

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

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

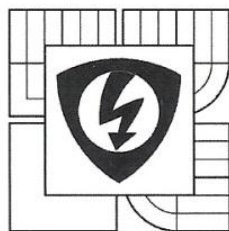
ELEKTROCENTRÁLY PRO OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN PROKOP

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Jan Prokop

Ročník: 3

ID: 133775

Akademický rok: 2012/13

NÁZEV TÉMATU:

Elektrocentrály pro obnovitelné zdroje energie

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Práce je zaměřena na malé aplikace elektrocentrál pro příležitostné zálohování výpadků sítí a nebo dobíjení akumulátorů v době nedodávek např. solárního systému. Cílem je shrnout dosavadní možnosti technologií a nastínit možné další směry a řešení.

1. Vlastnosti a požadavky na malé elektrocentrály.
2. Alternativní zdroje energie a jejich stabilita.
3. Možnosti propojení elektrocentrály a alternativního zdroje energie.
4. Náklady na investice a provoz systému.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 31.5.2013

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:


doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

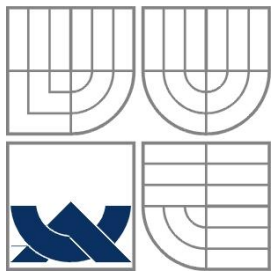
Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných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

Bibliografická citace práce:

PROKOP, J. *Elektrocentrály pro obnovitelné zdroje energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 63 stran. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D..

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

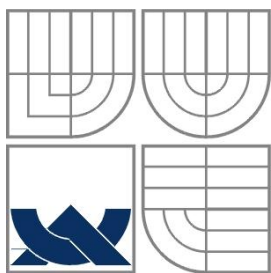
Elektrocentrály pro obnovitelné zdroje energie

Jan Prokop

vedoucí: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2013

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering

Bachelor's Thesis

Generators for renewable energy

by

Jan Prokop

Supervisor: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Brno University of Technology, 2013

Brno

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá tématem elektrocentrál, které budou využívat obnovitelné zdroje energie místo fosilních paliv. Práce je zaměřena na přeměnu energie na bázi mechanické. Úvodní část textu shrnuje požadavky na elektrocentrálu, vlastnosti a parametry spotřebičů, které budou na elektrocentrálu připojeny a nakonec výběr vhodných alternativních paliv. Hlavní část popisuje postup samotné realizace prototypů. Podle zjednodušené technické dokumentace (náčrtů) byly v dílnách Střední školy strojírenské a elektrotechnické Trnkova 113, Brno vyrobeny jednotlivé díly zařízení, z těchto dílů byl sestaven funkční prototyp elektrocentrály. Ten se skládá ze dvou samostatných částí: pohonné jednotky a alternátoru s příslušenstvím včetně spotřebičů. Na prototypu bylo provedeno měření účinnosti. Práce je doplněna o animace funkce zařízení v modelovacím programu SolidWorks 2012. Prototypy vychází ze známých principů funkce parních strojů, na žádost Střední školy výše uvedené byly upraveny do podoby názorné učební pomůcky. Výhodou prototypů je jejich levná a jednoduše sestavitelná konstrukce, která využívá běžně dostupných materiálů. Zařízení pracuje bezúdržbově, je zde pouze nutnost občasného promazání pro plynulý chod. Závěrem jsou krátce zhodnoceny náklady na investice a provoz zařízení.

KLÍČOVÁ SLOVA: elektrocentrála; obnovitelné zdroje energie

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the topic of generators, which will use alternative sources of energy instead of fossil fuels. The work is focusing on mechanical energy conversion. Introductory part of the text summarizes the requirements on the generator, properties and parameters of appliances, which will be connected to the generator, and finally the selection of suitable alternative fuels. Main part describes the process of a prototype realization. Individual parts of the device have been manufactured from a simplified technical documentation and sketches in the machine shops of the Secondary School of Electrotechnical Engineering on Trnkova street, and from these parts a functional generator prototype has been assembled. This prototype consists of two separate parts: a propulsion unit and an alternator with accessories, including appliances. On this prototype an efficiency measurement has also been carried out. Furthermore, the work includes animations of device functions created in modeling program SolidWorks 2012. Prototypes are based on a known principle of a steam engine and, at the request of the above-mentioned school, have been adapted into a visual teaching aid. The advantage of those prototypes lies in their inexpensive and simple construction, which utilizes commonly available materials. The device works on maintenance-free principle, there is only the necessity of occasional greasing for a fluent running. In conclusion are briefly reviewed the investment and operating costs of the generator.

KEY WORDS: generator; alternative sources of energy

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	12
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	13
1 ÚVOD	15
2 VLASTNOSTI A POŽADAVKY NA ELEKTROCENTRÁLY	16
2.1 TYPY A POUŽITÍ.....	16
2.2 TYPY ELEKTROSPOTŘEBIČŮ	16
2.2.1 SPOTŘEBIČE ODPOROVÉHO TYPU.....	16
2.2.2 SPOTŘEBIČE INDUKČNÍHO TYPU	16
2.2.3 SPOTŘEBIČE KAPACITNÍHO TYPU	16
2.3 POŽADAVKY NA ELEKTROCENTRÁLU:	17
2.3.1 ELEKTRICKÝ VÝKON.....	17
2.3.2 VÝSTUPNÍ NAPĚTÍ	17
2.3.3 KMITOČET	17
2.3.4 DOBA PROVOZU	17
2.3.5 HLUČNOST	17
2.3.6 STARTOVÁNÍ.....	18
3 ALTERNATIVNÍ ZDROJE ENERGIE A JEJICH STABILITA	19
3.1 POUŽITELNÉ ALTERNATIVNÍ ZDROJE PRO ELEKTROCENTRÁLU	19
3.1.1 SOLÁRNĚ TERMICKÉ KOLEKTORY.....	19
3.1.2 GEOTERMÁLNÍ ENERGIE	20
3.1.3 PEVNÁ BIOMASA	20
3.2 ZVOLENÉ HNACÍ PALIVO PRO PROTOTYP ELEKTROCENTRÁLY	21
3.2.1 STLAČENÝ VZDUCH	21
3.3 VLASTNOSTI STLAČENÉHO VZDUCHU.....	21
3.3.1 IZOTERMICKÁ ZMĚNA STAVU PLYNŮ (BOYLE-MARIOTTŮV ZÁKON)	21
3.3.2 IZOBARICKÁ ZMĚNA STAVU PLYNŮ (GAY-LUSSACŮV ZÁKON).....	22
3.3.3 IZOCHORICKÁ ZMĚNA STAVU PLYNŮ.....	22
3.3.4 OBECNÁ ROVNICE STAVU PLYNŮ.....	22
3.3.5 IZOTERMICKÉ STLAČOVÁNÍ VZDUCHU	23
3.3.6 PRŮTOK STLAČENÉHO VZDUCHU	23
3.3.7 VLHKOST VZDUCHU.....	25
4 ZKRÁCENÝ POSTUP NÁVRHU PROTOTYPŮ.....	27
5 PROTOTYP PÍSTOVÉ ELEKTROCENTRÁLY	28
5.1 MECHANICKÁ ČÁST PROTOTYPU	28
5.1.1 PÍSTOVÝ MECHANISMUS	29
5.1.2 ŠOUPÁTKOVÝ VENTIL	30
5.1.3 PRINCIP DÁVKOVÁNÍ.....	31
5.2 ELEKTRICKÁ ČÁST PROTOTYPU	31

5.3 MĚŘENÍ ÚČINNOSTI SOUSTROJÍ	32
5.3.1 ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ	32
5.3.2 ZÁVĚR MĚŘENÍ ÚČINNOSTI	33
5.3.3 POUŽITÉ PŘÍSTROJE.....	33
6 DALŠÍ PROTOTYPY.....	34
6.1 PROTOTYP MEMBRÁNOVÉ ELEKTROCENTRÁLY.....	34
6.1.1 MEMBRÁNOVÝ MECHANISMUS.....	35
6.1.2 ROTAČNÍ VENTIL.....	36
6.1.3 PROPOJENÍ MEMBRÁNOVÉHO A ROTAČNÍHO MECHANISMU	37
6.1.4 PROPOJENÍ ROZVODŮ STLAČENÉHO VZDUCHU	38
6.1.5 USAZENÍ MECHANICKÉ ČÁSTI.....	38
6.2 PROTOTYP OSCILAČNÍ-PÍSTOVÉ ELEKTROCENTRÁLY	39
6.2.1 PRINCIP DÁVKOVÁNÍ.....	39
6.2.2 PODOBA SESTAVY HNACÍHO SOUSTROJÍ	40
7 NÁVRH ELEKTRICKÉ ČÁSTI ELEKTROCENTRÁLY	41
7.1 JAKO ALTERNÁTOR PRO PROTOTYPY POUŽIJÍ TYTO KROKOVÉ MOTORY:	41
7.2 MĚŘENÍ NA KROKOVÉM MOTORU 6V/1,2A/KROK 1,8°	43
7.2.1 MĚŘENÍ FREKVENCE INDUKOVANÉHO NAPĚTÍ V ZÁVISLOSTI NA OTÁČKÁCH.....	43
7.2.2 MĚŘENÍ PŘI ZATÍŽENÍ (JEDNO VINUTÍ) BEZ USMĚRŇOVAČE	43
7.2.3 MĚŘENÍ PŘI ZATÍŽENÍ (JEDNO VINUTÍ) S USMĚRŇOVAČEM	45
7.2.4 MĚŘENÍ PRŮBĚHU NAPĚTÍ (JEDNO VINUTÍ KM).....	47
7.2.5 MĚŘENÍ PRŮBĚHU NAPĚTÍ (OBĚ VINUTÍ KM)	48
7.2.6 MĚŘENÍ PRŮBĚHU NAPĚTÍ PO USMĚRNĚNÍ (JEDNO VINUTÍ KM).....	49
7.2.7 MĚŘENÍ PRŮBĚHU NAPĚTÍ PO USMĚRNĚNÍ A VYFILTROVÁNÍ (JEDNO VINUTÍ KM)	49
7.2.8 MĚŘENÍ NA KM PŘI ZATÍŽENÍ (OBĚ VINUTÍ V SÉRII).....	50
7.2.9 POUŽITÉ PŘÍSTROJE.....	52
7.3 USMĚRŇOVAČE PRO NAPÁJENÍ DC SPOTŘEBIČŮ (PŘÍPADNĚ NABITÍ SUPERKAPACITORU)	53
7.3.1 POPIS SCHOTTKYHO DIODY:	53
7.4 ROZBĚH ELEKTROCENTRÁLY	54
7.4.1 MĚŘENÍ "SAMOVYBÍJENÍ" SUPERKAPACITORŮ	55
7.4.2 VYBÍJENÍ SUPERKAPACITORU 1,0F/20V PŘES ŽÁROVKU 14V/0,1A.....	56
7.4.3 VÝSLEDNÝ ZÁVĚR OBOU MĚŘENÍ.....	57
8 MOŽNOSTI PROPOJENÍ ELEKTROCENTRÁLY A ALTERNATIVNÍHO ZDROJE ENERGIE	58
9 NÁKLADY NA INVESTICE A PROVOZ SYSTÉMU	59
9.1 NÁKLADY NA ELEKTROCENTRÁLU BEZ VYUŽITÍ PŘEDEHŘEVU VODY	59
9.2 NÁKLADY NA PROVOZ SYSTÉMU	59
10 ZÁVĚR.....	60
POUŽITÁ LITERATURA	61
PŘÍLOHY	63

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3-1 Geotermální model hloubkových teplot v řezu Českým masivem od JZ k SV.....	20
Obr. 3-2 Grafické znázornění Boyle-Mariottova zákona.....	22
Obr. 3-3 Bernoulliho rovnice	24
Obr. 3-4 Závislost mezi tlakem a objemem vzduchu, který proteče průřezem $S = 1,0 \text{ mm}^2$	24
Obr. 4-1 Papírové modely pohonu	27
Obr. 5-1 Prototyp pístové elektrocentrály a) model v SolidWorks 2012 b) skutečná podoba	28
Obr. 5-2 Pohonná jednotka (PN)	28
Obr. 5-3 Řez PN – znázornění funkce	28
Obr. 5-4 Pístový mechanismus	29
Obr. 5-5 Šoupátkový ventil	30
Obr. 5-6 Princip dávkování.....	31
Obr. 5-7 Panel elektrické části – způsoby zapojení: a) přímé napájení b) ukládání energie	31
Obr. 5-8 Použité přístroje pro měření účinnosti soustrojí	32
Obr. 6-1 Hnací soustrojí membránové elektrocentrály a) model v SW b) skutečná podoba	34
Obr. 6-2 Membránový mechanismus.....	35
Obr. 6-3 Rotační ventil.....	36
Obr. 6-4 Řez prototypu soustrojí.....	37
Obr. 6-5 Prototyp membránové elektrocentrály bez řemenice a alternátoru	38
Obr. 6-6 Hnací soustrojí oscilační-pístové elektrocentrály a) model v SW b) skutečná podoba.....	39
Obr. 6-7 Princip dávkování.....	39
Obr. 6-8 Podoba sestavy hnacího soustrojí	40
Obr. 7-1 Krokový motor $3,9\text{V}/1,35\text{A}/\text{krok } 1,8^\circ$	41
Obr. 7-2 Krokový motor $6\text{V}/1,2\text{A}/\text{krok } 1,8^\circ$	41
Obr. 7-3 Krokový motor - schéma zapojení vinutí	42
Obr. 7-4 Krokový motor - schéma zapojení s paralelním řazením usměrňovačů	42
Obr. 7-5 Krokový motor - schéma zapojení se sériovým řazením usměrňovačů	42
Obr. 7-6 Schéma zapojení KM při zatížení (jedno vinutí) bez usměrňovače	43
Obr. 7-7 Fotka zapojení	43
Obr. 7-8 Schéma zapojení KM při zatížení (jedno vinutí) s usměrňovačem	45
Obr. 7-9 Závislost výkonu alternátoru na velikosti zatěž. rezistoru pro jedno vinutí KM	46
Obr. 7-10 Schéma zapojení pro měření průběhu napětí (jedno vinutí KM).....	47
Obr. 7-11 Fotka zapojení	47

Obr. 7-12 Průběh napětí na osciloskopu pro jedno vinutí KM.....	47
Obr. 7-13 Schéma zapojení pro měření průběhu napětí (obě vinutí KM).....	48
Obr. 7-14 Průběh napětí na osciloskopu pro obě vinutí KM.....	48
Obr. 7-15 Schéma zapojení pro měření průběhu napětí po usměrnění (jedno vinutí KM).....	49
Obr. 7-16 Průběh napětí na osciloskopu po usměrnění pro jedno vinutí KM.....	49
Obr. 7-17 Schéma zapojení pro měření průběhu napětí po usměrnění a vyfiltrování.....	49
Obr. 7-18 Průběh napětí na osciloskopu po usměrnění a vyfiltrování pro jedno vinutí KM.....	50
Obr. 7-19 Schéma zapojení pro měření na KM při zatížení (obě vinutí v sérii).....	50
Obr. 7-20 Fotka zapojení.....	51
Obr. 7-21 Závislost výkonu alternátoru na velikosti zatěž. rezistoru pro obě vinutí KM v sérii ..	52
Obr. 7-22 Schéma tzv. “Graetzova můstku“	53
Obr. 7-23 Navržené usměrňovače v můstkovém zapojení.....	53
Obr. 7-24 Superkapacitor POWER CAP Silver 1F/20V.....	54
Obr. 7-25 Superkapacitor 1F/5,5V.....	54
Obr. 7-26 Pokles napětí v závislosti na čase měřených superkapacitorů.....	56
Obr. 7-27 Schéma zapojení pro měření vybíjení superkapacitoru 1F/20V.....	56
Obr. 7-28 Závislost proudu a napětí na čase při vybíjení kondenzátoru za pomoci žárovky	57
Příloha A Smlouva na výrobu dílců elektrocentrály	63

SEZNAM TABULEK

Tab. 3-1 Jednotky tlaku	21
Tab. 3-2 Opravné koeficienty	25
Tab. 3-3 Obsah vody ve vzduchu při daném rosném bodu.....	26
Tab. 5-1 Použité přístroje pro měření účinnosti soustrojí	33
Tab. 7-1 Naměřené hodnoty frekvencí v závislosti na otáčkách	43
Tab. 7-2 Naměřené hodnoty na KM při zatížení (jedno vinutí) bez usměrňovače	44
Tab. 7-3 Naměřené hodnoty na KM při zatížení (jedno vinutí) s usměrňovačem	45
Tab. 7-4 Naměřené hodnoty na KM při zatížení (obě vinutí v sérii).....	51
Tab. 7-5 Použité přístroje pro měření na krokovém motoru	52
Tab. 7-6 Měření "samovybíjení" superkapacitoru 1,0F/20V	55
Tab. 7-7 Měření "samovybíjení" superkapacitoru 1,0F/5,5V	55
Tab. 7-8 Použité přístroje pro měření "samovybíjení"	56
Tab. 7-9 Vybíjení superkapacitoru 1,0F/20V přes žárovku 14V/0,1A	57
Tab. 7-10 Použité přístroje pro měření vybíjení superkapacitoru	57

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

AC	<i>Střídavý proud</i>
AVR	<i>Elektronická regulace napětí</i>
BCB	<i>Česká křídová pánev</i>
CBP	<i>Centrální pluton Českomoravské vrchoviny</i>
DC	<i>Stejnosměrný proud</i>
f	<i>Frekvence</i>
FSM	<i>Předsudetská monoklina</i>
I_z	<i>Proud žárovky</i>
KM	<i>Krokový motor</i>
LTP	<i>Maximální elektrický výkon motorgenerátoru</i>
MLS	<i>Alpská molasa</i>
MOL	<i>Moldanubikum</i>
n	<i>Látkové množství plynu</i>
n	<i>Otáčky</i>
P	<i>Absolutní tlak</i>
P_A	<i>Konečný tlak</i>
P_B	<i>Původní tlak</i>
P_z	<i>Příkon žárovky</i>
p	<i>Tlak</i>
p_1	<i>Vstupní tlak vzduchu</i>
p_2	<i>Výstupní tlak vzduchu</i>
p_p	<i>Regulovaný tlak pohonné jednotky</i>
Δp	<i>Diferenční tlak</i>
PE	<i>Polyethylen</i>
PN	<i>Pohonná jednotka</i>
PRP	<i>Stálý elektrický výkon motorgenerátoru</i>
Q	<i>Průtok vzduchu</i>
R	<i>Molární plynová konstanta</i>
R_z	<i>Zatěžovací odpor</i>
S	<i>Průřez</i>
SW	<i>SolidWorks 2012</i>

SUD	<i>Lugikum</i>
T	<i>Perioda</i>
T	<i>Teplota</i>
T	<i>Termodynamická teplota plynu</i>
ΔT	<i>Fázový posun</i>
t	<i>Čas</i>
t_z	<i>Doba svícení žárovky do poklesu tlaku vzduchu v tlakové nádobě z 0,3 do 0,1MPa</i>
U_z	<i>Napětí na žárovce</i>
UPS	<i>Záložní zdroj energie</i>
V	<i>Objem</i>
V_{tn}	<i>Objem tlakové nádoby</i>
W_{tn}	<i>Energie stlačeného vzduchu v tlakové nádobě</i>
W_z	<i>Energie spotřebovaná žárovkou</i>
ρ	<i>Hustota protékajícího média</i>
η	<i>Účinnost prototypu pístové elektrocentrály</i>

1 ÚVOD

V této práci se budu zabývat návrhem a realizací prototypu elektrocentrály, která by měla být poháněna vybraným obnovitelným zdrojem energie. Práce bude obsahovat výkresy a animace provedené v 3D modelovacím programu SolidWorks 2012 a dále fotografie vyrobených dílů a sestav, včetně krátké animace činnosti prototypů.

