

# **Návrh mechanismu zavírání zkušebních automotive dveří pracujících při nízkých teplotách**

Daniel Vávra

---

Bakalářská práce  
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Daniel Vávra
Osobní číslo:	T17107
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Návrh mechanismu zavírání zkušebních automotive dveří pracujících při nízkých teplotách

### Zásady pro vypracování

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Analýza současného stavu
4. Návrh řešení zavírání testovacích rámců pro zámky stranových dveří
5. Zkoumání faktorů na dveře působících v nízkých teplotách
6. Vyhodnocení a závěr

Forma zpracování bakalářské práce: Tisková/elektronická

Seznam doporučené literatury:

1. SHIGLEY, J. et al.: Konstruování strojních součástí (2010), ISBN 978-80-214-2629-0
2. KREIDL, M., ŠMÍD, R.: Technická diagnostika. Praha: Ben, 2006.406s. ISBN 80-7300-158-6
3. KRÍŽ, M.: Příručka pro zkoušky elektrotechniků – požadavky na základní odbornou způsobilost, ISBN 978-80-86230-59-7
4. SCHIJVE, J. :High-Temperature and Low-Temperature Fatigue, Fatigue of Structures and Materials. Springer, Dordrecht, 2009, ISBN 978-1-4020-6807-2
5. SCHINDLER, I., KAWYLOK, P.: Deformační chování materiálů, VŠB TU Ostrava, 2013, učební text

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Katarína Monková, PhD.  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: 2. ledna 2020  
Termín odevzdání bakalářské práce: 22. května 2020

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- 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 obsahově totožné

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá návrhem mechanismu, jenž zoptimalizuje práci zkušebních testovacích dveří, testujících uzamykací systémy využívané v automobilovém průmyslu.

Teoretická část je věnována seznámení se s metodikou testování produktu, i produktem samotným. Následuje popis problémů, jež při testování nastávají v různých klimatických podmínkách. Dále s možnými řešeními a jejich využitelností v praxi. V praktické části práce se zabýváme aplikací zvolené metody a uvedením do praxe.

Klíčová slova: uzamykací systém, automobilový zámek, excentrický mechanismus, excentr, vačka, zdvihátko, pružina, nízká teplota, hliník, senzor

## **ABSTRACT**

This thesis deals with a design of a mechanism which will optimize the working process of testing doors that test latching systems used in the automotive industry.

The theoretical part is dedicated to the presentation of the product testing methodology, as well as the product itself. The following part describes problems which can occur during testing in different climatic conditions. The thesis further proposes possible solutions and their applicability in praxis. In the practical part we deal with an application of the chosen method and its implementation.

Keywords: latching system, vehicle latch, eccentric mechanism, eccentre, cam, tappet, spring, low temperature, aluminium, sensor

Těmito řádky bych rád poděkoval paní profesorce Ing. Kataríně Monkové PhD., za skvělé vedení a trefné připomínky při vypracování této práce. Současně patří velký dík všem přátelům, jež mi při vypracování byli nápomocni, ať už radami, nebo jako poslové optimismu.

*„Kdo se umí smát sám sobě, má právo smát se všemu ostatnímu, co mu k smíchu připadá“*

Jan Werich

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 UZAMYKACÍ SYSTÉM A TESTOVÁNÍ</b> .....	<b>11</b>
1.1 STRANOVÝ ZÁMEK .....	11
1.2 TESTOVÁNÍ.....	12
1.2.1 Měření sil a drah.....	12
1.2.2 Korozní a prachové testy.....	13
1.2.3 Vibrační test - PWO .....	13
<b>2 ŽIVOTNOSTNÍ TEST</b> .....	<b>14</b>
2.1 POPIS ZAŘÍZENÍ .....	14
2.2 POPIS PROBLÉMU .....	15
2.3 NÁVRH ŘEŠENÍ .....	18
2.3.1 Topná tělíska .....	18
2.3.2 Lineární pohon .....	19
2.3.3 Excentrický mechanismus.....	20
<b>3 NÁVRH MECHANISMU ZAVÍRÁNÍ ZKUŠEBNÍCH AUTOMOTIVE DVEŘÍ</b> .....	<b>22</b>
3.1 CÍL PRÁCE .....	22
3.2 NÁVRH MECHANISMU.....	23
3.3 URČENÍ PARAMETRŮ PROPOZIC RÁMU .....	24
3.4 VÝPOČET TVARU EXCENTRU .....	25
3.4.1 Zjednodušený výpočet síly působící na excentr při otevření dveří.....	26
3.4.2 Výpočet ramena excentru při otevření dveří.....	29
3.4.3 Výpočet práce vykonané excentrem při otevření dveří.....	30
3.4.4 Výpočet celkové délky ramena excentru při otevření dveří.....	31
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>33</b>
<b>4 KONSTRUKCE</b> .....	<b>34</b>
4.1 KATALOGOVÉ DÍLY .....	35
4.1.1 ITEM prvky.....	35
4.1.2 Ložisko .....	36
4.1.3 Stojanové těleso s ložiskem .....	36
4.2 OBRÁBĚNÉ DÍLY .....	36
4.2.1 Excentr .....	37
4.2.2 Hřídel.....	38
4.2.3 Deska pro uchycení motoru .....	38
4.2.4 Aretační kroužky .....	38
4.2.5 Deska protikusu k uchycení ložiska.....	39
4.2.6 Hřídel protikusu k uchycení ložiska.....	39
4.2.7 Kroužek protikusu k uchycení ložiska .....	39

4.3	OSTATNÍ.....	39
4.3.1	Motor pohánějící hřídel.....	39
4.3.2	Software .....	40
<b>5</b>	<b>ZKOUMÁNÍ VLIVŮ PŮSOBÍCÍCH NA EXCENTR V NÍZKÝCH TEPLOTÁCH.....</b>	<b>41</b>
5.1	POROVNÁNÍ ODBĚRU PROUDU PŘI ZÁTĚŽI.....	43
5.2	POROVNÁNÍ SIL PŮSOBÍCÍCH NA EXCENTR PŘI ZÁTĚŽI .....	46
5.3	POROVNÁNÍ OTÁČEK MOTORU, ODEBÍRANÉHO PROUDU A SÍLY .....	49
5.4	TEPLOTNÍ ROZTAŽNOST.....	50
5.5	ZMĚNA ODPORU NA MOTORU .....	51
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>54</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>55</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>61</b>



## ÚVOD

Produktem, pro něž bude tato práce psána a okolo kterého se točí veškerá problematika, i vylepšení optimalizace testovacího zařízení je zámek automobilových stranových dveří. Jedná se o klíčovou součást uzamykacího systému automobilového zařízení a prvek, na němž stojí nejen neodcizitelnost věcí a lidí v něm se nacházejících, ale především životně důležitá součást bezpečnosti v případě nárazu automobilu do jiného tělesa. Zámek stranových dveří je testován velmi náročnými testy, které musí prověřit jeho funkci v nejkritičtějších situacích, stejně jako musí zajistit jeho každodenní využívání při vystavování nejrůznějšími teplotám. Pro představu nejpraktičtějším příkladem jeho funkce jest, že za normálních podmínek musí splňovat akustické, uzamykací a další kritéria, přičemž v případě nárazu automobilu do stromu, zámek vlivem setrvačných sil, napříč deformacemi nesmí otevřít, aby nedošlo k vypadnutí osob, nebo věcí z automobilu, ale současně musí jít i v tento moment otevřít vnitřní i vnější klikou, aby se osoby mohly po nárazu evakuovat, popř. být evakuovány hasiči, pro které musí být zámek vypáčitelným. Při vývoji nového designu a konstrukce zámku se testování stává klíčovou operací, která musí zabránit uvedení nedokonalostí do provozu, kde by mohl následkem těchto chyb způsobit škodu, nebo ztráty na životech v kritických situacích.

Vývoj těchto zámků trvá několik let a přibližně po 3 letech přechází do sériové výroby. První prototypy nazýváme A-vzorky, které jsou postaveny a testovány na základní funkce. Veškeré chyby, jež jsou na nich nalezeny, jsou předány k modifikaci. Upravené zámky, s chybami nalezenými na A-vzorcích nazýváme B-vzorky, na kterých se nové změny zkouší a objevují nové nedostatky. Poslední vývojový stupeň je nazýván vzorky C, na nichž jsou všechny chyby z A a B vzorků odstraněny a jsou vystaveny mnohačetným testovacím cyklům, jelikož při uvolnění těchto C-vzorků již tento produkt putuje do série, kde bude vyráběn po milionech kusů týdně.

Stranové zámky nejsou jediným druhem zámku, jež v automobilu zajišťují bezpečnost, spolu s nimi zde můžeme nalézt zámek kufru a kapoty. Pro tyto zámky platí jiná kritéria a v této práci se s jejich testováním zabývat nebudeme.

Tato práce se bude zabývat optimalizací testovacího zařízení, jež při velmi nízkých teplotách neplní zcela spolehlivě svůj účel, což má za následek nárůst času potřebného k testování a častou potřebu obsluhy a provozu energeticky náročných zařízení.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 UZAMYKACÍ SYSTÉM A TESTOVÁNÍ

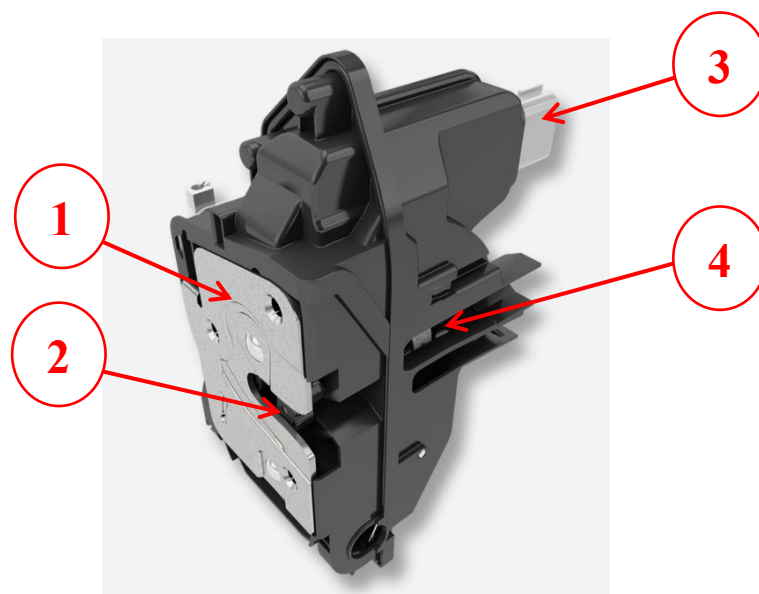
Uzamykací systém je zabudován do vnitřní části dveří, kde je přesně nakonstruován tak, aby jednotlivé komponenty systému spolu co nejadekvátněji spolupracovaly. Základem uzamykacího systému je zejména stranový zámek a jeho protikus, zavírací klín- tzv. „striker“, dále klikový modul, jež nám umožňuje dveře otevřít zevnitř a zvenčí a u řidiče i o páce, ovládající uzamčení dveří mechanickým klíčem. Dále zde můžeme nalézt tzv. „bowdeny“, což jsou svazky drátků, které přenášejí sílu a umožňují tak na větší vzdálenost zatáhnout uživateli za páku zámku. Případně ještě další prvky, dle specifiků zámku, jako je dětská pojistka, nouzové uzamčení apod. Tento systém musí být funkční za jakýchkoliv podmínek i po mnoha letech používání. Standardně se zámky zkoušejí v řádech desítek tisíc testovacích cyklů za sebou, ale výjimkou nejsou ani stovky tisíc cyklů. Každý cyklus je navržen tak, aby simuloval každodenní několikačetné používání, tedy otevírání a zamykání zámku v různých částech planety.

### 1.1 Stranový zámek

Stranový zámek (Obr. 1) je prvek systému, jež zajišťuje především funkci uzavření dveří. K té dochází tak, že se rohatka, což je excentrická pohyblivá část zámku, srazí s válcovitou plochou zavíracího klínu, což je protikus namontovaný na konstrukci vozidla, a dochází k posunutí rohatky a její aretaci v určité pozici. Ty jsou zpravidla dvě, sekundární zavření a primární zavření, tedy úplné. Oba tyto stavy mohou být elektronicky monitorovány a signály odesílány do vyhodnocovací jednotky, která nám případně na palubní desce zahlásí, že dveře jsou otevřeny. Další funkcí je uzamčení zámku, zde se setkáváme se dvěma stavy:

1. Central lock (CL) – uzamčení zámku do stavu, kdy zvenčí nejde otevřít, ale zevnitř automobilu ano.
2. Double lock (DL) – uzamčení zámku do stavu, kdy neotevřeme dveře ani vnitřní, ani vnější klikou.

Těchto stavů se dá dosáhnout pomocí elektrické funkce, nebo funkce manuální. Manuálními prvky stranového zámku, jež tyto funkce umožňují jsou zejména nouzové uzamčení, dětská pojistka, nacházející se u zadních stranových dveří a uzamčení klíčkem, na dveřích řidiče, popřípadě také spolujezdce.



Obrázek 1 - Stranový zámek automobilových dveří [1]

(1- deska s otvory pro šrouby, 2- rohátka, 3- konektor, 4- prvek vnějšího otevření dveří)

## 1.2 Testování

Jak již bylo řečeno, produkt musí projít mnohačetnými zátěžovými testy, simulujícími nej-různější podnebí a situace. Musí být funkční, ať jej používáme v poušti, či na sibiřských planinách, nebo v deštném pralese. Těchto klimatických změn dosahujeme testováním v klimatických komorách, jež nám tyto extrémy pomáhají nasimulovat. Další důležitou částí testování je měření sil, drah, proudů a dalších fyzikálních veličin, aby byla zajištěna uživatelsky příznivá obsluha automobilu a spolupráce systému s řídicí jednotkou.

Všechny testování jsou prováděny dle interních testovacích předpisů a dle specifikace zákazníka. Všechny průběhy testování jsou zaznamenávány v souladu s normami a jsou prováděny na kalibrovaných a funkčních měřidlech.

Testy, jež si dále stručně popíšeme, zastupují testování uzamykacího systému, které testovací zařízení, pro něžž budeme navrhovat řešení zavíracího mechanismu, kombinují v celkovém měřítku.

### 1.2.1 Měření sil a drah

Měření sil a drah, jež jsou potřebné k přesunu páky do pozice „full travel“ probíhá na měřicí stanici, která je ovládána řídicím softwarem a lineárním pohonem spolupracujícím se soustavou signálů vedoucích ze zámku a dále dráhových a silových čidel, která měření

samotné uskutečňují. Všechny prvky musí být kalibrovány a pravidelně kontrolovány, aby nedošlo k chybnému měření. Zámky se zpravidla měří před a po uskutečnění testu, aby byl relevantně detekován vliv testování na jeho parametry.

### 1.2.2 Korozní a prachové testy

Prachové testy mají za účel simulovat vniknutí prachu do zámku, přičemž prvek musí být stále funkční. Zámek je upevněn v prachové komoře, kde je v přesně určeném cyklu aplikována směs arizonského, čínského, či jiného prachu, která je do zámku nanesena prouděním z venkovní strany zámku, ale může být také nasávána podtlakově. Prach nesmí mít vliv na funkci zámku a hodnotící kritérium je funkčnost a následná změna hmotnosti.

Korozní testování je nutné, pro zjištění chování a degradace kovových dílů v přímořských oblastech, nebo například pro simulaci pohybu automobilu v zimě v oblastech, kde je k úpravě silnic využívána sůl. Stěžejním aspektem korozního testování je přiblížení se, co nejdříve, atmosférickým korozním podmínkám, s účelem zjištění degradace povrchu dílu, či jeho funkce. *Predikce dlouhodobé korozní rychlosti, resp. korozních úbytků, je podkladem pro určení životnosti konstrukčních kovových materiálů a kovových povlaků* [2].

Testování probíhá v korozních komorách, kde se uskutečňují zpravidla zkoušky solnou mlhou, nebo testy korozní odolnosti, kde je zámek vystaven agresivnímu koroznímu cyklu střídajícím sprchování slanou vodou a prudkým změnám teplot a vlhkosti. Hodnotícím kritériem, jež se při těchto testech posuzuje, je opět funkční stav zámku a počet zasažené plochy bílou a červenou korozí. Všechny parametry jsou udány především normou specifikace zákazníka a ČSN ISO 9227 [3].

### 1.2.3 Vibrační test - PWO

Test blízce obdobný vibračnímu testu, kde jsou na zařízení ve dvou osách zabudovány dva elektromotory s táhly, jež přenášejí vibrace o určitých frekvencích do zavíracího klínu v podélném a příčném směru. Stranový zámek je pevně uchycen na zařízení a skrze signály vedoucí ze zámku se monitoruje, zda zavírací klín zámek při vibračních rázech neotevřel. Jedná se o test simulace jízdy, při zachování uzavřeného stavu dveří po četných nárazech, což představuje například jízdu náročným terénem.

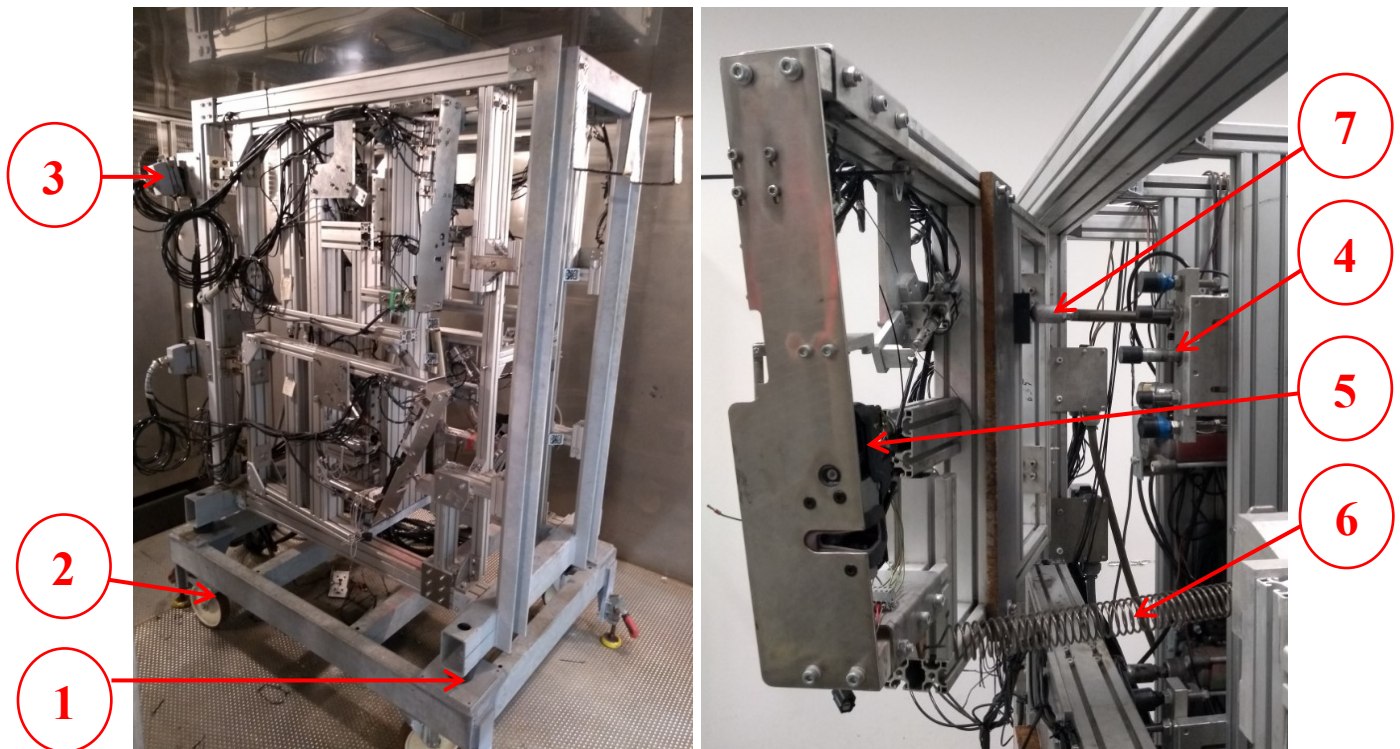
## 2 ŽIVOTNOSTNÍ TEST

Jedná se o nejobsáhlejší a nejnáročnější komplexní test v testovací specifikaci. Simuluje životnost a funkčnost zámku v celé jeho garantované životnosti, zkoušejíce vše, co od zámku může běžný uživatel očekávat. Od tahání za páky, přes zamykání, otevírání a zavírání dveří určitou energií, ale především také jeho funkčnosti a spolehlivosti. Ve stotisícových cyklech se dle specifikace mění také klimatické podmínky. Testovány jsou cykly v pokojové teplotě, teplotách 0°C, -30°C, -40°C, +80°C a +45°C při 95% RH (relativní vlhkosti). Zámek je při tomto testu rovněž průběžně korodován a prachován. Tento testovací cyklus a podmínky se liší dle zvolené specifikace, popřípadě dle požadavku zákazníka.

### 2.1 Popis zařízení

Test je prováděn na zkušebním zařízení, stávajícím ze tří částí: zkušební rám, zkušební dveře a kontroléru. Zkušební rám je samotná konstrukce zařízení se svařeným tělem, „silentbloky“ pro tlumení nárazů (Obr. 2, prvek 1), kolečky (Obr. 2, prvek 2) pro transport a především vodící pneumatickou a elektrickou soustavou (Obr. 2, prvek 3). Velmi důležitou součástí je také zařízení pro tvorbu reakční síly deformace těsnění dveří (Obr. 2, prvek 4), která na zámek (Obr. 2, prvek 5) působí v zavřeném stavu a také vytváří odpor zámku při zavírání. Tato síla bývá dle projektu různá a může být vytvářena například tlačnou pružinou o určité tuhosti. Rovněž na zařízení ke tvorbě protitlaku nalezneme tzv. dorazy k tlumení rázových sil. My budeme dále pracovat s odporovou silou 300 N, jež je požadována zákazníkem. Zkušební dveře jsou vyměnitelné a liší se dle projektu, tj. dle druhu zámku a jeho funkcí, přičemž zpětný pohyb zámku do stranového klínu je zde uskutečněn skrze tažnou pružinu (Obr. 2, prvek 6). Dveře jsou dále umístěny na pantech, které jsou upevněny k rámu a je na nich umístěn samotný stranový zámek, spolu s bowdeny, klikami a dalším příslušenstvím, které je ovládáno a mechanicky obsluhováno pneumatickými válci (Obr. 2, prvek 7). Ty se nacházejí jak na zkušebních dveřích, tak i na testovacím rámu, přičemž poloha pístů pneumatických válců je zde hlídána indukčními senzory. Do stranového zámku nalezneme zapojen konektor, snímající stav spínačů, indikující jeho různé stavy a umožňující přivedení proudu do motorů. Celý systém je dále ovládán přes kontrolér. Používaný program nám umožňuje nastavení testovací frekvence a tvorbu sekvencí i podsekvencí, pro vytvoření požadovaného testovacího cyklu. Řídící věž je s testovacím rámem propojena dostatečně dlouhou kabeláží, proto je možno ji umisťovat mimo klima-

tickou komoru, kde není vystavována klimatickým změnám. Také nám umožňuje ovládání pneumatických prvků a elektrických operací, což vede k efektivní synchronicitě celého systému.



Obrázek 2 - Zkušební testovací rám s osazenými dveřmi [vlastní zdroj]

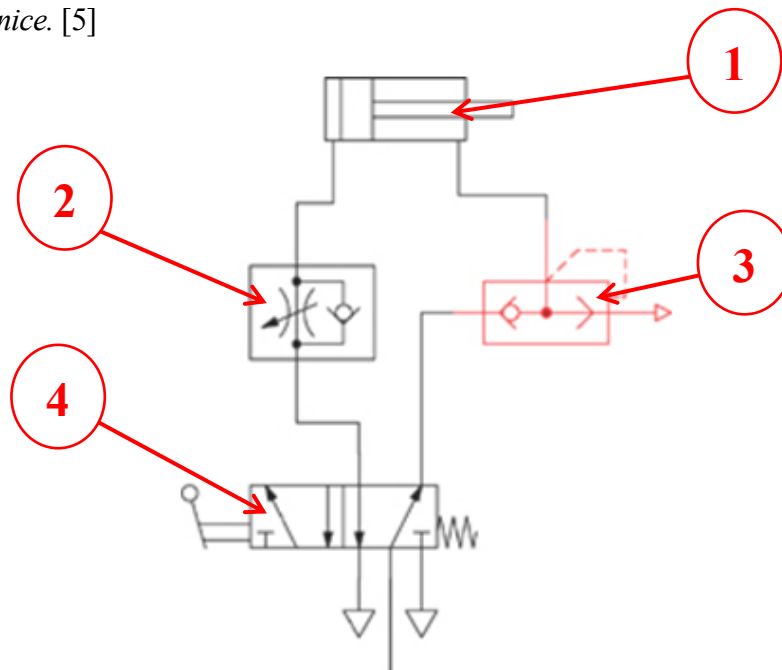
( 1- prvek tlumící rázy, 2- kolečka, 3- pneumatická a elektrická soustava, 4- protitlak, 5- stranový automobilový zámek, 6- tažná pružina, 7- pneumatický válec- vysunutý )

## 2.2 Popis problému

Při běžném testovacím cyklu jsou dveře otevřeny pneumatickým válcem určitého zdvihu a dráhy. Dveře se otevrou do požadované polohy a při zasunutí hlavního válce jsou tažnou pružinou umístěnou, mezi rámem a dveřmi uzavřeny. Zámek musí do zavíracího klínu narazit s určitou rychlostí a energií, proto celá zavírací sestava musí mít přesně uzpůsobené parametry, jako je hmotnost dveří, úhel otevření a tuhost tažné pružiny. Problém, jež v této práci budeme řešit, vzestává z nevysunutí hlavního válce otevírajícího dveře a jeho následném, nedostatečně rychlém zatažení, což způsobuje zavření nedostatečnou energií a často také nezavřením zámku vůbec, jelikož zavírací odporová síla 300 N tomu zabrání. Tento problém nastává v teplotách nižších 0°C. *Postupné ochlazování vede k přesycení vzduchu vodní parou, až se při dosažení určité teploty náhle vytvoří vodní kapičky.* [4]

Takto nakondenzovaná vzdušná vlhkost, jež se usazuje v hadicích a ventilech, gravitačně stéká k zemi vně hadic a zde zamrzává, což vede k nedostatečné intenzitě proudění vzduchu. Funkce pneumatického válce spočívá v přivedení stlačeného vzduchu do jednoho z otvorů, což přetlačí pístnici do požadované polohy (Obr. 5). Očekáváno je, že přebytečný vzduch z druhé komory bude dostatečně rychle vytlačen skrze hadice, nebo rychloodvzdušňovací ventil ven (Obr. 3,4).

