



Středoškolská technika 2019

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

PRACOVÍŠTĚ SERVOPOHONŮ S ŘÍDICÍM SYSTÉMEM - SERVOMOTORY

Petr Barteček

Střední průmyslová škola Brno, Purkyňova

Purkyňova 97, Brno

1 Obsah

2	Teoretický úvod	3
2.1	Cíl práce a důvod výběru tématu	3
2.2	Pohony obecně.....	3
2.3	Synchronní motory	6
2.4	Teorie k servomotorům použitých v práci.....	7
3	Rozbor řešení.....	10
3.1	Rozbor problému.....	10
3.2	Způsob řešení problému.....	10
3.3	Postup řešení – Ventilátorová zátěžná charakteristika	11
3.4	Postup řešení – Zátěž s velkým momentem setrvačnosti	14
3.5	Postup řešení - Jeřábová charakteristika.....	16
3.6	Postup řešení – Kalandrová zátěžná charakteristika.....	17
4	Seznam zkratk.....	18
5	Závěr	19
6	Zdroje.....	19

2 Teoretický úvod

2.1 Cíl práce a důvod výběru tématu.

Cílem mé práce bylo vytvořit konstrukci pro upevnění 4 servomotorů s různou zátěží. Tato maturitní práce mně byla nabídnuta panem Ing. Danielem Sedláčkem. Času bylo málo a práce hodně, ale přesto jsem se rozhodl, že zadání přijmu a maturitní práci zrealizuji. Zadání jsem přijmul z toho důvodu, že jsem se chtěl něco více dozvědět o servopohonech jak teoreticky, tak prakticky. Také jsem díky této práci dostal možnost zlepšit své praktické dovednosti, schopnost přemýšlet a následně realizovat.

2.2 Pohony obecně

Pohony dělíme do základních kategorií:

Podle druhu proudu

- Stejnoseměrné motory
- Střídavé jednofázové motory
- Střídavé trojfázové motory

Podle konstrukce

- Asynchronní motory
- Synchronní motory
- Střídavé komutátorové motory

Motory se skládají z několika částí. Těmi hlavními z nich jsou magnetický obvod, vinutí, izolace, krytí a chlazení. Zde popíšu tyto části podrobněji.

Magnetický obvod

Má různý tvar podle druhu stroje. Magnetickým obvodem prochází střídavý magnetický tok, tudíž se v něm kolmo na směr magnetického toku indukují tzv. Foucaultovy vířivé proudy, které způsobují velké ztráty. Aby se ztráty vířivými proudy zmenšily, sestavují se magnetické obvody z plechů vzájemně izolovaných. Plechy se vzájemně izolují např. laky nebo keramickými vrstvami. Tyto plechy se vyrábějí nejčastěji o tloušťce 0,35mm nebo 0,5mm. Přemagnetováním železa v obvodu dále vznikají hysterezní ztráty. Tyto ztráty zmenšíme zušlechťením plechů, přidáním 0,8 až 4,5% křemíku a technologickým zpracováním.



Obr. 2.1 – Magnetický obvod

Vinutí

Vinutí se vyrábí nejčastěji z tažené, elektricky rafinované mědi. Vinutí rotorů asynchronních motorů se často dělá z hliníku, neboť je levnější a lehčí. Největší nevýhodou hliníku je ale větší rezistivita. Dále se používají další materiály jako je mosaz či bronz. Tvar vinutí, počet cívek a závitů závisí především na velikosti motoru. Vinutí je uloženo v drážkách magnetického obvodu motoru. Průřez vinutí je závislý na velikosti procházejícího proudu, na materiálu a chlazení vinutí. Vinutí a jednotlivé závitů je potřeba dobře izolovat aby nedošlo k průrazu.