V práci se zaměřím na přeměnu energie na bázi mechanické, tedy práce nebude obsahovat např. využití Peltierova jevu, fotovoltaických panelů atd.

Konstrukce prototypu bude řešena jako názorná učební pomůcka na žádost vedení Střední školy strojírenské a elektrotechnické Trnkova 113, Brno, se kterou jsem dohodl výrobu jednotlivých dílů prototypu dle mých výkresů (smlouva viz Příloha A).

V prvních dvou kapitolách se zaměřím na problematiku z hlediska teorie.

V 1. kapitole se budu zabývat požadavky na elektrocentrálu tzn. výkon, výstupní napětí,... a dále na vlastnosti a parametry spotřebičů, které budou k elektrocentrále připojeny.

Ve 2. kapitole se zaměřím na problematiku obnovitelných zdrojů, zhodnotím jejich použitelnost a vyberu ty, které budou nejvhodnější pro využití.

V kapitolách 3., 4. a 5. se zaměřím na realizaci samotných prototypů. Popíši jejich princip funkce, porovnáám jejich výhody a nevýhody a provedu měření účinnosti vybraného prototypu.

Ve 6. kapitole se zaměřím na elektrickou stránku navržené elektrocentrály, tzn. volbu vhodného alternátoru a komplexní proměření jeho parametrů vzhledem k použitým spotřebičům. Dále se zaměřím na způsoby akumulace vyrobené elektrické energie vyrobené elektrocentrálou.

Poslední dvě kapitoly (7. a 8.) věnuji zhodnocení práce z hlediska technické a ekonomické.

Výstupem bakalářské práce bude fyzická prezentace jednoho z prototypů v činnosti.

2 VLASTNOSTI A POŽADAVKY NA ELEKTROCENTRÁLY

Definice pojmu elektrocentrála:

Elektrocentrála je motorový stroj, který generuje elektrický proud. K jeho vytváření dochází většinou alternátorem nebo dynamem. Jednotlivé elektrocentrály se mezi sebou liší svým výkonem, rozměry, hmotností a použitým hnacím palivem. [1]

2.1 Typy a použití

Elektrocentrály lze dělit podle svých rozměrů a účelu použití na mobilní a stacionární. Hmotnost mobilní elektrocentrály zpravidla nepřekračuje 100kg aby byla zachována její mobilita. Používá se především v ostrovním provozu (tzn. na místech kde není možnost napájení z el.sítě).

Naopak stacionární elektrocentrála bývá složena z pevného kvádrovitého rámu na kterém je posazeno motorgenerátorové soustrojí. Hmotnost zařízení začíná na 150kg. Používá se především pro zálohu důležitých zařízení které je nutné udržet v chodu při výpadku el.sítě. [2]

2.2 Typy elektrospotřebičů

2.2.1 Spotřebiče odporového typu

Skupina spotřebičů, která nepředstavuje pro elektrocentrálu žádný problém, nebo rizika (klasické žárovky, topení, varné konvice). Jejich činný výkon je udáván ve wattech (W), nebo je udáván jako zdánlivý výkon ve voltampérech (VA). Pro správnou volbu zdroje napájení stačí, aby specifikovaný zdánlivý výkon elektrocentrály ve voltampérech (VA) byl nejméně stejně velký. Například 2kW výkon spotřebiče = nejméně 2kVA výkonu elektrocentrály. [3]

2.2.2 Spotřebiče indukčního typu

Spotřebiče fungující na pohon elektromotorem, transformátory, nebo obsahující vinutí s projevující se impedancí např. elektrická čerpadla, ruční nářadí, vrtací kladiva atd. Dosahují ve vinutí elektromotoru ztrát a proto je k jejich napájení nutný o 30% vyšší výkon elektrocentrály, než je uváděný štítkový výkon spotřebiče. U spotřebičů s vysokou spotřebou při rozběhu je nutný výkon i několikanásobně vyšší.

2.2.3 Spotřebiče kapacitního typu

Spotřebiče kapacitního charakteru v podstatě jako spotřebiče pro navrhovanou elektrocentrálu nepřípadají v úvahu.

2.3 Požadavky na elektrocentrálu:

2.3.1 Elektrický výkon

Nejdůležitější parametr je výstupní výkon elektrocentrály. Ten se může pohybovat od 0,5kVA do několika MVA. Výkon motorových generátorů bývá udáván v několika variantách:

1) **výkon PRP** (Prime Power) - zjednodušeně stálý výkon

přesná definice: Prime Power je maximální výkon který je motorgenerátor schopen dodávat nepřetržitě po neomezenou dobu při variabilní zátěži s možností 10% přetížení po omezenou dobu.

2) **Výkon LTP** (Limited Power nebo též Stand-by) – zjednodušeně maximální výkon

přesná definice: Limited Power je maximální nepřetížitelný výkon který je motorgenerátor schopen dodávat po omezenou dobu (tj. maximálně 1 hodinu v celkovém cyklu 12 hodin).

2.3.2 Výstupní napětí

V České republice se dodávají elektrocentrály s jednofázovým (230V) nebo s třífázovým (3x230V/400V) napětím. Výstupní napětí je závislé na použitém generátoru. Výstupní frekvence je 50Hz. Standardní mobilní elektrocentrála má na výstupu jen hodnoty blízké se těmto ideálním, proto se nedoporučuje použití klasické elektrocentrály pro napájení jemné elektroniky. Pro tyto účely se používá elektrocentrála vybavená funkcí AVR (Automatic Voltage Regulation).

2.3.3 Kmitočet

Udržení kmitočtu 50Hz je potřebné pouze u asynchronních motorů.

2.3.4 Doba provozu

Velmi důležitým parametrem je samozřejmě maximální doba provozu elektrocentrály do doby než v palivové nádrži dojde palivo. Tento parametr závisí samozřejmě na spotřebě motoru a na objemu palivové nádrže. Standardě se tento parametr udává při 75% výkonu z výkonu PRIME (PRP) v hodinách. Narozdíl od zdrojů UPS je zde doba provozu několikanásobně delší.

2.3.5 Hlučnost

Dalším důležitým parametrem je hlučnost zařízení v provozu. Pokud je elektrocentrála namontována jako stacionární řešení v blízkosti obytných budov je nutné dbát na místní hlukové hygienické normy. Pro tyto účely se používají kapotované motorgenerátory (soundproof) které jsou výrazně tišší než klasické nekapotované (open). Větší nekapotované stacionární motorgenerátory dosahují hlučnosti i přes 100 dB. Tato hlučnost se dá utlumit vhodnou zástavbou (odhlučňena strojovna) nebo použitím motorgenerátoru s protihlukovou kapotáží. Větší kapotované motorgenerátory dosahují hlučnosti kolem 75dB ve vzdálenosti 7m od zařízení.

Kapotované motorgenerátory mohou být narozdíl od nekapotovaných ve venkovním prostředí na dešti. Další přídatné odhlučnění se dá řešit pomocí vhodných tlumičů pro výfukové potrubí i pro vzduchotechnické otvory.

2.3.6 Startování

Startování elektrocentrály opět závisí hlavně na použitém motoru. Menší benzinové elektrocentrály se převážně startují pomocí lana (jak to bývá např. u malých zahradních sekaček) větší benzinové a menší naftové elektrocentrály je možné startovat pomocí elektrického startéru (např. pomocí klíčku nebo tlačítka). Větší elektrocentrály již kvůli velkému kompresnímu poměru v motoru nelze startovat lanem a proto jsou od určitého výkonu automaticky osazovány elektrickým startérem. Elektrocentrály vybavené elektrickým startérem lze většinou všechny osadit mikroprocesorovým panelem automatiky startu, který dokáže hlídat vstupní napětí a nastartovat automaticky elektrocentrálu pokud dojde k jeho přerušení, po opětovné dodávce napětí z rozvodné sítě panel automatického startu (ACP) soustrojí zastaví. Pro aplikaci s automatickým startem se doporučuje použít dieselové motory.

3 ALTERNATIVNÍ ZDROJE ENERGIE A JEJICH STABILITA

Definice pojmu Alternativní zdroje energie:

Jako „alternativní“ bývají označovány ty zdroje, které nezískávají energii spalováním fosilních paliv nebo termojadernou reakcí. Jejich základními znaky jsou ekologická šetrnost a obnovitelnost. Nejčastěji používanými alternativními zdroji energie jsou sluneční, větrná a vodní energie a biomasa. [4]

3.1 Použitelné alternativní zdroje pro elektrocentrálu

Při výběru alternativních zdrojů jsem se zaměřil pouze na zdroje, které produkují teplo ve formě páry, se kterými budu dále pracovat. Další oblast návrhu elektrocentrál by byla například energie vodních toků. Z důvodu značné rozdílnosti se touto problematikou zabývat nebudu. [5]

3.1.1 Solárně termické kolektory

Princip funkce: kolektor zachycuje černou plochou či skleněnou trubicí sluneční záření a přeměňuje jej na teplo. To se pak pomocí teplotnosné látky (voda, nemrznoucí směs) přivádí do solárního zásobníku (tepelného výměníku), kde se akumuluje. Průměrná roční hodnota výkonu slunečního záření přepočtená na m^2 se v našich podmínkách pohybuje (se započtenou 35% účinností kolektorů) kolem 350 kWh. Životnost slunečních kolektorů se pohybuje kolem 30 let a investiční náklady na pořízení slunečního kolektoru o ploše 2m^2 se pohybují okolo 20000,- Kč (závislé na velikosti činné plochy, účinnosti a typu. Orientační cena solárního vakuového trubicového kolektoru VU10-CPC k 01.12.2012). [6] [7] [8]

Stabilita dodávky tepla je závislá především na zvoleném typu solárního kolektoru, kdy jako nejvhodnější vychází trubicové vakuové heat-pipe a U-pipe. Mají vyrovnanější výkonnostní diagram během roku, tak během dne. Jsou schopny pracovat i v nepřímém slunečním světle (difusní záření), nebo při teplotách hluboko pod bodem mrazu. Avšak při používání elektrocentrály čistě v letním období je výhodnější zvolit normální ploché deskové solární kolektory.

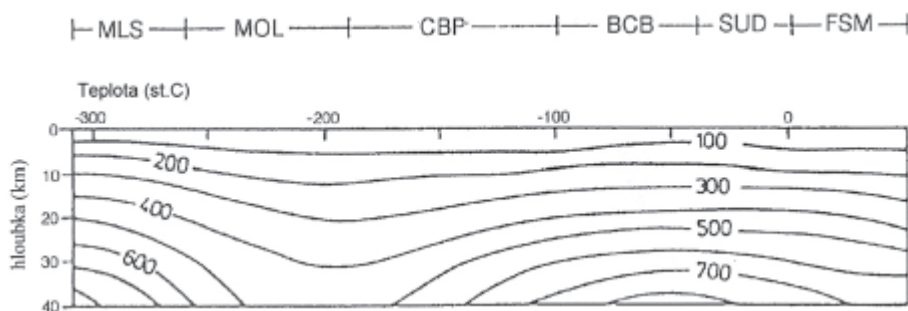
Rozdělení solárních kolektorů: [9]

- 1) Ploché deskové
- 2) Ploché deskové – vakuové
- 3) Trubicové vakuové heat-pipe
- 4) Trubicové vakuové U-pipe

3.1.2 Geotermální energie

Projev tepelné energie zemského jádra, která vzniká rozpadem radioaktivních látek a působením slapových sil. Jejím projevem jsou erupce sopek a gejzírů, horké prameny či parní výrony. Pro využití v podmínkách České Republiky, speciálně pro malé elektrocentrály, nerealizovatelné. [10]

Co se týče stability dodávky tepla, tak ve srovnání s jinými obnovitelnými zdroji mají vysokou stálost výkonu a to po neomezenou dobu.



Obr. 3-1 Geotermální model hloubkových teplot v řezu Českým masivem od JZ k SV

Vysvětlení termínů:

MLS – Alpská molasa, MOL – Moldanubikum, CBP – Centrální pluton Českomoravské vrchoviny, BCB – Česká křídová pánev, SUD – Lugikum (oblast Sudet), FSM – Předsudetská monoklina [11]

3.1.3 Pevná biomasa

Hmota organického původu, pro energetické účely se využívá odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní produkce nebo cíleně pěstovaných rostlin. Biomasu rozlišujeme podle obsahu vody na suchou (dřevo, dřevní odpady, sláma a další odpady), mokrou (tekuté odpady – kejda atd.), speciální (olejniny, škrobové a cukernaté plodiny). Z energetického hlediska lze energii z biomasy získávat téměř výhradně termo-chemickou přeměnou, tedy spalováním. Výhřevnost je dána množstvím tzv. hořlaviny (organická část bez vody a popelovin, směs hořlavých uhlovodíků – celulózy, hemicelulózy a ligninu) a je silně závislá na obsahu vody. Obsah energie v 1 kg dřeva s nulovým obsahem vody je asi 5,2 kWh. [12] [13] [14]

Stabilita dodávky tepla je závislá na kvalitě pálené biomasy, oproti solárně termickým kolektorům a geotermální energii je nutné palivo během cyklu pravidelně dodávat – tzn. je potřeba obsluha a zároveň dostatečný prostor pro uskladnění biomasy.

3.2 Zvolené hnací palivo pro prototyp elektrocentrály

Jako hnací palivo volím stlačený vzduch – pro vyšší bezpečnost při zkouškách a následné demonstraci, objektivnějšímu určení účinnosti soustrojí a v neposlední řadě úspoře nákladů. Pro úpravu prototypu zařízení na finální elektrocentrálu, která bude využívat zvolené alternativní zdroje, je potřeba změnit materiálové složení tzn. volit tepelně odolnější materiály (např. bronz, mosaz,...). Pro práci s prototypem je nezbytné znát tyto převody a následující zákonitosti.

3.2.1 Stlačený vzduch

Stlačený vzduch se vyrábí stlačením atmosférického vzduchu s následnou úpravou tohoto vzduchu (filtrace, sušení). Zařízení kterým stlačujeme vzduch nasávaný z atmosféry se nazývá kompresor. Podle principu stlačování vzduchu dělíme kompresory na mnoho druhů, z nichž nejrozšířenější jsou pístové, šroubové, lamelové, spirálové a další. [15]

Přehled použitých jednotek dle SI a jejich převody:

Tab. 3-1 Jednotky tlaku

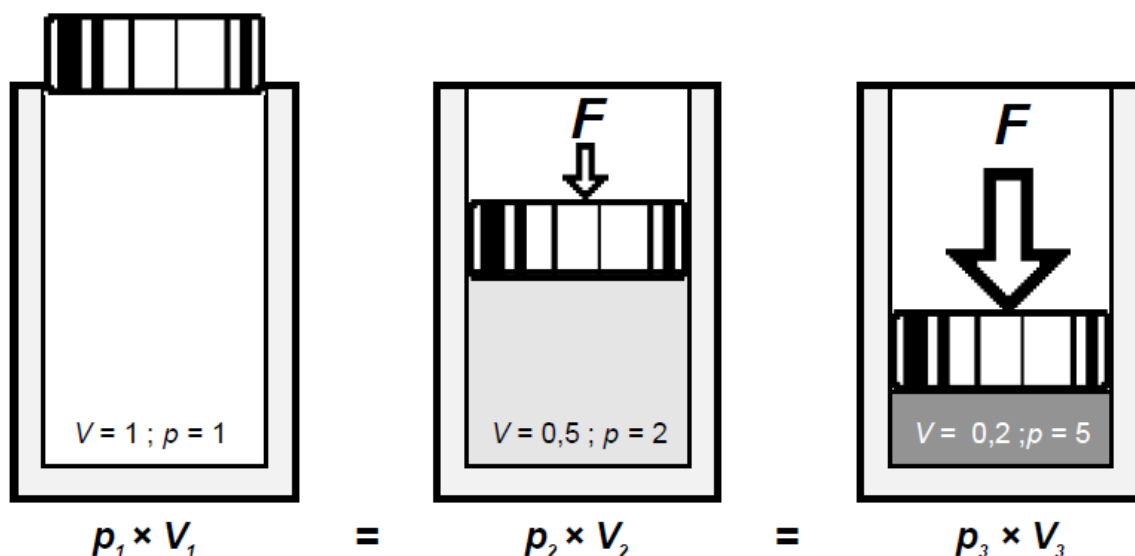
	název jednotky	značka	převod jednotek
nové jednotky tlaku	Pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m ²
	megapascal	MPa	1 MPa = 10 ⁶ Pa = 10 bar
	kilopascal	kPa	1 kPa = 1 000 Pa = 10 mbar
	hektopascal	hPa	1 hPa = 100 Pa = 1 mbar
staré jednotky tlaku	bar	bar	1 bar = 10 ⁵ Pa = 0,1 MPa
	milibar	mbar	1 mbar = 10 ⁻³ bar = 100 Pa
	kilopond na čtverečný centimetr	kp/cm ²	1 kp/cm ² = 98 066 Pa = 0,981 bar
	metr vodního sloupce	m H ₂ O (m v.s.)	1 m H ₂ O = 98 066 Pa = 0,981 bar
	technická atmosféra	at	1 at = 98 066 Pa = 0,981 bar
	fyzikální atmosféra	atm	1 atm = 101 325 Pa
	Torr (mm rtuťového sloupce)	Torr (mm Hg)	1 Torr = 133,3224 Pa (1bar = 750 Torr)
anglosaské jednotky tlaku	libra na čtverečný palec	p.s.i. (lb./sq. in.)	1 p.s.i. = 6 894,74 Pa (1 bar = 14,5 p.s.i.)
	libra na čtverečnou stopu	lb./sq. ft.	1 lb./sq. Ft. = 47,8802 Pa

3.3 Vlastnosti stlačeného vzduchu

3.3.1 Izotermická změna stavu plynů (Boyle-Mariottův zákon)

Jedná se o změnu stavu plynu při stálé teplotě ($T = \text{konst.}$). Objem daného plynu se při stálé teplotě mění v obráceném poměru se změnou jeho tlaku a součin tlaku a objemu zůstává konstantní.