*Vzduch v komoře pneumatického válce je vyfouknut přímo do okolního prostředí rychloodvzdušňovacího ventilu a není tedy přiváděn zpět do rozvaděče. Tím je dosaženo zvýšení tlakové rychlosti pístnice. [5]*



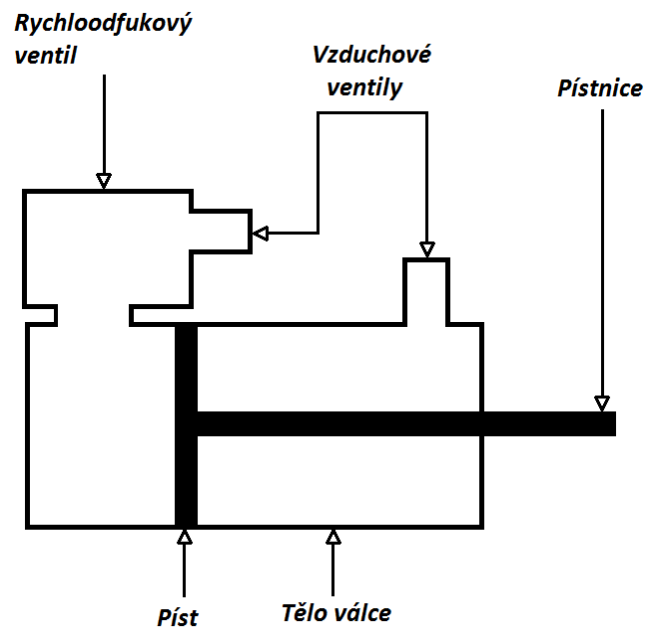
Obrázek 3 - Schéma rychloodvzdušňovacího ventilu [5]

(1- pneumatický válec, 2- regulační ventil, 3- rychloodvzdušňovací ventil, 4- rozvaděč)

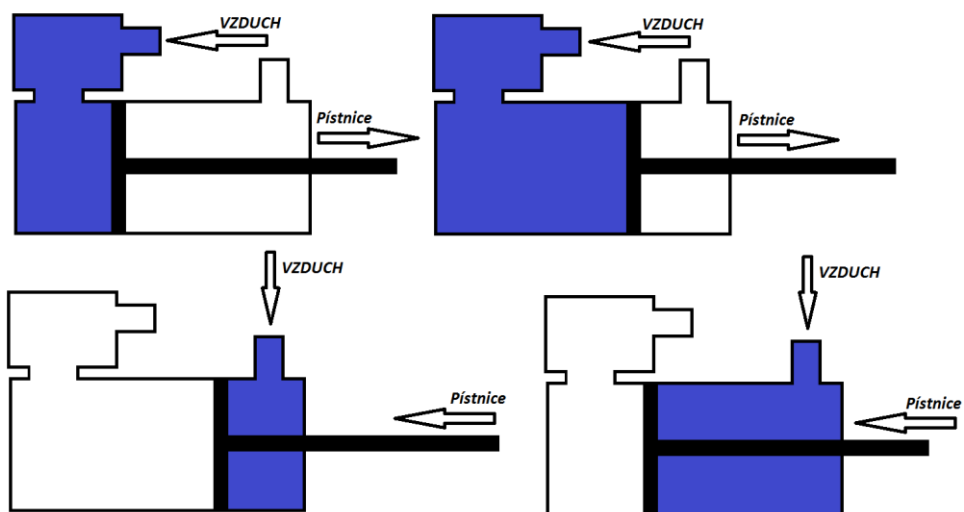
V nízkých teplotách při zasouvacím stavu na pneumatickém válci tento odvětrávací ventil zamrzává, což má za následek, že nestíhá dostatečně rychle odvětrávat vzduch z komory válce a zavírání je proto nedostatečně rychlé.

Při použití vysoušení vzduchu, před jeho přivedením do komory, lze vyřešit problém s nakondenzovanou vodou, avšak problém s nedostatečným odvětráním vzduchu z válce setrvává a tento problém je podstatou této práce.





Obrázek 4 - Popis pneumatického válce s aplikovaným rychloodvzdušňovacím ventilem vzduchu [vlastní zdroj]



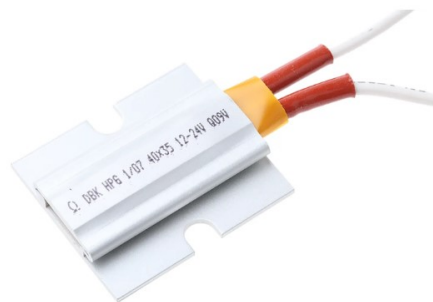
Obrázek 5 - Princip funkce pneumatického válce přivedením stlačeného vzduchu [vlastní zdroj]

## 2.3 Návrh řešení

Řešení tohoto problému by bylo možno zpracovat několika cestami, jako je aplikace přídavných topných tělísek na pneumatický válec, i jeho odfukový ventil. Dále například použití lineárního pohonu, jež by zajišťoval otevření zkušebních dveří a v neposlední řadě tvorbu excentrického mechanismu, poháněného elektrickým stejnosměrným motorem.

### 2.3.1 Topná tělíska

Aplikace zapouzdřených topných tělísek (Obr. 6), by obsahovala vytvoření tepelně vodivého krytu pneumatického válce, na němž by toto tělísko bylo umístěno a jež by zajišťovalo ohřívání válce. Druhé tělísko se stranovými plochami ohlými do kruhového tvaru by mohlo být umístěno na rychloodvzdušňovacím ventilu, jež nabývá tento tvar výrobcem.



Obrázek 6 - Zapouzdřené topné těleso [6]

Mezi pozitiva by se jistě mohla v přední řadě uvést lehká konstrukce a především mobilita, jelikož při vytvoření jednoho topného systému bychom jej mohli snadno odnímat a měnit mezi více testovacími rámy, dle potřeby.

Zápory tohoto řešení by mohl být například nutnost použití externího zdroje napájecího topná tělíska, nebo nekontrolované zaměření topení na válci. *Přestup tepla mezi médiem a stěnou je složitý děj, který se odehrává v mezní vrstvě média. Přestup tepla se děje konvekci (prouděním) a sáláním při jednofázovém proudění.* [7]

Princip použití tohoto řešení by se zakládal na aplikaci přestupu tepla mezi tělesy, tedy mezi pneumatickým válcem a topným modulem z tepelně vodivého materiálu. V našem případě, jsou při chlazení v klimatické komoře spuštěny ventilátory, jež do komory rychle víří vzduch regulující teplotu a právě v tomto stavu by mohlo být vyzařované teplo z tělíska odvedeno směrem od válce. V klidovém stavu komory se ventilátory nespínají a tělísko by zahřívalo pneumatický válec, spolu se svým nejbližším okolím.

I tento problém by bylo možno z části vyřešit zaizolováním topného tělíska /modulu na válci například neprofouknutelnou, teplotně izolační fólií, jež by teplo mířící z tělíska ven zadržela a nově vytvořené teplo by se tak snáze dostalo do válce. Dalo by se zde také ovšem očekávat, že by vzduch proudící hadicemi do pneumatického válce procházel značnými změnami teplot, kde by uvnitř válce docházelo ke kondenzaci vzdušné vlhkosti a vytvářela by se zde voda.

Také zde stále bude vysoká energetická náročnost, jelikož laicky řečeno- topíme v lednici.

### 2.3.2 Lineární pohon

Aplikace lineárního pohonu by mohla zcela nahradit pneumatický válec a zajistit otevření dveří při vysunutí pohonu.

Jako značnou výhodu můžeme označit spolehlivost a snadné ovládání.

Mezi nevýhody můžeme uvést například vysokou pořizovací cenu, nutnost přídavného externího zdroje, ale především omezenou teplotní provozní teplotou, jež se u většiny běžně dostupných pohonů udává od  $+5^{\circ}\text{C}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$ . Ty nejodolnější, jež jsou aktuálně na trhu k dispozici se vyznačují teplotní odolností od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+85^{\circ}\text{C}$ , což by pro naše potřeby bylo postačující.

Tento způsob ovládání dveří by byl tedy reálný, ovšem s poměrně vysokými pořizovacími náklady.



Obrázek 7 - Lineární pohon [8]

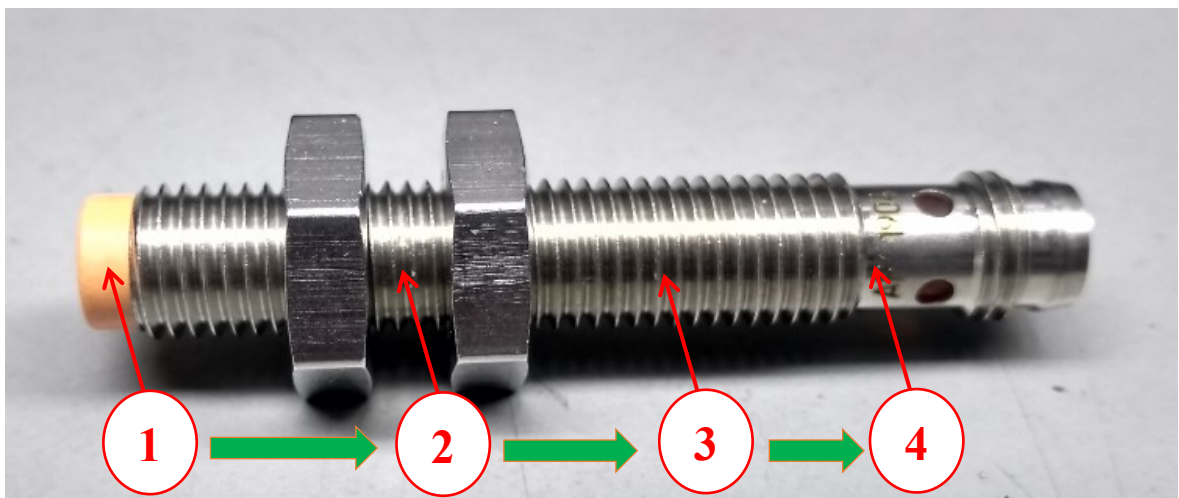
### 2.3.3 Excentrický mechanismus

Další návrh řešení problému obsahuje vytvoření vačkového mechanismu, kde na jedné straně najdeme otočný excentr (vačku – hnací člen), poháněn motorem, který se bude otáčet po své trajektorii a jehož protikusem bude kladičkové zdvihátko (hnací člen), jehož funkci bude plnit valivé ložisko, jež při působení excentru bude otevírat zkušební dveře. *Kuličková ložiska přenášejí radiální i axiální zatížení a jsou vhodná pro velké frekvence otáček, zvláště v provedení s masivními klecemi z barevných kovů, nebo textilu a plastů.* [9]

Jako výhodu můžeme uvést spolehlivý systém otevírání, jež jsou pro vačkové mechanismy všeobecně známy, zejména kvůli přesnosti kontroly pohybu a životnosti, kde s použitím indukčních senzorů můžeme kontrolovat pozici excentru a tím zjišťovat, popř. řídit jeho rychlost programově.

Hlavní úlohu zde bude mít indukční senzor v zastavení chodu excentru, jakmile dosáhne požadované pozice, aby nedocházelo ke stálému působení tlaku při zavřených zkušebních dveřích. Tyto senzory pracují na principu detekce kovového předmětu. *Oscilátor reaguje na změnu vlastností magnetického pole útlumem kmitů (přestane kmitat). Klopný obvod vyhodnotí tento signál jako logickou 1 – snímaný objekt je v dosahu, nebo logickou 0 – předmět není v dosahu.* [10]

Důležitým prvkem bývá cívka, která magnetické pole na základě přivedeného proudu vytváří. Prahový detektor reaguje na změnu frekvence kmitočtu oscilátoru a ovládá klopný obvod, který udává informaci o signálu a současně jej zesiluje na výstupu.



Obrázek 8 - Analogový indukční senzor [vlastní zdroj]

(1- Cívka, 2- oscilátor, 3- prahový detektor, 4- výstupní zesilovač)

Tyto senzory tedy fungují bez nutnosti dotyku s předmětem, nedochází tedy k opotřebení senzoru a z tohoto důvodu jsou často aplikovány na zařízeních, kde je důležité snímání stavu polohy. Ideální kombinace spočívá ve spojení senzorky a časového ovládání, kde primárním prvkem je výše zmíněný senzor s použitou časovou podmínkou, jež vypne chod motoru v případě, že by do určitého časového intervalu neposlal řídicí jednotce signál o zastavení.

Nevýhodou tohoto mechanismu je nutnost externího napájecího zdroje pro motor. Mohli bychom zde zmínit také náročnost výroby excentru (vačky), jež byla v minulosti, bez použití CAD, CAM technologií poměrně náročná.

### 3 NÁVRH MECHANISMU ZAVÍRÁNÍ ZKUŠEBNÍCH AUTOMOTIVE DVEŘÍ

#### 3.1 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je vyřešit problém, jež nastává v minusových teplotách zkušebních testovacích dveří, kde nedostatečná rychlost zasunutí pneumatického válce zapříčiní nedostatečně rychlé, až nezavření stranového automobilového zámku do požadovaného západu. Tento problém se pokusíme vyřešit tvorbou excentrického mechanismu, popsaného v kapitole 2.3.3. V tomto řešení budeme převádět rotační pohyb na pohyb přímočarý, za užití stejnosměrného motoru, namísto pneumatických prvků, což by celý testovací cyklus v minusových teplotách mělo zefektivnit a značně urychlit, jelikož aktuální aplikace pneumatických válců v nízkých teplotách jest značně nespolehlivá.

Rozhodl jsem se pro vypracování řešení excentrickým mechanismem, jelikož díky tomuto systému nebude nutné v minusových teplotách, již nadále využívat pro otevírání dveří pneumatické válce, jež budou nadále využívány v teplotách pokojových a vyšších, čímž se i prodlouží jejich životnost. Zde se dostáváme k aspektům finančních úspor, které při správném chodu našeho řešení nebudou zanedbatelné. I v případě zanedbání ceny stlačeného vzduchu, které by pneumatické válce k chodu potřebovaly, zde máme enormní úsporu energie vynaloženou klimatickou komorou, k udržení požadované teploty v testovací místnosti, jež nám velmi rychle vrátí pořizovací investice. S tímto zrychlením doby testování v nízkých teplotách, jde přímou úměrou také zkrácení celkové doby testování a testovací fáze, což má na výslednou cenu nemalý ekonomický vliv v řádu desítek, až stovek tisíc korun. Neméně důležitým důvodem pro mou volbu toto téma zpracovat, je také chuť a odhodlání, jež cítím z vypracování tvorby takového mechanismu, jelikož jiný vačkový mechanismus je v současnosti využíván na zkušebních testovacích rámech zámků pátých dveří, kde ovšem dochází k pádu zdvihátka ve vertikálním směru, tedy zapříčiněném gravitační silou. Návrh a tvorba takového mechanismu pro pohyb v ose horizontální, je pro mne výzvou a zjištění faktorů na něj působících ve mně evokuje zvědavost.

Velkou motivací pro vypracování tohoto řešení, je pro mne také má vlastní vize návrhu vačky, jež jeden zavírací cyklus učiní za  $180^\circ$  svého otočení, namísto obvyklých  $360^\circ$ . S takovou vačkou jsem se doposud ve svém profesním životě nesetkal, ačkoliv myslím, že úspora jež vytváří, je velmi velká z pohledu zrychlení testovacího cyklu a esteticky ne-

obvyklého designu. Tento design rovněž považuji za pomyslnou první vlašťovku excentrů, jež by mohly nahradit pneumatické prvky, i na jiných zkušebních zařízeních (jež nejsou předmětem této práce, ale v mém profesním životě se vyskytují), za účelem urychlení testovacího cyklu ve speciálních- zákaznický definovaných testech, s upravenými vstupními podmínkami, jež například definují počet vykonaných cyklů za 1 minutu. Doposud bychom zde byli limitováni pneumatickými prvky, u nichž dochází k zamrzávání, avšak za použití funkčního vačkového mechanismu s upravenou násobností zavíracího cyklu na jedno otočení, bychom v budoucnu i zde mohli dosáhnout velkých časových úspor, jež jsou přímo spojeny se spokojeností zadavatele testu (zákazníka).

### 3.2 Návrh mechanismu

Budeme vycházet z modelu, obsahujícího vačkový prvek - excentr samotný, hřídele s vybráním pro ozubené kolo, k přenesení kroutícího momentu vytvořeného převodovkou motoru, deskou pro uchycení motoru, aretačních kroužků k uchycení excentru na hřídel a stojanových domečků pro ložiska. Na druhé straně vyrobíme jednoduché rameno s kuličkovým ložiskem, k uchycení ke zkušebním dveřím. Celý systém bude na testovací rám uchycen ITEM prvky, s nimiž se v další části práce seznámíme. Dalším aspektem bude, že se pokusíme zlepšit využitelnost geometrie excentru, tedy že excentr nezavře dveře 1x za 360° otočení, ale 1x za 180° při zachování tzv. syntézy vačkového mechanismu. *Syntézou vačkového mechanismu rozumíme stanovení takového profilu vačky, aby se během jednoho otočení vačkové hřídele ( $0-2\pi$ ) docílilo vhodného průběhu zvedátka.* [11]

Zlepšíme tím využitelnost dráhy, času a prodloužíme životnost motoru. Negativním aspektem zřejmě bude, že změna sklonu úhlu na excentru bude razantnější, což se může mimo jiné promítnout na změně zatížení na motoru. *Prudší nárůst má také nevýhodu ve skocích zrychlení protikusů. Derivace zrychlení ložiska podle času má v takovýchto bodech nekonečnou velikost. Skoky ve zrychlení způsobují vznik nežádoucích dynamických rázů v mechanismu.* [11]

Při tvorbě mechanismu je také vhodné si zprvu pro pozdější tvorbu uvědomit, jaké síly na něj budou při zatížení (ve větší, či menší míře) působit.

- 1) Setrvačné síly- bývají velmi důležité, především u vysokorychlostních využití.
- 2) Rázové síly- působí na mechanismus nejvyšším zatížením, které může být až čtyřnásobné oproti statickému zatížení. Jejich predikce nebyly doposud přesněji popsá-

ny a dle dostupných publikací bylo doporučeno jejich zkoumání přímo na zařízení za pomoci tenzometrů. [12]

- 3) Třecí síly- síly vznikající při styku dvou povrchů. U kladičkových zvedátek jsou uváděny vyjma ztráty valením v ložisku, také ztráty způsobené viskozitou a prokluzy. Koeficient tření valivých ložisek bývá udáván 0,01 až 0,15.
- 4) Vibrační síly- síly, jež budou na mechanismus působit zejména vlivem dynamického zatížení rázových sil, tak při provozu také působením zbytku zkušebních dveří osazených na rámu zařízení. Bohužel vyjma využití tlumících prvků je nelze eliminovat, přičemž jejich vznik bude probíhat sporadicky, na základě ovládní zbytku zkušebních dveří.
- 5) Síla pružiny- síla tažné šroubovitě pružiny má přímý vliv na zatížení, jež vytváří. Nízká síla při styku excentru se zvedátkem způsobuje jeho odskoky, dochází tedy ke tvorbě rázů, přičemž velmi vysoká síla pružiny vyžaduje větší robustnost mechanismu, případně vyšší opotřebení na jeho prvcích.
- 6) Pracovní síla- síla, jež při styku excentru s protikusem vykoná užitečnou práci.
- 7) Kroutící moment na hřídeli excentru- jeho znalost bývá klíčová u návrhu mechanismů vysoce zatížených, nebo vysokorychlostních. U nízkorychlostních (naš případ) nebývá příliš vysoký a lze navrhnout tvar vačky s jeho přihlédnutím. Nižší rychlost také způsobuje, že má poměrně stabilní průběh. K jeho výpočtu bývají také používány zjednodušené předpoklady, například že vačka i zdvihátko jsou tuhá tělesa, nebo zanedbání odporů ložisek.

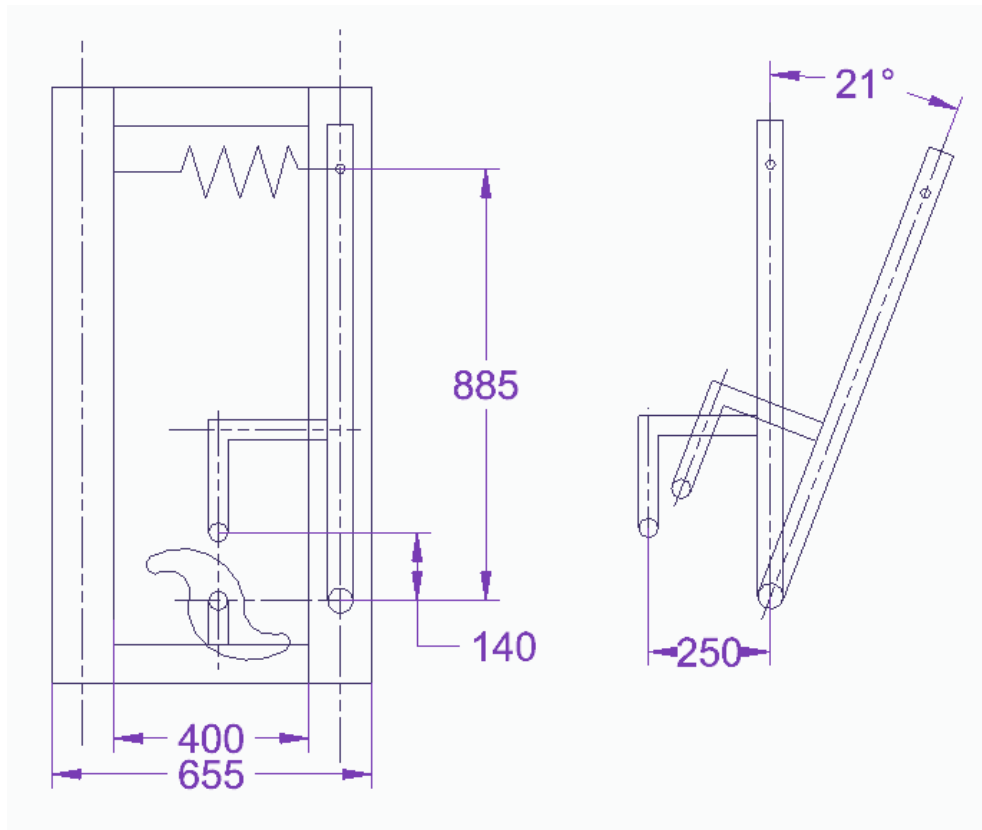
### 3.3 Určení parametrů propozic rámu

Při zpracování tvaru excentru, budeme vycházet z propozic, jež má rám samotný. Některé hodnoty jsou neměnné a jsou dány konstrukčními propozicemi rámu, jako jsou velikosti profilů. Další hodnoty si sami určíme, abychom z nich mohli vycházet při výpočtu, např. vzdálenost ložiska, nebo pružiny od pantu.

Důležitou znalostí je také požadovaná velikost otevření testovacích dveří, jež je předem určena. Zvolila se na základě požadavku zavírací energie požadované specifikací. V našem případě to znamená povinnost otevření zkušebních dveří o 21°.

Po zformování náčrtku propozic můžeme vycházet z hodnot vzdáleností (mm):





Obrázek 9 - Parametry testovacích dveří [vlastní zdroj]

### 3.4 Výpočet tvaru excentru

Cílový stav bude, aby zatížení na motoru zůstalo lineární, po celé trajektorii, jež bude při otevření dveří vykonána. Tohoto stavu se pokusíme dosáhnout optimalizací poloměru excentru a jeho stoupáním, tj. přiblížením se co nejvíce tzv. spojité vačce. *Spojité vačky jsou limitním stavem, kde každý bod profilu vačky má svůj samostatný střed křivosti v souřadné soustavě vačky a průběh zrychlení zvedátka je spojité.* [11]

Síla, jež zde bude působit je dána především tažnou pružinou, jejíž tuhost známe. *V celé řadě praktických případů je vratná síla pružiny úměrná jejímu prodloužení, tj. posunutí volného konce pružiny vůči jeho poloze v nenapjatém stavu.* [13]

Dalším aspektem by mohla být hmotnost dveří, jež by nám ovlivnila tření v pantech, ale vzhledem k tomu, že jsou panty pravidelně při testování mazány, tření zde bude minimální a budeme jej zanedbávat. Budeme tedy počítat především se změnou síly závisící na protažení tažné pružiny.