Obr. 2.2 – Vinutí motoru

Izolace

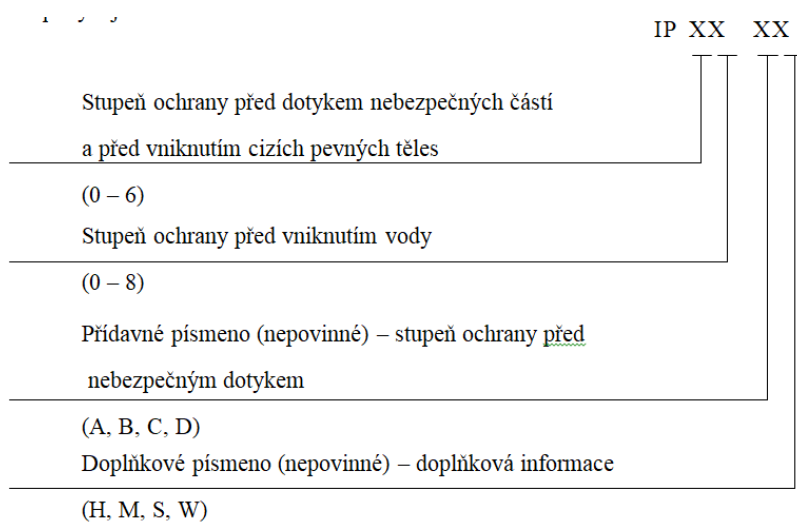
Zabraňuje zkratu jednotlivých závitů, fází, fází a země apod. Používají se organické i anorganické látky. Například keramické hmoty, slídy, silikony, PVC a laky. Izolace musí zajistit dostatečnou elektrickou pevnost a případně i pevnost mechanickou (komutátory). Musí odolávat vnějším vlivům, jako je změna teploty, prach, vlhkost a chemické vlivy.



Obr. 2.3 – Izolace

Krytí

Je to souhrn konstrukčních opatření, kterými se chrání stroj před vniknutím cizích předmětů a vody a které chrání obsluhující osoby před úrazy vzniklými dotykem s živými nebo pohybujícími se částmi. Je dáno mezinárodním označením IP.



Obr. 2.4 – Přehled krytí IP



Obr. 2.5 – Krypt motoru

Chlazení

Ztrátové teplo je nutné z motoru odvádět chlazením, které se promítne do jeho podoby. Chlazení se označuje mezinárodní značkou IC.



Obr. 2.6 – Chladící vrtule

2.3 Synchronní motory

Synchronní motor je točivý elektrický stroj, který využívá principu elektromagnetické indukce, jehož kmitočet je přímo úměrný otáčkám. Motor se otáčí otáčkami točivého pole.

Výhody synchronního motoru: - $n = \text{konst.}$; nezatěžuje síť jalovým proudem; nemusí mít malou vzduchovou mezeru; má vysokou účinnost

Nevýhody synchronního motoru: - sám se nerozběhne, protože rotor je zmagnetován a tím pádem ne točivým polem 50x za sekundu táhnut na jednu stranu a na opačnou stranu; potřebuje budič

Použití synchronního motoru

- a) motorgenerátory
- b) turbo kompresory
- c) dmýchadla
- d) čerpadla
- e) lodní šrouby

Spouštění synchronních motorů

V pólech synchronního motoru je pravidelně uložen tlumič (amortizér) se spojovacími kruhy na čelech, který za provozu zamezuje kývání rotoru a tím přispívá ke stabilitě chodu při změnách zatížení.

Při rozběhu plní tento tlumič funkci klece. Motor se připojí na síť, roztočí se jako asynchronní s kotvou nakrátko a teprve potom se připojí buzení. Synchronní mg. pole vtáhne rotor do synchronních otáček.

Synchronní motory lze také spustit roztočením pomocným motorem.

2.4 Teorie k servomotorům použitých v práci

Ve své maturitní práci jsem použil servomotory od firmy TG drives. Konkrétněji motory řady TGN2. Jsou to synchronní 6-ti pólové stroje. Mají ve statoru rozložené trojfázové vinutí a na rotoru umístěny permanentní magnety. Vinutí je navrženo pro sinusové průběhy proudu a napětí. Magnety jsou vyrobeny ze vzácných zemin neodým/železo/bór.