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (\text{Pa, Pa; m}^3, \text{m}^3) \quad (3.1)$$



Obr. 3-2 Grafické znázornění Boyle-Mariottova zákona

Poznámka: Při použití stlačeného vzduchu v hnacích agregátu nikdy nedojde k izotermické změně stavu plynu – vzduchu ($T = \text{konst.}$). Teplota stlačeného vzduchu se průběžně mění s každým vysunutím a zasunutím pístnice, případně membrány.

3.3.2 Izobarická změna stavu plynů (Gay-Lussacův zákon)

Jedná se o změnu stavu plynu při stálém tlaku ($p = \text{konst.}$). Změnou teploty o 1°C se změní objem plynu o $1/273$.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (\text{m}^3, \text{m}^3; \text{K}, \text{K}) \quad (3.2)$$

3.3.3 Izochorická změna stavu plynů

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (\text{Pa}, \text{Pa}; \text{K}, \text{K}) \quad (3.3)$$

3.3.4 Obecná rovnice stavu plynů

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \text{konst.} \quad (\text{Pa}, \text{m}^3, \text{K}; \text{Pa}, \text{m}^3, \text{K}) \quad (3.4)$$

Výpočet podle této rovnice bere v úvahu změny teploty a je teoretickým základem pro konstrukci a výběr agregátu. Všechny rovnice stavu plynů uvažují s objemem v normálních krychlových metrech (m^3), který má hmotnost $1,293 \text{ kg}$ při teplotě 0°C .

3.3.5 Izotermické stlačování vzduchu

Veškeré teplo vzniklé při kompresi se odvádí a teplota plynu se nemění. Děj je popsán rovnicí odvozené ze stavové rovnice ideálního plynu (3.5) [16]

Stavová rovnice ideálního plynu:

$$PV = nRT = konst. \text{ (Pa, m}^3\text{; mol, J/K}\cdot\text{mol, K)} \quad (3.5)$$

Měrná objemová práce:

$$W_{A \rightarrow B} = \int_{V_A}^{V_B} P dV = nRT \ln \frac{V_B}{V_A} = nRT \ln \frac{P_A}{P_B} = PV \ln \frac{P_A}{P_B} \text{ (J; Pa, m}^3\text{, Pa, Pa)} \quad (3.6)$$

P – absolutní tlak

V – objem nádoby

n – látkové množství plynu

R – molární plynová konstanta

T – termodynamická teplota plynu

W – uložená nebo uvolněná energie

A,B – počáteční, konečný stav systému

3.3.6 Průtok stlačeného vzduchu

Průtok je po tlaku vzduchu druhou veličinou, důležitou k určení velikosti poháněcích prvků. Je to objem vzduchu, který proteče průřezem daného prvku za jednotku času. Průtok se uvádí v l/min, l/s, m³/h nebo v m³/s.

3.3.6.1 Bernoulliho rovnice průtoku

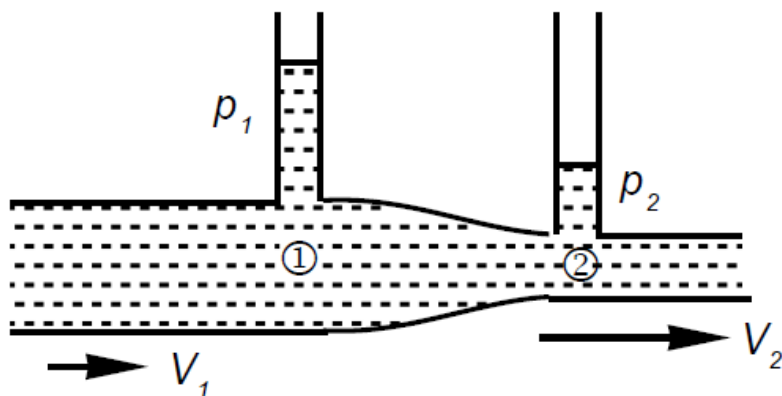
Bernoulliho rovnice vyjadřuje zákon zachování energie pro proudění ideální kapaliny ve vodorovném potrubí:

„Součet kinetické a tlakové potencionální energie kapaliny o jednotkovém objemu je ve všech částech vodorovné trubice stejný.“

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_2^2 \text{ (Pa, kg/m}^3\text{, m}^3\text{; Pa, kg/m}^3\text{, m}^3\text{)} \quad (3.7)$$

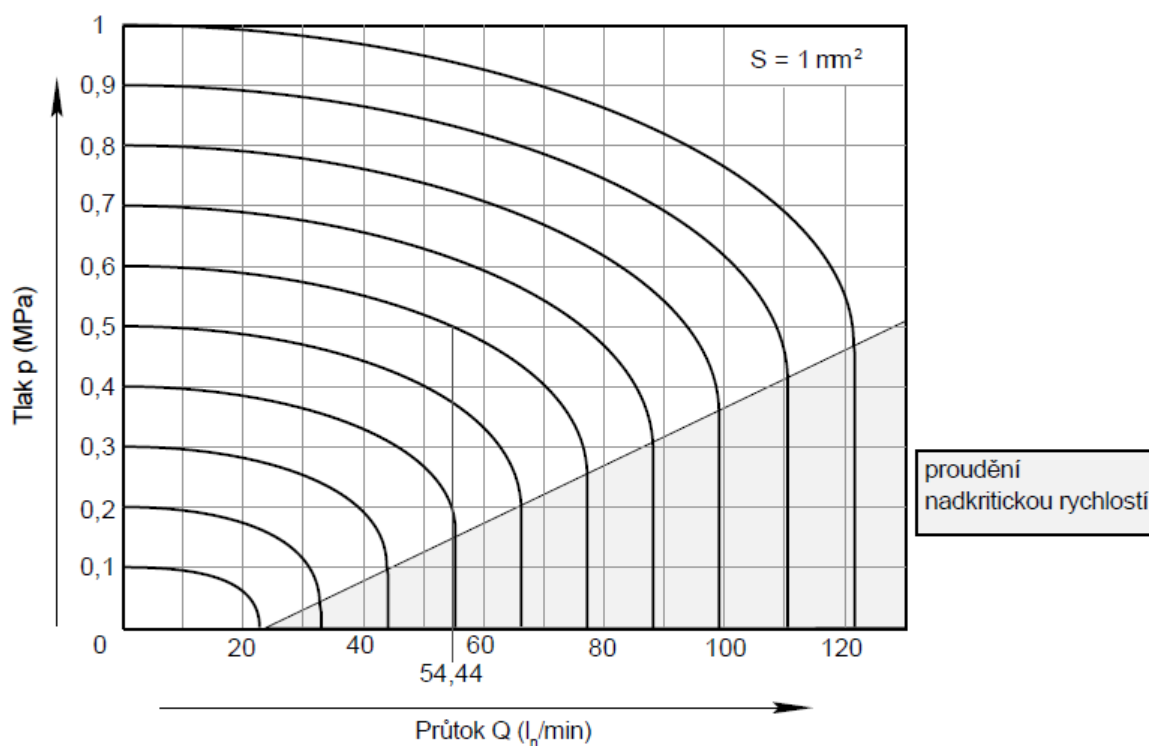
ρ - hustota protékajícího média

Tato rovnice se používá také pro ostatní plyny, pokud není překročena kritická rychlost proudění (cca 300 m/s).



Obr. 3-3 Bernoulliho rovnice

Pro zjištění objemu vzduchu, který proteče jednotlivými prvky za minutu se používá tzv. „P/Q diagram“, ten vyjadřuje závislost mezi vstupním a diferenčním tlakem (tlakovým spádem) a objemem vzduchu.

Obr. 3-4 Závislost mezi tlakem a objemem vzduchu, který proteče průřezem $S = 1,0 \text{ mm}^2$

Poměrný průřez hnacího prvku $S \text{ (mm}^2\text{)}$ odpovídá kruhovému průřezu měřicí clony, kterou protéká vzduch. Tmavý podklad pole diagramu ve tvaru klínu vymezuje pole proudění nadkritickou rychlostí. V tomto poli dosahuje proud vzduchu nadzvukové rychlosti. Průtok je možno zvětšit pouze zvýšením vstupního tlaku, tj. zvýšením diferenčního tlaku.

3.3.6.2 Vzorce pro výpočet průtoku stlačeného vzduchu

Z diagramu na obr. 3-4 je zřejmé, že průtok vzduchu prvkem ovlivňuje přímka kritické rychlosti proudění. Nadzvukové rychlosti se dosáhne, je-li absolutní tlak na výstupu $1,896^x$ menší než vstupní tlak ($p_2 = p_1 : 1,896$). Pro různé rychlosti proudění platí následující vzorce:

- 1) proudění podzvukovou (podkritickou) rychlostí

$$p_1 + 0,1013\text{MPa} < 1,896(p_2 + 0,1013\text{MPa}) \text{ platí } Q = 222 \cdot S \cdot \sqrt{\Delta p \cdot (p_1 + 0,1013\text{MPa})} \quad (3.8)$$

- 2) proudění nadzvukovou (nadkritickou) rychlostí

$$p_1 + 0,1013\text{MPa} \geq 1,896(p_2 + 0,1013\text{MPa}) \text{ platí } Q = 111 \cdot S \cdot (p_1 + 0,1013\text{MPa}) \quad (3.9)$$

Q - průtok vzduchu za jednotku času

p_1 - vstupní tlak vzduchu

p_2 - výstupní tlak vzduchu

Δp - diferenční tlak ($p_1 - p_2$)

S - poměrný průřez prvku

Je-li teplota měřeného média vyšší nebo nižší, jak normou předepsaných 20°C , je nutné vypočtený průtok násobit koeficientem pro příslušnou teplotu. Opravné koeficienty jsou uvedeny v tabulce

Tab. 3-2 Opravné koeficienty

teplota média [$^\circ\text{C}$]	-20	-10	0	10	30	40	50	60
koeficient	1,08	1,06	1,04	1,02	0,98	0,97	0,95	0,94

3.3.7 Vlhkost vzduchu

Vzduch dodávaný kompresorem obsahuje velké množství vodních par. Relativní vlhkost vzduchu závisí na teplotě a povětrnostních podmínkách a určuje množství vyloučeného kondenzátu. Pokud by se kondenzát dostal do potrubí rozvodu vzduchu, mohl by způsobit jeho korozi, nebo jiné škody. Proto se kompresory osazují odvlhčovači.

3.3.7.1 Rosný bod

Podíl vlhkosti ve stlačeném plynu závisí na jeho teplotě a tlaku. Sníží-li se teplota při konstantním tlaku plynu, dosáhne se kritického bodu nasycení vodními parami, které začnou kondenzovat. Tuto teplotu označujeme jako rosný bod.

Čím je tlak vzduchu nižší, tím vyšší může být obsah vodních par. Se zvýšením tlaku klesá rosný bod. Např. rosný bod 3 °C při tlaku 0,7 MPa (tlakový rosný bod) odpovídá rosnému bodu – 21 °C při atmosférickém tlaku (atmosférický rosný bod). Pro běžné použití je přiměřenou hodnotou rosný bod 3 °C.

V tabulce je uveden obsah vodních par v g/m³ pro různé teploty při atmosférickém tlaku.

Tab. 3-3 Obsah vody ve vzduchu při daném rosném bodu

teplota [°C]	0	5	10	15	20	25	30	35	40
g/m ³	4,98	6,86	9,51	13,04	17,69	23,76	31,64	41,83	54,11
teplota [°C]	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
g/m ³	4,98	3,42	2,37	1,61	1,08	0,70	0,45	0,29	0,18

3.3.7.2 Relativní vlhkost vzduchu

Nasycení atmosférického vzduchu vodními parami není téměř nikdy stoprocentní. Vyjimku tvoří stoprocentní nasycení např. při náhlém poklesu teploty. Relativní vlhkost je v procentech vyjádřený poměr mezi skutečným obsahem vody a obsahem vody při dosažení rosného bodu:

$$\text{relativní vlhkost} = \frac{\text{obsah vody}}{\text{obsah vody rosného bodu}} \cdot 100 \text{ (-; -, -)} \quad (3.10)$$

Všeobecně platí: čím chladnější je vzduch nasávaný kompresorem, tím méně bude kondenzátu ve stlačeném vzduchu. Extrémní množství kondenzátu se tvoří ve stlačeném vzduchu v tropech. Proto je velmi důležité umístit kompresor na poměrně chladném místě, aby mohl nasávat co nejchladnější vzduch.

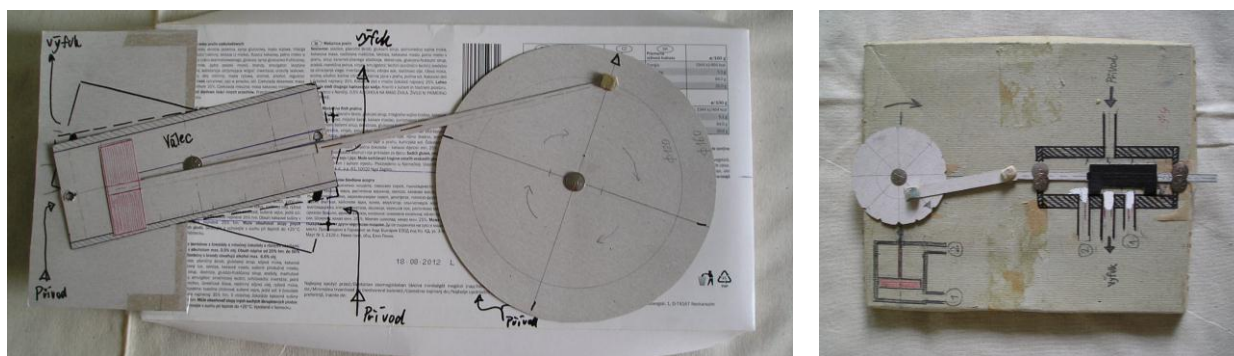
4 ZKRÁCENÝ POSTUP NÁVRHU PROTOTYPŮ

Prototyp vychází ze známých principů funkce parních strojů, které jsem se snažil konstrukčně upravit netradičním způsobem. Dále jsem bral v úvahu žádost Střední školy strojírenské a elektrotechnické Trnkova 113, Brno, která mi zajistila dle mých výkresů výrobu dílců prototypu, aby mnou navržený prototyp sloužil jako názorná učební pomůcka pro žáky technických škol. Z toho důvodu se můj prototyp liší od případné finální elektrocentrály, která by využívala obnovitelné zdroje. Vzhledem k omezené časové dotaci jsem nerozpracoval například využití Peltierova jevu a solárně termických kolektorů.

Inspiroval jsem se stránkami viz Použitá literatura [17] [18] [19], především mě zaujaly konstrukce pana Šedého, neboť si myslím že je na parním stroji stále co zdokonalovat.

Postup návrhu:

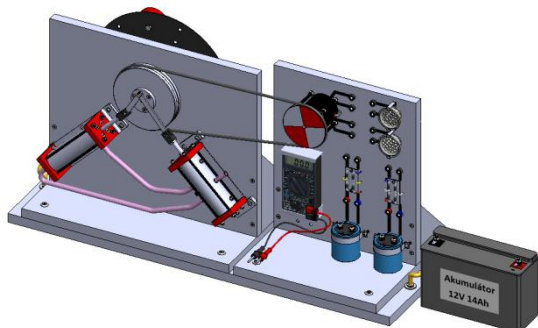
1) Teoretické nákresy



Obr. 4-1 Papírové modely pohonu

- 2) Překreslení do 3D programu SolidWorks 2012 – nasimulování funkce a stanovení předběžné podoby funkčního celku
- 3) Technologická konzultace + výroba na SŠSE Trnkova 113, Brno (smlouva viz Příloha A)
- 4) Montáž
- 5) Zpětná revize a úprava jednotlivých prvků (opětovné provedení bodů 2 – 4)
- 6) Stanovení konečné podoby hnacího mechanismu pro alternátor
- 7) Návrh elektrické části prototypu (alternátor, usměrňovač, superkapacitor,...)
- 8) Stanovení správného převodu pro alternátor
- 9) Změření celkové účinnosti prototypu (z poměru energie uložené v tlakové nádobě a energie odebrané LED žárovkou)
- 10) Finální překreslení do 3D programu SolidWorks 2012 – popis funkčních částí + výkresová dokumentace sestavy

5 PROTOTYP PÍSTOVÉ ELEKTROCENTRÁLY



a)

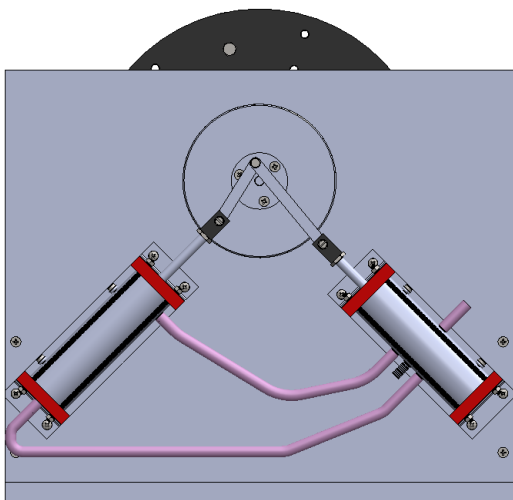


b)

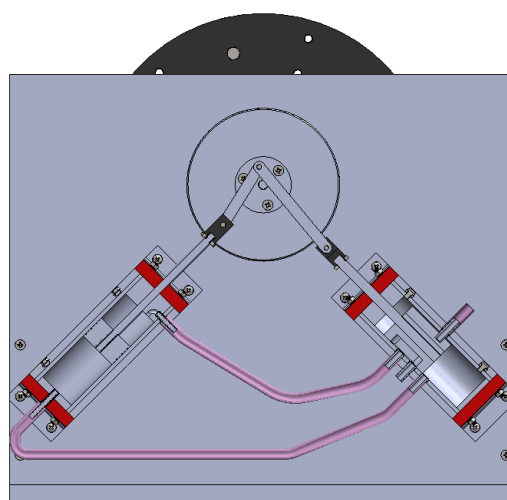
Obr. 5-1 Prototyp pístové elektrocentrály a) model v SolidWorks 2012 b) skutečná podoba

5.1 Mechanická část prototypu

Na Obr. 5-2 je zobrazena pohonná jednotka zařízení, základem prototypu je válec s pístem (nalevo), do kterého šoupátkový ventil dává stlačený vzduch. Ojnice pístu a šoupátkového ventilu jsou spojeny přes svorník umístěný na setrvačnicku. Jako další pomocný setrvačnick jsem zvolil kruhovou plechovou desku, na které jsou umístěna 3 závaží každé o hmotnosti 0,4kg. Pomocný setrvačnick slouží k plynulejšímu chodu celého zařízení. Hmotnost jednotlivých závaží a roztečné kružnice na plechové desce byly stanoveny experimentálně. Výhodou zařízení je jeho spolehlivost a výrobní jednoduchost.