### 3.4.1 Zjednodušený výpočet síly působící na excentr při otevření dveří

Základem tohoto výpočtu bude znalost vzorce pro výpočet síly pružiny:

$$F = k * x \text{ (N)} \quad (1.1)$$

*Závislost síly  $F$  na deformaci  $\Delta$ ,  $F=f(\Delta)$ , je nazývána „charakteristika pružiny“. Ve většině případů mohou být pružiny považovány za „lineární“, tj. jejich charakteristika je lineární. Síla potřebná k jejich deformaci je přímo úměrná deformaci a naopak deformace je úměrná síle. [11]*

Tuhost námi užitá pružiny je dána výrobcem a rozdíl dráhy, před a po zatížení je možné změřit. Na úvod je však nutné zmínit, že pružina je již v napnutém stavu i při zavřených dveřích, tudíž k zatížení oproti klidovému stavu nedochází až při otevření, ale je zatížena permanentně. Je to z důvodu, aby testovací dveře dle specifikace produktu dosáhly požadované rychlosti zavření. Její permanentní zatížení je z důvodu poměrně nízké tuhosti, aby ji bylo možno lehce a rychle uvolnit, pokud by byla potřeba, například z důvodu otevření dveří a provedení servisního zákroku. Ve výpočtu budeme počítat s velikostí napnutí pružiny  $x_p$ , což je vzdálenost protažené pružiny ( $L$ ), ze které odečítáme její velikost v klidovém stavu ( $L_0$ ), tedy:

$$x_p = L - L_0 \text{ (mm)} \quad (1.2)$$

Základem výpočtu bude určení momentové rovnice od místa uchycení pružiny směrem k pantu dveří a od místa styku kuličkového ložiska a excentru vzhledem k pantu. *Moment silové dvojice nezávisí na poloze momentového bodu a má velikost rovnou součinu velikosti síly a ramene silové dvojice, tj. kolmé vzdálenosti obou sil mezi sebou. [14]*

K výpočtu hodnoty velikosti momentu, je nutné určení velikosti ramena excentru  $S_E$  (Obr. 10), vzhledem k uchycení pružiny k rámu. Hodnotu  $S_E$  dle propozic zkušebního rámu zvolíme 250 mm. Získáme tedy vztah momentové rovnice:

$$k * x_p * S_p = F_s * S_E \quad (1.3)$$

kde:  $k$ ..... tuhost pružiny,  $k= 0,27$  (N/mm)

$x_p$ .....velikost napnutí pružiny,  $x_p \in \langle 191;413 \rangle$  (mm)

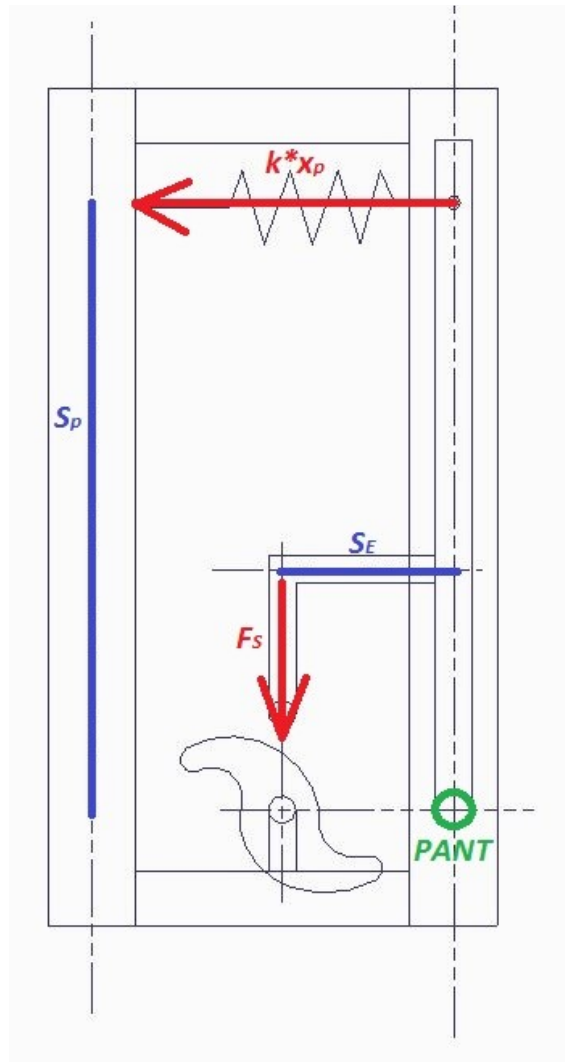
$S_p$ .....rameno pružiny k pantu,  $S_p= 885$  (mm)

$F_s$ .....síla působící na excentr,  $F_s= ?$  (N)

$S_E$ .....rameno excentru k pružině,  $S_E = 250$  (mm)

Úpravou vztahu získáme vzorec k výpočtu síly:

$$F_S = \frac{k \cdot x_p \cdot S_p}{S_E} \text{ (N)} \quad (1.4)$$

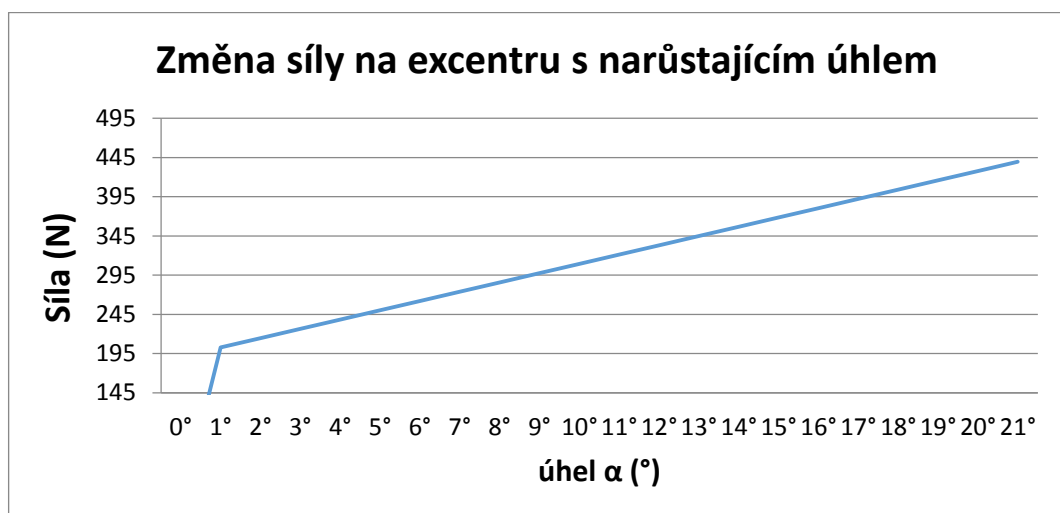


Obrázek 10 - Zobrazení ramen a sil zkušebních dveří [vlastní zdroj]

V závislosti na měnícím se úhlu, rozepíšeme vzorec po 21 hodnotách, kde každá odpovídá jednomu stupni. Získáme tedy hodnoty:

$\alpha$	velikost napnutí pružiny $X_p$ (mm)	Síla působící na excentr $F_s$ (N)
0°	200,00	0,00
1°	212,38	202,99
2°	224,76	214,83
3°	237,14	226,66
4°	249,52	238,49
5°	261,90	250,33
6°	274,29	262,16
7°	286,67	274,00
8°	299,05	285,83
9°	311,43	297,66
10°	323,81	309,50
11°	336,19	321,33
12°	348,57	333,16
13°	360,95	345,00
14°	373,33	356,83
15°	385,71	368,67
16°	398,10	380,50
17°	410,48	392,33
18°	422,86	404,17
19°	435,24	416,00
20°	447,62	427,83
21°	460,00	439,67

Tabulka 1 - Síla působící na excentr [vlastní zdroj]



GRAF 1 - Změna síly na excentru s narůstajícím úhlem [vlastní zdroj]

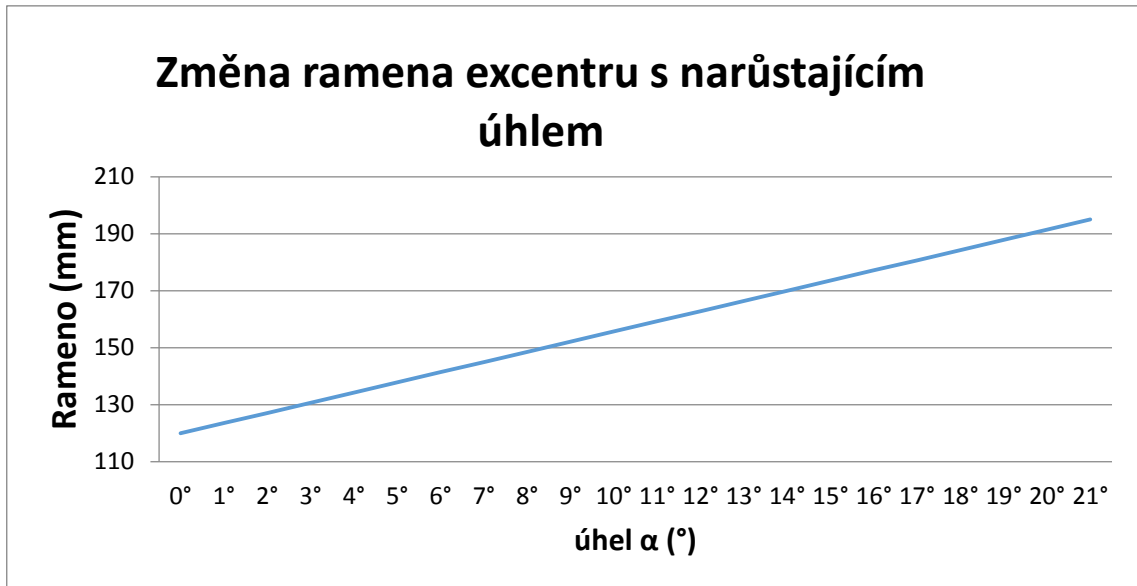
### 3.4.2 Výpočet ramena excentru při otevření dveří

Rameno excentru se bude měnit, dle zatěžující síly tak, aby síla přecházející na excentr působila co nejlépe v normálovém směru. Jelikož excentr samotný bude uchycen ve stojanovém ložisku umístěném na rámu samotném, zvolíme dle uchycení vzdálenost 120 mm, jako výchozí velikost jeho tvaru, ke které budeme vztahovat jeho nárůst. Maximální délku ramena excentru zvolíme 195 mm. Při velikosti přesahující 200 mm, by nám již na tomto rámu mohlo docházet ke kolizi s rámovou konstrukcí. Dále budeme počítat s nárůstem jeho velikosti  $S_K$ , až do momentu, kdy budou dveře otevřené, tedy v  $21^\circ$  pootočení dveří, což odpovídá maximálnímu nárůstu ramena excentru o 75 mm. Budeme si počínat s výpočtem stejně, jako u výpočtu síly a na každý stupeň přičteme k původní hodnotě ramena excentru podíl celkového nárůstu ramena k počtu počítaných dílků:

$$S_K = S_E + \frac{75}{21} (\text{mm}) \quad (1.5)$$

$\alpha$	Rameno excentru $S_E$ (mm)	Nárůst ramena $S_K$ (mm)
0°	120,00	0,00
1°	123,57	3,57
2°	127,14	7,14
3°	130,71	10,71
4°	134,29	14,29
5°	137,86	17,86
6°	141,43	21,43
7°	145,00	25,00
8°	148,57	28,57
9°	152,14	32,14
10°	155,71	35,71
11°	159,29	39,29
12°	162,86	42,86
13°	166,43	46,43
14°	170,00	50,00
15°	173,57	53,57
16°	177,14	57,14
17°	180,71	60,71
18°	184,29	64,29
19°	187,86	67,86
20°	191,43	71,43
21°	195,00	75,00

Tabulka 2 - Změna ramena excentru s narůstajícím úhlem [vlastní zdroj]



*GRAF 2 - Změna ramena excentru s narůstajícím úhlem [vlastní zdroj]*

### 3.4.3 Výpočet práce vykonané excentrem při otevření dveří

K určení energie, jež bude při otevření dveří excentr nucen skrze motor vykonat využijeme

známého vzorce pro výpočet práce:  $W = F * s$  (J) (1.6)

kde: W.....práce (J)

F..... síla pružiny (N)

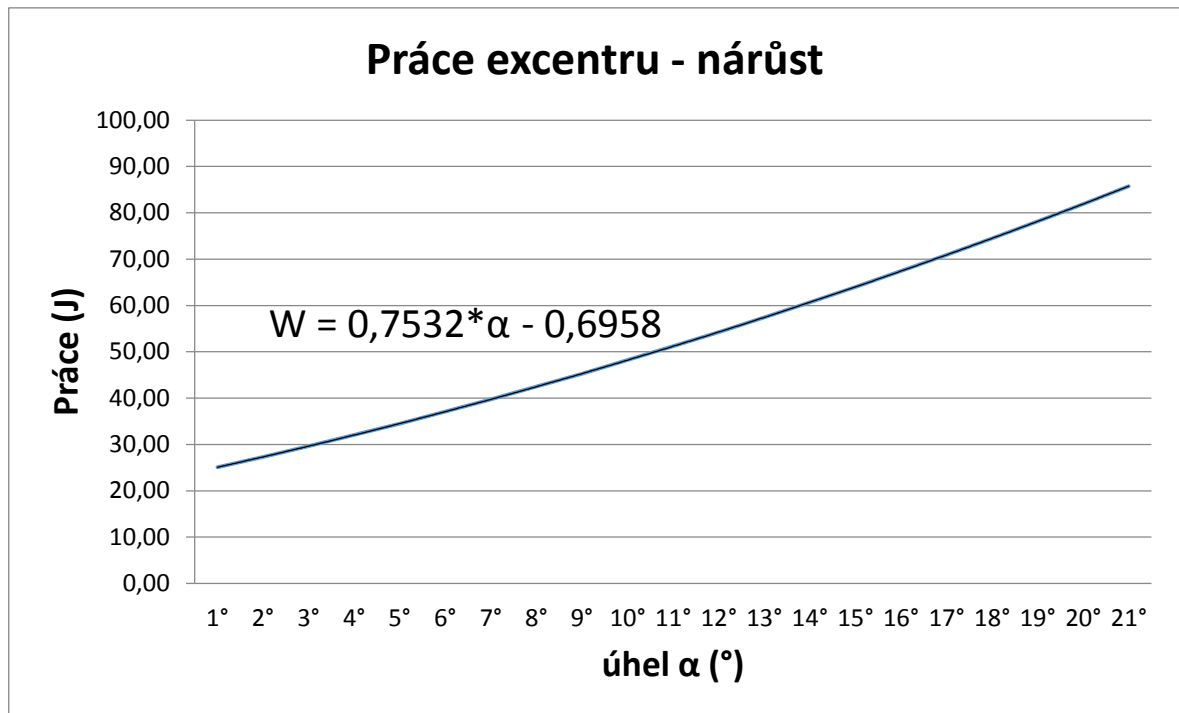
s..... rameno excentru (mm)

Vynásobíme tedy spolu ve 21 výpočtech sílu, působící na excentr a jeho rameno v téže pozici.

$\alpha$	Rameno excentru $S_e$ (mm)	Nárůst práce (J)
0°	120,00	0,00
1°	123,57	25,08
2°	127,14	27,31
3°	130,71	29,63
4°	134,29	32,03
5°	137,86	34,51
6°	141,43	37,08
7°	145,00	39,73
8°	148,57	42,47
9°	152,14	45,29

10°	155,71	48,19
11°	159,29	51,18
12°	162,86	54,26
13°	166,43	57,42
14°	170,00	60,66
15°	173,57	63,99
16°	177,14	67,40
17°	180,71	70,90
18°	184,29	74,48
19°	187,86	78,15
20°	191,43	81,90
21°	195,00	85,74

*Tabulka 3 - Nárůst práce excentru s narůstajícím úhlem [vlastní zdroj]*



*GRAF 3 - Nárůst práce excentru [vlastní zdroj]*

#### 3.4.4 Výpočet celkové délky ramena excentru při otevření dveří

Z výpočtu práce vidíme, že v otevřené pozici dveří, bude práce v nejvyšším případě 85,74 J, s touto hodnotou nyní budeme počítat. Rozdělíme si výpočet do 20ti dílku, dle kterých na závěr zformujeme elipsovité tvar excentru. Spočteme, kolik má v našem případě nyní 1 dílek Joulů, dále jaký bude nárůst stupňů, jež bude k dosažení 1 dílku potřeba, zde budeme využívat regresní analýzy získaného průběhu, vytvořené Excel souborem. *Cílem regresní analýzy je nalézt tvar regresní funkce. Obvykle jej volíme tak, aby co nejvíce odpovídal vyšetřované, nebo uvažované závislosti. Bývá zvykem volit regresní funkci s co nejmenším počtem regresních koeficientů, avšak dostatečně flexibilní a s požadovanými vlastnostmi.* [15]

Spočetli jsme hodnotu, jež nám určí, kolik stupňů je k dosažení požadované práce potřeba. Pokud vezmeme v úvahu, že funkční plocha, již jsme si k zavření dveří určili, je otočení excentru o 180°, můžeme zvolit 140° jako zavírací dráhu a zbylých 40° bude sloužit k přesunu - pádu ložiska do nezatíženého stavu, při němž dojde k zavření dveří. Pokud počítáme s výchozí velikostí ramena excentru 120 mm a maximální velikostí 195 mm určíme, jakou délku přírůstku má mít každý stupeň. Tedy pokud 20° = 75 mm, 1° = 3,8 mm. Po vynásobení nárůstu práce s požadovanou délkou přírůstku získáme hodnotu celkového

nárůstu ramena, jež zkrátíme o hodnotu 5,75, díky čemuž se dostaneme do hodnoty maximální požadované vzdálenosti, při zachování požadovaného průběhu nárůstu práce.

dílky	nárůst práce (J)	nárůst práce (°)	nárůst ramena (mm)	celková délka ramena excentru (mm)	stupně na dílek (°)
0	0	0	0,0	<b>120,0</b>	<b>0</b>
1	4,29	6,6	4,3	<b>124,3</b>	<b>7</b>
2	8,57	12,3	8,0	<b>128,0</b>	<b>14</b>
3	12,86	18,0	11,7	<b>131,7</b>	<b>21</b>
4	17,15	23,7	15,5	<b>135,5</b>	<b>28</b>
5	21,43	29,4	19,2	<b>139,2</b>	<b>35</b>
6	25,72	35,1	22,9	<b>142,9</b>	<b>42</b>
7	30,01	40,8	26,6	<b>146,6</b>	<b>49</b>
8	34,29	46,5	30,3	<b>150,3</b>	<b>56</b>
9	38,58	52,1	34,0	<b>154,0</b>	<b>63</b>
10	42,87	57,8	37,7	<b>157,7</b>	<b>70</b>
11	47,15	63,5	41,4	<b>161,4</b>	<b>77</b>
12	51,44	69,2	45,1	<b>165,1</b>	<b>84</b>
13	55,73	74,9	48,8	<b>168,8</b>	<b>91</b>
14	60,01	80,6	52,6	<b>172,6</b>	<b>98</b>
15	64,30	86,3	56,3	<b>176,3</b>	<b>105</b>
16	68,59	92,0	60,0	<b>180,0</b>	<b>112</b>
17	72,87	97,7	63,7	<b>183,7</b>	<b>119</b>
18	77,16	103,4	67,4	<b>187,4</b>	<b>126</b>
19	81,45	109,1	71,2	<b>191,2</b>	<b>133</b>
20	85,74	114,8	75,0	<b>195,0</b>	<b>140</b>

*Tabulka 4 - Výpočet celkové délky ramena excentru [vlastní zdroj]*

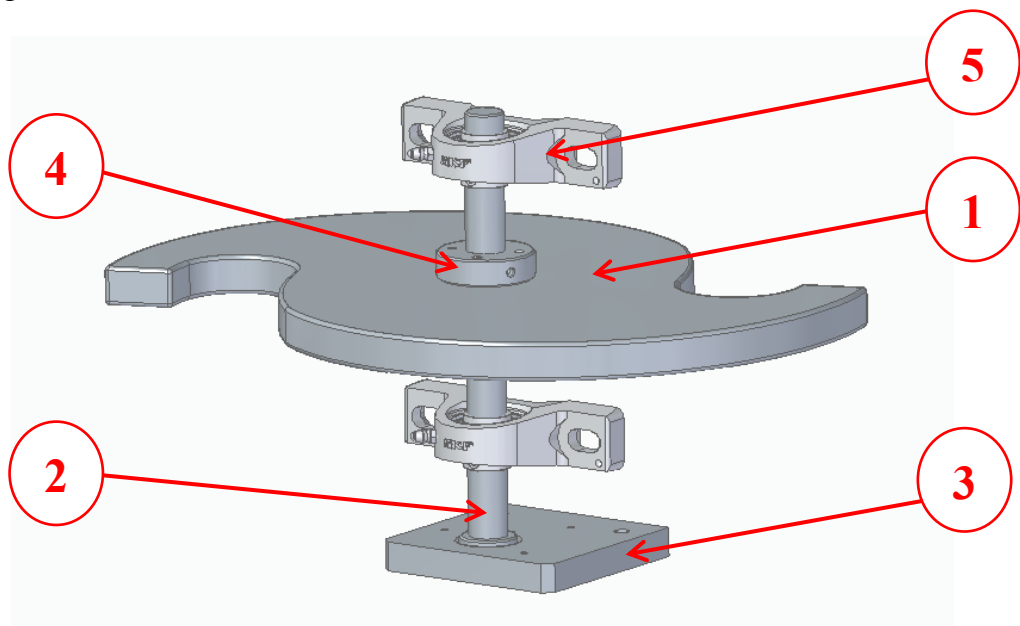


## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 KONSTRUKCE

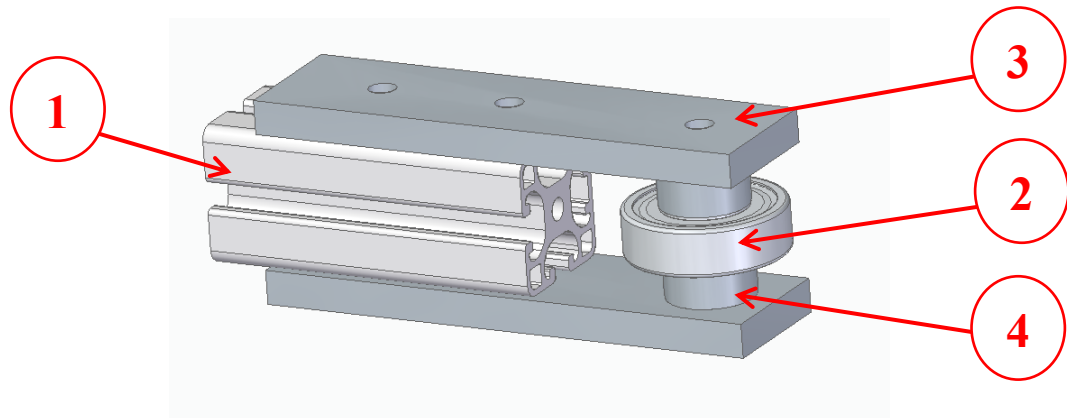
Ke stavbě mechanismu využijeme skutečnosti, že valivá kuličková ložiska velmi snižují tření při vzájemném působení prvků. Tím nám nebude docházet k nárůstu přenášené síly působící na excentr s nežádoucím nárůstem tření. Toto využití ložisek je pro nás velmi důležité. Vysoká hodnota tření by na celý mechanismus mohla mít neblahý vliv. *Mechanické sústavy (stroje, zariadenia apod.) sú schopné vyvíjať vlastnú pracovnú činnosť až po prekonaní pasívnych odporov medzi jednotlivými, navzájom sa dotýkajúcimi členmi mechanickej sústavy. Posobením pasívnych odporov sa časť prevádzanej mechanickej energie mení na iný druh energie (teplo) a časť sa spotrebuje na zahľadzovanie mikronerovností ve vazbách, čím sa znižuje užitočná práca silových účinkov a obmedzuje sa životnosť niektorých prvkov tejto sústavy.* [16]

Budeme uvažovat nad využitím bezúdržbových ložisek do nízkých teplot, jež budou sloužit k eliminaci tření. Do stojanových ložisek umístíme hřídel, na niž nasadíme excentr samotný. Jako protikus excentru použijeme opět ložisko, upevněné na ITEM profil, což nám bude umožňovat případný posun v jakékoliv ose, pokud potřeba změnit parametry zavírání zkušebních dveří, například za účelem snížení, či zvýšení zavírací energie, požadované zákazníkem, popř. v případě změny typu pružiny, což ovlivní tuhost ve vzorci pro výpočet síly (1.4). K vymodelování prvků mechanismu a celé sestavy, využijeme software Solid edge 2019.