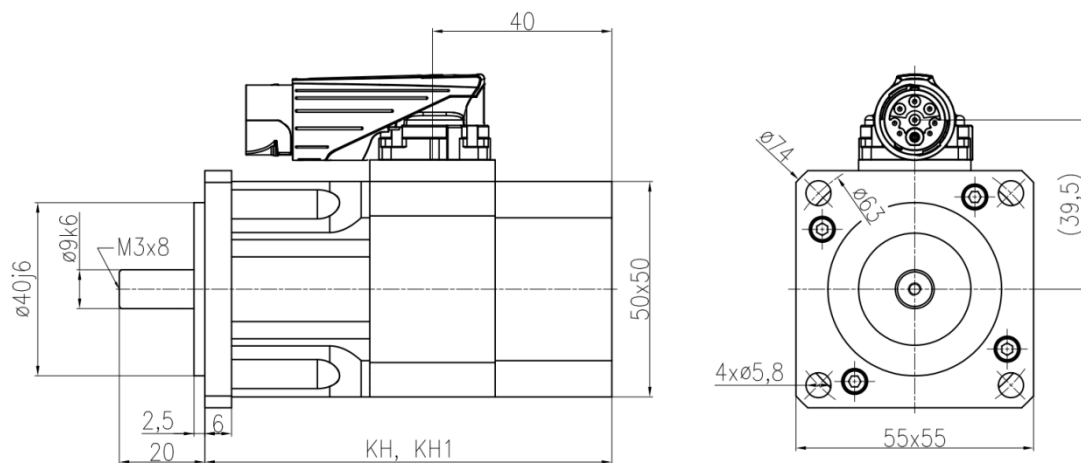
Řízení motoru se realizuje pomocí servozesilovače a průmyslového počítače od firmy ASEM. Motor má signalizaci a monitorování teploty pomocí teplotních čidel, která jsou umístěna ve statorovém vinutí. Zpětnou vazbu zajišťuje zpětnovazební snímač Resolver. Informace o zpětné vazbě dále vyhodnocuje servozesilovač. Motory se používají v oblasti pohonů průmyslových robotu, obráběcích strojů, obráběcích center, manipulátorů, linek a jiných aplikací s vysokými nároky na jejich dynamiku a stabilitu. [Zdroj: www.tgdrives.cz]

Resolver

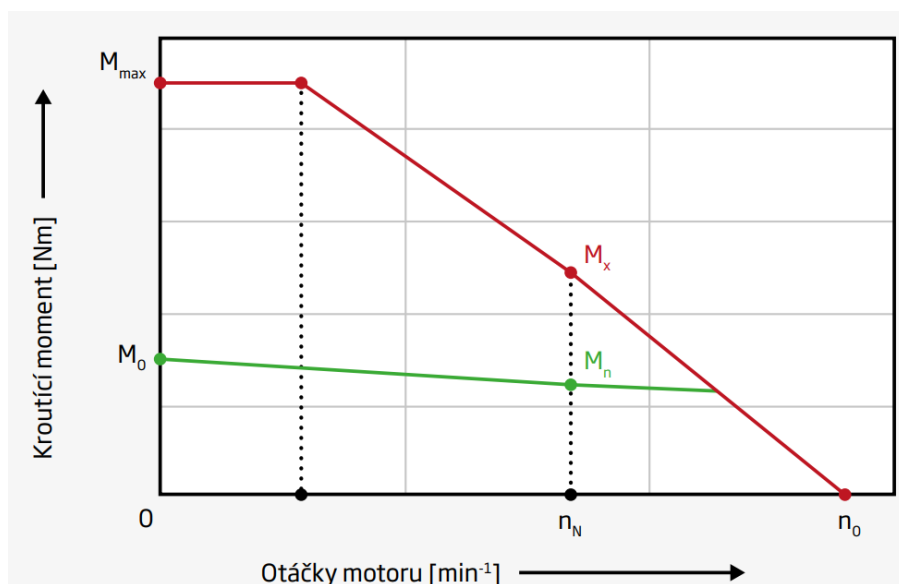
Je to bezkartáčový elektrický stroj, který slouží k odměřování polohy rotoru a k určení komutačních úhlů. Obvykle se jej užívá jako přesného snímače polohy a úhlové rychlosti v regulačních obvodech zesilovačů. [Zdroj: www.tgdrives.cz]



Obr. 2.7 – Motor TGN2 v jednokonektorovém provedení



Obr. 2.8 – Výkres motoru TGN2



Obr. 2.9 – Momentová charakteristika servomotoru TGN2

Technická data motorů TGN

- Provedení – přírubové
- Barva – černá matná
- Ložiska – zapouzdřená kuličková ložiska s trvalou tukovou náplní
- Krytí – IP64 (ze strany hřídele IP54)
- Chlazení – konvekcí (typ A)
- Teplota – dle ČSN EN 60034 (oteplení do 110 °C)
- Zátěžný cyklus – kontinuální S1
- Elektrické připojení – konektory, protikusy ke konektorům