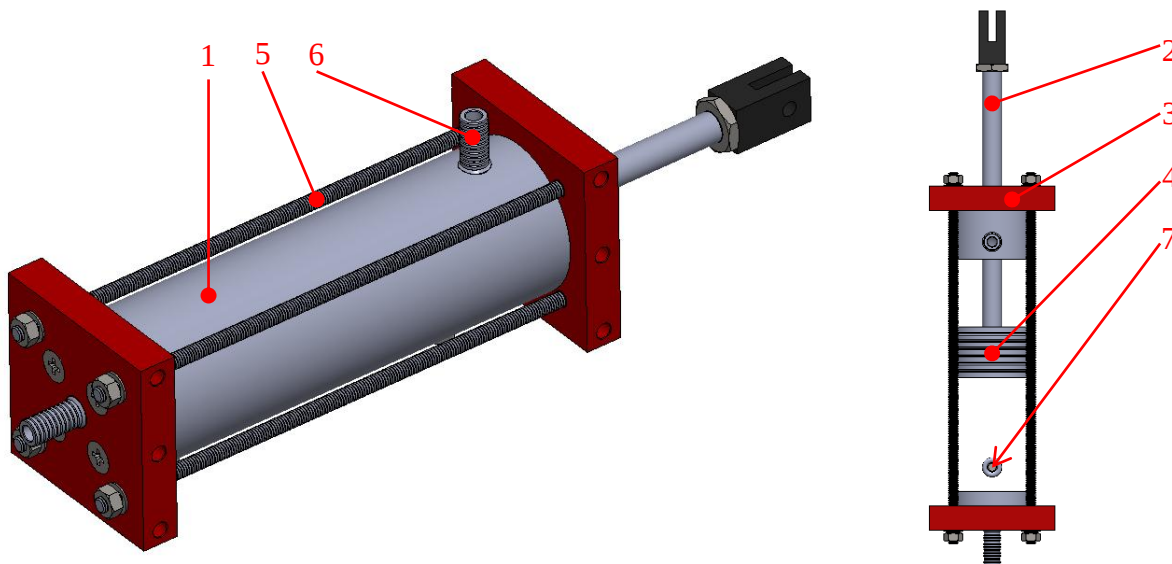
Obr. 5-2 Pohonná jednotka (PN)



Obr. 5-3 Řez PN – znázornění funkce

5.1.1 Pístový mechanismus

Jedná se o klasický pístový mechanismus, složený z hliníkového válce, teflonového pístu a tyče (ojnice). Mechanismus pracuje dvojčinně, tzn. stlačený vzduch se přivádí do jednoho prostoru válce, přičemž druhý prostor se odvzdušňuje a naopak. Domazávání během provozu je řešeno mazacími otvory (pozice 7).



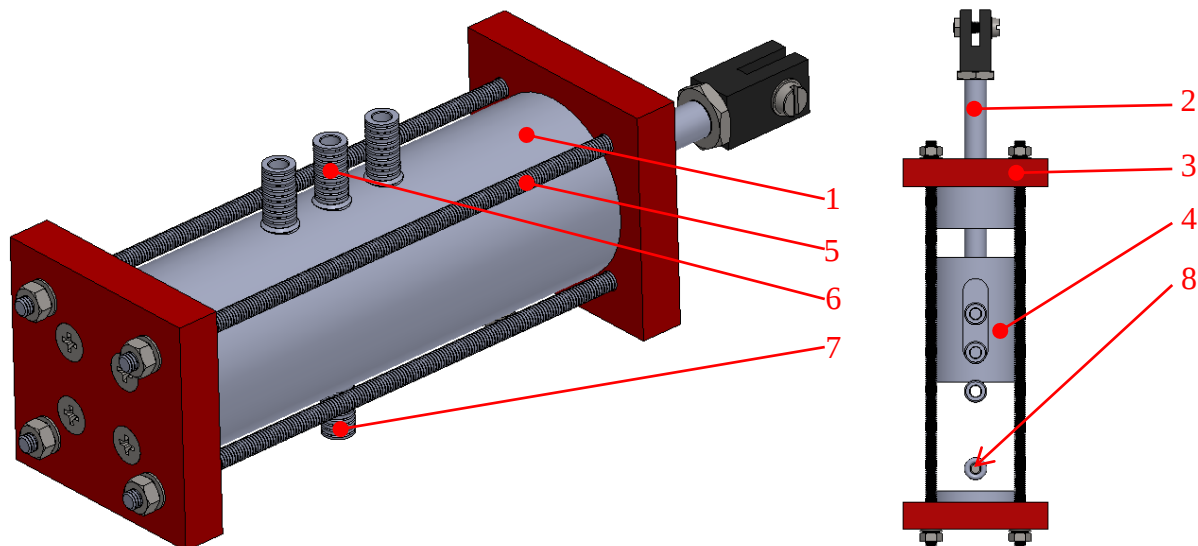
Obr. 5-4 Pístový mechanismus

Legenda:

- 1) Válec
- 2) Tyč (ojnice)
- 3) Příruba
- 4) Píst
- 5) Svorník
- 6) Přívod (vývod) stlačeného vzduchu
- 7) Mazací otvor

5.1.2 Šoupátkový ventil

Dávkování stlačeného vzduchu do pístového mechanismu je řešeno za pomoci šoupátkového ventilu viz Obr. 5-5. Ventil se skládá opět z hliníkového válce a teflonového šoupátka. Zařízení obsahuje mazací otvory pro domazávání během provozu (doporučuji MD sprej).



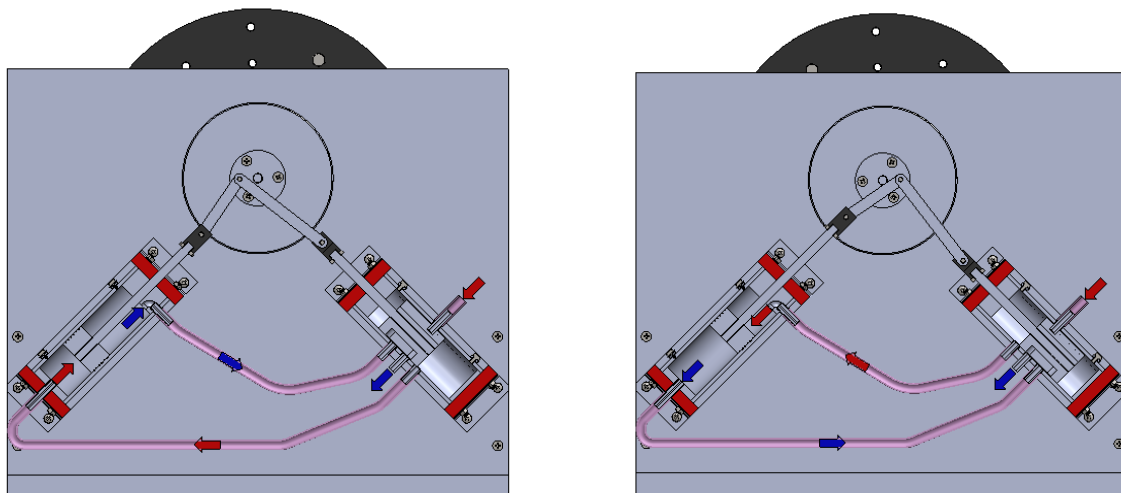
Obr. 5-5 Šoupátkový ventil

Legenda:

- 1) Válec
- 2) Tyč
- 3) Příruba
- 4) Šoupátko
- 5) Svorník
- 6) Vývod stlačeného vzduchu
- 7) Přívod stlačeného vzduchu
- 8) Mazací otvor

5.1.3 Princip dávkování

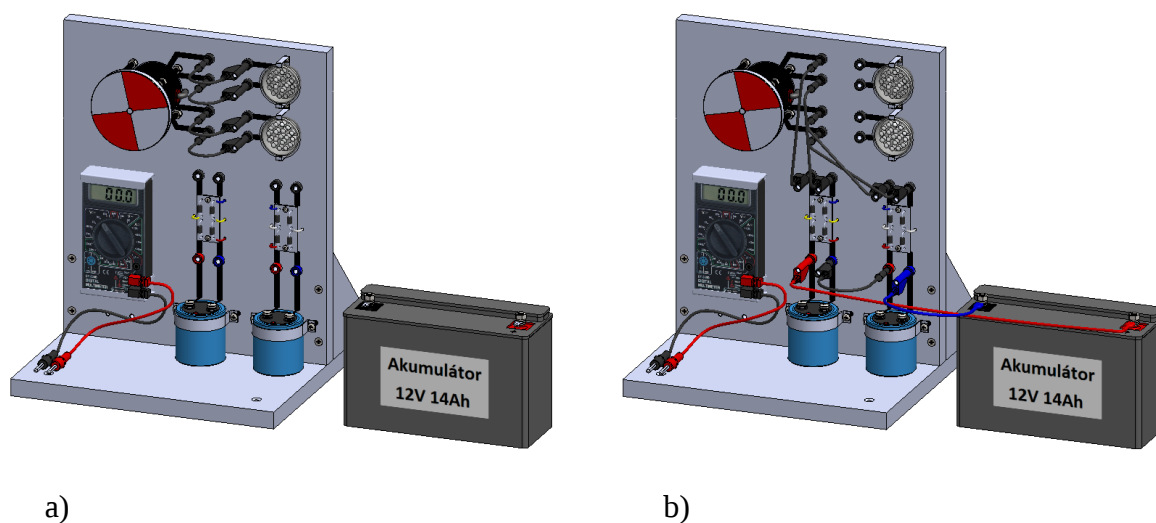
Pohybem šoupátka ventilu dojde k dávkování vzduchu do jedné části pístového mechanismu (červeně), přičemž píst svým pohybem vytlačí vzduch z druhého prostoru (modře).



Obr. 5-6 Princip dávkování

5.2 Elektrická část prototypu

Panel elektrické části viz Obr. 5-7, nabízí dva způsoby využití elektrické energie vyrobené v alternátoru. První způsob je přímé napájení LED žárovek 12V/1W. Druhý způsob je uložení energie do bezúdržbového akumulátoru 12V/14Ah (potřeba usměrňovačů a vyhlazovacích kondenzátorů pro vinutí generátoru). Jako alternátor jsem zvolil aktivní krokový motor 6V/1,2A (na rotoru jsou umístěny silné neodymové magnety). Provedl jsem na něm patřičná měření (viz bod 7.2. této práce). Panel dále obsahuje multimetr, který slouží k informativnímu měření napětí.



Obr. 5-7 Panel elektrické části – způsoby zapojení: a) přímé napájení b) ukládání energie

5.3 Měření účinnosti soustrojí

- objem tlakové nádoby: $V_{tn} = 14l = (14 \cdot 10^{-3}) m^3$
- absolutní (atmosférický) tlak $P = 0,1MPa$
- regulovaný tlak pro pohonnou jednotku činil $p_p = 50kPa$



Obr. 5-8 Použité přístroje pro měření účinnosti soustrojí

5.3.1 Zpracování měření

Výpočet energie potřebné pro natlakování tlakové nádoby z tlaku 0,1 do 0,3MPa

Energie stlačeného vzduchu v tlakové nádobě viz rovnice pro výpočet měrné objemové práce při izotermickém stlačování vzduchu (3.6):

$$W_{tn} = P \cdot V_{tn} \cdot \ln \frac{P_A}{P_B} = (0,1 \cdot 10^6) \cdot (14 \cdot 10^{-3}) \cdot \ln \frac{0,3 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 10^6} = \mathbf{1538J}$$

Výpočet energie spotřebované LED žárovkou

Napětí na žárovce: $U_{\dot{z}} = 6V (AC)$

Proud žárovky: $I_{\dot{z}} = 0,13A (AC)$

Příkon žárovky: $P_{\dot{z}} = U_{\dot{z}} \cdot I_{\dot{z}} = 6 \cdot 0,13 = 0,78W$

Doba svícení žárovky do poklesu tlaku vzduchu v tlakové nádobě z 0,3 do 0,1MPa:

$$t_{\dot{z}} = 2min \ 4s = 124s$$

Energie spotřebovaná žárovkou: $W_{\dot{z}} = P_{\dot{z}} \cdot t_{\dot{z}} = 0,78 \cdot 124 = 96,72Ws = \mathbf{96,72J}$

Výpočet účinnosti prototypu pístové elektrocentrály

$$\eta = \frac{W_{\dot{z}}}{W_{tn}} = \frac{96,72}{1538} = 0,063 = \mathbf{6,3\%}$$

5.3.2 Závěr měření účinnosti

Vypočtená hodnota účinnosti prototypu pístové elektrocentrály ($\eta = 6,3\%$) odpovídá předpokladům. Parní stroj, ze kterého návrh vychází má celkovou účinnost v rozmezí 5% až 15%, přičemž účinnost přeměny energie je maximálně 30%. ([20]).

Jelikož se jednalo o první prototyp vyrobený v dílenské toleranci a navíc řešený jako názorná učební pomůcka, je výsledek měření účinnosti neprůkazný. Pokud by byl vyroben další prototyp v přesnějších tolerancích a úpravách vzešlých z poznatků získaných v mé práci, účinnost zařízení bude podstatně vyšší.

5.3.3 Použité přístroje

Tab. 5-1 Použité přístroje pro měření účinnosti soustrojí

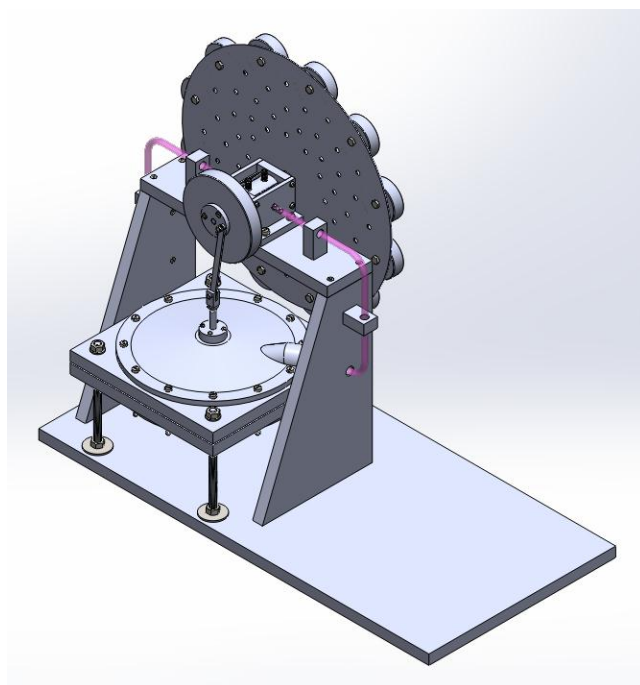
Přístroje	Výrobce	Rozsah	Výrobní číslo	Pozn.
digitální multimetr DT9205A	-	200mA	HT10294865	$\pm (1,8\% + 3)$
digitální multimetr DT-830B	-	200V	-	$\pm (1,2\% + 8)$
digitální wattmetr	SilverCrest	-	0452394/909	max 16A/3500W
kompresor	-	-	-	-
tlaková nádoba (14 litrů)	-	-	-	-
regulační ventil s tlakoměry	-	1,5MPa 400kPa	-	-
prototyp soustrojí	-	-	-	-

6 DALŠÍ PROTOTYPY

Současně s prototypem pístové elektrocentrály jsem navrhl další dvě varianty pohonu elektrocentrály viz body 6.1 a 6.2.

6.1 Prototyp membránové elektrocentrály

Tato konstrukce nebyla nikde publikována. Jako hlavní část je použit velký diferenciální manostat (zakoupený v technickém bazaru). Dávkování stlačeného vzduchu je řešeno pomocí rotačního ventilu. Výhoda tohoto soustrojí je, že dokáže pracovat s velmi malými tlaky – méně než 0,1MPa. Nevýhodou je malý zdvih membrány (30 mm) a tím související nízké otáčky stroje. Zajímavostí je řešení rotačního ventilu umístěného přímo na hřídeli se setrvačníkem a řemenicí pro mechanické spojení s alternátorem. Celé soustrojí je opět řešeno jako názorná učební pomůcka.



a)

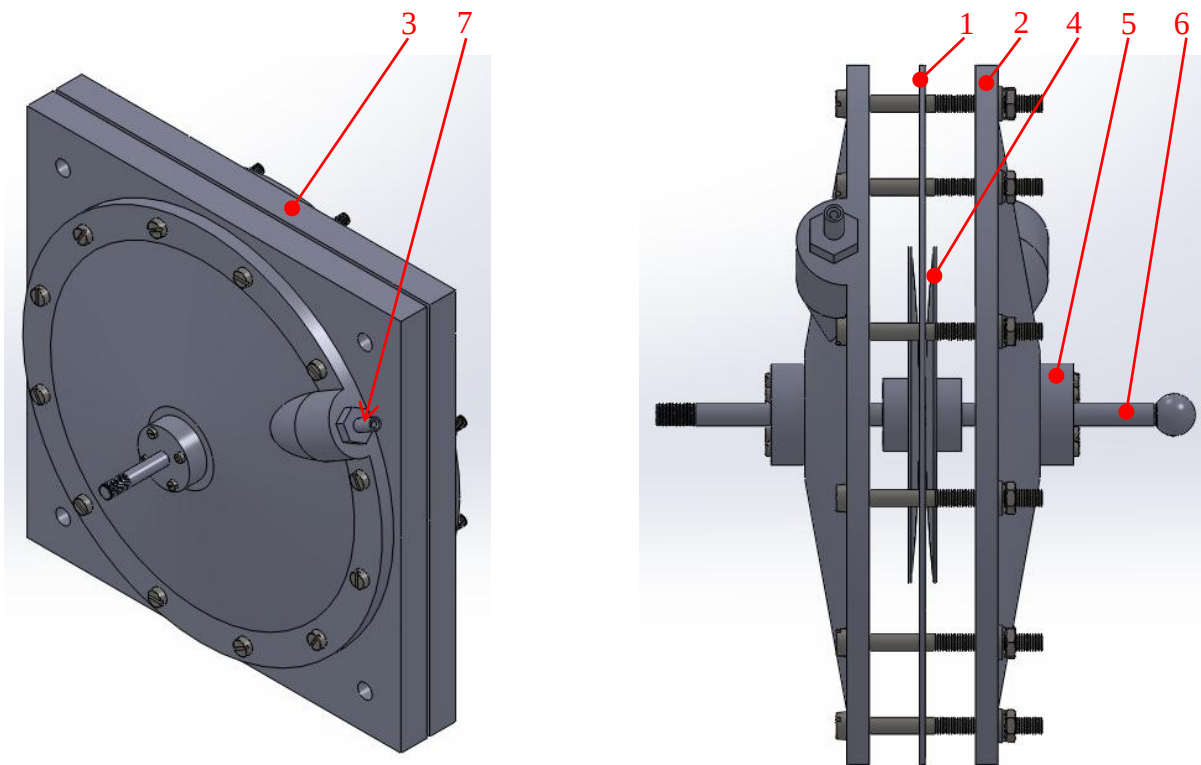


b)

Obr. 6-1 Hnací soustrojí membránové elektrocentrály a) model v SW b) skutečná podoba

6.1.1 Membránový mechanismus

Základem funkce je pohyb pryžové membrány, může být i jiný materiál, avšak je potřeba, aby byl dostatečně elastický a odolný vůči působícímu tlaku a teplotě pohonného média. Membrána je umístěna mezi deskami, které definují velikost vzduchové mezery a zároveň maximální prohnutí membrány. Důležitou úlohu sehrávají misky (pozice 4), které zabraňují zvlnění membrány.