Obrázek 11 - Návrh mechanismu s excentrem [vlastní zdroj]

(1- excentr, 2- hřídel, 3- deska k uchycení motoru, 4- aretační kroužek, 5- SY 17 TF)



Obrázek 12 - Návrh protikusů k excentru [vlastní zdroj]

(1- Item profil, 2- ložisko SKF, deska k uchycení ložiska, 4- kroužky)

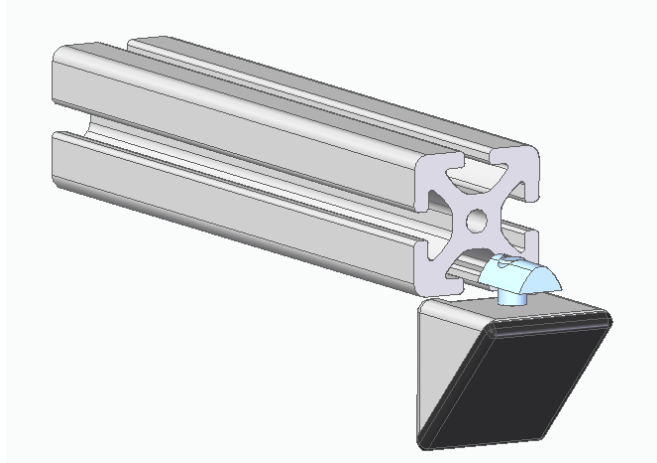
(Výkresy sestav jsou kvůli zachování přehlednosti a ochraně know-how, ve zjednodušené podobě přiloženy v přílohách: P III. – BP\_S001-010 a P IV. – BP\_S002-010)

## 4.1 Katalogové díly

Prvky, jež ke stavbě zařízení využíváme, jsou normalizované a specifikované výrobcem, jež ručí za jejich kvalitu a poskytuje podmínky k jejich využívání, což pro nás bude klíčové zejména kvůli hodnotám teplot, kterým prvky odolávají. Na základě kritérií vybíráme vhodný produkt, popřípadě se informujeme u výrobce, ohledně jejich údržby.

### 4.1.1 ITEM prvky

Stavebnicový systém ITEM (Obr. 12, prvek 1) je využíván pro stavbu konstrukcí a jednoúčelových strojů. Vyznačuje se vysokou spolehlivostí, atraktivním designem a jednoduchostí aplikace změn přímo na zařízení v provozu, bez nutnosti složitějších a časově náročných prodlev. Jedná se o profily z hliníkových slitin s aplikovanými drážkami po stranách, do nichž lze vložit tzv. T-kameny s maticí, kde při dotažení šroubu dochází k aretaci prvku na profil. Profily jsou eloxovány a opatřeny ochranným lakem, díky čemuž odolávají poškrábání a zkorodování. Výrobce za tyto prvky požaduje přijatelnou cenu a nabízí obsáhlou knihovnu s CAD modely, což je výhodné pro softwarovou konstrukci modelů s těmito prvky. Největší výhodou těchto profilů je možnost změny nastavení vzdálenosti v osách, což nám umožní změnit parametry, bez náročnějších zásahů. Profily samotné budeme mezi sebou fixovat pomocí úhlových podpěrných prvků, jež k upevnění profilů doporučuje výrobce.



Obrázek 13 - ITEM profil s úhlovým podpěrným aretačním prvkem [vlastní zdroj]

#### 4.1.2 Ložisko

Zvolená kuličková ložiska SKF 6204-2RSH (Obr. 12, prvek 2) jsou ocelová, konstrukčně jednoduchá a levná řešení pro potřebu aplikace otáčivého pohybu. Jsou prakticky bezúdržbová a dle výrobce naplněna kvalitním mazivem. Odolávají rovněž vysoké škále teplot, počínaje od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+100^{\circ}\text{C}$ . Pro naši aplikaci jsou optimální volbou.

#### 4.1.3 Stojanové těleso s ložiskem

Litínové stojanové těleso s ložiskem SY 17 TF (Obr. 11, prvek 5) s aretačním červíkem je osvědčenou volbou z důvodu jednoduché aplikace na ITEM prvky a vhodnou teplotní odolností.

### 4.2 Obráběné díly

Díly vytvořené v softwaru Solid Edge a vyrobené frézováním na CNC zařízení, kde je pohyb nástroje vůči obrobku řízen počítačem. Jako materiál pro všechny obráběné prvky budeme zamýšlet hliník, z důvodů velmi lehké hmotnosti, ceny a především z důvodu velmi dobré odolnosti vůči korozi, jelikož při četnosti užívání a vzhledem k prostředí, kde se celý rám nachází, tedy různým změnám teplot, včetně změn vlhkostí a při nanášení prachu a slané vody, je odolnost vůči zkorodování vysokou prioritou. *Odolnost hliníku proti atmosférické korozi je dána vznikem tenkého povrchového oxidu  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Odolává mořské vodě i slabším kyselinám. Hliník se vyznačuje dobrou tvářitelností za tepla i za studena. Významná je i jeho nízká hustota a velmi dobrá elektrická i tepelná vodivost.* [17]

Ke tvorbě předmětů z hliníku se používají různé jeho slitiny. Pro zvýšení pevnosti, tvrdosti a zároveň zachování odolnosti vůči korozi jsou doporučovány slitiny hliníku s hořčíkem, popřípadě také jeho nejznámější slitina- DURAL (slitina hliníku, mědi, hořčíku a manganu). Nevýhodou duralu je snížení odolnosti vůči korozi a menší schopnost pohlcování rázů oproti čistému hliníku. Při četném používání by dural nebyl nejvhodnějším materiálem, ale k našemu použití bude optimální, zejména s přihlédnutím k jeho hmotnosti, tvrdosti a odolnosti vůči korozi, oproti jiným kovovým materiálům. Současně je zde možnost vytvoření ochranné vrstvy povrchu materiálu eloxováním, což zvýší jak odolnost mechanickou, tak i chemickou.

Dalším vhodným materiálem by jistě mohl být také Polyoxymethylen, značen jako POM, vyznačující se vysokou tvrdostí a teplotní odolností, rovněž se dobře zpracovává a je dobrou alternativou do prostředí, kde jsou kovové prvky vystavovány extrémním podmínkám, souvisejícím se vznikem koroze. *High crystallinity makes a material with high strength, stiffness, toughness, good creep resistance, fatigue endurance, good solvent resistance and a low coefficient of friction. The water absorption of polyacetal is 0,2% giving the polymer excellent weight retention characteristics.* [18]

Velmi zajímavé by také bylo porovnání zkoumaných vlastností tohoto mechanismu, vyrobeného ze zvoleného hliníku, proti polyoxymethylenu. V této práci se tím zabývat nebudeme, ale je to zajímavý podnět k rozšíření této práce k pozdějšímu zkoumání.

#### 4.2.1 Excentr

Tvar excentru (Obr. 11, prvek 1) bude dán našim výpočtem, z teoretické části. Jeho tvar bude elipsovitý. V jeho středu bude otvor  $\varnothing 20$  mm, kde bude vsazena hřídel a čtveřice průchozích děr, pro aretační kroužky  $\varnothing 6,4$  mm, nacházející se na kružnici  $\varnothing 35$  mm. Jeho tloušťku zvolíme 20 mm. Vyroběn bude technologií frézování, s nízkou rychlostí posuvu a s doporučením využití při výrobě dodaného CAD modelu, z důvodu zjednodušení výkresové dokumentace, jelikož by se mohla státi značně nepřehlednou, z důvodu zvýšeného počtu profilů s vlastní osou křivosti. Využití pokročilé obráběcí technologie je u tohoto prvku důležité, z důvodu dodržení rozměrových a strukturních přesností. V případě nevhodné struktury povrchu, by při zatížení vznikaly nepříznivé vibrace o vysokých frekvencích a i hlučnost by byla poměrně vysoká.

(Výkres prvku je přiložen v příloze: P V. – BP\_E001-010)

#### 4.2.2 Hřídel

Hřídel (Obr. 11, prvek 2) bude plnit účel otočení excentru kolem své osy. Bude se jednat o hliníkovou tyč, s drážkou odpovídající usazení pro motor, jež soustavou bude rotovat. Při její tvorbě budeme vycházet především z údajů o průměru stojanových ložisek, tedy  $\varnothing 20$  mm. Tvar drážky pro usazení motoru je dán výrobcem motoru a v této usazovací části zvýšíme průměr hřídele na  $\varnothing 30$  mm, aby bylo možné jeho usazení. Vhodné by bylo také umístění průchozí díry k aretaci pojistných kroužků excentru, čímž bychom se ovšem nyní připravili o možnost manipulace excentru ve vertikální ose, což bychom při stavbě prototypového mechanismu uvítali, jelikož výšková vzdálenost se u každých dveří mění. V případě potřeby a tvorbě hřídele pro specifické dveře bychom průchozí díru zahrnuli ve výkresu, popřípadě ji doporučili vyvrtat při montáži. Opět je při výrobě doporučena technologie frézování s využitím CAD dat, z důvodu poměrně složitého tvaru vybrání pro převodovku motoru, jež se do hřídele usadí.

(Výkres prvku je přiložen v příloze: P VI. – BP\_E002-010)

#### 4.2.3 Deska pro uchycení motoru

Deska k uchycení motoru (Obr. 11, prvek 3) bude sloužit k uchycení motoru na testovací zařízení, bude obsahovat díry pro uchycení motoru – 3xM5 o rozměrech dle jeho typu motoru a díru  $\varnothing 35$  mm, kvůli osazení na přírubě motoru, skrze kterou bude motor vložen do hřídele. Uchycení motoru k testovacímu rámu bude uskutečněno ITEM profily a montážními prvky.

(Výkres prvku je přiložen v příloze: P IX. – BP\_E005-010)

#### 4.2.4 Aretační kroužky

Kroužky (Obr. 11, prvek 4) budou sloužit k aretaci excentru na hřídel. První kroužek, obsahující 4 díry se závitem o velikosti M6 a 2 kolmo vedenými děrami rovněž M6 k aretaci prvků ke hřídeli. Z druhé strany excentru osadíme druhý jistící kroužek, rovněž o 4 děrách, nyní však průchozích o velikostech  $\varnothing 6,4$  mm. Oběma kroužky bude středem procházet díra  $\varnothing 20$  mm, kterou bude protažena hřídel.

(Výkres prvku je přiložen v příloze: P VII. – BP\_E003-010; P VIII. – BP\_E004-010)

#### 4.2.5 Deska protikusu k uchycení ložiska

Deskou protikusu budeme zamýšlet hliníkový prvek (Obr. 12, prvek 3), o velikosti 150 mm a o tloušťce 10 mm, osazen 3 děrami  $\varnothing 8,4$  mm, kde dále pomocí 2 těchto děr uchytime skrze šrouby ITEM profil a 3tí děrou hřídel s ložiskem, čímž se ložisku zajistí možnost otáčivého pohybu. Z druhé strany ITEM profilu umístíme stejnou desku a šroub fixující hřídel zaaretujeme maticí M8.

(Výkres prvku je přiložen v příloze: P X. – BP\_E006-010)

#### 4.2.6 Hřídel protikusu k uchycení ložiska

Hřídelí protikusu k uchycení ložiska, zamýšlíme váleček o velikosti  $\varnothing 20$  mm, v jehož středu bude díra o  $\varnothing 8,4$  mm, k možnosti protažení šroubu M8. Jeho délka je 40 mm, což odpovídá šířce užitého ITEM profilu.

(Výkres prvku je přiložen v příloze: P XI. – BP\_E007-010)

#### 4.2.7 Kroužek protikusu k uchycení ložiska

Kroužek (Obr. 12, prvek 4), jenž se v protikusu bude vyskytovat ve 2 kusech, za účelem umístění pozice ložiska na střed hřídele. Jedná se opět o prvek válečkového tvaru  $\varnothing 26$  mm s děrou ve středu o  $\varnothing 20,5$  mm, z důvodu nutnosti jeho umístění na hřídel. Délka kroužku jest 13 mm.

(Výkres prvku je přiložen v příloze: P XII. – BP\_E008-010)

### 4.3 Ostatní

#### 4.3.1 Motor pohánějící hřídel

Stejnoseměrný 12 V motor jež využijeme je rovněž katalogovým dílem využívaným v automobilovém průmyslu, obsahujícím také převodovku. *Stejnoseměrné motory se využívají zejména na motory regulační. Konstrukčně se skládají se statoru s póly, na nichž je navinuto budící vinutí, a z drážkového vinutí rotoru, připojeného na komutátor a přes kartáče pak dále na svorky se stejnosměrným napětím.* [19]

Škála odolnosti jeho teplot je vyhovující našim potřebám a motor je rovněž vybaven funkcí proudové ochrany (PTC termistorem), jež při zahřátí motoru zvyšuje jeho odpor, tedy

proud do něj vstupující velmi omezí, nebo jej odpojí, tudíž nedojde k jeho zničení vlivem přehřátí. V momentě, kdy teplota na motoru opět klesne, klesá i odpor termistoru a vstupující proud není tímto prvkem omezen. Tato funkce je pro nás velmi užitečná, jelikož zkoumání teplotních vlivů budeme provádět při napětí vyšším 12 V, tudíž nehrozí spálení motoru při překročení předepsaného napětí.

### 4.3.2 Software

Software SOLID EDGE 2019 nabízí esteticky a uživatelsky přívětivé prostředí pro tvorbu výkresů i modelů pro běžné užití v praxi. Program je vhodný ke tvorbě 3D návrhů a jsou využívány konstruktéry pro dobrou ovladatelnost, přesnost a možnost jednoduchého provádění změn. Díky estetickému vzhledu jsou modely v těchto programech prezentovány zákazníkům nejrůznějších produktů, kde tvoří elegantní dojem a iluzi zaručené kvality.

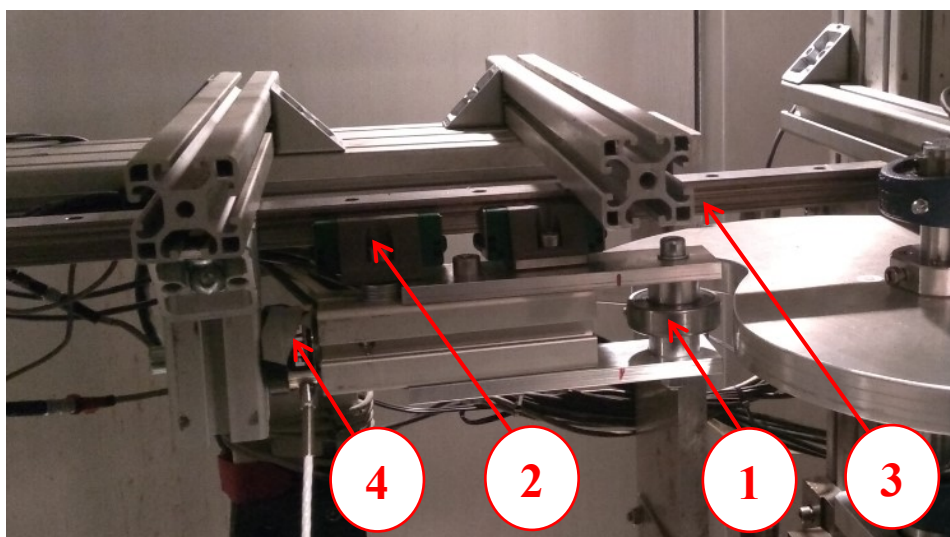


## 5 ZKOUMÁNÍ VLIVŮ PŮSOBÍCÍCH NA EXCENTR V NÍZKÝCH TEPLOTÁCH

Zkušební rám byl spolu s aplikovaným excentrickým mechanismem umístěn do klimatické komory s teplotním rozsahem od  $-60^{\circ}\text{C}$  do  $+120^{\circ}\text{C}$  s přesností  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ . Byly zkoumány měření s rozdílným napětím na motoru a to pro 12 V, 16 V, 24 V, v teplotách:

- $23^{\circ}\text{C}$  (pokojová teplota)
- $0^{\circ}\text{C}$
- $-10^{\circ}\text{C}$
- $-20^{\circ}\text{C}$
- $-30^{\circ}\text{C}$
- $-40^{\circ}\text{C}$
- $+80^{\circ}\text{C}$

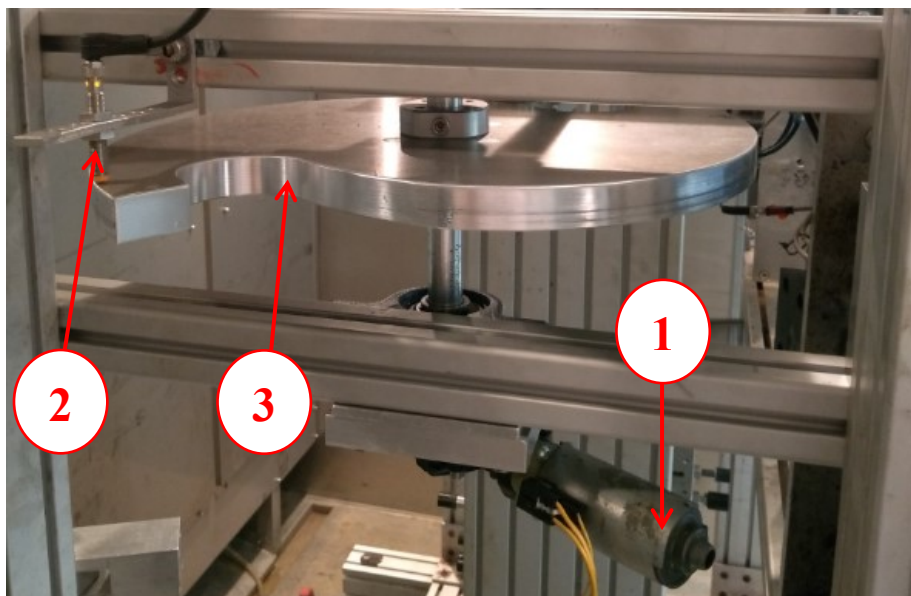
Měření bylo prováděno při jednoosém – tlakovém působení ložiska protikusu (Obr.14, prvek 1) s excentrem, za pomoci kuličkové pojezdové jednotky (Obr. 14, prvek 2) po kolejnici (Obr. 14, prvek 3), což nám umožnilo převést veškeré zatížení působící na silový senzor (Obr. 14, prvek 4) do jednoho směru a nepůsobily nám na výsledky faktory víceosého zatížení. Stejně jako při použití ložisek, nám i zde při vzájemném působení pojezdové jednotky a kolejnice vznikají třecí síly, jež jsme se pokusili co nejvíce eliminovat vhodným promazáním, za účelem snížení tření a opotřebení při styku kuliček pojezdu s vedením.



Obrázek 14 - Lineární vedení s vozíkem na zkušebních dveřích [vlastní zdroj]

(1- Ložisko protikusů, 2- pojezdová jednotka, 3- kolejnice, 4- silový senzor)

Mechanismus byl ovládán skrze řídicí program, přivádějící proud z externího zdroje do motoru mechanismu (Obr. 15, prvek 1) a s nainstalovaným indukčním senzorem (Obr. 15, prvek 2) na konstrukci rámu, jež po přivedení signálu o dosažení určité polohy excentru (Obr. 15, prvek 3) jeho chod zastavil.



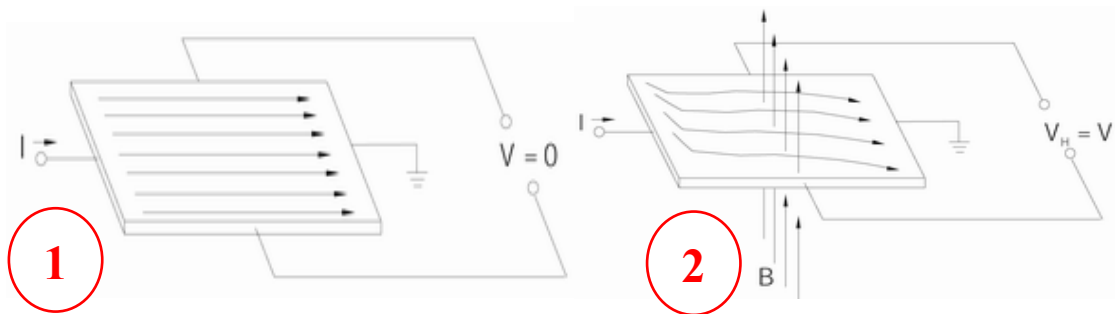
Obrázek 15 - Excentr s nainstalovaným indukčním senzorem [vlastní zdroj]  
(1- stejnosměrný motor mechanismu, 2- indukční senzor, 3- excentr)

Měřené průběhy budeme zobrazovat vůči poloze - úhlu otočení excentru, na zdvihovém diagramu. Velikosti měřených veličin jsou zde zaneseny ku radiálním souřadnicím ( $0-2\pi$ ). Vyhodnocení dat bylo provedeno v programu DIADEM 2019, jež nabízí uživatelsky přijatelné prostředí.

Diference mezi měřeními v jednotlivých teplotách mohou být způsobena změnami chování jednotlivých prvků, jako je například teplotní roztažnost hliníkového excentru, třením kuličkového ložiska, či výkonem motoru. Dalším vlivem by mohla být změna tuhosti pružiny, s níž je spjata síla působící na excentr při zátěži.

## 5.1 Porovnání odběru proudu při zátěži

Odběr proudu byl měřen skrze proudovou sondu s přesností měření  $\pm 3\%$  MH (měřené hodnoty) + 50 mA, pracující na principu Hallova jevu. *Hallův jev spočívá ve vychylování směru toku el. proudu v závislosti na velikosti indukce magnetického pole  $B$ , které je kolmé na polovodičovou (křemíkovou) tenkou destičku, tzv. Hallův element (obrázek 19, stav 1). Pokud se objeví v jeho okolí magnetické pole, působí na elementem procházející proud elektronů tzv. Lorenzova síla, která elektrony vychyluje z přímého směru vždy k jedné boční straně destičky silou podle vzorce:  $F = Q \cdot (v \cdot B)$ , kde „ $Q$ “ je náboj, „ $v$ “ je jejich rychlost a „ $B$ “ je indukce působícího magnetického pole. Změní se tak rozložení náboje, kdy na jedné straně je větší koncentrace elektronů, než na druhé a tedy obě boční stěny destičky mají rozdílný potenciál (obrázek 16, stav 2). Vzniká tak elektrické pole „ $E$ “ a na svorkách Hallova elementu se generuje tzv. Hallovo napětí „ $V_H$ “.* [20]



Obrázek 16 - Hallův element, bez působení a s působením magnetického pole [19]

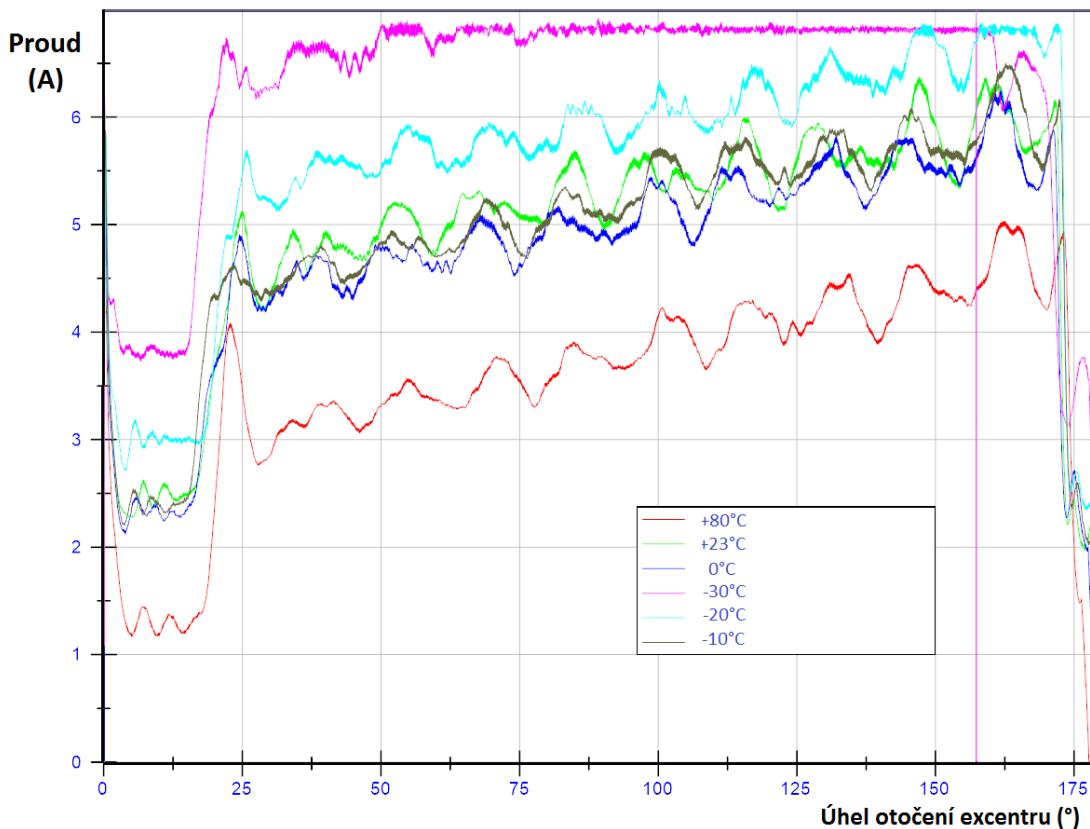
Velikost proudu se bude lineárně měnit dle napětí, což je vyvozeno ze zjednodušeného vzorce stejnosměrného motoru (zanedbáme vliv indukčnosti a indukovaného napětí) pro Ohmův zákon:

$$I = \frac{U}{R} \text{ (A)} \quad (1.7)$$

kde: I..... proud (A)