Technické parametry motorů TGN 2

	Značka	Veličina	TGN2 - 0,075
Klidový moment	M_0	Nm	0,75
Klidový proud	I_0	A	1,54
Jmenovitý moment	M_N	Nm	0,68
Jmenovité otáčky	n_N	min. ⁻¹	4500
Jmenovitý výkon	P_N	W	320
Jmenovitý proud	I_N	A	1,48
Maximální moment	M_{max}	Nm	3
Maximální proud	I_{max}	A	7,1
Max. otáčky mech.	n_{max}	min. ⁻¹	12000
Momentová konstanta	K_M	Nm/A	0,49
Napěťová konstanta	K_E	V/1000min. ⁻¹	29,5
Počet pólů motoru	p		6
Odpor dvou fází	R_{2Ph}	Ω	17
Indukčnost dvou fází	L_{2Ph}	mH	22,7
Vlastní moment setrvačnosti	J	kgcm ²	0,09
Hmotnost bez brzdy	m	kg	1,1
Hmotnost s brzdou	m_{Br}	kg	1,54
Brzd. moment brzdy	M_{Br}	Nm	2

[Zdroj: www.tgdrives.cz]

Popis veličin momentové charakteristiky

M_0 — **Klidový moment [Nm]** – je to maximální krouticí moment, který je motor schopen trvale generovat při zatížení rovnoměrně rozloženém ve všech třech fázích. Otáčky motoru jsou blízko nuly. Je závislý na teplotě a chladících podmínkách.

n_N — **Jmenovité otáčky [min^{-1}]** – jsou to otáčky ve zvoleném pracovním bodě, ve kterém motor vytváří jmenovitý krouticí moment M_N .

M_N — **Jmenovitý moment [Nm]** – je krouticí moment působící na hřídel motoru při trvalém chodu při jmenovitých otáčkách n_N . Jmenovitý moment závisí na teplotě a chladících podmínkách.

n_0 — **Max. otáčky [min^{-1}]** – jsou to maximální dovolené otáčky rotoru bez zátěže.

M_{max} — **Maximální moment [Nm]** – je to maximální krouticí moment, který je motor schopen generovat, tento moment je dosažen při maximálním proudu I_{max} .

Maximální přípustná doba pro použití špičkového proudu závisí na počáteční teplotě vinutí, obvykle ale tato doba není vyšší než několik sekund.

M_x — **Maximální moment při jmenovitých otáčkách [Nm]** – je maximální moment, který je motor schopen generovat při jmenovitých otáčkách motoru n_N . Hodnota tohoto momentu je obvykle dvojnásobek hodnoty jmenovitého krouticího momentu M_N .

[Zdroj: www.tgdrives.cz]

3 Rozbor řešení

3.1 Rozbor problému

Hned od začátku nastaly následující problémy. Neměl jsem zadanou metodu řešení, nevěděl jsem jaké materiály použít a kde je sehnat a jak vůbec jednotlivé konstrukce budou vypadat. Dále jsem také musel vybrat místo, kde budu na konstrukci pracovat a kdo mi případně poradí, když si nebudu vědět rady.

3.2 Způsob řešení problému

Problém s metodou řešení jsem řešil domluvou na konzultaci s mým konzultantem. S panem Ing. Sedláčkem jsme se sešli a společně jsme řešili, jak by dané konstrukce mohly vypadat a fungovat. Tento způsob byl ovšem velmi obecný.

Začal jsem tedy poprvé využívat to, co jsem se naučil v předmětu technické kreslení. Pomocí programu Autocad jsem tvořil prototypy jednotlivých konstrukcí, metodou pokus omyl. Tímto způsobem jsem se snažil dojít k tomu nejvhodnějšímu designu.