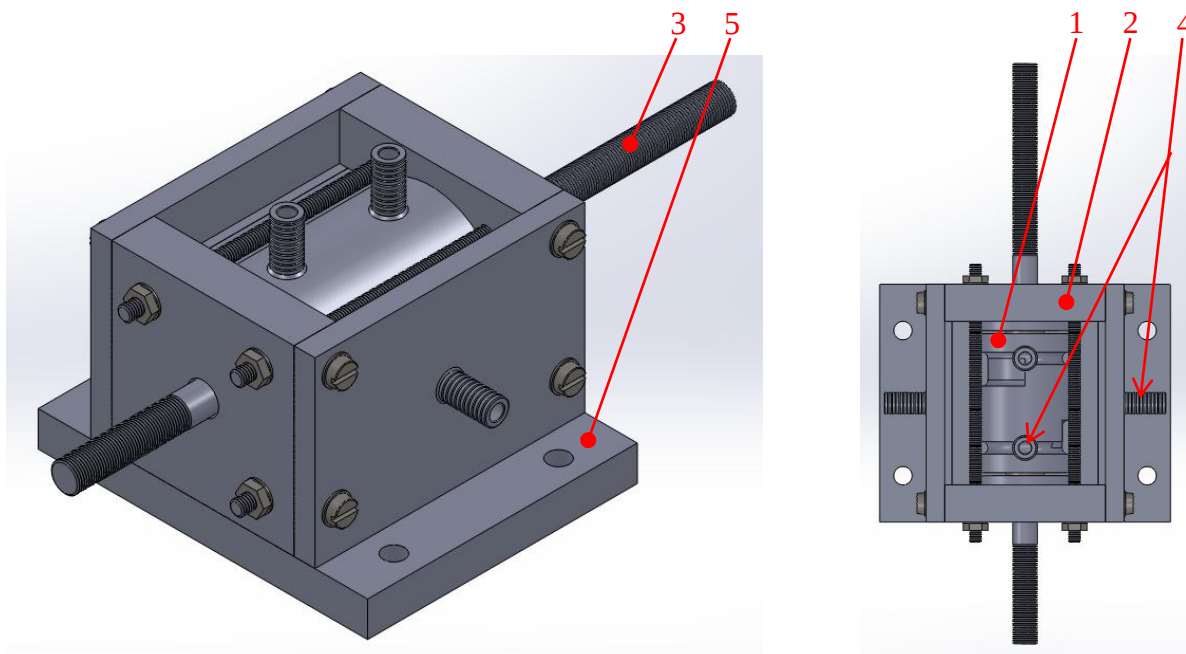
Obr. 6-2 Membránový mechanismus

Legenda:

- 1) Membrána
- 2) Víko
- 3) Distanční deska
- 4) Miska
- 5) Vodítko
- 6) Táhlo
- 7) Přívodní armatura

6.1.2 Rotační ventil

Dávkování stlačeného vzduchu do membránového mechanismu je řešeno za pomoci rotačního ventilu viz Obr. 6-3. Oproti šoupátkovému ventilu (uvedenému výše) dochází k dávkování stlačeného vzduchu rotačním pohybem dílce (pozice 1). Tím se zjednoduší mechanismus pro převod přímočarého pohybu na rotační. Výrobně je rotační ventil složitější.



Obr. 6-3 Rotační ventil

Legenda:

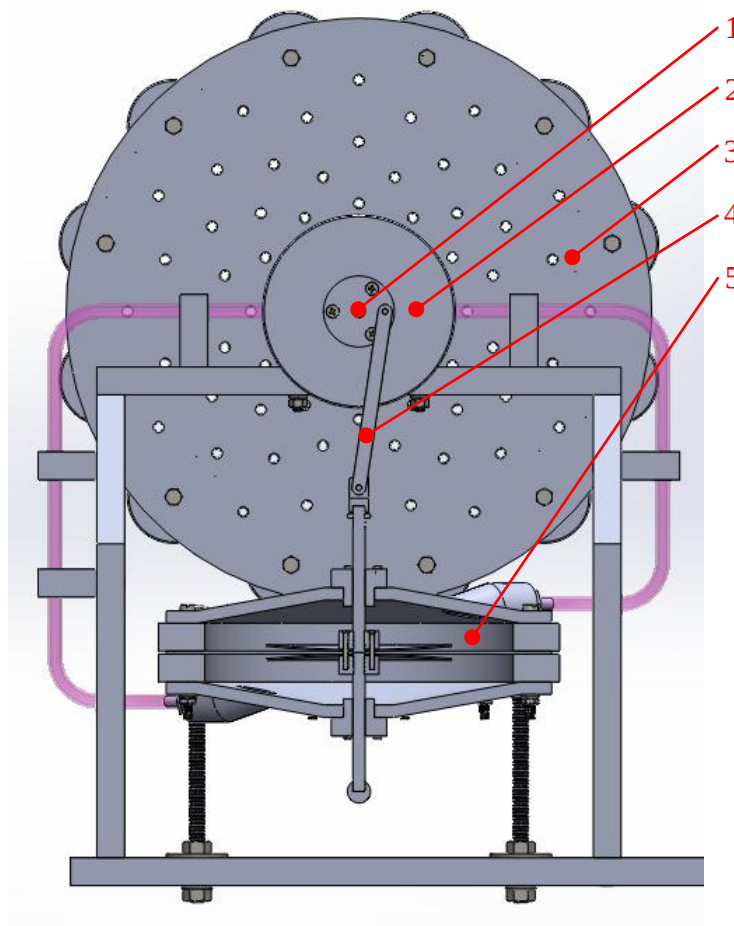
- 1) Rotační prvek
- 2) Bočnice s ložisky
- 3) Hřídel
- 4) Přívodní a vývodní armatury
- 5) Základová konstrukce

Princip dávkování:

V rotačním prvku vyrobeného z teflonu jsou vyfrézovány drážky sloužící pro rozvod přívodního vzduchu do obou prostorů membránového mechanismu a zároveň pro odvětrání prostoru protilehlého.

6.1.3 Propojení membránového a rotačního mechanismu

Mechanické propojení je vyřešeno za pomoci táhla, které převádí čistě vertikální pohyb tyče s membránou na rotační pohyb setrvačníku. Rotační ventil, setrvačnick a řemenice jsou umístěny na společné hřídeli.



Obr. 6-4 Řez prototypu soustrojí

Legenda:

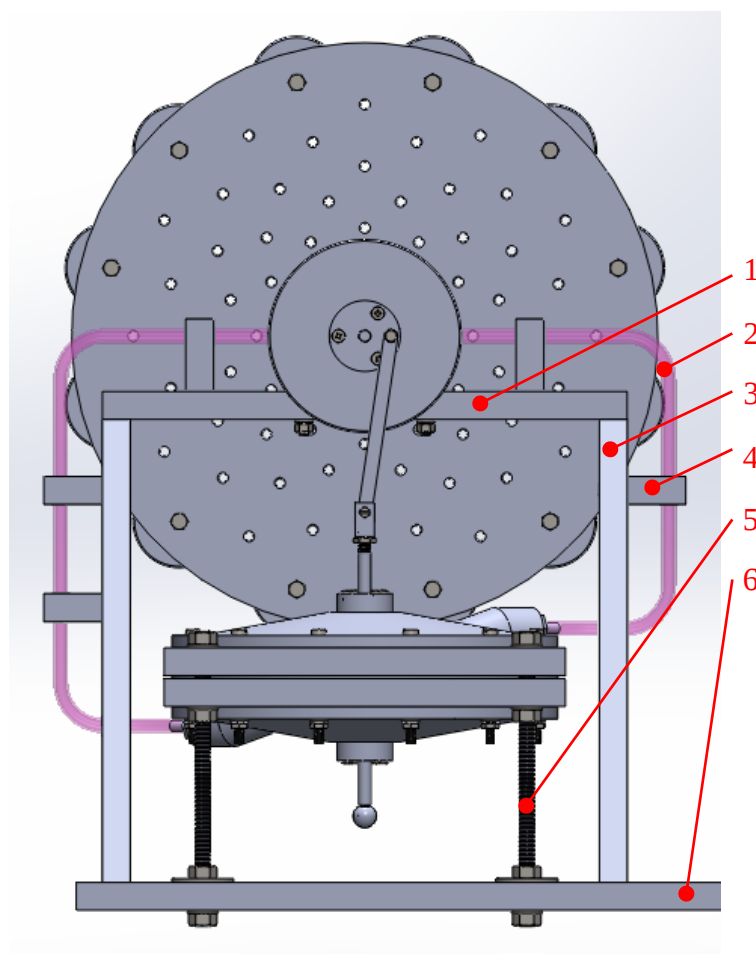
- 1) Rotační mechanismus
- 2) Setrvačnick
- 3) Setrvačnick
- 4) Táhlo
- 5) Membránový mechanismus

6.1.4 Propojení rozvodů stlačeného vzduchu

Propojení mezi membránovým a rotačním mechanismem je vyřešeno za pomoci PE trubičky $\varnothing 9/\varnothing 6$ mm.

6.1.5 Usazení mechanické části

Membránový mechanismus je uchycen k základové desce za pomoci čtyř závitových tyčí, které dovolují zařízení libovolně posunovat ve vertikální ose – primárně zvoleno pro následné úpravy velikosti desek – tedy velikosti mezery. Rotační mechanismus je umístěn na základové desce uchycené k podpěrným deskám. Trubičky pro přívod a odvod vzduchu z prostor jsou ke konstrukci uchyceny za pomoci držáků.



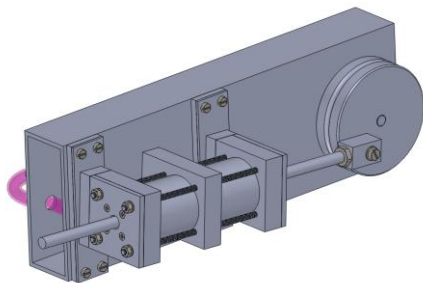
Obr. 6-5 Prototyp membránové elektrocentrály bez řemenice a alternátoru

Legenda:

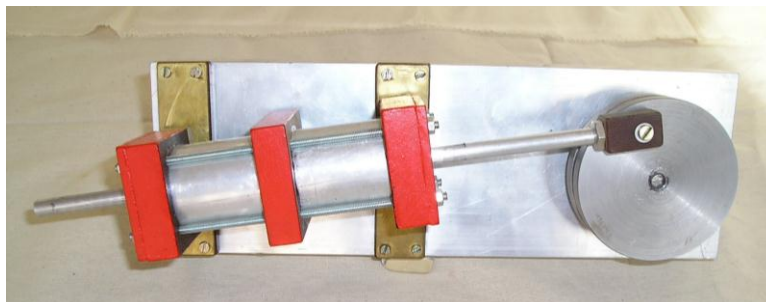
- 1) Základová deska rotačního ventilu
- 2) Trubička pro stlačený vzduch
- 3) Podpěrná deska
- 4) Držák trubičky
- 5) Závitové tyče
- 6) Základová deska

6.2 Prototyp oscilační-pístové elektrocentrály

Zařízení pracuje na známém principu přímého dávkování stlačeného vzduchu do válce jeho samotným pohybem. Výhodou tohoto pohonu je jeho jednoduchost, malé rozměry a relativně vysoké pracovní otáčky. Nevýhodou je vyšší spotřeba stlačeného vzduchu z důvodu netěsností.



a)

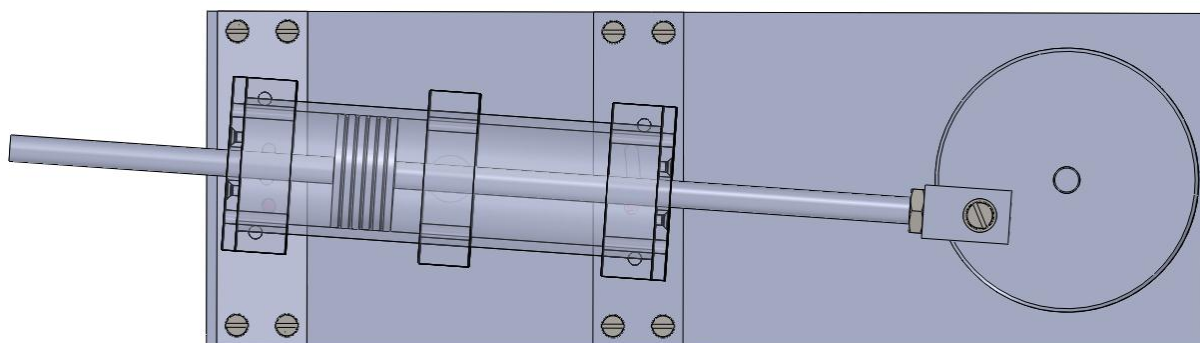


b)

Obr. 6-6 Hnací soustrojí oscilační-pístové elektrocentrály a) model v SW b) skutečná podoba

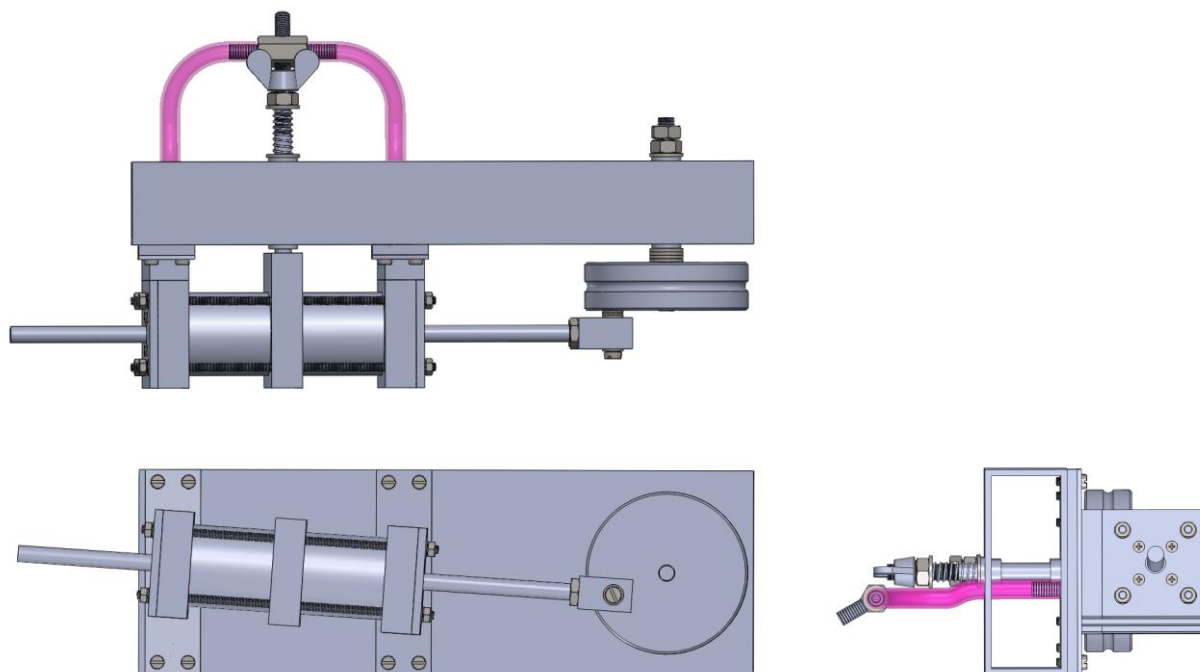
6.2.1 Princip dávkování

Na konci kyvně uloženého válce jsou umístěna víka se vstupními otvory pro přívod stlačeného vzduchu. Táhlo spojené s pístem a teflonovými vodítky je přichyceno k setrvačníku. Vzhledem k poloze setrvačníku dojde k vyklánění celého pístu a tím propojení příčinných vstupních a výstupních otvorů sloužících k přívodu vzduchu, případně odvodu vzduchu.