U.....napětí (V)

R.....odpor ( $\Omega$ )



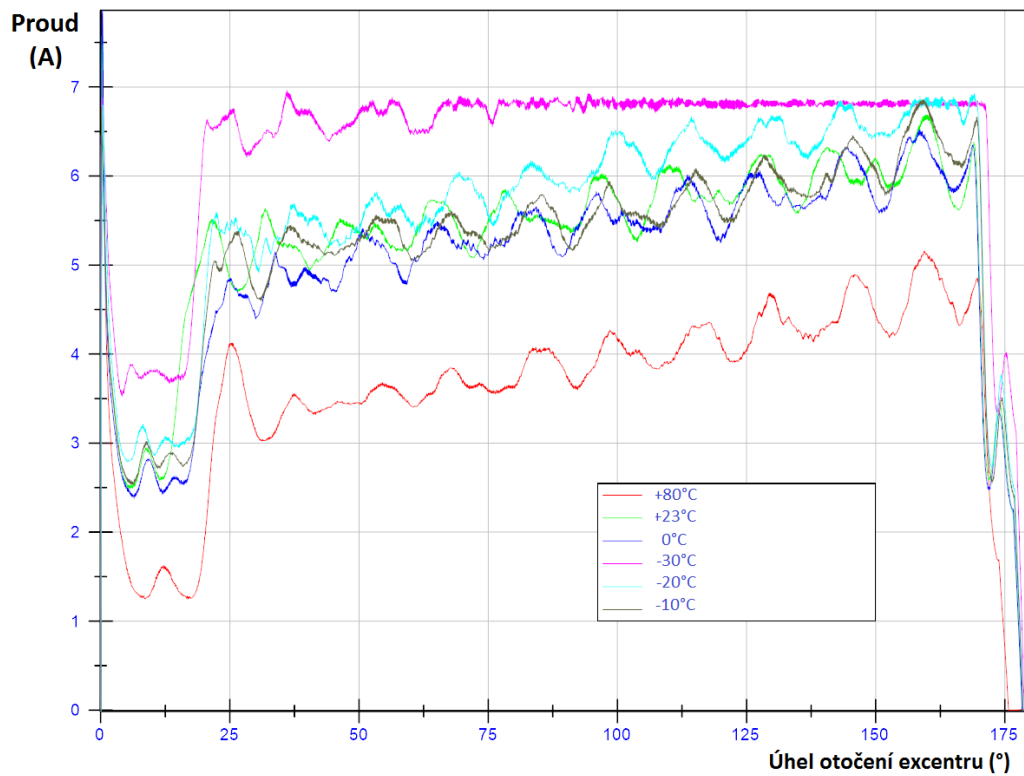
GRAF 4 - Odběr proudu při napětí 12V [vlastní zdroj]

Z měření je viditelné, že při snížené teplotě byl odběr proudu s každou sníženou teplotou vyšší. (Grafy 4, 5, 6)

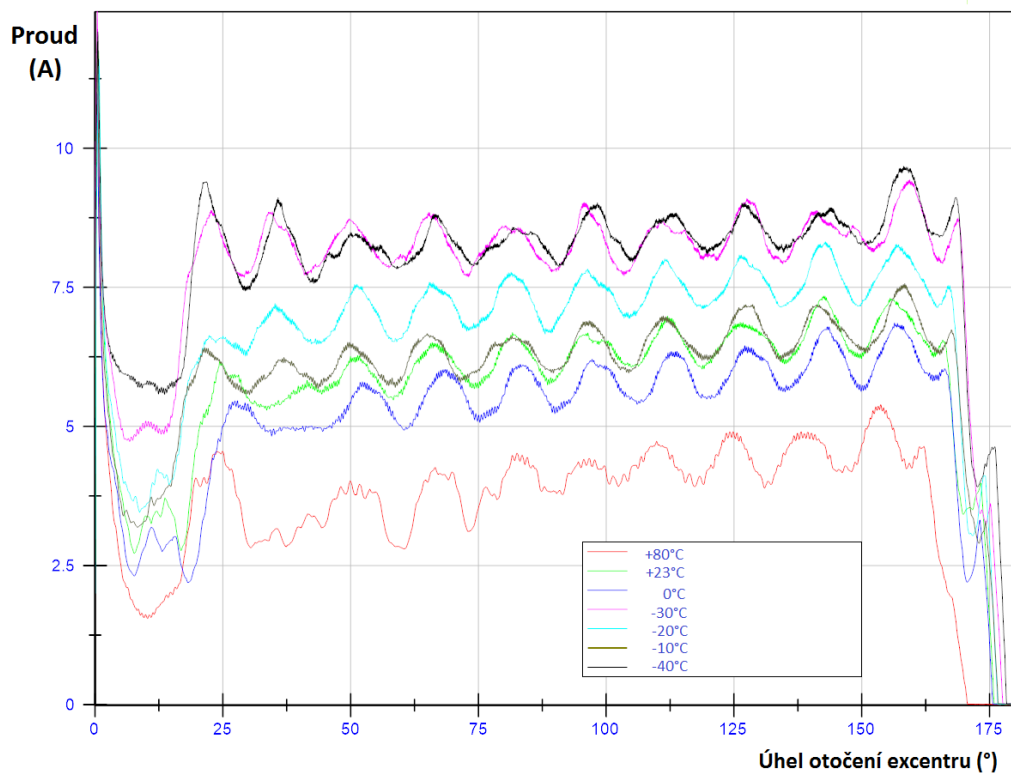
Při teplotě  $-30^{\circ}\text{C}$  již motor při napětí 12 V (Graf 4) nedokázal otočit excentrem a hodnota odběru proudu se ustálila na hodnotě okolo 6,9 A, kde stejný problém nastal i při napětí 16 V ve  $-30^{\circ}\text{C}$  (Graf 5). Dá se tedy označit, že teplota  $-30^{\circ}\text{C}$  je již pro napětí do 16 V kritická. Při dalším zvýšení napětí na 24 V (Graf 6), opět došlo k nárůstu proudu, avšak byl schopen zavřít zkušební dveře v každé teplotě.

Toto vysoké napětí by na motor mělo jistě nepříznivý vliv z hlediska přehřívání a jeho degradace, avšak v extrémně nízkých teplotách je motor chlazen okolím, tudíž by tento problém nebyl natolik závažný, přičemž je zvolený motor vybaven také PTC ochranou.

Všechna měření byla rovněž pro porovnání prováděna v teplotě  $+80^{\circ}\text{C}$ , kde jak je vidět, je maximální odebíraný proud vždy okolo 5 A. Ovšem hrozil by zde problém s přehříváním motoru, který by produkoval teplo svým výkonem a rovněž jej přijímal z okolního prostředí.



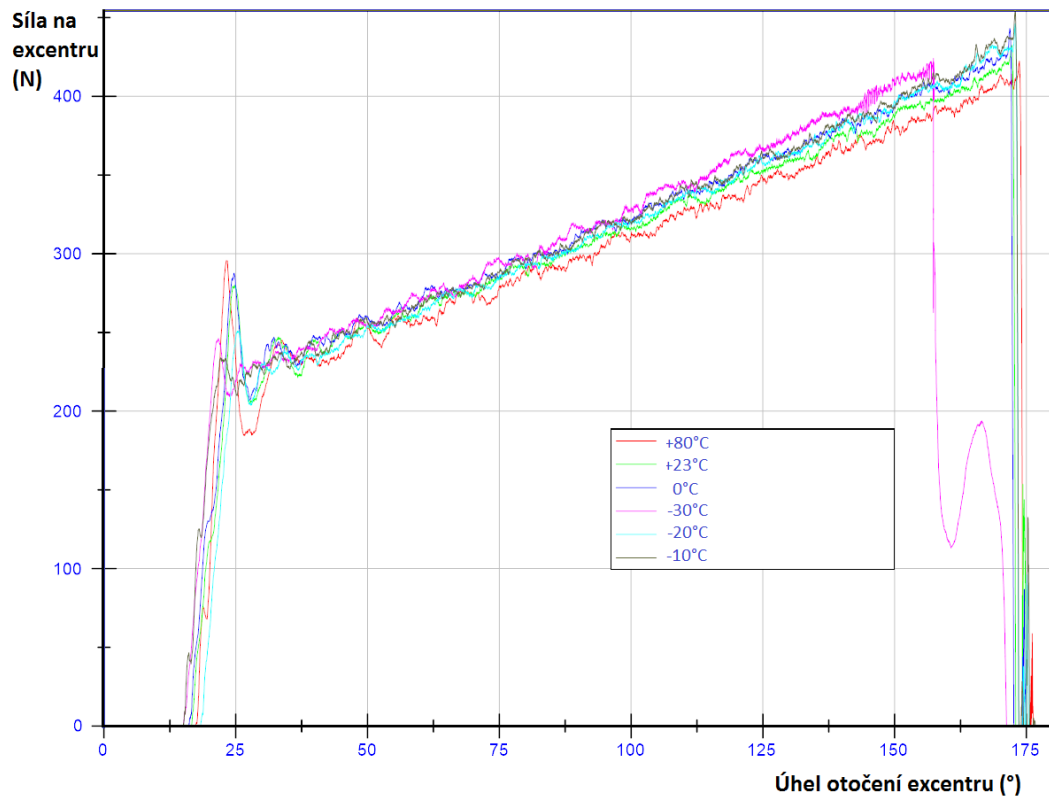
GRAF 5 - Odběr proudu při napětí 16V [vlastní zdroj]



GRAF 6 - Odběr proudu při 24V [vlastní zdroj]

## 5.2 Porovnání sil působících na excentr při zátěži

K měření silového zatížení na excentru byl použit snímač síly (obr. 14, prvek 4) s rozsahem měření do 2 kN s odchylkou  $\pm 5\%$  MH.



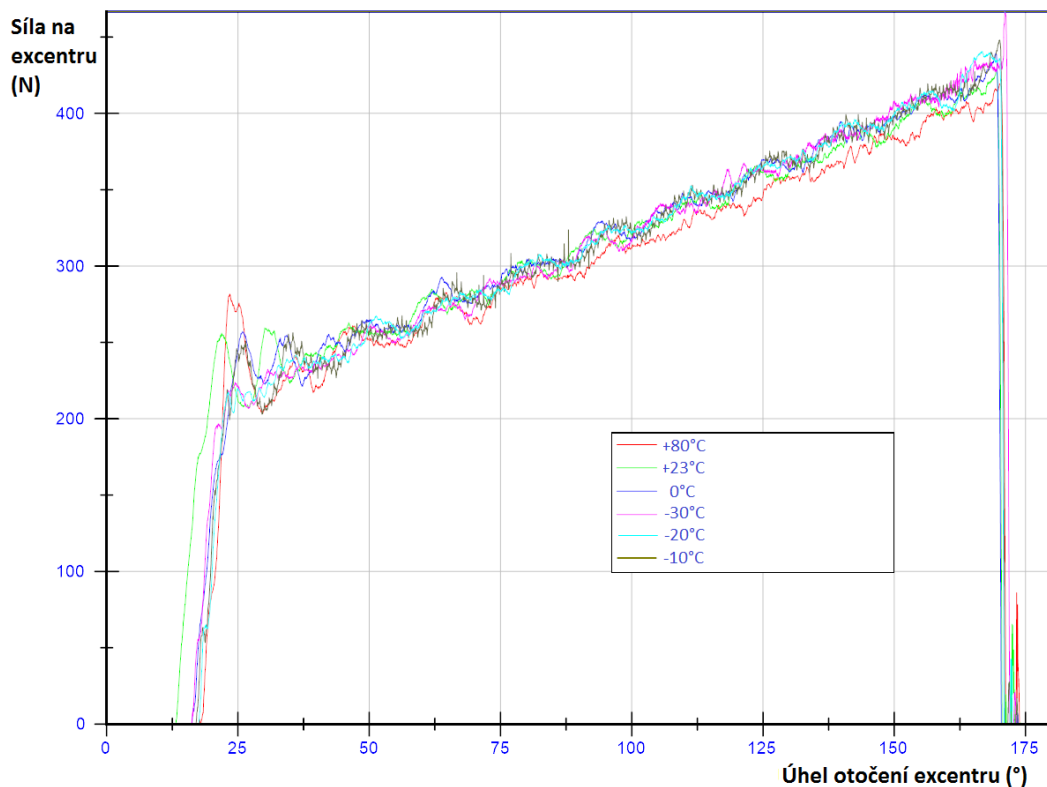
GRAF 7 - Změna síly na excentru při 12V [vlastní zdroj]

Síla působící na excentr v Grafu 7, se při zátěži měnila dle očekávání, v pokojové teplotě při napětí 12 V lineárně rostla po hodnotu 432,36 N. Zajímavé bylo zjištění, že s rostoucím napětím se zvyšuje také rychlost otáčení, čímž dochází k naražení ložiska do excentru a jeho následnému odražení, což způsobuje dynamické nárazy, jež rozkmitají soustavu a nastává nelineární průběh zatížení. *V první etapě rázu se část kinetické energie akumuluje v tělesech jako potenciální energie pružných napětí a část energie se spotřebovala na plastické deformování jednoho nebo obou těles, na vytvoření lomových ploch při porušení těles, a popřípadě na další procesy, kromě jiného na zvuk vzniklý při rázu.* [21]

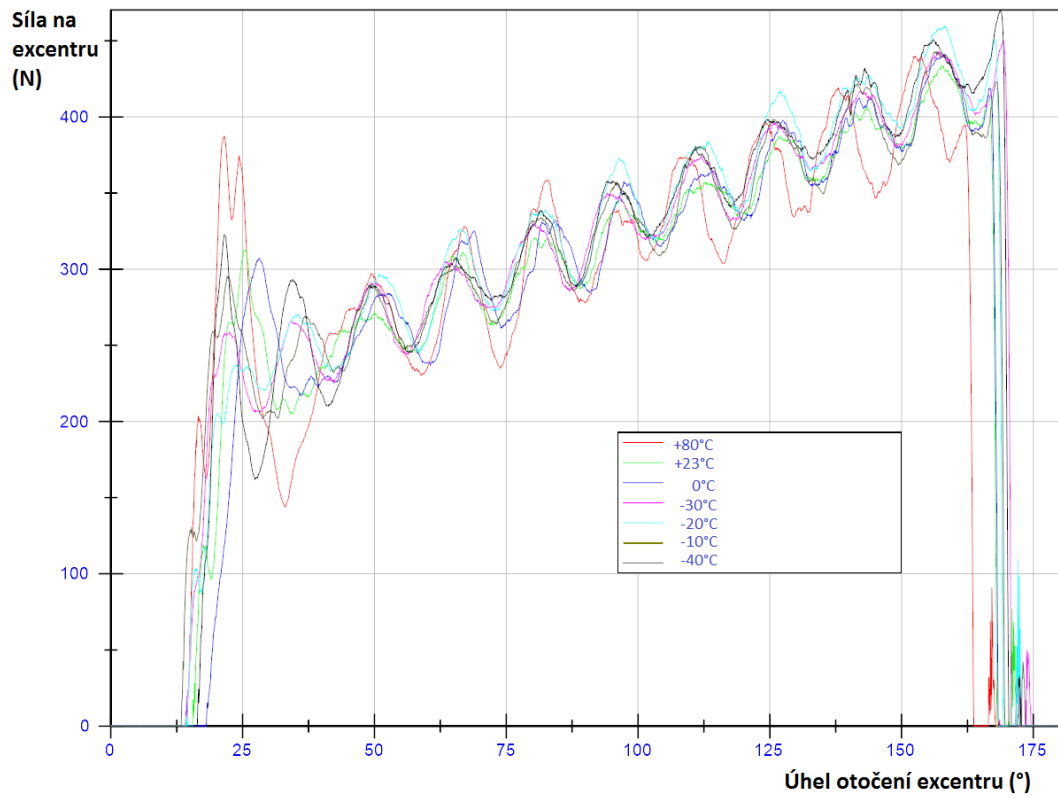
Toto lze chápat jako značná nevýhoda, jelikož nám při výpočtu šlo především o lineární zatížení na excentru, čehož jsme ve výpočtu dosáhli, ovšem kritickým se dle pozorování stává první společný styk obou ploch, v závislosti na aktuální úhlové rychlosti otáčení excentru. Rázovým zatížením bude trpět především ložisko, jež se bude při častém a vyso-

kém rázovém zatížení deformovat, ačkoliv má zatížitelnost uváděnou v tisících Newtonů, není to z dlouhodobého hlediska vhodný stav.

Nicméně jsou zvýšené hodnoty napětí a odebíraného proudu užitečné, z hlediska využití v teplotách nižších  $-30^{\circ}\text{C}$ , jelikož zde, jak lze na grafu 7 vidět, již motor neměl při napětí 12 V dostatek výkonu na přetlačení působící síly a excentr nepřetočil na požadovanou hodnotu a tím tedy nedošlo k zavření dveří. Hodnota síly, jež se mu stala kritická byla 412 N. Z obrázku je viditelné, že k problému došlo okolo  $155^{\circ}$  úhlu otočení excentru od prvotního rozběhu, přičemž byl následně uvolněn manuálně, z důvodu uvolnění chodu motoru excentru a předcházení jeho možnému zničení.



GRAF 8 - Změna síly na excentru při 16V [vlastní zdroj]

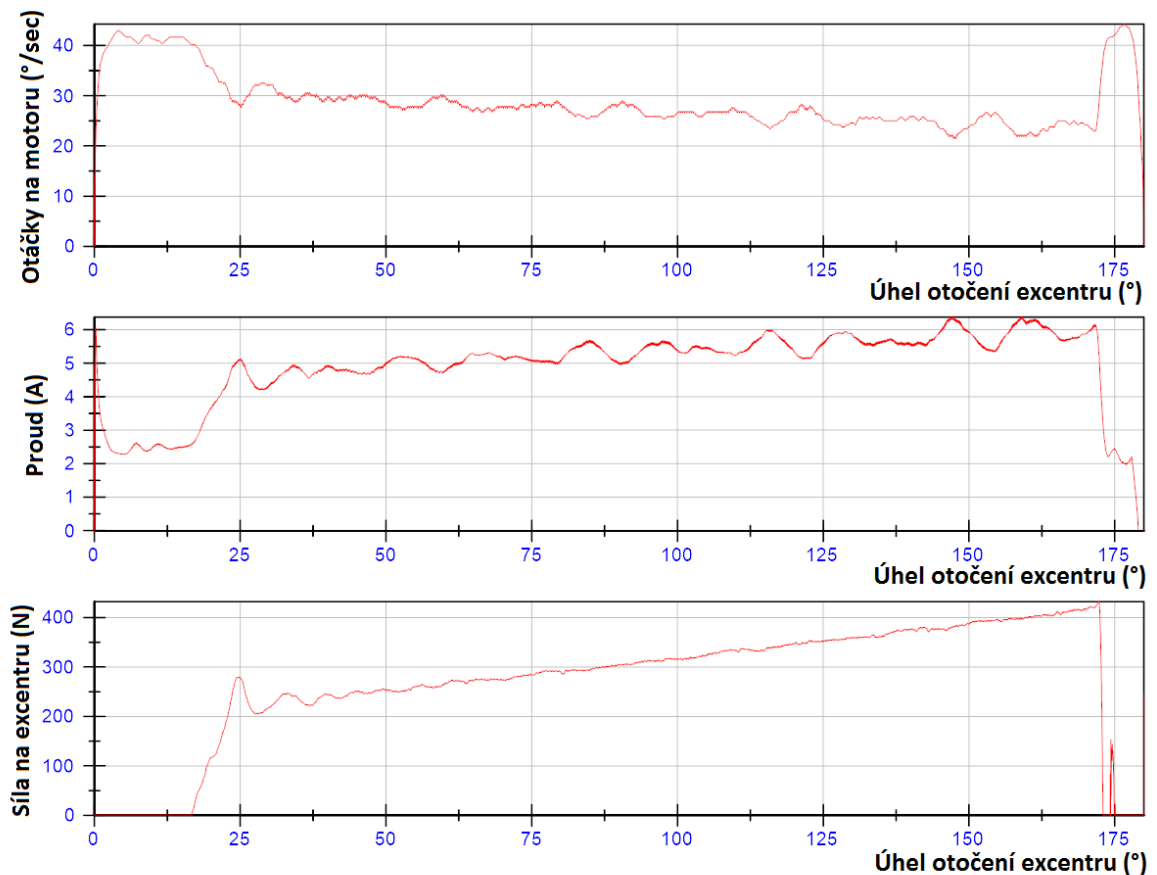


GRAF 9 - Změna síly na excentru při 24V [vlastní zdroj]



### 5.3 Porovnání otáček motoru, odebíraného proudu a síly

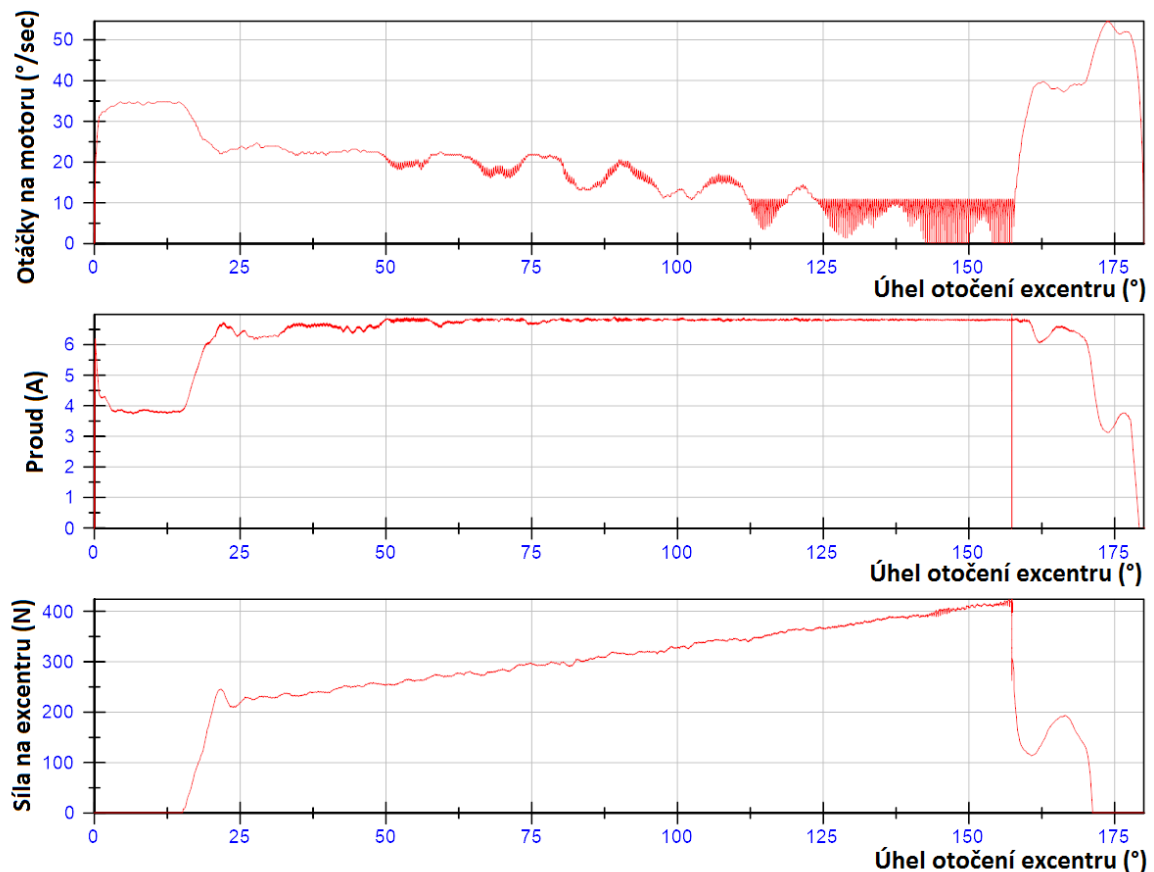
Na základě prováděného měření jsme schopni zobrazit průběh odebíraného proudu s působící silou a otáčkami motoru.



GRAF 10 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při +23°C, 12V [vlastní zdroj]

Na Grafu 10 vidíme, že cca po 20° otočení excentru se otáčky na motoru pohybují okolo hodnoty 42 stupňů za sekundu, odebíraný proud se současně pohybuje okolo 2,5 Ampér a zatěžující síla zde dosud žádná není. Při růstu síly roste proud odebíraný motorem a dochází k poklesu otáček. Při nárazu excentru o ložisko, jak lze vidět ve 25° otočení excentru, síla prudce vzrostla a poté se postupně stabilizovala, až dosáhla takřka lineárního průběhu. Proud při této zátěži mírně kolísal mezi 4 – 6,2 Ampéry, s čímž byla spjata změna otáček na motoru, dokud síla nedosáhla své maximální úrovně. Při uvolnění ložiska, tedy při zavření dveří zatěžující síla zmizela, odebíraný proud prudce klesl a současně se prudce zvýšily otáčky.

V následujícím Grafu 11, vidíme stejnou hodnotu napětí, ovšem v teplotě -30°C, tedy s teplotní diferencí 53°C.