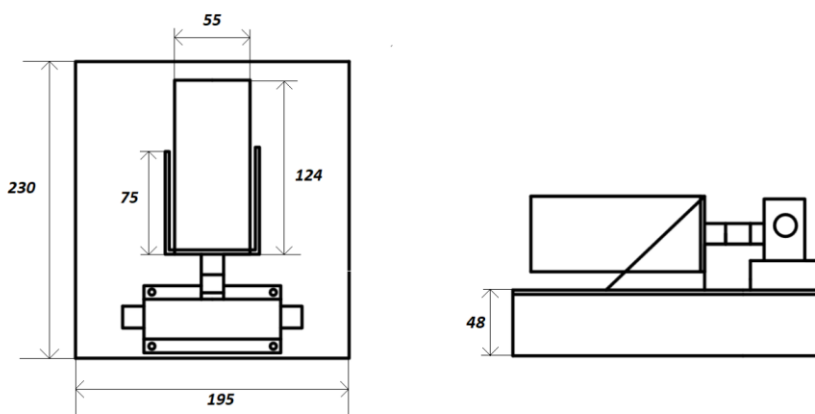
Dalším problémem byl výběr materiálu. Zašel jsem si proto do firmy Železářství Skořepka s.r.o. pro radu. S jejich pomocí jsem jako materiál pro podstavu a hrubou konstrukci vybral 3mm ocelový plech válcovaný za tepla a ocelové jekly různých rozměrů podle návrhu konstrukce v Autocadu.

Problém s místem realizování mé práce jsem vyřešil tak, že jsem se ptal různých známých, zda nemají místo, které bych mohl použít. Nabídl se mi kamarád, který bydlel sice daleko, ale měl dílnu, kterou jsem mohl použít a také náradí potřebné k zpracování materiálů.

Nic mně už tedy nebránilo k tomu, abych začal s prací. Jako první bod zadání k řešení, jsem si vybral ventilátorovou charakteristiku.

3.3 Postup řešení – Ventilátorová zátěžná charakteristika

Od svého konzultanta jsem dostal za úkol vymyslet jakým způsobem dosáhnout ventilátorové charakteristiky s dostatečnou zátěží. Rozhodl jsem se pro využití čerpadla na vrtačku. Důvodem byla dobrá dostupnost, dostatečná zátěž pro motor a jednoduchá konstrukce. Konstrukci jsem prováděl zhruba podle výkresů.



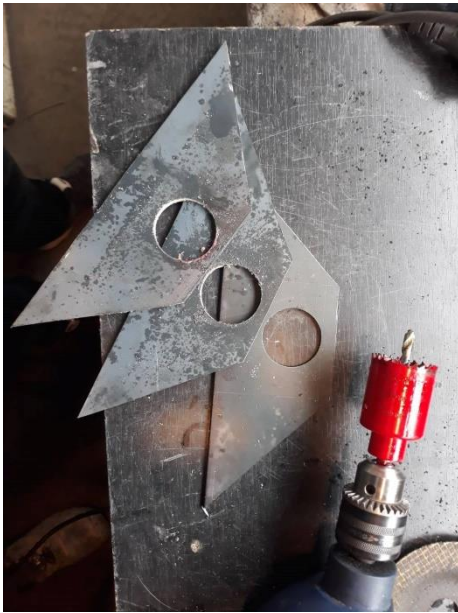
Obr. 3.1 – Návrh úlohy- Ventilátorová zátěžná charakteristika

Použitý materiál:

- Plech 3mm, ocel, válcovaný za tepla, bez povrchové úpravy
- Jekl 45x45mm, ocel, bez povrchové úpravy
- Čerpadlo na vrtačku od firmy Wolfcraft
- Hadičky různého průměru
- Kovové stahovací pásy na hadice

Výroba podstavy:

1. Pomocí úhlové brusky jsem si nařezal jekly do požadovaných rozměrů.
2. Úhlovou bruskou jsem uřízl část plechu taktéž do požadovaných rozměrů.
3. Plech s jekly jsem svařil.
4. Z plechu jsem vyřízl uchycení pro motor, které jsem následně ohnul tak aby bylo co nejstabilnější.
5. Uchycení pro motor jsem přivařil k plechu.
6. Podstavu jsem sprejem nastříkal na modrou barvu.



Obr. 3.2 – Výroba úchytů pro motory



Obr. 3.3 – Sprejování



Obr. 3.4 – Finální podoba povrchové úpravy

Výroba funkční části:

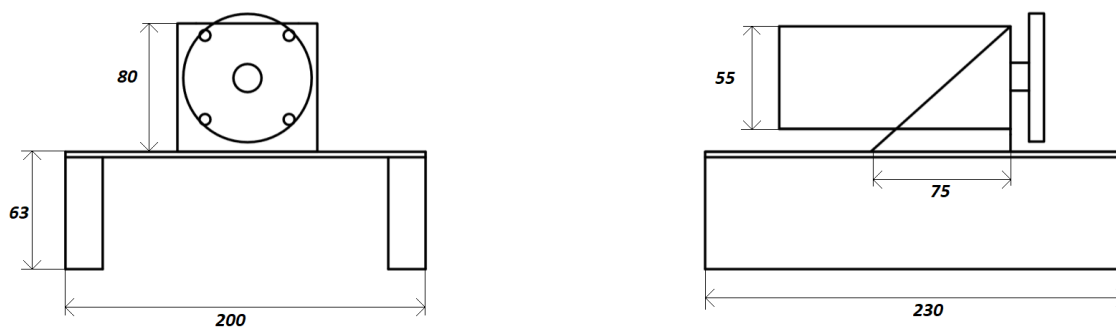
1. Čerpadlo jsem upravil tak aby mi rozměrově vyhovovalo.
2. Motor jsem přichytil pomocí 4 šroubů k uchycení.
3. Čerpadlo jsem umístil naproti motoru.
4. Hřídele motoru a čerpadla jsem spojil hadičkou a dvěma kovovými stahovacími pásky.
5. K vývodu a přívodu vody do čerpadla jsem použil dvě pryžové hadice.
6. Podstavu jsem sprejem nastříkal na modrou barvu.



Obr. 3.5 – Spojení čerpadla a motoru

3.4 Postup řešení – Zátěž s velkým momentem setrvačnosti

U této úlohy bylo zapotřebí použití jakéhosi setrvačníku. Bylo nutné, aby setrvačnick neměl o příliš mnoho větší setrvačný moment než je setrvačný moment motoru. Nejvíce tomuto požadavku vyhovoval obyčejný kotouč na činku o hmotnosti 0,5kg. Problémem byl způsob uchycení kotouče k hřídeli motoru, protože hřídel má jiný rozměr než díra kotouče. Rozhodl jsem se vyrobit výplň pro díru z hokejového puku.



Obr. 3.6 – Návrh úlohy- Zátěž s velkým momentem setrvačnosti

Použitý materiál:

- Plech 3mm, ocel, válcovaný za tepla, bez povrchové úpravy
- Jekl 60x20mm, ocel, bez povrchové úpravy
- Hokejový puk

Výroba podstavy:

1. Pomocí úhlové brusky jsem si nařezal jekly do požadovaných rozměrů.
2. Úhlovou bruskou jsem uřízl část plechu taktéž do požadovaných rozměrů.
3. Svařil jsem plech s jekly.
4. Z plechu jsem vyřízl uchycení pro motor, které jsem následně ohnul tak aby bylo co nejstabilnější.
5. Uchycení pro motor jsem přivařil k plechu.
6. Podstavu jsem sprejem nastříkal na modrou barvu.

Výroba funkční části:

1. Puk jsem uchytíl do malého soustruhu poháněného vrtačkou.
2. Materiál z puku jsem odebíral pomocí rašple.
3. Motor jsem našrouboval na uchycení.
4. K hřídeli motoru jsem přidělal šroubem kotouč vyplněný pukem.



Obr. 3.7 – Výroba výplně pro kotouč



Obr. 3.8 – Výplň v kotouči

3.5 Postup řešení - Jeřábová charakteristika

Jeřábové charakteristiky bylo možno dosáhnout mnoha způsoby. Jedním ze způsobů bylo vytvořit výtah unášený řemenem. Dalším způsobem bylo vyrobit obyčejný kladkostroj, jehož pohonem bude servomotor. Vybral jsem si kladkostroj, jelikož jeho konstrukce byla jednodušší a praktičtější. U této úlohy se již nenachází nákres v Autocadu, jelikož jsem konstrukci vymýšlel v dílně.

Použitý materiál:

- Plech 3mm, ocel, válcovaný za tepla, bez povrchové úpravy
- Jekl 45x45mm, ocel, bez povrchové úpravy
- Jekl 25x25mm, ocel, bez povrchové úpravy
- 2x kladka
- Kovová tyčinka
- Provázek

Výroba podstavy:

1. Pomocí úhlové brusky jsem si nařezal jekly do požadovaných rozměrů.
2. Úhlovou bruskou jsem uřízl část plechu taktéž do požadovaných rozměrů.
3. Svařil jsem plech s jekly.
4. Z plechu jsem vyřízl uchycení pro motor, které jsem následně ohnul tak aby bylo co nejstabilnější.
5. Uchycení pro motor jsem přivařil k plechu.