Obr. 6-7 Princip dávkování

6.2.2 Podoba sestavy hnacího soustrojí

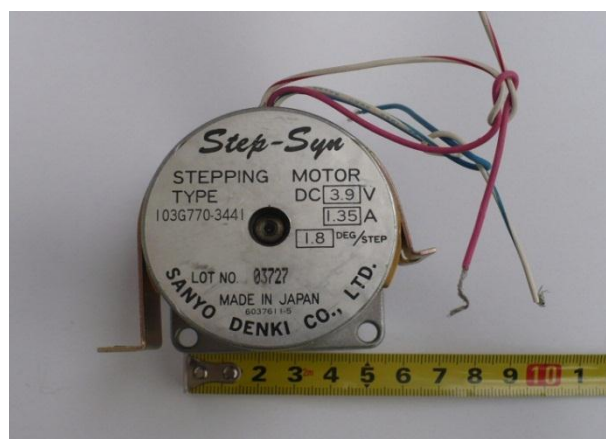
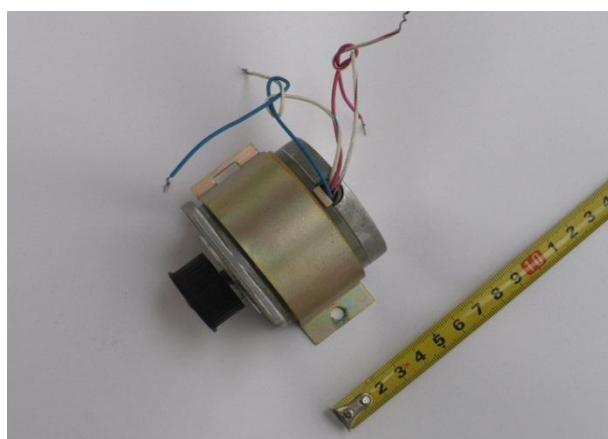


Obr. 6-8 Podoba sestavy hnacího soustrojí

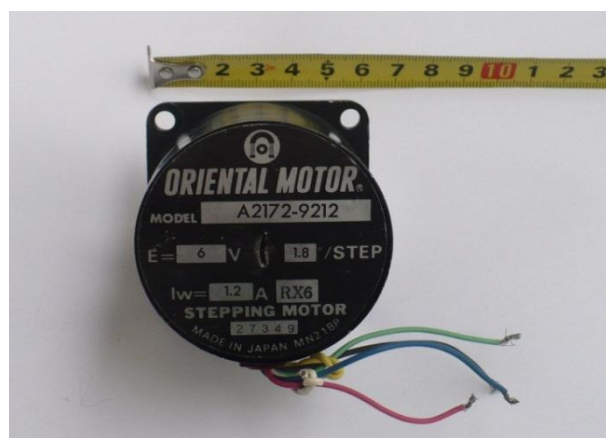
7 NÁVRH ELEKTRICKÉ ČÁSTI ELEKTROCENTRÁLY

Navrhnout správnou elektrocentrálu tak, aby plně odpovídala požadavkům uživatele není snadná záležitost. Můžou nastat potíže při zjištění aktuálních požadavků na nutný příkon na rozběh a samotný chod konkrétních spotřebičů. Při návrhu správné elektrocentrály je nutné brát v úvahu, že se jedná o „měkký“ zdroj el. energie, proto náhlé nároky na změnu odběru jsou elektrocentrálou uspokojovány s určitým zpožděním. U některých typů spotřebičů, zvláště elektromotorů, při neustálém častém zapínání a vypínání může docházet k přehřívání, či poškození spotřebiče v důsledku neustálého počátečního nedostatečného napětí, či frekvence. Napětí a maximální příkon spotřebiče musí odpovídat specifikaci elektrocentrály. [21]

7.1 Jako alternátor pro prototypy použijí tyto krokové motory:



Obr. 7-1 Krokový motor 3,9V/1,35A/krok 1,8°

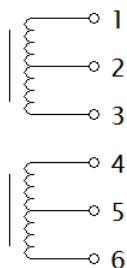


Obr. 7-2 Krokový motor 6V/1,2A/krok 1,8°

Důvod volby:

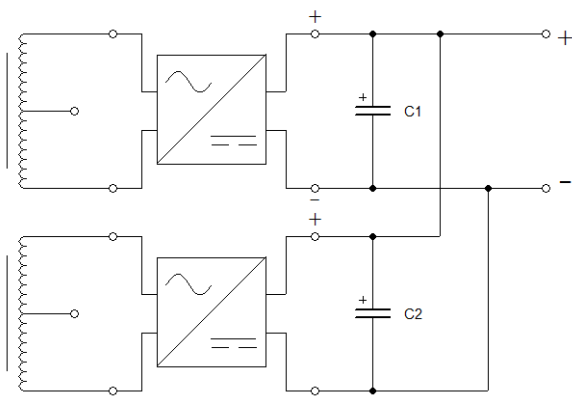
Pro mnou navržený prototyp elektrocentrály (řádově desítky VA) jsem nemohl vhodný synchronní alternátor zajistit. Proto jsem se rozhodl využít vlastností krokových motorů, které

mají konstrukci obdobnou jako synchronní alternátor. V mém případě se jedná o aktivní krokové motory (na rotoru jsou umístěny silné neodymové magnety). Pokud budeme otáčet hřídelí krokového motoru na vývodech jeho vinutí naměříme střídavé napětí (závislé na otáčkách hřídele).

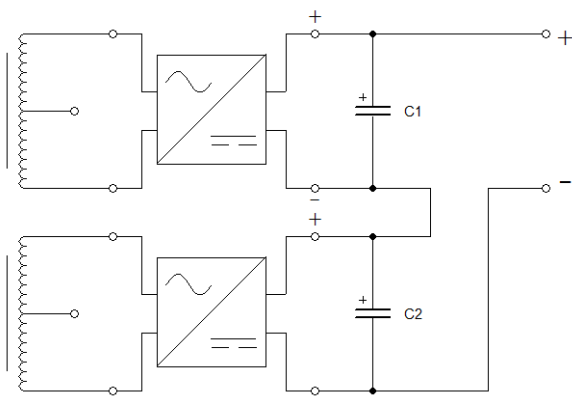


Obr. 7-3 Krokový motor - schéma zapojení vinutí

Pokud bude potřeba pro napájení spotřebičů DC napětí, je nutné provést usměrnění zobrazené na Obr. 7-4 a 5. V mé práci jsem zvolil zapojení dle Obr. 7-5 tzn. sériové řazení usměrňovačů s filtračními kondenzátory, které má oproti paralelnímu vyšší hodnotu výsledného napětí. Spotřebiče připojené k navrženému prototypu elektrocentrály potřebují napětí cca 12V DC (tzn. je možné použít i akumulátor 12V a superkapacitor viz Obr. 7-24).



Obr. 7-4 Krokový motor - schéma zapojení s paralelním řazením usměrňovačů



Obr. 7-5 Krokový motor - schéma zapojení se sériovým řazením usměrňovačů

7.2 Měření na krokovém motoru 6V/1,2A/krok 1,8°

7.2.1 Měření frekvence indukovaného napětí v závislosti na otáčkách

7.2.1.1 Tabulka naměřených hodnot

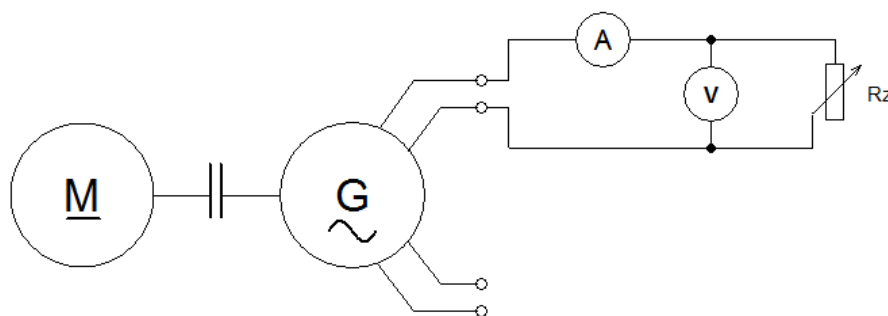
Tab. 7-1 Naměřené hodnoty frekvencí v závislosti na otáčkách

n [ot/min]	f [Hz]
60	50
120	100
240	200
360	300

Poznámka: Hodnoty frekvence odečteny z průběhu napětí na osciloskopu

7.2.2 Měření při zatížení (jedno vinutí) bez usměrňovače

7.2.2.1 Schéma zapojení



Obr. 7-6 Schéma zapojení KM při zatížení (jedno vinutí) bez usměrňovače



Obr. 7-7 Fotka zapojení

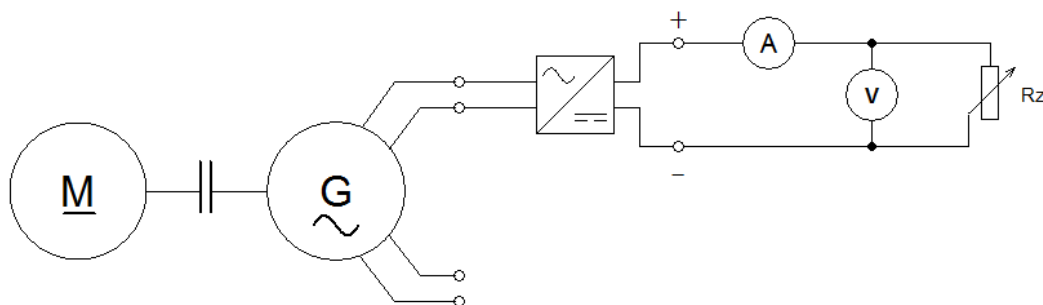
7.2.2.2 Tabulka naměřených hodnot

Tab. 7-2 Naměřené hodnoty na KM při zatížení (jedno vinutí) bez usměrňovače

n [ot/min]	R _Z [Ω]	I [mA]	U [V]	P [W]
120	∞	/	6,81	0,00
	100	58,4	5,54	0,32
	80	68,4	5,49	0,38
	60	82,0	4,87	0,40
	40	98,8	3,86	0,38
	20	130,6	2,49	0,33
240	∞	/	13,41	0,00
	120	80,4	9,76	0,78
	100	92,2	8,79	0,81
	80	103,0	8,30	0,85
	60	116,6	6,98	0,81
	40	133,6	5,24	0,70
	20	151,8	2,91	0,44
360	∞	/	19,65	0,00
	180	82,6	15,08	1,25
	160	89,0	14,47	1,29
	140	97,2	13,75	1,34
	120	104,9	12,86	1,35
	100	116,7	11,22	1,31
	80	123,3	10,01	1,23
	60	134,6	8,10	1,09
	40	146,8	5,79	0,85
	20	157,2	3,01	0,47

7.2.3 Měření při zatížení (jedno vinutí) s usměrňovačem

7.2.3.1 Schéma zapojení



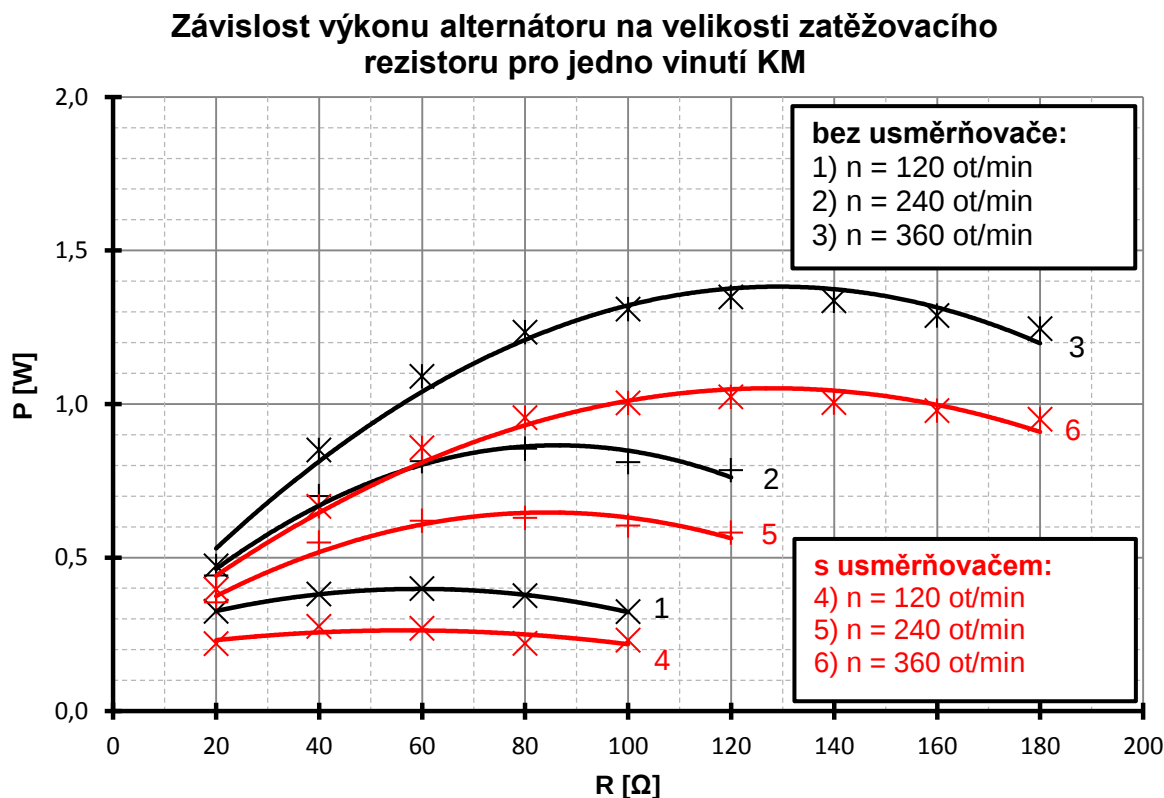
Obr. 7-8 Schéma zapojení KM při zatížení (jedno vinutí) s usměrňovačem

7.2.3.2 Tabulka naměřených hodnot

Tab. 7-3 Naměřené hodnoty na KM při zatížení (jedno vinutí) s usměrňovačem

n [ot/min]	R_z [Ω]	I [mA]	U [V]	P [W]
120	∞	/	6,81	0,00
	100	49,5	4,67	0,23
	80	52,6	4,19	0,22
	60	67,3	4,01	0,27
	40	83,6	3,30	0,28
	20	103,3	2,13	0,22
240	∞	/	11,24	0,00
	120	68,6	8,48	0,58
	100	80,1	7,55	0,60
	80	88,8	7,09	0,63
	60	102,2	6,07	0,62
	40	117,5	4,67	0,55
	20	131,1	2,70	0,35
360	∞	/	17,16	0,00
	180	72,1	13,18	0,95
	160	77,8	12,58	0,98
	140	84,4	11,90	1,00
	120	87,9	11,64	1,02
	100	103,2	9,72	1,00
	80	109,5	8,73	0,96
	60	120,1	7,14	0,86
	40	129,7	5,14	0,67
	20	138,7	2,86	0,40

7.2.3.3 Grafy



Obr. 7-9 Závislost výkonu alternátoru na velikosti zatěž. rezistoru pro jedno vinutí KM

7.2.3.4 Závěr

Z grafu vyplývá, že zvýšením otáček alternátoru se zvyšuje výkon. Největšího výkonu dosahuje tehdy, když impedance vinutí alternátoru je rovna hodnotě odporu zatěžovacího rezistoru. Jelikož se zvyšujícími otáčkami se zvyšuje frekvence indukovaného napětí (viz Tab. 7-1) roste i impedance vinutí (viz rovnice: $X_L = 2\pi f \cdot L$; $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$).

Naměřené výkony po usměrnění jsou oproti bez usměrnění nižší, což je způsobeno ztrátou na usměrňovačích.

Z grafu je zřejmé, že optimální výkony a hodnoty zátěže jsou:

a) Bez usměrnění pro otáčky:

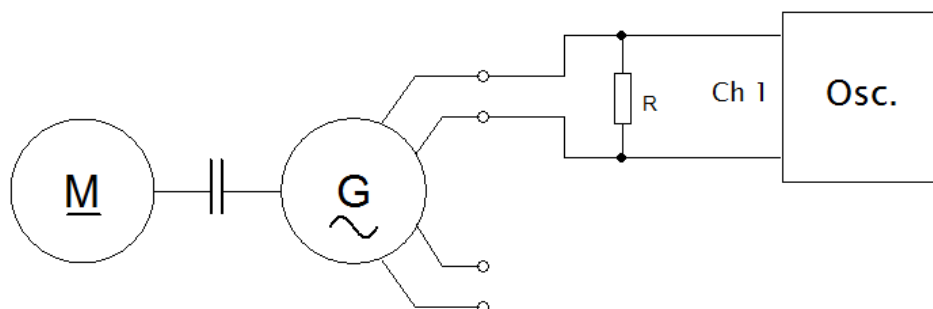
- **120 ot/min** je maximální hodnota výkonu **0,4W** při **$R=60\Omega$**
- **240 ot/min** je max. hodnota výkonu **0,85W** při **$R=80\Omega$**
- **360 ot/min** je max. hodnota výkonu **1,35W** při **$R=130\Omega$**

b) Po usměrnění pro otáčky:

- **120 ot/min** je maximální hodnota výkonu **0,28W** při **$R=60\Omega$**
- **240 ot/min** je max. hodnota výkonu **0,63W** při **$R=80\Omega$**
- **360 ot/min** je max. hodnota výkonu **1,02W** při **$R=130\Omega$**

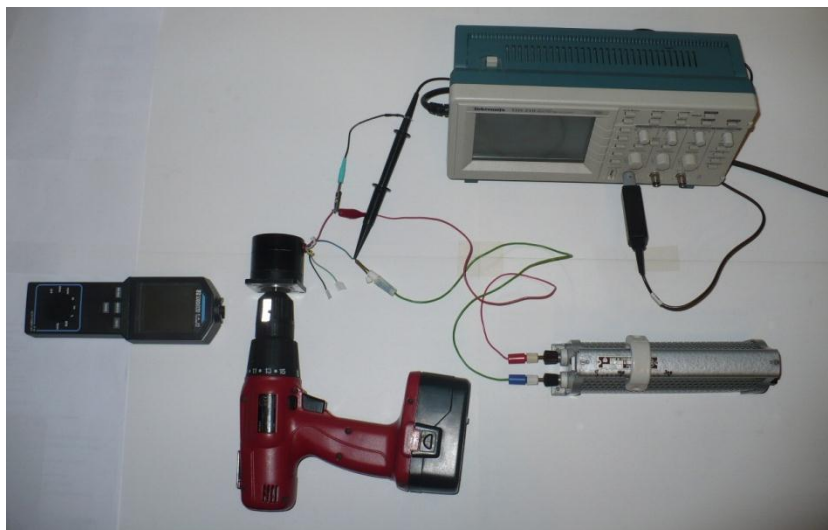
7.2.4 Měření průběhu napětí (jedno vinutí KM)

7.2.4.1 Schéma zapojení



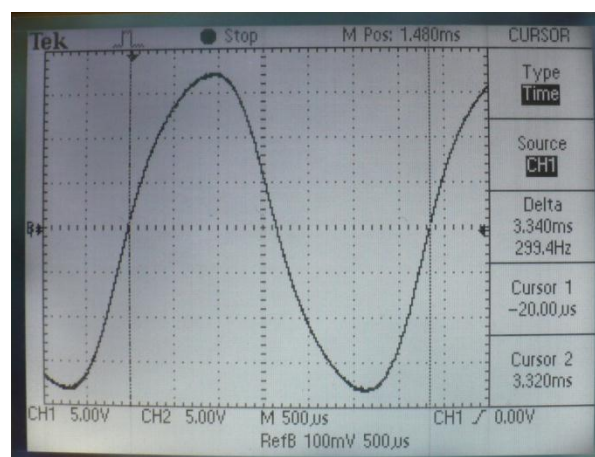
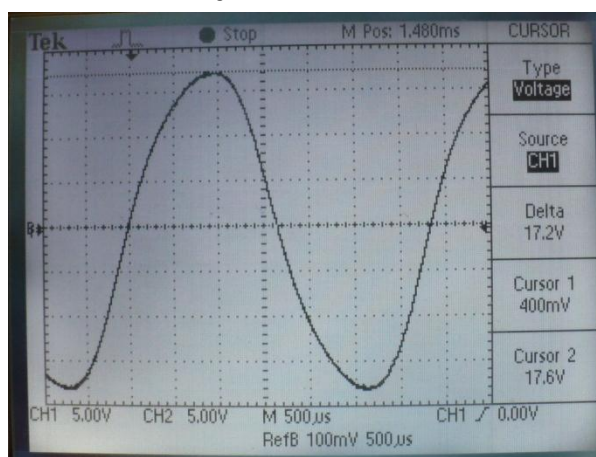
Obr. 7-10 Schéma zapojení pro měření průběhu napětí (jedno vinutí KM)