GRAF 11 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při  $-30^{\circ}\text{C}$ , 12V [vlastní zdroj]

Počátek cyklu byl obdobný sledovanému průběhu při teplotě  $23^{\circ}\text{C}$ . Již prvním rozdílem je hodnota síly, se kterou excentr narazil o ložisko, jež v této teplotě není tak razantní. Další kvartál grafu již ovšem vykazuje poměrně velké rozdíly, především v hodnotě odebíraného proudu, jež se při teplotě  $-30^{\circ}\text{C}$  pohybuje poměrně stabilně, mírně pod hranicí 7 A. Cca při  $115^{\circ}$  hranici otočení excentru již motor neměl dostatek energie k otočení a otáčky motoru zde prudce klesají. V tomto případě se excentr zastavil na místě, motor nebyl schopen dalšího otočení a nedošlo tedy k uvolnění a tedy ani zavření dveří.

Další průběhy měření jsou přiloženy v příloze: P I.

#### 5.4 Teplotní roztažnost

Pružina samotná je vyrobena z materiálu: EN 10270-1 SH, s udávanou teplotní odolností  $-60^{\circ}$  až  $+100^{\circ}\text{C}$ . Při teplotní zátěži proběhla měření působící síly ručním siloměrem, avšak všechny hodnoty byly velmi podobné v řádech jednotek desetin Newtonů. Dá se říci, že teplotní vlivy mají na pružinu minimální vliv, tedy i na sílu, jež vytváří.

Hliníkový excentr, na nějž jako na ostatní materiály působí teplotní roztažnost, dle vzorce:

$$\Delta l = l_0 * \alpha * \Delta t \text{ (mm)} \quad (1.8)$$

,kde koeficient teplotní lineární roztažnosti hliníku je udáván:  $\alpha = 23,9 * 10^{-6} K^{-1}$  [22], byl změřen ručním posuvným měřidlem v 10ti opakováních a se zprůměrovanými výsledky s následujícím výsledkem měření:

Teplota	očekávaná hodnota dle vzorce (mm)	očekávaný rozdíl (mm)	ø naměřených hodnot (mm)	naměřený rozdíl (mm)
+80°C	391,93	0,53	391,81	0,41
23°C	391,40	0,00	391,40	0,00
-40°C	390,81	-0,59	390,67	-0,73

*Tabulka 5 - Rozdíl velikosti excentru při teplotní zátěži [vlastní zdroj]*

Z měření je patrné, že při měření extrémních teplot, tedy -40°C až +80°C, jež činí teplotní rozdíl 120°C, se velikost délky excentru lišila o 1,14 mm. Pro náš 180° tvar to činí polovinu, tedy 0,62 mm, což je hodnota zanedbatelná.

## 5.5 Změna odporu na motoru

Z grafů 4, 5, 6, kde jsme zobrazili odběr proudu při zátěži, je patrné, že při stejném napětí, je odběr proudu motoru rozdílný, dle okolní teploty. Zde opět využijeme znalost zjednodušeného Ohmova zákona stejnosměrného motoru ve tvaru:

$$I = \frac{U}{R} \text{ (A)} \quad (1.7)$$

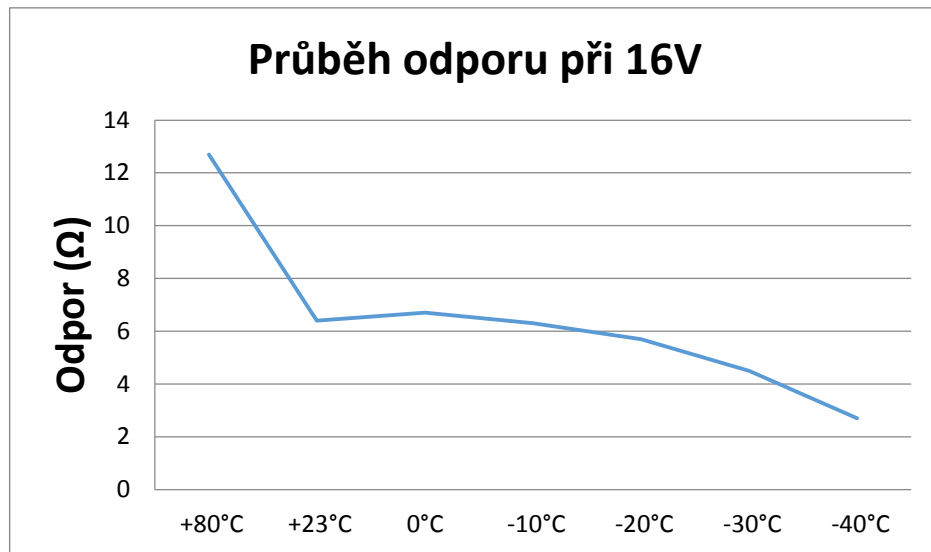
Ze vzorce je vidět, že při stejném napětí  $U$ , je možná diference výsledného napětí způsobena odporem  $R$ . *Je-li odpor vyroben z kovu, pak se při zvyšování teploty jeho odpor zvyšuje. Při vyšší teplotě vzrůstá vnitřní energie látky, z které je odpor vyroben. Jednotlivé atomy mají větší rozkmit a tím se zvětšuje počet jejich srážek s volnými elektrony. To znesnadňuje uspořádaný pohyb elektronů vodičem, a proto se při zvýšení teploty zvětšuje odpor vodiče.* [23]

V námi cílených záporných teplotách dle tohoto faktu odpor motoru klesá, což má za následek zvýšení proudu. V tabulce 6. vidíme hodnoty proudu z námi naměřených dat ve chvíli, kdy motor nebyl doposud namáhán excentrem a proud v tomto úseku dosáhl svého minima. Tj. odpor byl maximální. Vidíme zde rovněž odpor spočten z Ohmova zákona, z čehož je patrné, že celkový odpor motoru s klesající teplotou skutečně klesal.

Teplota (°C)	Napětí (V)	Proud (A)	Odpor ( $\Omega$ )
+80°C	12,0	1,17	10,3
	16,0	1,26	12,7
	24,0	1,55	15,5
+23°C	12,0	2,28	5,3
	16,0	2,49	6,4
	24,0	2,72	8,8
0°C	12,0	2,12	5,7
	16,0	2,38	6,7
	24,0	2,31	10,4
-10°C	12,0	2,20	5,5
	16,0	2,54	6,3
	24,0	3,18	7,5
-20°C	12,0	2,71	4,4
	16,0	2,79	5,7
	24,0	3,53	6,8
-30°C	12,0	3,73	3,2
	16,0	3,52	4,5
	24,0	4,75	5,1
-40°C	16,0	5,90	2,7
	24,0	5,60	4,3

*Tabulka 6 - Hodnota odporu při různých teplotních a napěťových podmínkách  
[vlastní zdroj]*

Na grafu 12. vidíme zobrazený průběh poklesu odporu motoru, v závislosti na teplotě. Je zde patrný klesající průběh, s mírným nárůstem při teplotě 0°C. Tento nárůst se dá přičíst vlastnostem motoru, PTC termistoru, nebo vodičům, jež v tomto okamžiku byly vystaveny rozdílu přechodu teploty o 23°C a průchod proudu se mohl v tomto okamžiku snížit.



*GRAF 12 - Průběh hodnoty odporu při 16V [vlastní zdroj]*

Působení tohoto faktoru na motor v různých teplotách je pro náš návrh mechanismu důležité, jelikož snížení odporu má za následek zvýšení proudu, což zvýší úhlovou rychlost excentru, s čímž je spjata tvorba rázů.

## ZÁVĚR

V této práci jsme se seznámili se stranovým automobilovým zámekem a jeho testováním, spolu s důležitostí tohoto procesu. Proběhlo rovněž seznámení s popisem problému a vy-psání možných řešení, ze kterých jsme vybrali tvorbu excentrického mechanismu. V teoretické části jsme se dále věnovali tvorbě optimálního tvaru tohoto mechanismu a získání co nejlepších vlastností průběhu otevírání testovacích dveří.

V praktické části jsme dále navrhli a vyrobili konstrukci, jež tento mechanismus realizuje. Další část práce se zabývala zkoumáním teplotních vlivů (zejména v minusových teplotách do  $-40^{\circ}\text{C}$ ) s přihlédnutím k faktorům, tento proces ovlivňujících. Bylo zjištěno, že materiálové vlastnosti prvků, včetně pružiny jsou poměrně zanedbatelné. Oproti tomu zde máme výrazné změny právě, na použitém motoru. K nejzásadnějšímu zjištění došlo v souvislosti s úhlovou rychlostí pohybu excentru, jež má za následek tvorbu rázů. Tento jev jsme se při výpočtu tvaru excentru snažili co nejvíce eliminovat, avšak s nárůstem proudu odebíraného motorem tato rychlost narůstá, přibývá tedy jejich velikost. Tento jev se objevuje při prvním styku ložiska s excentrem, přičemž další průběh už nabývá značně lineárního tvaru. Bylo zjištěno, že optimální lineární průběh se pro každou z teplot mění a příliš vysoká, nebo nízká hodnota napětí jej přímo ovlivňuje.

Výsledkem této práce je realizace mechanismu, jež v záporných teplotách plní spolehlivě svůj účel. Původní systém zavírání zkušebních dveří pneumatickým válcem, jež způsoboval problém v nízkých teplotách vlivem zamrzávání, zůstal nadále aplikován v teplotách pokojových a vyšších, přičemž mechanismus vypracován v této práci je užíván pro teploty záporné. Díky nahrazení pneumatických válců mechanismem excentrickým v minusových teplotách, se rovněž zvýšila životnost pneumatických prvků, což vede k úspoře času a materiálu potřebného k jejich údržbě. Tvorba excentrického mechanismu a jeho následná spolehlivá funkčnost vedly k obrovské časové a tedy i finanční úspoře, jež se pohybuje ve stovkách tisíc korun měsíčně, jelikož se celková doba testování v klimatických komorách rapidně zkrátila a tím se ušetřily výdaje jak za provoz komory a testovacího zařízení, tak i celkových průběhů testovacích vývojových fází.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

1. *Stranový zámeček Unilatch*. www.brose.com : s.n., [cit. 2020-3-20]. dostupné na <https://www.brose.com/cz-cz/products/technology-for-vehicle-doors-and-liftgates/>.
2. **KREISLOVÁ, Kateřina a Dagmar KNOTKOVÁ**. *Korozní agresivita atmosféry a metody predikce atmosférické koroze*. Praha : SVUOM, 2014. ISBN 978-80-87444-11-5..
3. **ČSN**. *ISO 9227, Korozní zkoušky v umělých atmosférách - zkoušky solnou mlhou*. 01/2018.
4. **Sýkora, Rudolf**. *Úvod do vlhkosti plynu*. [cit. 2020-3-3]. s.l. : Comet system, s.r.o., 2006. dostupné na: <http://www.cometsystem.cz/userfiles/file/software/utils/vlhkost.pdf>.
5. **Haffner-pneumatik**. *Quick exhaust*. [cit. 2020-3-13]. dostupné na [https://www.hafner-pneumatik.com/grouping\\_and\\_construction\\_of\\_control\\_valves](https://www.hafner-pneumatik.com/grouping_and_construction_of_control_valves).
6. *Zapouzdřené topné těleso*. s.l. : www.rs-components.cz, [cit. 2020-3-19]. dostupné na <https://cz.rs-online.com/web/p/zapouzdrjena-topna-telesa/7256474/>.
7. **František, JIROUŠ**. *Aplikovaný přenos tepla a hmoty*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2010. ISBN 978-80-01-04514-5.
8. *Lineární pohon LA23*. s.l. : www.linak.cz, [cit. 2020-3-19]. dostupné na <https://www.linak.cz/produkty/line%C3%A1rn%C3%AD-pohony/la23-deskline/>.
9. **František, Volek**. *Základy konstruování a části strojů I*. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009. ISBN 978-80-7318-654-8.
10. **Kotek Martin, Vocilka Michal**. *Nejpoužívanější typy senzorů v průmyslové automatické výrobě*. Praha : Národní ústav pro vzdělávání, 2015. ISBN 978-80-7481-113-5
11. **Apetaur Milan, Hrala Tomáš, Vysloužil Tomáš**. *Mechanika tuhých těles. Základy teorie mechanismů*. Ústí nad Labem : Univerzita J.E. Purkyně, 2011. ISBN 978-80-7414-334-2.
12. **ROTHBART, Harold A**. *Cam design handbook*. s.l. : The McGraw-Hill Companies, Inc., 2004. ISBN 0-07-143328-7.
13. **DAVID, Halliday**. *Fyzika: Vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno : VUTUIM, 2000. ISBN 80-214-1868-0.

14. **Miroslav, Valendin.** *Mechanika I, statika.* Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. ISBN 80-7318-188-6.
15. **Petr, Kladivo.** *Základy statistiky.* Olomouc : Univerzita palackého v Olomouci, 2013. ISBN 978-80-244-3841-2.
16. **Bocko Jozef, Delyová Ingrid.** *Technická mechanika.* Košice : Technická Univerzita v Košiciach, 2009.
17. **Sojka Jaroslav, Váňová Petra.** *Základy progresivních konstrukčních materiálů.* Ostrava : VŠB, 2012. ISBN 978-80-248-2578-6.
18. **Adewale Kolapo, Olabisi Olagoke.** *Handbook of thermoplastics. Second edition.* Boca Raton : CRC Press, Taylor & Francis Group, CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business, 2016. ISBN 9781466577220.
19. **Mañas Miroslav, Staněk Michal, Mañas David.** *Výrobní stroje a zařízení.* Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. ISBN 978-80-7318-596-1.
20. **Vojáček, Antonín.** *Magnetické senzory s hallovým efektem- 1.princip . [cit. 2020-3-5].* s.l. : www.automatizace.hw.cz, 2007. dostupné na <https://automatizace.hw.cz//magneticke-senzory-s-hallovym-efektem-1-princip>.
21. **Jaroslav, Menčík.** *Rázy a vibrace.* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2018. ISBN 978-80-7560-146-9.
22. **Shigley, Joseph Edward a kolektiv.** *Konstruování strojních součástí.* Brno : VUTIU, 2010. ISBN: 978-80-214-2629-0.
23. **Jiří, Hrbáček.** *Elektronika pro rošťáky robotáky 1 . [cit. 2020-3-13].* Brno : MUNI, 2017. dostupné na [http://wreck.ped.muni.cz/hrbacek/ucebnice/6\\_OdporNaTeplote.pdf](http://wreck.ped.muni.cz/hrbacek/ucebnice/6_OdporNaTeplote.pdf).



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

CL	„Central lock“ ( - )
DL	„Double lock“ ( - )
ČSN	Česká státní norma ( - )
CAD	„Computer aided design“ ( - )
CAM	„Computer aided manufacturing“ ( - )
RH	Relativní vlhkost ( % )
F	Síla (N)
K	Tuhost pružiny (N/mm)
$\Delta$	Tuhost pružiny (N/mm)
$x_p$	Velikost napnutí pružiny (mm)
$S_E$	Rameno excentru k pružině (mm)
$S_P$	Rameno pružiny k pantu (mm)
$F_S$	Síla působící na excentr (N)
POM	Polyoxymethylen ( - )
MH	Měřená hodnota ( - )
VH	Hallovo napětí ( - )
PTC	„Positive temperature coefficient“ ( - )

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obrázek 1 - Stranový zámek automobilových dveří [1].....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 2 - Zkušební testovací rám s osazenými dveřmi [vlastní zdroj] .....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 3 - Schéma rychloodvzdušňovacího ventilu [5].....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 4 - Popis pneumatického válce s aplikovaným rychloodvzdušňovacím ventilem vzduchu [vlastní zdroj] .....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 5 - Princip funkce pneumatického válce přivedením stlačeného vzduchu [vlastní zdroj] .....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 6 - Zapouzdřené topné těleso [6].....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 7 - Lineární pohon [8].....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 8 - Analogový indukční senzor [vlastní zdroj] .....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 9 - Parametry testovacích dveří [vlastní zdroj] .....</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 10 - Zobrazení ramen a sil zkušebních dveří [vlastní zdroj].....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 11 - Návrh mechanismu s excentrem [vlastní zdroj].....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 12 - Návrh protikusů k excentru [vlastní zdroj] .....</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 13 - ITEM profil s úhlovým podpěrným aretačním prvkem [vlastní zdroj] .....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 14 - Lineární vedení s vozíkem na zkušebních dveřích [vlastní zdroj] .....</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 15 - Excentr s nainstalovaným indukčním senzorem [vlastní zdroj] .....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 16 - Hallův element, bez působení a s působením magnetického pole [19].....</i>	<i>43</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tabulka 1 - Síla působící na excentr [vlastní zdroj] .....</i>	<i>28</i>
<i>Tabulka 2 - Změna ramena excentru s narůstajícím úhlem [vlastní zdroj] .....</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 3 - Nárůst práce excentru s narůstajícím úhlem [vlastní zdroj] .....</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 4 - Výpočet celkové délky ramena excentru [vlastní zdroj] .....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 5 - Rozdíl velikosti excentru při teplotní zátěži [vlastní zdroj] .....</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 6 - Hodnota odporu při různých teplotních a napěťových podmínkách [vlastní zdroj] .....</i>	<i>52</i>

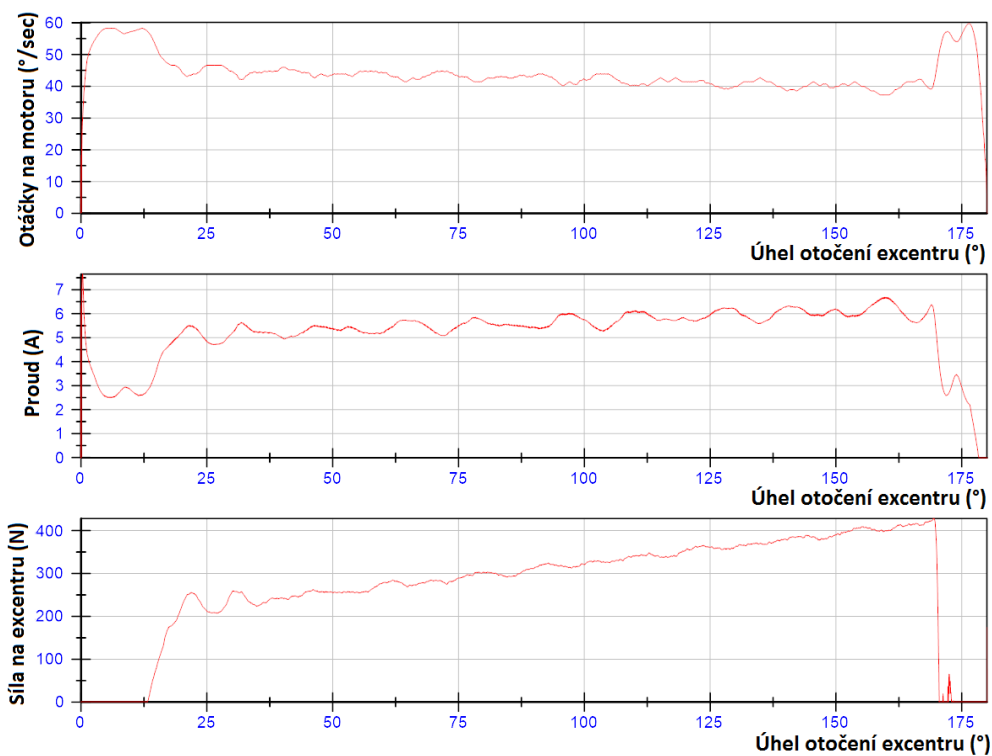
**SEZNAM GRAFŮ**

<i>GRAF 1 - Změna síly na excentru s narůstajícím úhlem [vlastní zdroj]</i> .....	28
<i>GRAF 2 - Změna ramena excentru s narůstajícím úhlem [vlastní zdroj]</i> .....	30
<i>GRAF 3 - Nárůst práce excentru [vlastní zdroj]</i> .....	31
<i>GRAF 4 - Odběr proudu při napětí 12V [vlastní zdroj]</i> .....	44
<i>GRAF 5 - Odběr proudu při napětí 16V [vlastní zdroj]</i> .....	45
<i>GRAF 6 - Odběr proudu při 24V [vlastní zdroj]</i> .....	45
<i>GRAF 7 - Změna síly na excentru při 12V [vlastní zdroj]</i> .....	46
<i>GRAF 8 - Změna síly na excentru při 16V [vlastní zdroj]</i> .....	47
<i>GRAF 9 - Změna síly na excentru při 24V [vlastní zdroj]</i> .....	48
<i>GRAF 10 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při +23°C, 12V [vlastní zdroj]</i> .....	49
<i>GRAF 11 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při -30°C, 12V [vlastní zdroj]</i> .....	50
<i>GRAF 12 - Průběh hodnoty odporu při 16V [vlastní zdroj]</i> .....	53
<i>GRAF 13 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při +23°C, 16V [vlastní zdroj]</i> .....	62
<i>GRAF 14 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při +23°C, 24V [vlastní zdroj]</i> .....	62
<i>GRAF 15 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při 0°C, 12V [vlastní zdroj]</i> .....	63
<i>GRAF 16 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při 0°C, 16V [vlastní zdroj]</i> .....	63
<i>GRAF 17 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při 0°C, 24V [vlastní zdroj]</i> .....	64
<i>GRAF 18 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při -10°C, 12V [vlastní zdroj]</i> .....	64
<i>GRAF 19 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při -10°C, 16V [vlastní zdroj]</i> .....	65
<i>GRAF 20 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při -10°C, 24V [vlastní zdroj]</i> .....	65
<i>GRAF 21 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při -20°C, 12V [vlastní zdroj]</i> .....	66
<i>GRAF 22 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při -20°C, 16V [vlastní zdroj]</i> .....	66
<i>GRAF 23 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při -20°C, 24V [vlastní zdroj]</i> .....	67
<i>GRAF 24 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při -30°C, 16V [vlastní zdroj]</i> .....	67
<i>GRAF 25 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při -30°C, 24V [vlastní zdroj]</i> .....	68
<i>GRAF 26 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při -40°C, 16V [vlastní zdroj]</i> .....	68
<i>GRAF 27 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při -40°C, 24V [vlastní zdroj]</i> .....	69
<i>GRAF 28 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při +80°C, 12V [vlastní zdroj]</i> .....	69
<i>GRAF 29 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při +80°C, 16V [vlastní zdroj]</i> .....	70
<i>GRAF 30 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při +80°C, 24V [vlastní zdroj]</i> .....	70
<i>GRAF 31 - průběh hodnoty odporu při 12V [vlastní zdroj]</i> .....	71
<i>GRAF 32 - průběh hodnoty odporu při 24V [vlastní zdroj]</i> .....	71

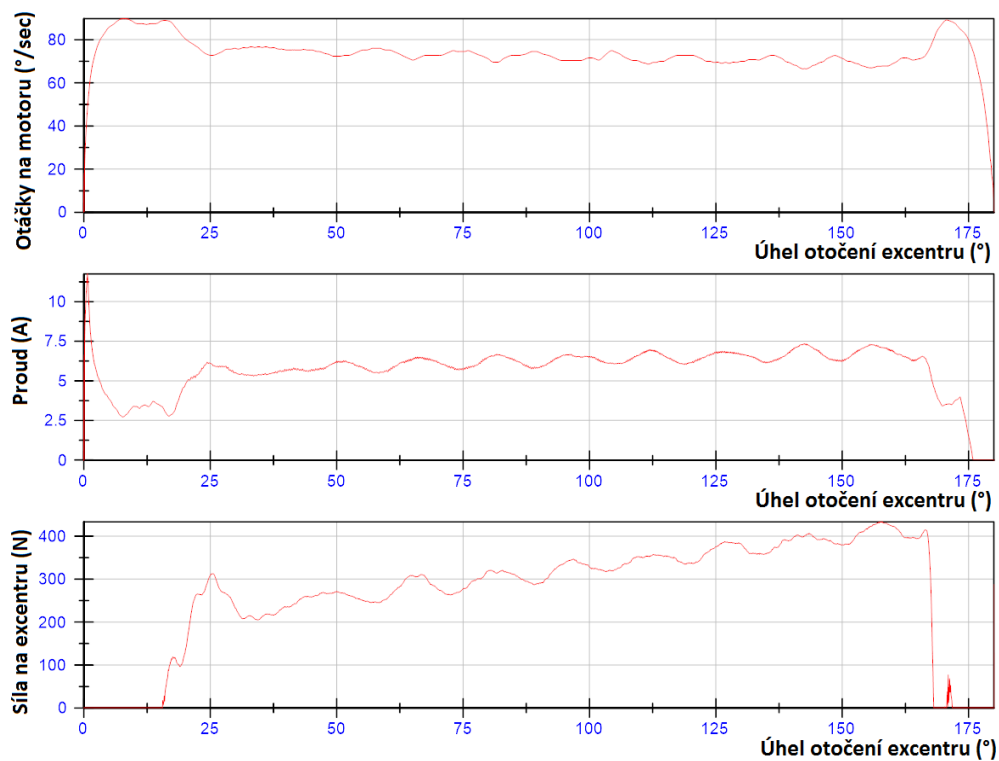
**SEZNAM PŘÍLOH**

- P I. Průběhy hodnot odporu při různých klimatických podmínkách
- P II. Průběhy hodnot odporu při různých klimatických podmínkách
- P III. BP\_S001-010 (výkres sestavy excentru)
- P IV. BP\_S002-010 (výkres sestavy protikusu)
- P V. BP\_E001-010 (výkres- excentr)
- P VI. BP\_E002-010 (výkres- hřídel excentru)
- P VII. BP\_E003-010 (výkres- kroužek excentru 1)
- P VIII. BP\_E004-010 (výkres- kroužek excentru 2)
- P IX. BP\_E005-010 (výkres- deska motoru)
- P X. BP\_E006-010 (výkres- plate protikusu)
- P XI. BP\_E007-010 (výkres- hřídel protikusu)
- P XII. BP\_E008-010 (výkres- kroužek protikusu)