Výroba funkční části:

1. Do kladky, která plní účel navíjecí cívky, jsem vyvrtal díru, kterou jsem protáhl provázek a na konci provázku jsem udělal suk.
2. Motor jsem přichytil pomocí 4 šroubů k uchycení.
3. Kladku jsem nalisoval na hřídel motoru.
4. Do „stožáru“ jsem vyvrtal dvě díry a přivařil k němu tyčinku, na které je umístěna nosná kladka.
5. „Stožár“ jsem přivařil k podstavě.
6. Celou konstrukci jsem nastříkal na modrou barvu.

3.6 Postup řešení – Kalandrová zátěžná charakteristika

Kalandr je druh tvářecího, válcovacího a žehlícího stroje, který se používá při výrobě velmi tenkých a plochých předmětů. Využívá se například ve výrobě papíru.

[Zdroj: www.cs.wikipedia.org/wiki/Kalandr]

Při zvažování výroby takového stroje jsem usoudil, že lepší variantou bude dosáhnout této charakteristiky brzděním motoru pomocí brzdného kotouče. Tuto úlohu jsem stejně jako předchozí vymýšlel v dílně, proto se tu také nenachází výkres.

Použitý materiál:

- Plech 3mm, ocel, válcovaný za tepla, bez povrchové úpravy
- Jekl 60x20mm, ocel, bez povrchové úpravy
- Jekl 25x25mm, ocel, bez povrchové úpravy
- Plech 1mm
- Buková destička
- Kulatina

Výroba podstavy:

1. Pomocí úhlové brusky jsem si nařezal jekly do požadovaných rozměrů.
2. Úhlovou bruskou jsem uřízl část plechu taktéž do požadovaných rozměrů.
3. Svařil jsem plech s jekly.
4. Z plechu jsem vyřízl uchycení pro motor, které jsem následně ohnul tak aby bylo co nejstabilnější.
5. Uchycení pro motor jsem přivařil k plechu.

Výroba funkční části:

1. Z 3mm plechu jsem úhlovou bruskou vyřízl zhruba kolečko, které jsem dále zarovnal na malém soustruhu poháněném vrtačkou.
2. Motor jsem přichytil pomocí 4 šroubů k uchycení a na motor nasadil brzdový kotouč.
3. K podstavě jsem přivařil malý kousek kulatiny, který slouží jako pant pro brzdič.
4. Na 1mm plech jsem přišrouboval bukovou brzdící destičku.
5. Dále jsem k podstavě přivařil 17cm dlouhý jekl 25x25mm ve ztopořené poloze, který nese šroubek na zvyšování brzdné síly.
6. Konstrukci jsem nastříkal na modrou barvu.

4 Seznam zkratek

mm – milimetr

kg – kilogram

min. – minuta

PVC – polyvinylchlorid

IP – ingress protection (mezinárodní značení označující odolnost el. zařízení proti vniknutí cizích těles či kapaliny)

IC – mezinárodní označení způsobu chlazení

n – počet otáček za minutu

Nm – Newton metr

W – Watt

A – Ampér

V – Volt

Ω - Ohm

mH – mili Henry

5 Závěr

V této maturitní práci jsem se zabýval vytvořením podmínek pro měření různých typů charakteristik servomotorů. Vytvořil jsem 4 pracoviště pro servomotory a to pro měření ventilátorové zátěžné charakteristiky, zátěže s velkým momentem setrvačnosti, kalandrové zátěžné charakteristiky a jeřábové zátěžné charakteristiky.

Nebylo to jednoduché, ale načerpal jsem spoustu zkušeností a zajímavých poznatků.

6 Zdroje

<https://blog.epectec.com/what-you-should-know-about-discrete-wire>(obr. 2.3)

https://www.reddit.com/r/ElectricSkateboarding/comments/54c53u/the_cleanest_motor_windings_you_have_ever_seen/(obr. 2.2)

<https://www.tgdrives.cz>(obr. 2.7, 2.8, 2.9)

http://www.inelsevmotory.cz/index.asp?list=vyroba_opravy_magnetickych_obvodu(obr. 2.1)

<https://www.motor-pump-ventilation.com/merchant/product/fan-motor>(obr. 2.6)

<https://cs.wikipedia.org/wiki/Kalandr>