Poznámka: $R = 130\Omega$; $n = 360 \text{ ot/min}$



Obr. 7-11 Fotka zapojení

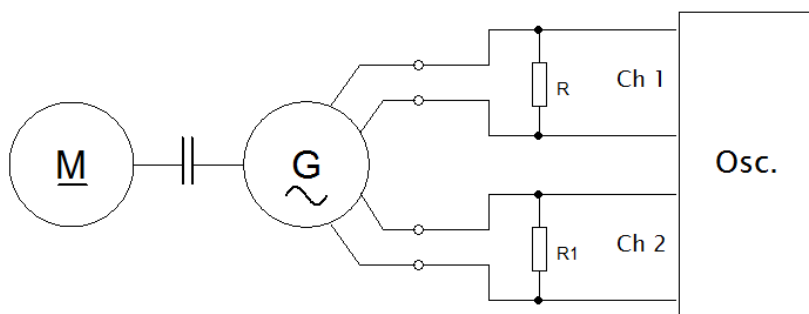
7.2.4.2 Průběhy



Obr. 7-12 Průběh napětí na osciloskopu pro jedno vinutí KM

7.2.5 Měření průběhu napětí (obě vinutí KM)

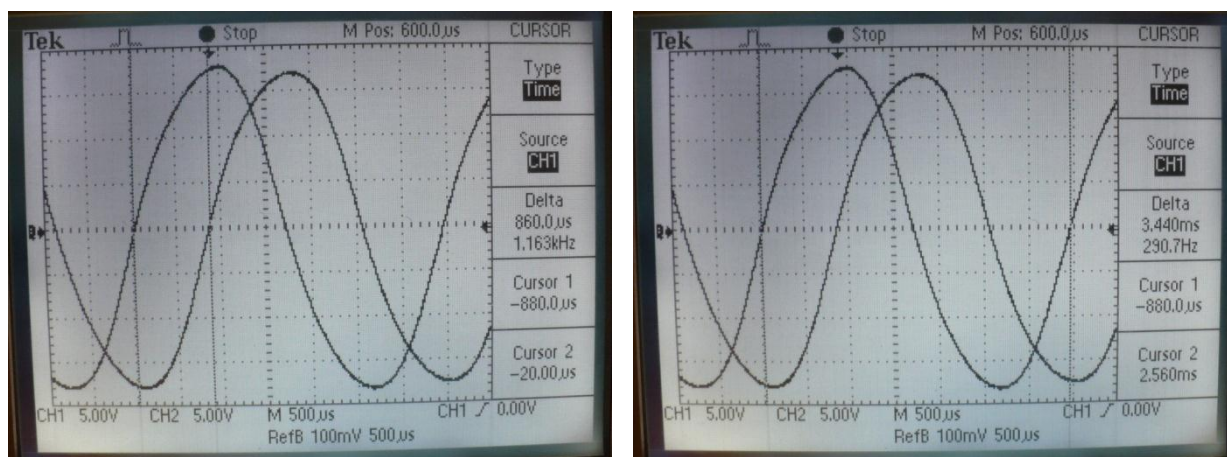
7.2.5.1 Schéma zapojení



Obr. 7-13 Schéma zapojení pro měření průběhu napětí (obě vinutí KM)

Poznámka: $R = 130\Omega$; $n = 360 \text{ ot/min}$

7.2.5.2 Průběhy



Obr. 7-14 Průběh napětí na osciloskopu pro obě vinutí KM

Příklad výpočtu fázového posunu napětí mezi oběma vinutími KM:

Z průběhů:

perioda $T = 3,44 \text{ ms}$

fázový posun $\Delta T = 860 \mu\text{s}$

Fázový posun napětí ve stupních:

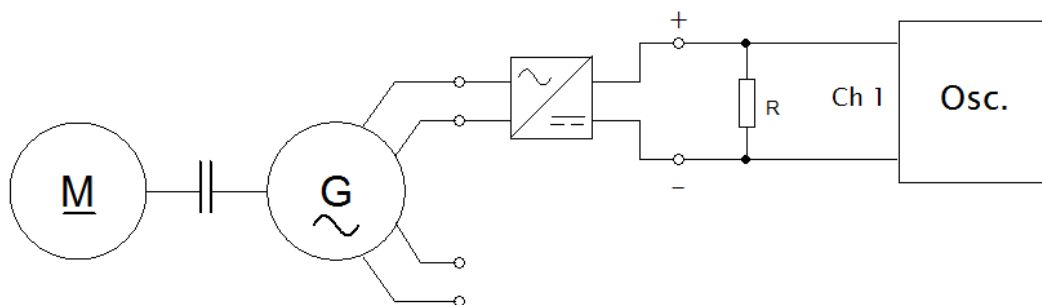
$$T = 3,44 \text{ ms} \rightarrow 360^\circ$$

$$\Delta T = 0,86 \text{ ms} \rightarrow x^\circ$$

$$x = \frac{0,86}{3,44} \cdot 360 = 90^\circ \rightarrow \text{fázový posun napětí mezi oběma vinutími KM}$$

7.2.6 Měření průběhu napětí po usměrnění (jedno vinutí KM)

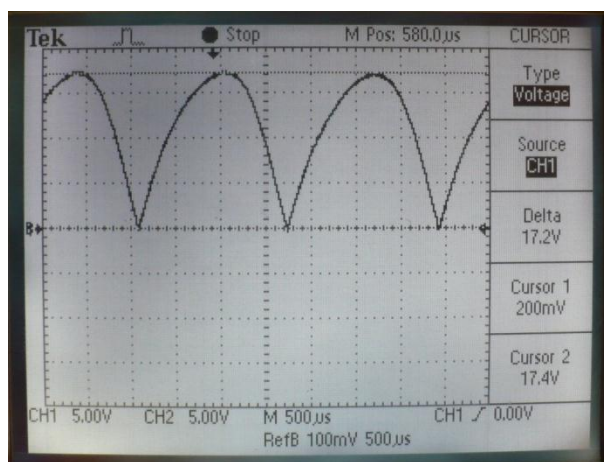
7.2.6.1 Schéma zapojení



Obr. 7-15 Schéma zapojení pro měření průběhu napětí po usměrnění (jedno vinutí KM)

Poznámka: $R = 130\Omega$; $n = 360 \text{ ot/min}$

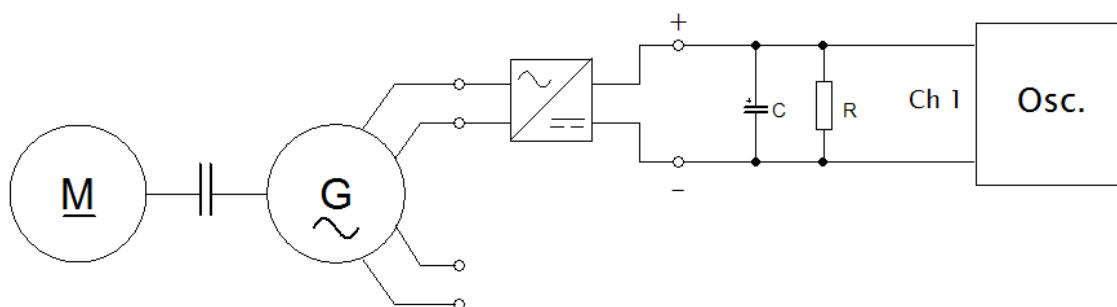
7.2.6.2 Průběhy



Obr. 7-16 Průběh napětí na osciloskopu po usměrnění pro jedno vinutí KM

7.2.7 Měření průběhu napětí po usměrnění a vyfiltrování (jedno vinutí KM)

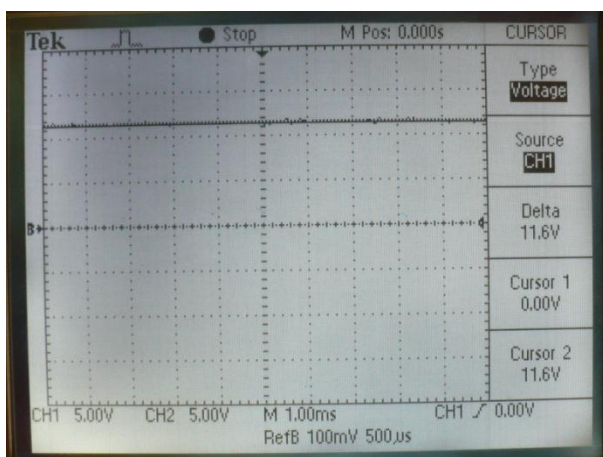
7.2.7.1 Schéma zapojení



Obr. 7-17 Schéma zapojení pro měření průběhu napětí po usměrnění a vyfiltrování

Poznámka: $R = 130\Omega$; $C = 7,9\text{mF}$; $n = 360 \text{ ot/min}$

7.2.7.2 Průběhy



Obr. 7-18 Průběh napětí na osciloskopu po usměrnění a vyfiltrování pro jedno vinutí KM

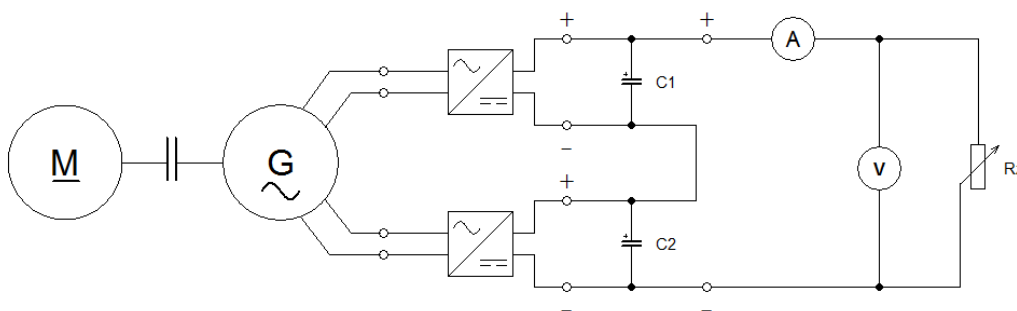
7.2.7.3 Závěr

Z měření průběhu napětí pro obě vinutí krokového motoru je patrné, že napětí jsou vůči sobě posunuty o 90° (viz výpočet). Z toho důvodu bylo potřeba usměrnit napětí každé sekce (vinutí) zvlášť, vyfiltrovat je a následně propojit (sériově, paralelně).

Bez usměrnění nelze vývody propojit, z důvodu vyrovnávacích proudů, které by tekly mezi vinutími.

7.2.8 Měření na KM při zatížení (obě vinutí v sérii)

7.2.8.1 Schéma zapojení



Obr. 7-19 Schéma zapojení pro měření na KM při zatížení (obě vinutí v sérii)

Poznámka: $R_Z = 130\Omega$; $C_{1,2} = 7,9\text{mF}/30\text{V}$; $n = 360\text{ ot/min}$



Obr. 7-20 Fotka zapojení

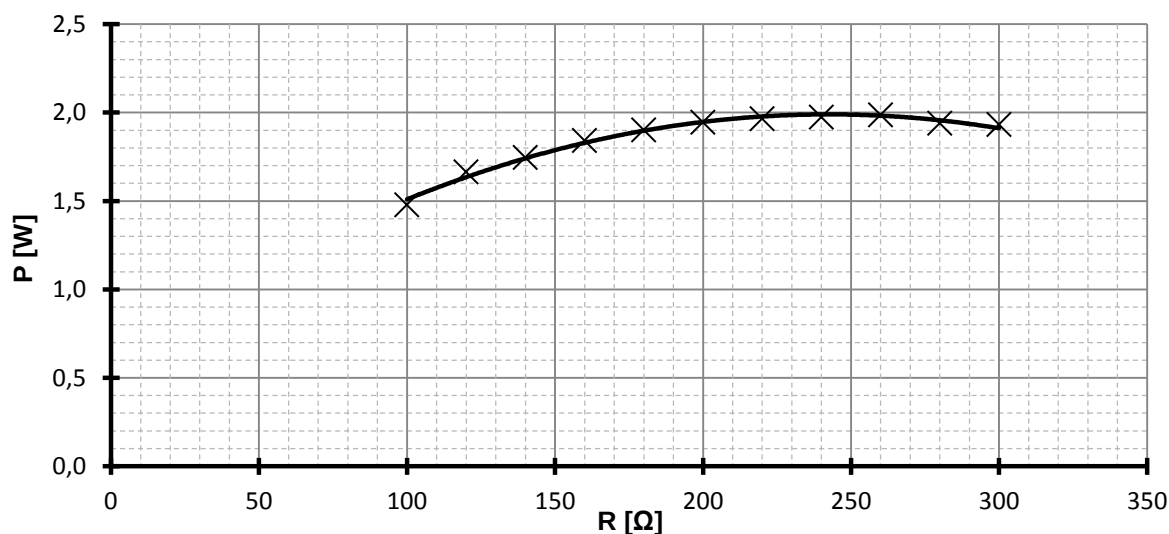
7.2.8.2 Tabulka naměřených hodnot

Tab. 7-4 Naměřené hodnoty na KM při zatížení (obě vinutí v sérii)

n [ot/min]	$R_z [\Omega]$	I [mA]	U [V]	P [W]
360	∞	/	47,4	0,00
	300	80,5	24,0	1,93
	280	83,6	23,2	1,94
	260	88,3	22,5	1,99
	240	92,3	21,4	1,98
	220	96,3	20,4	1,96
	200	100,3	19,4	1,95
	180	105,1	18,1	1,90
	160	110,3	16,7	1,84
	140	115,7	15,1	1,75
	120	120,6	13,8	1,66
	100	127,4	11,6	1,48

7.2.8.3 Grafy

Závislost výkonu alternátoru na velikosti zatěžovacího rezistoru obě vinutí KM v sérii



Obr. 7-21 Závislost výkonu alternátoru na velikosti zatěž. rezistoru pro obě vinutí KM v sérii

7.2.8.4 Závěr

Z grafu měření krokového motoru při zatížení obou vinutí v sérii je patrné, že při **360 ot/min** je maximální hodnota výkonu **2W** při nastavené hodnotě zatěžovacího rezistoru **$R_Z=260\Omega$** . Zkušebně jsem změřil i hodnotu výkonu při 1400 ot/min, ta činila téměř 6W, což je dle mého názoru u prototypu těžko dosažitelné.

7.2.9 Použité přístroje

Tab. 7-5 Použité přístroje pro měření na krokovém motoru

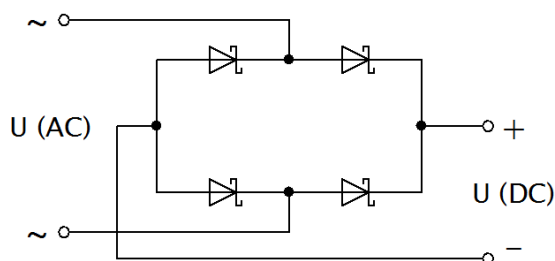
Přístroje	Výrobce	Rozsah	Výrobní číslo	Pozn.
digitální multimetr DT9205A	-	20V (DC i AC)	HT10294947	$\pm (0,5\% + 2)$ pro DC $\pm (0,8\% + 3)$ pro AC
digitální multimetr DT9205A	-	200mA (DC i AC)	HT10294865	$\pm (1,4\% + 2)$ pro DC $\pm (1,8\% + 3)$ pro AC
osciloskop TDS 210	Tektronix	60MHz; 1GS/s	B057853	-
otáčkoměr bezdotykový	Chauvin Arnoux	-	-	-
R_Z - rezistor posuvný	Metra	100Ω/1A	-	-
R_Z - rezistor posuvný	Metra	580Ω/0,4A	-	-
R_Z - rezistor otočný typ WN 69170 (2 kusy)	-	220Ω	-	Přípravek
2x kapacitor	Sangamo	7,9mF/30V	-	-
2x usměrňovač	-	-	-	Schottkyho diody

Poznámka: Jako poháněcí zařízení byl využit AKU šroubovák Black&Decker (12V)

7.3 Usměrňovače pro napájení DC spotřebičů (případně nabití superkapacitoru)

Pro usměrňovač v můstkovém provedení (1 fázové dvoucestné usměrnění) viz. Obr. 7-22 jsem využil Schottkyho diody, protože mají malý úbytek napětí v propustném směru ($<0,3\text{V}$).