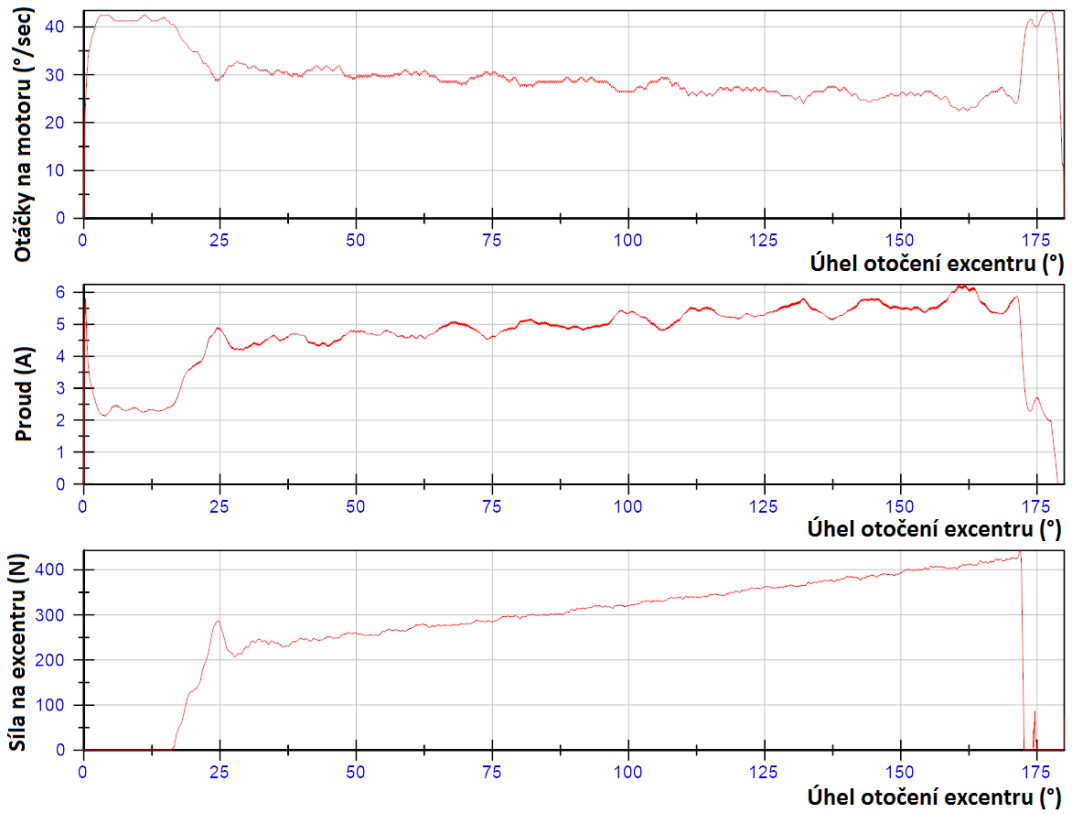
## PŘÍLOHA P I: PRŮBĚHY PROUDU/ SÍLY/ OTÁČEK MOTORU KU POOTOČENÍ EXCENTRU



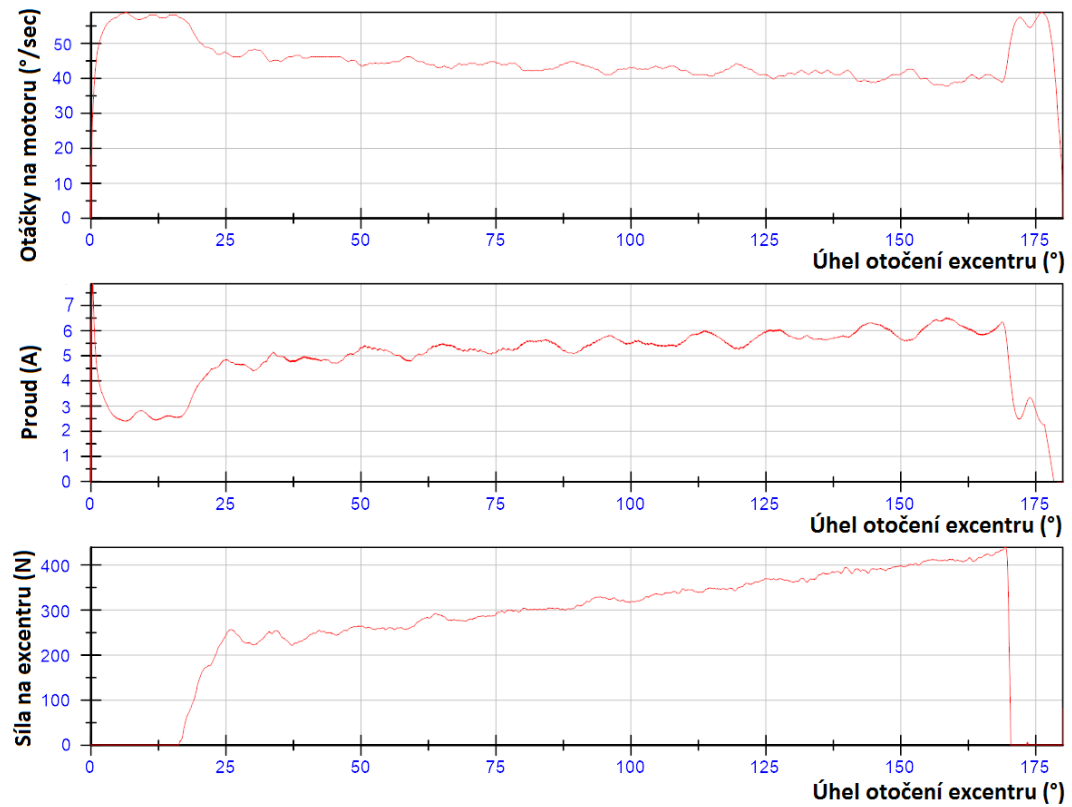
GRAF 13 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při +23°C, 16V [vlastní zdroj]



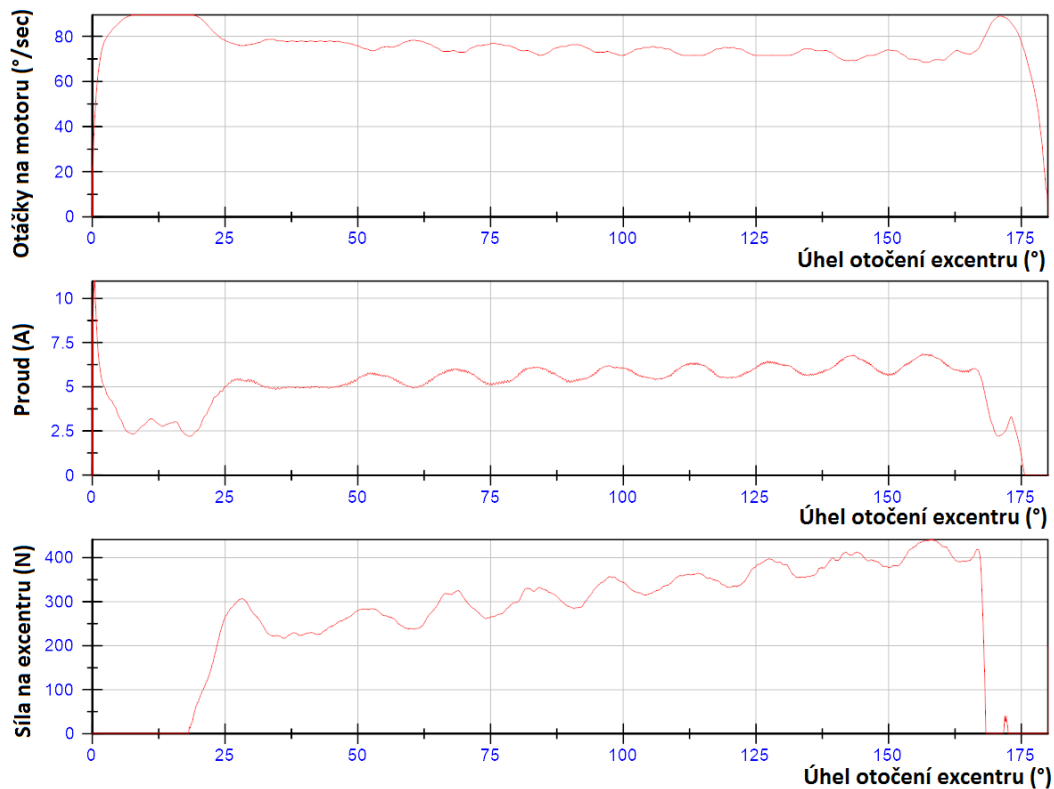
GRAF 14 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při +23°C, 24V [vlastní zdroj]



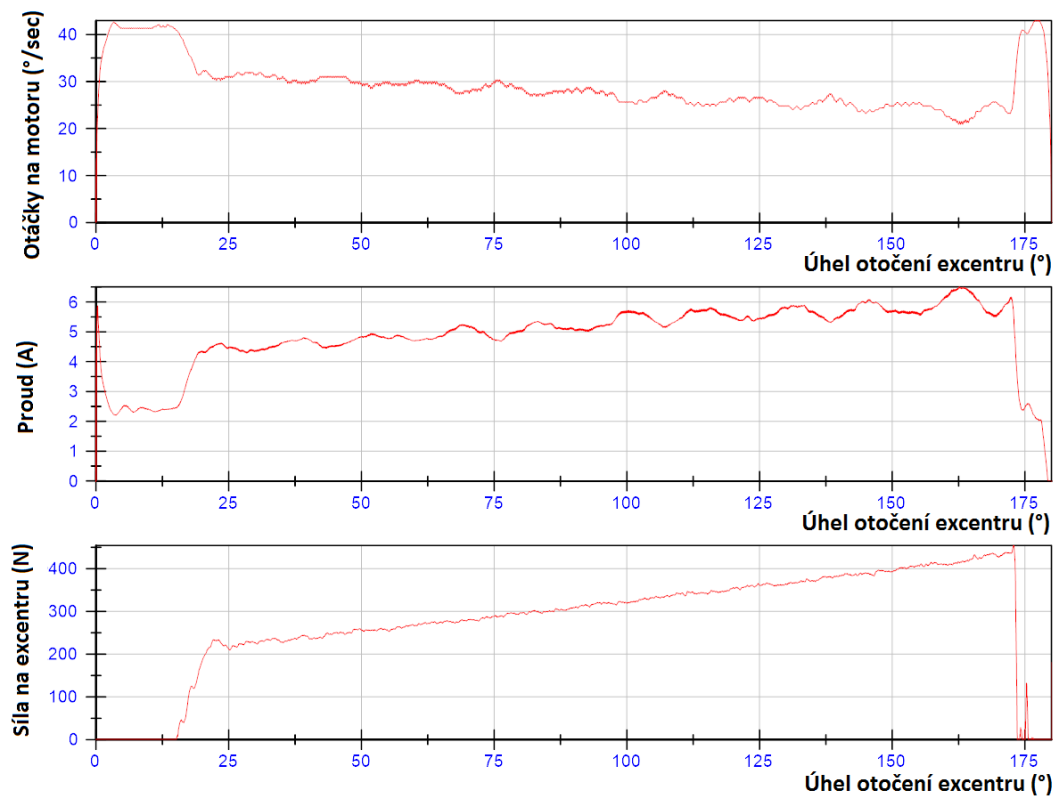
*GRAF 15 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při 0°C, 12V [vlastní zdroj]*



*GRAF 16 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při 0°C, 16V [vlastní zdroj]*

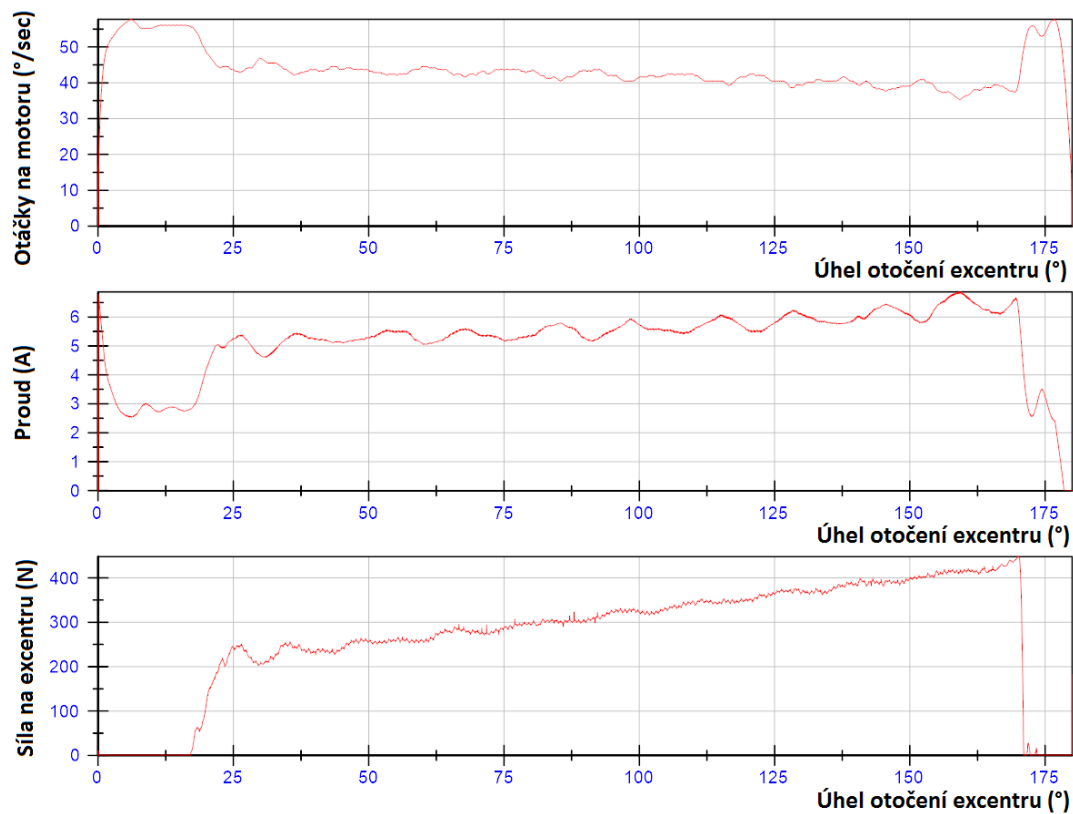


GRAF 17 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při 0°C, 24V [vlastní zdroj]

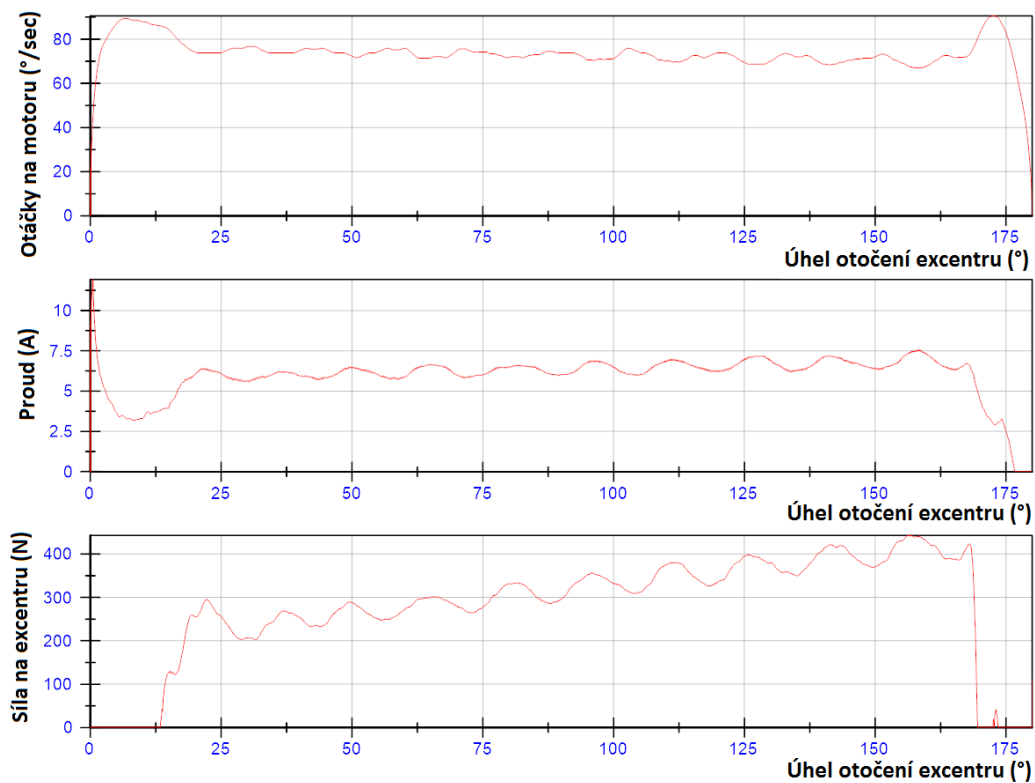


GRAF 18 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při -10°C, 12V [vlastní zdroj]

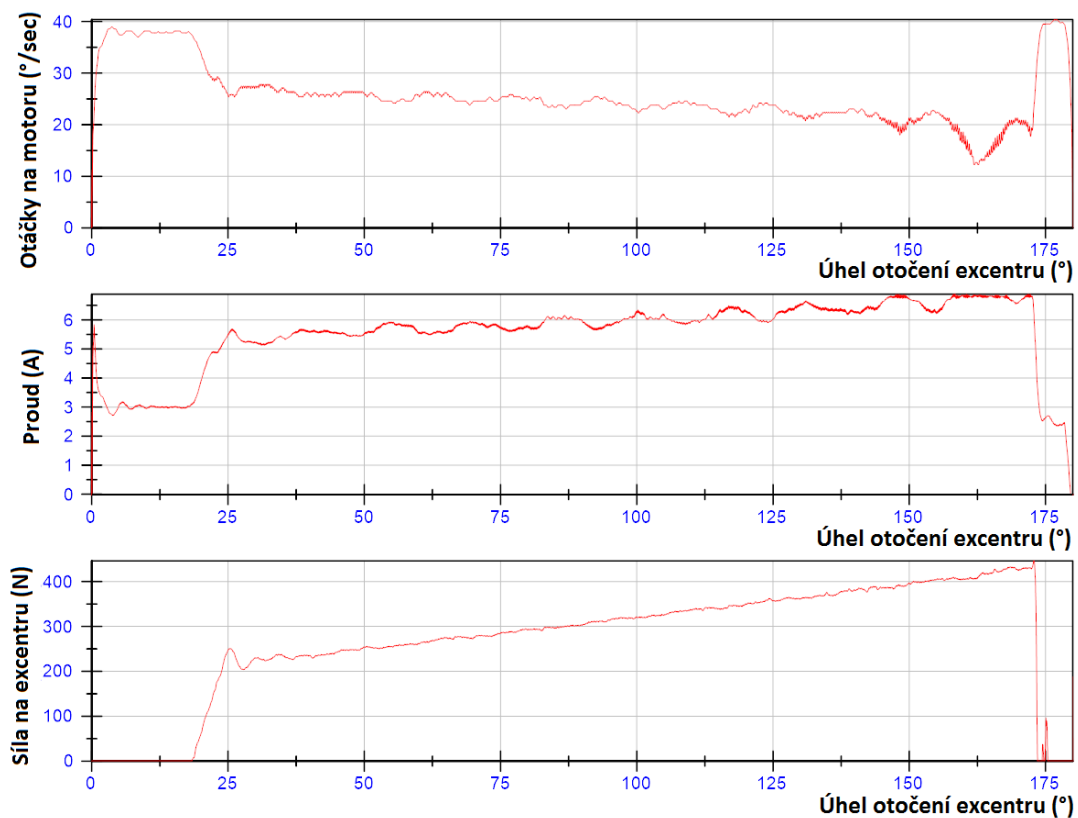




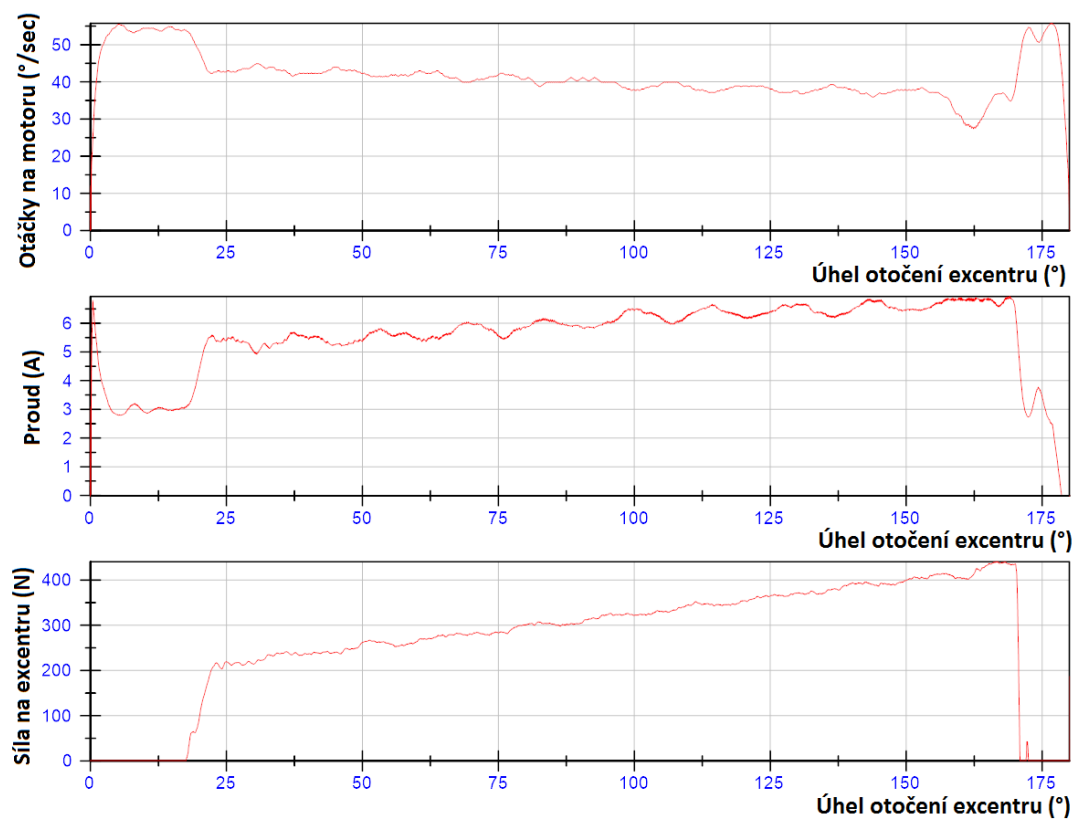
GRAF 19 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při  $-10^{\circ}\text{C}$ , 16V [vlastní zdroj]



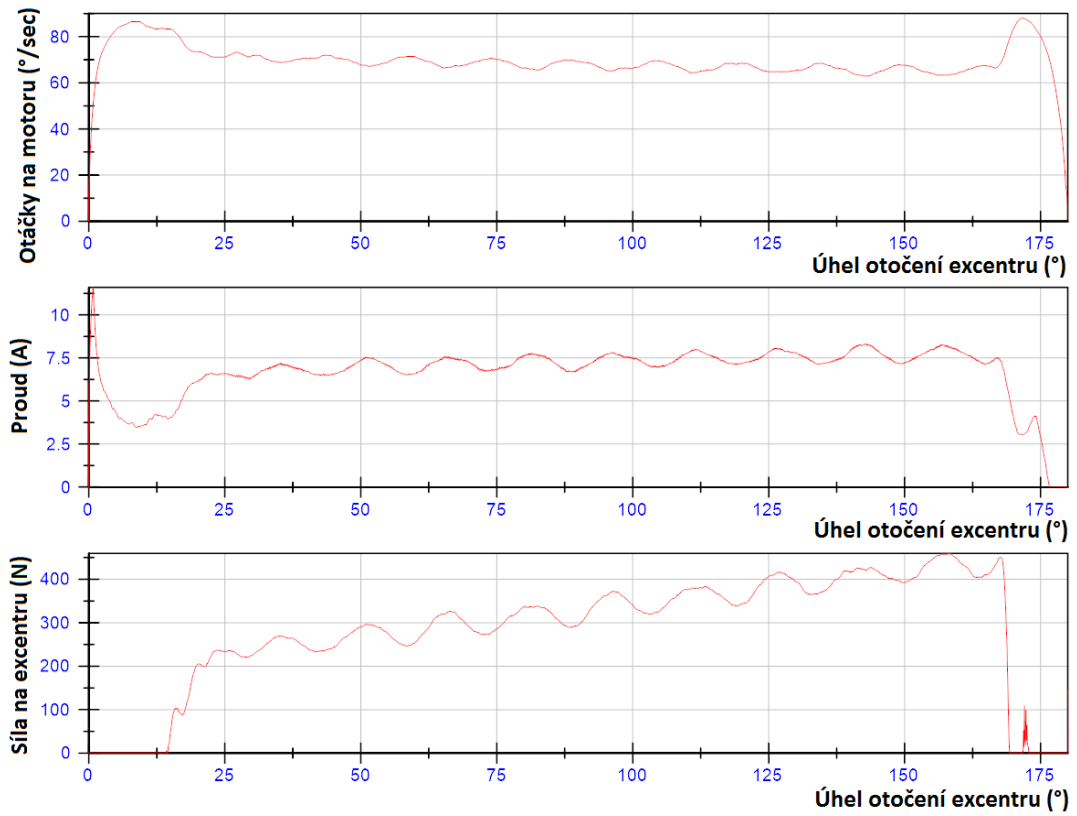
GRAF 20 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při  $-10^{\circ}\text{C}$ , 24V [vlastní zdroj]



