kdy dojde k výpadku napájecího napětí. Nakonec bylo popsáno měřicí pracoviště a použité přístroje.

Praktická část byla zaměřena na přípravu a sestavení měřicího pracoviště, na konfiguraci a seznámení se s softwarem catman Easy a na samotné měření elektrických a neelektrických veličin. V rámci přípravy a sestavení měřicího pracoviště bylo zapotřebí namodelovat měřicí pracoviště a navrhnout mechanické díly, pomocí kterých byly uchyceny měřicí přístroje a jiná příslušenství. Výkresová dokumentace navržených dílů je uvedena v příloze 1. Model měřicího pracoviště je znázorněn na obrázku 4-1 a obrázku 4-2, fotodokumentace reálného měřicího pracoviště je uvedena v příloze 2.

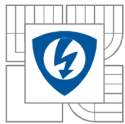
Úkolem měření neelektrických veličin bylo:

- Změřit sílu, kterou vyvine pohon v závislosti na dráze ze stavu,
 - Vypnuto – Zapnuto,
 - Zapnuto – Vypnuto,
- Změřit sílu potřebnou pro změnu polohy páky jističe ze stavu,
 - Vypnuto – Zapnuto,
 - Zapnuto – Vypnuto,
 - Trip – Vypnuto.

Měření síly potřebné pro změnu polohy páky jističe bylo zapotřebí vzhledem k porovnání s charakteristikami pohonu.

Porovnání výsledků měření pohonu a jističe pro stav Vypnuto – Zapnuto je uvedeno na obrázku 5-9 a obrázku 5-10. Celková mechanická práce potom v tabulce 5-1. Z výsledků vyplývá, že práce vykonaná pohonem je větší než práce jističe, tudíž bez problému dojde k zapnutí jističe. Síla vyvinutá pohonem nemusí být po celé dráze větší, než je síla na páce jističe, jelikož se jedná o střadačový typ pohonu, který vlivem dynamiky zapne jistič.

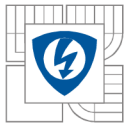
V rámci měření síly pohonu ze stavu Zapnuto – Vypnuto nastal problém. Dané měření nemohlo být uskutečněno, jelikož pracoviště a rozsah měřicího přístroje nebyl přizpůsoben síle, kterou vyvíjí motor pohonu. Tato skutečnost byla zjištěna až během měření. Dále v rámci měření bylo zjištěno, že pohon, na kterém ze začátku probíhalo měření, je vadný a nedokáže zapnout jistič. To bylo zjištěno porovnáním celkové mechanické práce pohonu a jističe a praktickou zkouškou. Porovnání charakteristik vadného pohonu a jističe je uvedeno v příloze 4.



Úkolem měření elektrických veličin bylo změřit průběhy napětí a proudu na vstupních konektorech pohonu ze stavu Zapnuto – Vypnuto, ze kterých potom byla vypočítána celková odebraná energie ze sítě a střední hodnota příkonu motoru.

Měření bylo uskutečněno dle schéma zapojení uvedeného na obrázku 6-1. Následně byla vypočítána celková odebraná elektrická energie ze sítě, které vyšla 21,41 J. V rámci vyhodnocení měření byla vypočítána střední hodnota příkonu motoru, která je 28,55 VA a změřen zapínací čas $T_z = 750$ ms, během kterého byl MP v chodu.

V závěru práce byly vypočítány nejistoty měření pro vybrané body každého měření neelektrických veličin a stanoveny chyby měření. Výsledky nejistot jsou uvedeny v příloze 7.



LITERATURA

- [1] AUGUSTA, L. Pohony jističů Modeion BD250N, BD250S, BH630N a BH630S. *ELEKTRO: odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. 2002, (05) [cit. 2014-11-10]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25035dd
- [2] MLČÁK, T., VRÁNA, V., KOLÁŘ, V. *Základy elektrických pohonů (EP)* [online]. 2006 [cit. 2014-11-10]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FMMI/Prednasky/13_zaklEP_sylab_bc_06.pdf
- [3] KOLÁČNÝ, J. *Elektrické pohony*, skripta VUT, 125s
- [4] KOBERLE, P. *Elektrické přístroje: odborný text pro předmět Elektrické stroje a pohony* [online]. 2014 [cit. 2014-11-10]. Dostupné z: <http://p.kobrlle.sweb.cz/pristroje/EP.pdf>
- [5] ŠKULAVÍK, J. Kompaktní jističe – používání a výběr nadproudových spouští. *ELEKTRO: odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. 2009, (07): 44-45 [cit. 2014-11-10]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=39247
- [6] VAŠÍČEK, T. *Absolvování individuální odborné praxe*. Ostrava, 2014. Bakalářská práce. Technická univerzita Ostrava.
- [7] OEZ Letohrad s.r.o. *Katalog Modeion: Kompaktní jističe*. 2013. Dostupné z: www.oez.cz
- [8] OEZ Letohrad s.r.o. [online]. [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/produkty/bd250-kompaktni-jistice>
- [9] AUGUSTA, L. Kompaktní jističe Modeion a jejich využití v průmyslové automatizaci. *ELEKTRO: odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. 2010, (08): 24-25 [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=41896
- [10] OEZ Letohrad s.r.o. *Katalog Modi: Záskokové automaty*. 2014. Dostupné z: www.oez.cz
- [11] OEZ s.r.o. Záskokové automaty Modi od OEZ. *Elektro průmysl: informace ze světa průmyslu a elektrotechniky* [online]. 2013 [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/elektroinstalace/zaskokove-automaty-modi-od-oez>
- [12] ONDRŮŠEK, Č. *Elektrické stroje*, skripta VUT, 109s
- [13] SKALICKÝ, J. *Elektricky regulované pohony*, skripta VUT, 123s
- [14] DOKOUPIL, P. *Měření napjatosti ve spirále vodní turbíny pomocí tenzometrů*. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [15] HBP měřicí technika s.r.o. [online]. [cit. 2014-11-30]. Dostupné z: <http://www.hbm.cz/>
- [16] CHLUP, T. *Měření snímačů polohy*. Brno, 2010. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně.
- [17] *Jirka a spol.* [online]. [cit. 2014-11-23]. Dostupné z: <http://www.jirkaspol.cz/>
- [18] *Nejistoty měření* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/u12110/tem/nejistoty/nejistoty1.pdf>
- [19] *Chyba měření - nejistota měření* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: http://www.amt.cz/index.php?id=CL_CHYB



PŘÍLOHY

- Příloha 1:** Výkresová dokumentace mechanických dílů
- Příloha 2:** Fotodokumentace reálného měřicího pracoviště
- Příloha 3:** Výsledky měření a hodnoty elektrických veličin v excelu
- Příloha 4:** Grafické porovnání síly vadného pohonu se silou páky jističe
- Příloha 5:** Výsledky měření a hodnoty neelektrických veličin v excelu
- Příloha 6:** Graf průběhu napětí a proudu z osciloskopu při napájení MP
- Příloha 7:** Výpočet nejistot