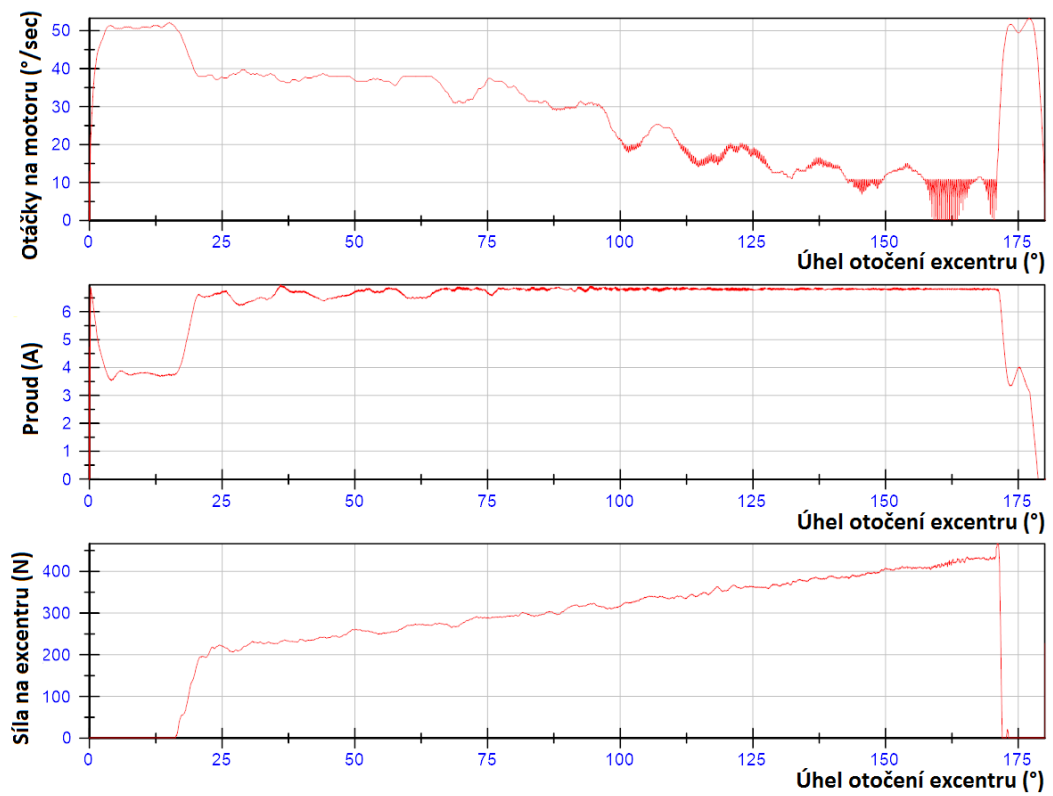
GRAF 21 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $12\text{V}$  [vlastní zdroj]



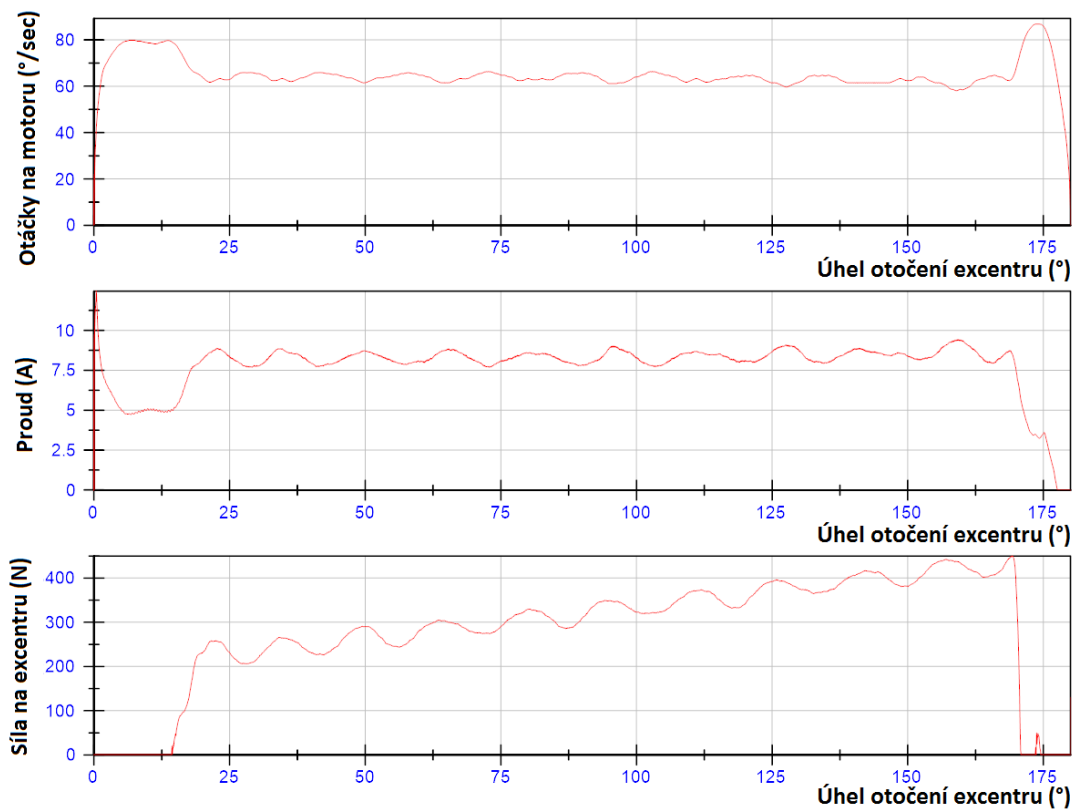
GRAF 22 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $16\text{V}$  [vlastní zdroj]



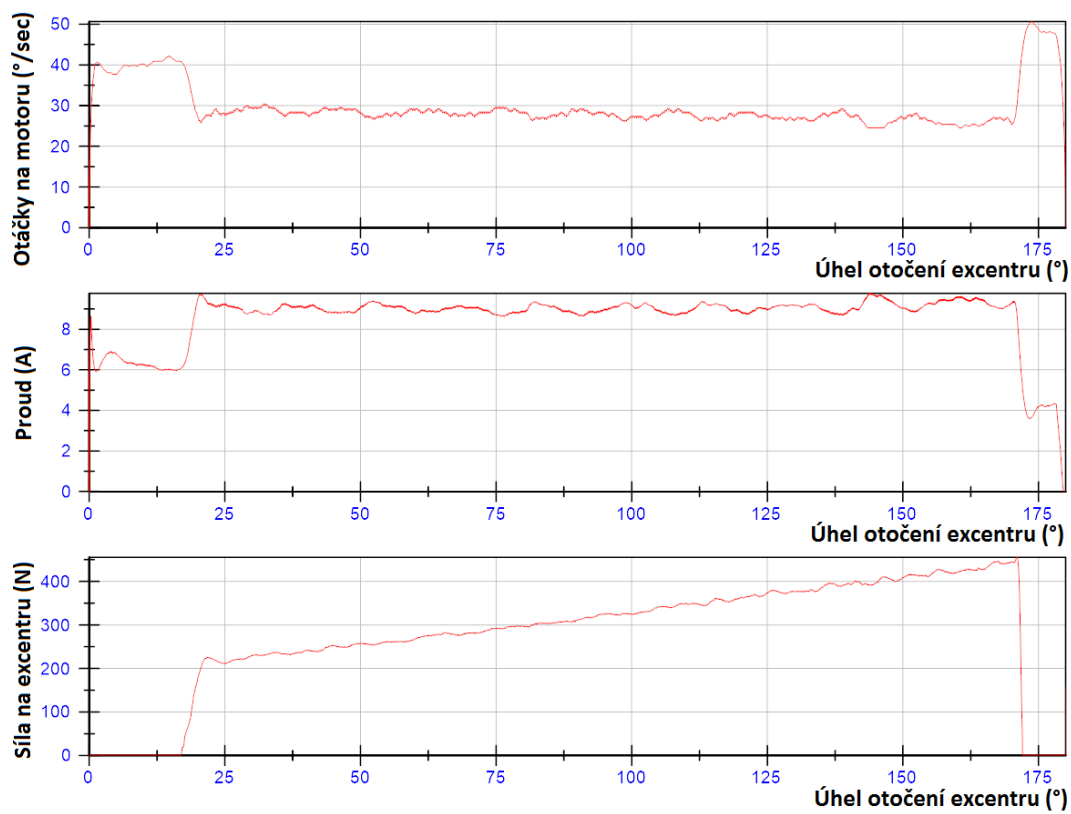
GRAF 23 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $24\text{V}$  [vlastní zdroj]



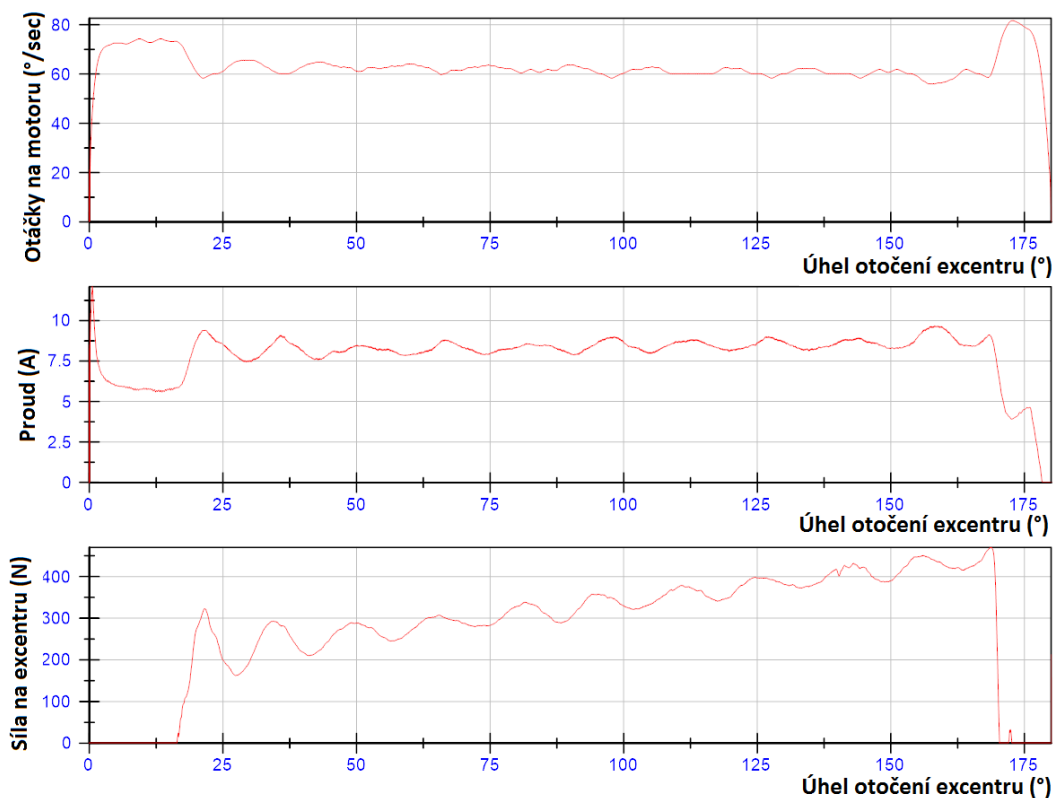
GRAF 24 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při  $-30^{\circ}\text{C}$ ,  $16\text{V}$  [vlastní zdroj]



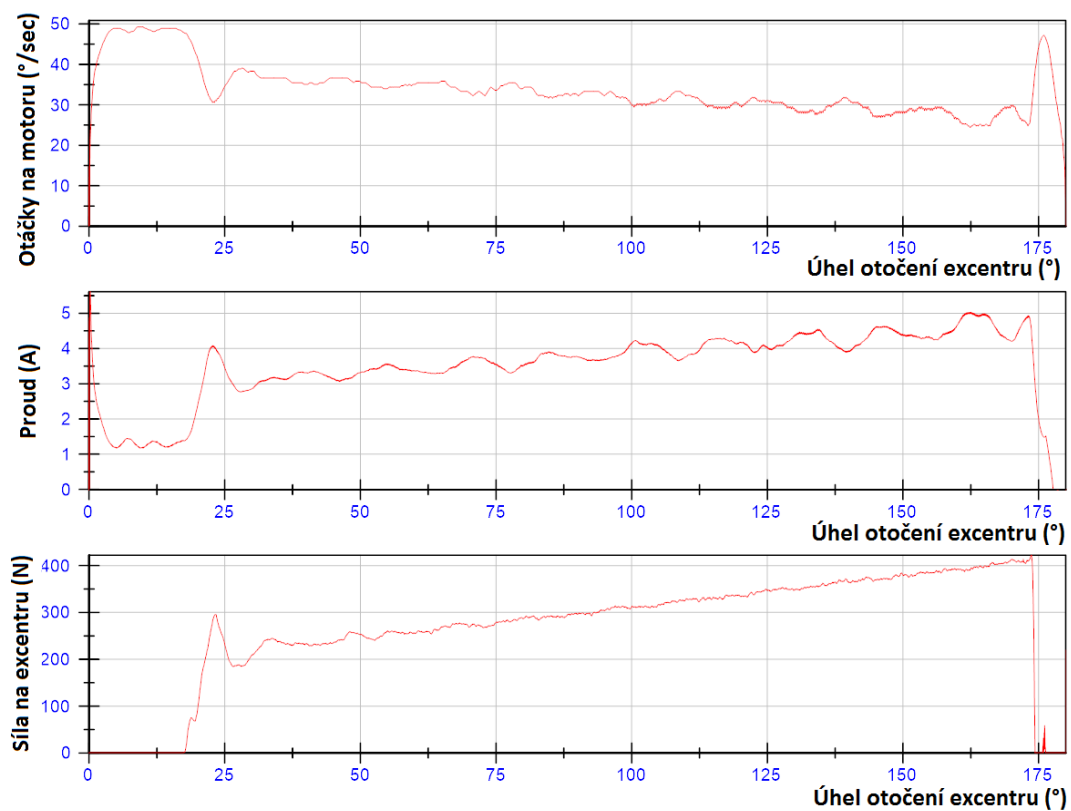
GRAF 25 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při  $-30^{\circ}\text{C}$ ,  $24\text{V}$  [vlastní zdroj]



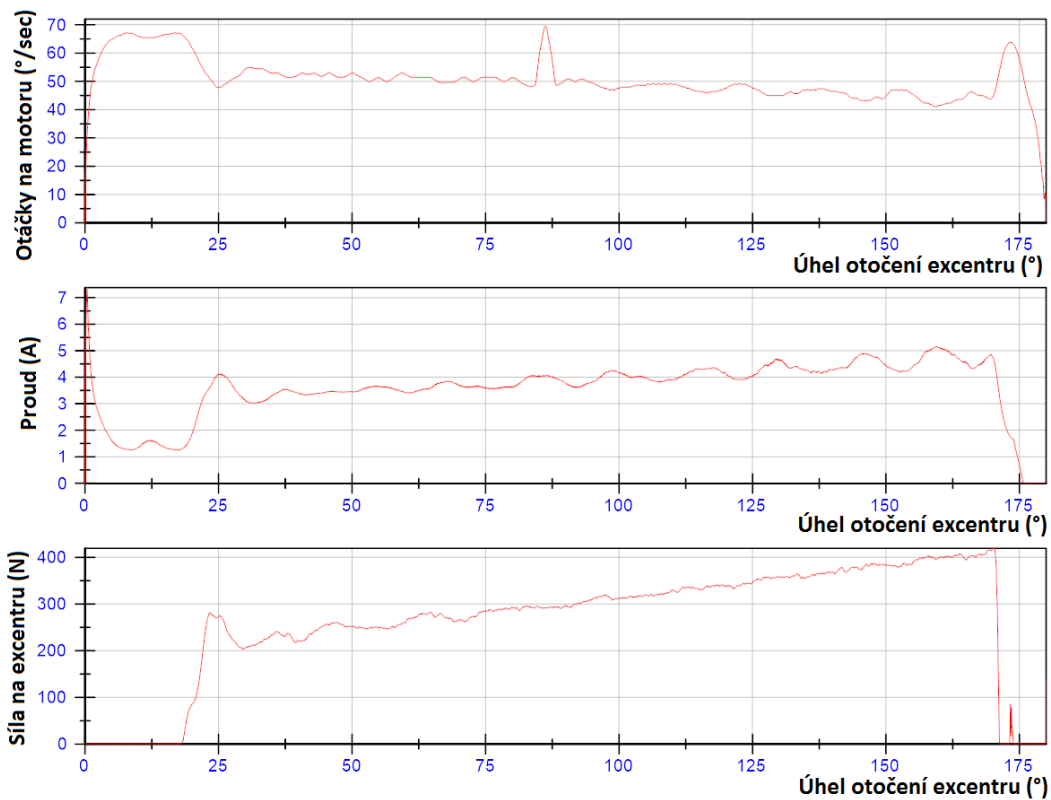
GRAF 26 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při  $-40^{\circ}\text{C}$ ,  $16\text{V}$  [vlastní zdroj]



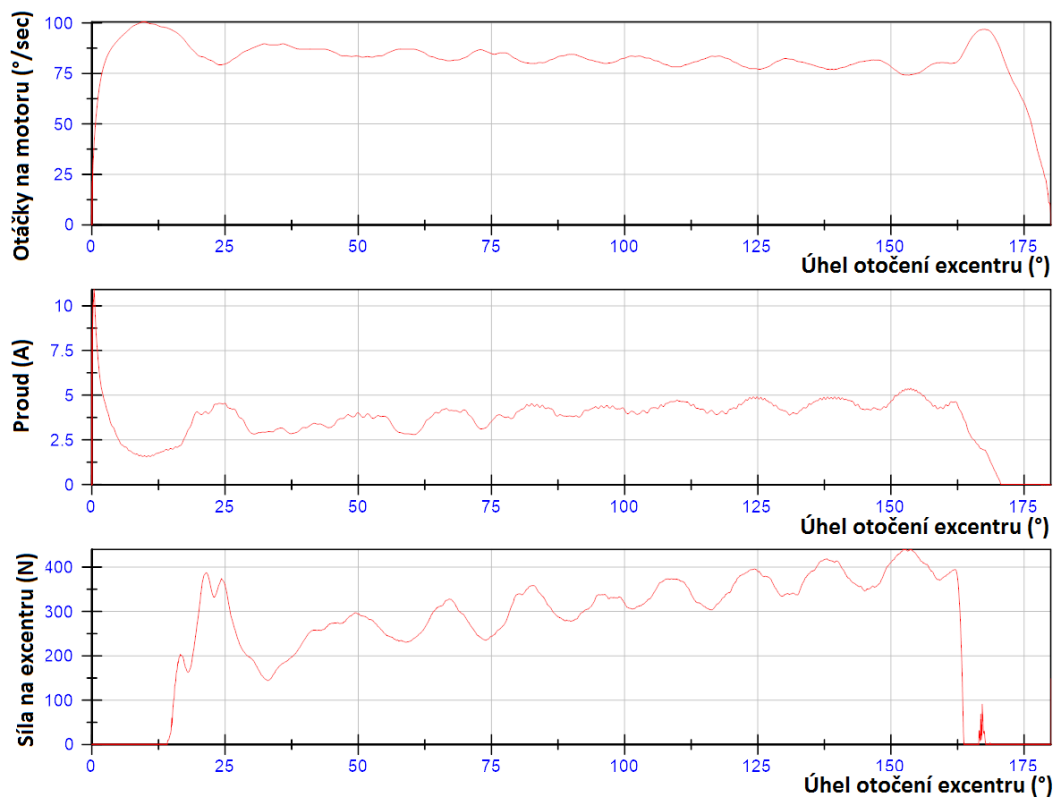
GRAF 27 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při  $-40^{\circ}\text{C}$ , 24V [vlastní zdroj]



GRAF 28 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při  $+80^{\circ}\text{C}$ , 12V [vlastní zdroj]

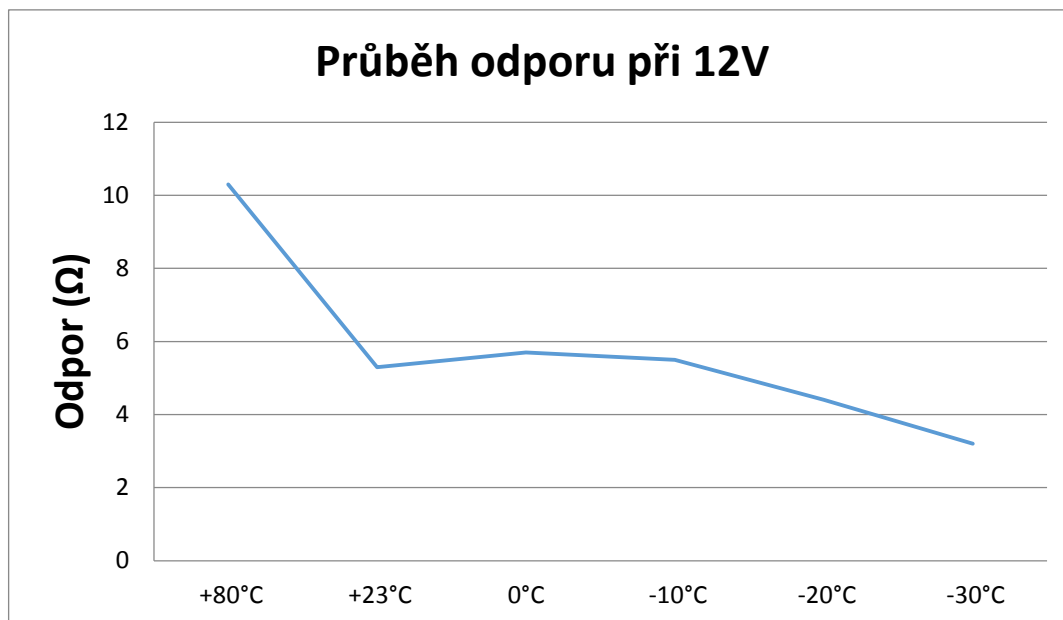


GRAF 29 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při +80°C, 16V [vlastní zdroj]

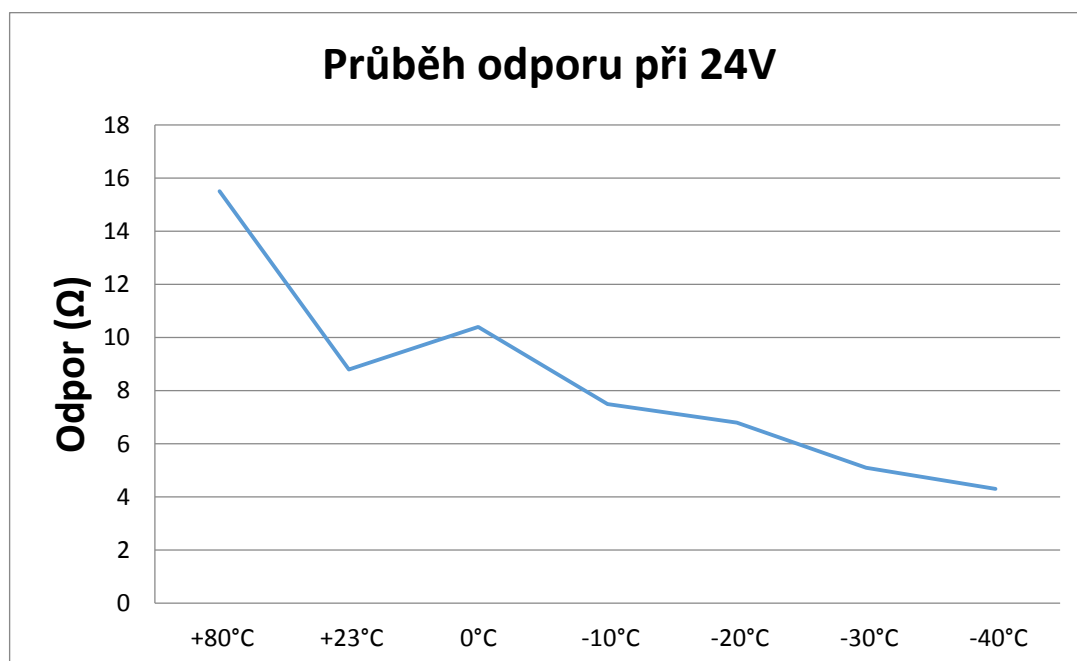


GRAF 30 - Průběh proudu, síly, otáček motoru při +80°C, 24V [vlastní zdroj]

## PŘÍLOHA P II: PRŮBĚHY HODNOT ODPORŮ PŘI RŮZNÝCH KLIMATICKÝCH POMDÍNKÁCH



GRAF 31 - průběh hodnoty odporu při 12V [vlastní zdroj]



GRAF 32 - průběh hodnoty odporu při 24V [vlastní zdroj]