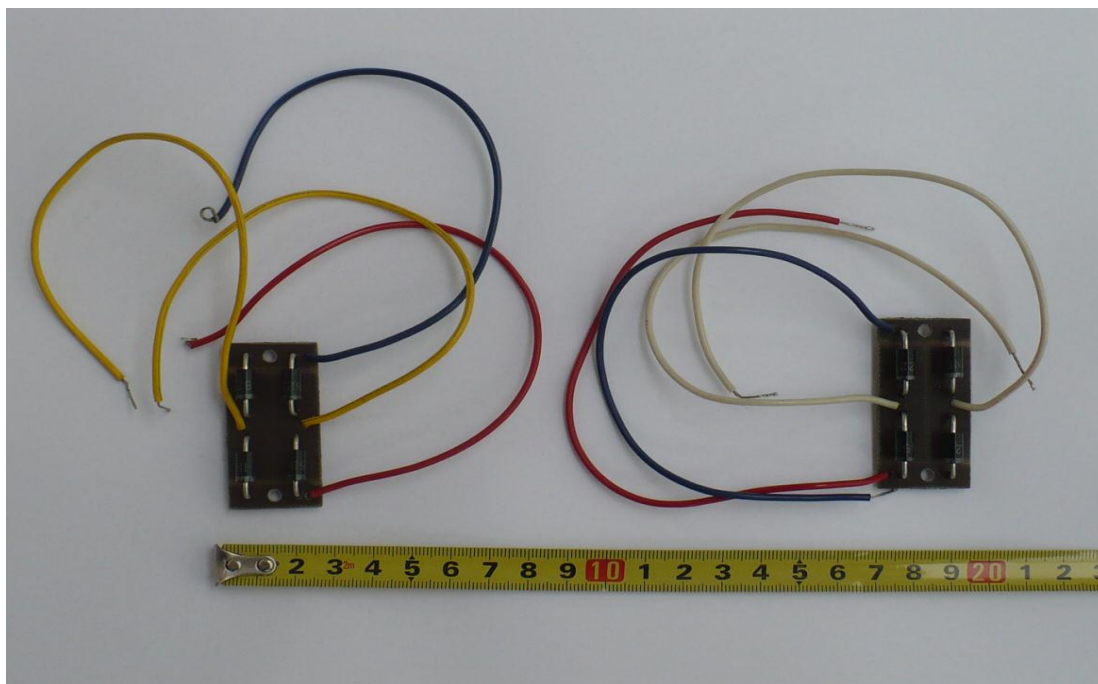
Schéma zapojení:



Obr. 7-22 Schéma tzv. "Graetzova můstku"

7.3.1 Popis Schottkyho diody:

Schottkyho diody jsou prvky, které ke své činnosti využívají usměrňovací vlastnosti přechodu kov - polovodič N. Polovodičem bývá nejčastěji křemík nebo GaAs, kovem zlato nebo hliník. Oproti diodám s PN přechodem se Schottkyho dioda vykazuje menším napětím v propustném směru, při kterém se výrazně zvyšuje proud a vyšším závěrným proudem (až stovky nA). Výhodou proti hrotovým diodám je také vyšší mechanická odolnost a kratší tzv. zotavovací doba. Schottkyho diody mohou být přepnuty z vodivého do nevodivého stavu za dobu menší než 1 ns. Jednoduchost výroby umožňuje vyrábět diody s velmi malou plochou přechodu. [22]



Obr. 7-23 Navržené usměrňovače v můstkovém zapojení

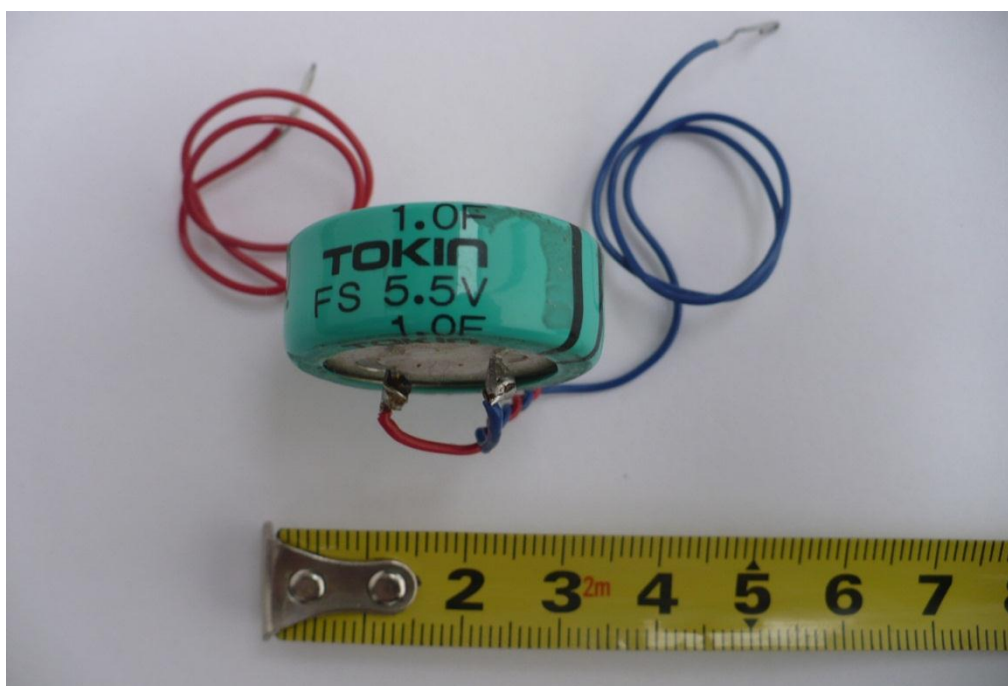
7.4 Rozběh elektrocentrály

Pro finální verzi elektrocentrály uvažuji pro rozběh o využití DC motoru napájeného ze superkapacitoru viz Obr 7-24. Před volbou tohoto superkapacitoru bylo nutné provést několik měření pro prověření jeho vlastností – uvedeny na dalších stranách.



Obr. 7-24 Superkapacitor POWER CAP Silver 1F/20V

V průběhu práce se mi podařilo sehnat další superkapacitor pro porovnání jejich parametrů vzhledem k jejich velmi rozdílným rozměrům.



Obr. 7-25 Superkapacitor 1F/5,5V

7.4.1 Měření "samovybíjení" superkapacitorů

7.4.1.1 Tabulky naměřených hodnot

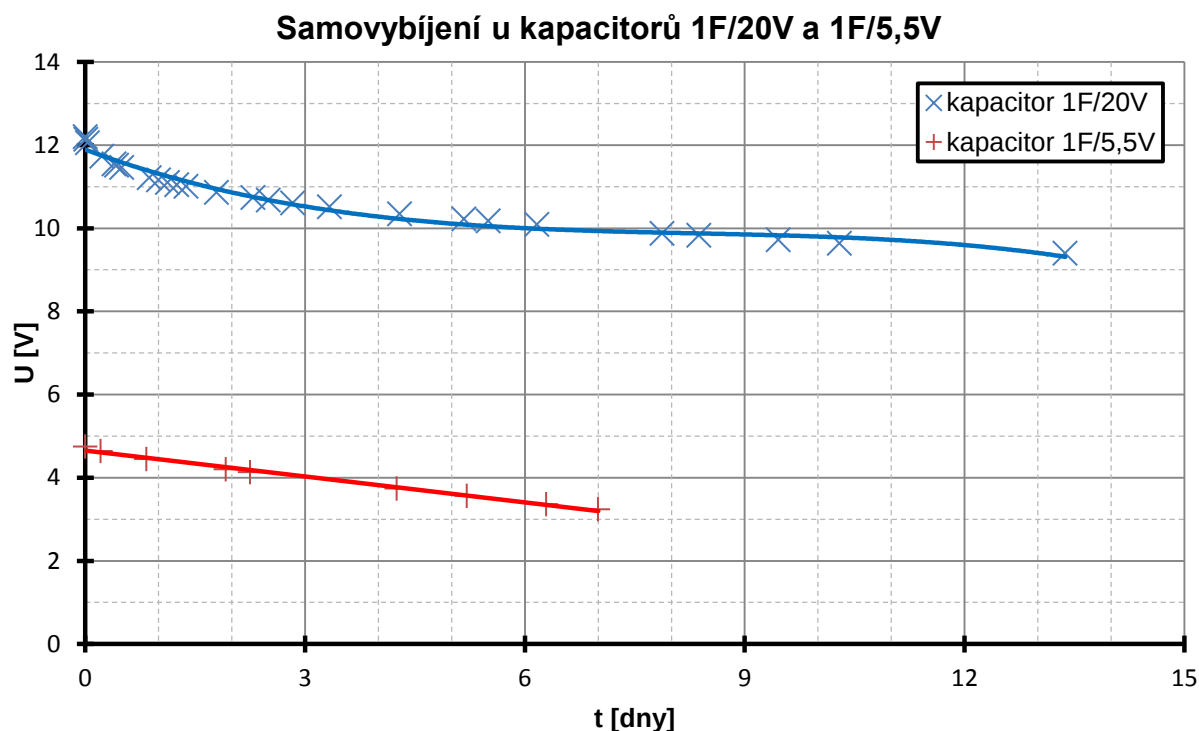
Tab. 7-6 Měření "samovybíjení" superkapacitoru 1,0F/20V

Datum [dd.mm.rrrr]	Hodin [hh:mm]	Napětí [V]
3.11.2012	12:00	12,20
3.11.2012	12:15	12,14
3.11.2012	12:45	12,06
3.11.2012	17:30	11,73
3.11.2012	21:30	11,55
3.11.2012	22:15	11,52
3.11.2012	0:00	11,46
4.11.2012	9:00	11,22
4.11.2012	12:00	11,16
4.11.2012	15:00	11,10
4.11.2012	18:00	11,05
4.11.2012	21:00	11,01
5.11.2012	7:00	10,86
5.11.2012	19:00	10,74
5.11.2012	0:00	10,68
6.11.2012	8:00	10,61
6.11.2012	20:00	10,52
7.11.2012	19:00	10,35
8.11.2012	16:00	10,22
8.11.2012	0:00	10,18
9.11.2012	16:00	10,09
11.11.2012	9:00	9,88
11.11.2012	21:00	9,83
12.11.2012	23:00	9,72
13.11.2012	19:00	9,64
16.11.2012	21:00	9,40

Tab. 7-7 Měření "samovybíjení" superkapacitoru 1,0F/5,5V

Datum [dd.mm.rrrr]	Hodin [hh:mm]	Napětí [V]
25.10.2012	13:00	4,75
25.10.2012	18:00	4,64
26.10.2012	9:00	4,45
27.10.2012	11:00	4,20
27.10.2012	19:00	4,13
29.10.2012	19:00	3,74
30.10.2012	18:00	3,56
31.10.2012	20:00	3,36
1.11.2012	13:00	3,24

7.4.1.2 Grafy



Obr. 7-26 Pokles napětí v závislosti na čase měřených superkapacitorů

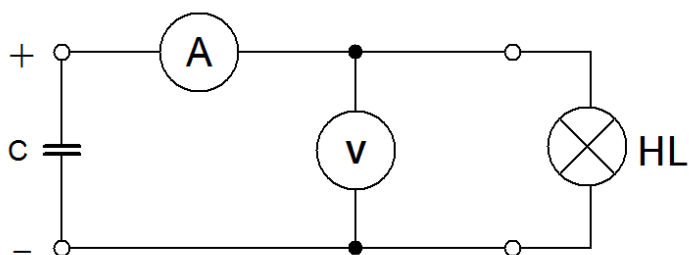
7.4.1.3 Použité přístroje

Tab. 7-8 Použité přístroje pro měření "samovybíjení"

Přístroje	Výrobce	Rozsah	Výrobní číslo	Pozn.
digitální multimetr DT9205A	-	20V	HT10294947	$\pm (0,5\% + 2)$
superkapacitor POWER CAP Silver	-	1,0F/20V	0305590 52286	do 1000W
superkapacitor	TOKIN	1,0F/5,5V	-	-
stolní hodiny	-	-	-	-

7.4.2 Vybíjení superkapacitoru 1,0F/20V přes žárovku 14V/0,1A

7.4.2.1 Schéma zapojení



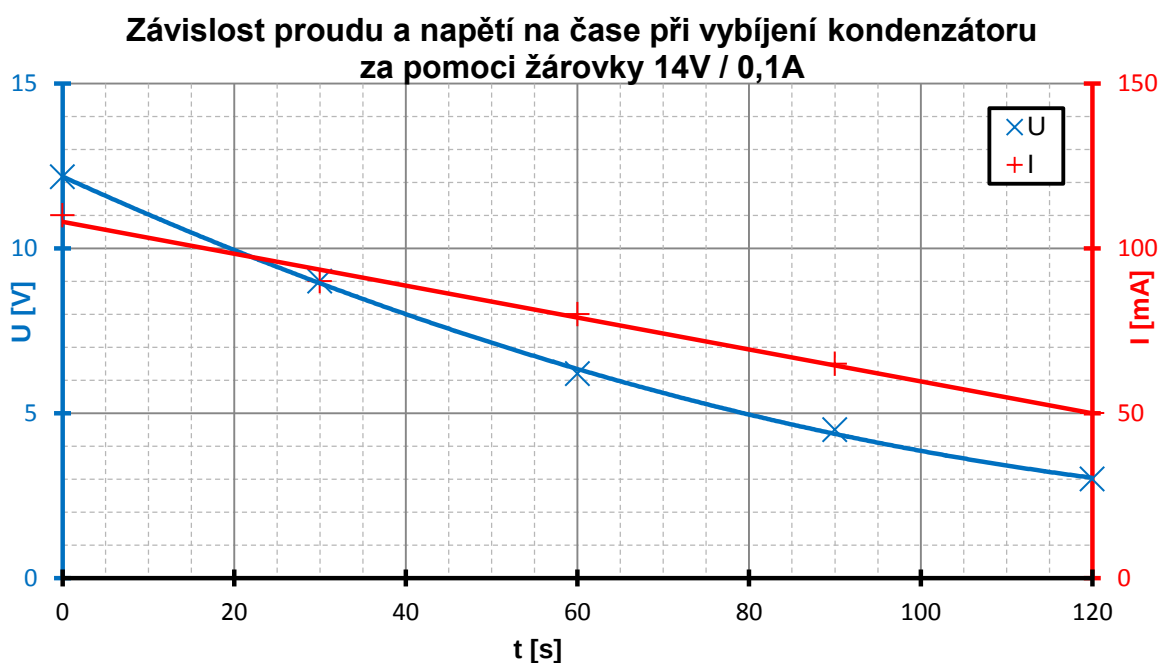
Obr. 7-27 Schéma zapojení pro měření vybíjení superkapacitoru 1F/20V

7.4.2.2 Tabulka naměřených hodnot

Tab. 7-9 Vybíjení superkapacitoru 1,0F/20V přes žárovku 14V/0,1A

čas [s]	I [mA]	U [V]
0	110	12,17
30	90	9,00
60	80	6,20
90	65	4,50
120	50	3,00

7.4.2.3 Grafy



Obr. 7-28 Závislost proudu a napětí na čase při vybíjení kondenzátoru za pomoci žárovky

7.4.2.4 Použité přístroje

Tab. 7-10 Použité přístroje pro měření vybíjení superkapacitoru

Přístroje	Rozsah	Výrobní číslo	Pozn.
digitální multimetr DT9205A	20V (DC)	HT10294947	$\pm (0,5\% + 2)$
digitální multimetr DT9205A	200mA (DC)	HT10294865	$\pm (1,4\% + 2)$
superkapacitor POWER CAP Silver	1,0F/20V	0305590 52286	do 1000W
stopky	-	-	-

7.4.3 Výsledný závěr obou měření

Pro případné pokračování návrhu elektrocentrály formou Diplomové práce bych využil superkapacitor POWER CAP Silver 1F/20V, který i přes větší rozměry má výhodnější parametry.

8 MOŽNOSTI PROPOJENÍ ELEKTROCENTRÁLY A ALTERNATIVNÍHO ZDROJE ENERGIE

Na výrobu páry potřebné pro pohon elektrocentrály se jako nejvhodnější způsob jeví spalování biomasy s případným přehřevem vody v solárně termických kolektorech. V zemích, které disponují geotermální energií (Nový Zéland, Island,...) lze popsané zařízení využít v malém měřítku pro vytápění a zároveň výrobu elektrické energie.

Jedna ze současných verzí akumulace energie je tlakování podzemních zásobníků stlačeným vzduchem, v tomto případě lze elektrocentrálu využít také, jelikož turbíny jsou výrobně náročnější a tedy dražší.

9 NÁKLADY NA INVESTICE A PROVOZ SYSTÉMU

Náklady na investice a provoz závisí na zvolené verzi pohonu a požadované velikosti výkonu elektrocentrály.

9.1 Náklady na elektrocentrálu bez využití přehřevu vody

Malá elektrocentrála do výkonu 10W

- Vytvořič páry (tlakový Papinův hrnec): 500,- Kč
- Alternátor 10W: 2000,- Kč
- Výroba dílců pohonného mechanismu včetně montáže: 2000,- Kč
- Celkem: **4500,- Kč**

Elektrocentrála do výkonu 100W

- Vytvořič páry (speciálně vyrobený parní kotel): 1500,- Kč (odhad)
- Alternátor 100W: 4000,- Kč
- Výroba dílců pohonného mechanismu včetně montáže: 4000,- Kč
- Celkem: **9500,- Kč**

S využitím přehřevu za pomoci solárně termických kolektorů stoupne cena o řádově 20000,- Kč (viz bod 3.1.1. práce).

9.2 Náklady na provoz systému

Provoz samotné elektrocentrály nevyžaduje vysoké náklady. Je potřeba pouze občasné domazávání rotačních a kluzných částí. Největší položku bude tvořit cena zvoleného paliva. V každém případě budou náklady na provoz podstatně nižší než u klasických paliv.

10 ZÁVĚR

V práci jsem nastínil postup návrhu a realizace prototypů elektrocentrál, které by měly být poháněny alternativními zdroji produkujícími teplo ve formě páry. Jedná se tedy především o solární termické kolektory a pevnou biomasu. Prototypy vychází ze známých principů funkce parních strojů, které jsem se snažil konstrukčně upravit netradičním způsobem. V práci jsem bral v úvahu žádost Střední školy strojírenské a elektrotechnické Trnkova 113, Brno, která mi zajistila dle mých výkresů výrobu dílců prototypu (smlouva viz Příloha A), aby mnou navržený prototyp sloužil jako názorná učební pomůcka pro žáky technických škol. Z toho důvodu se můj prototyp liší od případné finální elektrocentrály, která by využívala obnovitelné zdroje. Montáž prototypů jsem provedl v dílně panelového domu Bořetická 11.

Při konstrukci jsem použil dostupných komponentů například diferenciální manostat, krokový motor, který pracuje jako alternátor atd. Většinu konstrukčních dílů jsem zadal vyrobit dílnám výše uvedené školy. Materiál jsem zakoupil v prodejně Ferona, Brno (prodejce hutního, spojovacího a jiného materiálu).

Jako zdroj elektrického proudu (alternátor) jsem pro prototyp zvolil krokový motor 6V/1,2A demontovaný ze staršího typu tiskárny. Pro případné pokračování návrhu elektrocentrály formou Diplomové práce bych pro rozběh zařízení použil malý stejnosměrný motor napájený ze superkapacitoru POWER CAP Silver 1F/20V. Superkapacitor by dále mohl sloužit pro krátkodobé ukládání vyrobené elektrické energie (viz měření bod 7.4.1. a 7.4.2.). Pro dlouhodobé ukládání elektrické energie navrhuji využít bezúdržbový akumulátor 12V/14Ah použitý v prototypu pístové elektrocentrály.

Jako hnací medium pro prototyp jsem místo páry zvolil stlačený vzduch, především pro vyšší bezpečnost při zkouškách a následné demonstraci, objektivnějšímu určení účinnosti soustrojí a v neposlední řadě úspoře nákladů. Pro finální verzi elektrocentrály, která bude využívat zvolené alternativní zdroje bude oproti mému prototypu potřebné změnit materiálové složení, tzn. volit tepelně odolnější materiály (např. bronz, mosaz,...). Současně bude potřeba dorešit spolehlivý a bezpečný zdroj páry (uvažuji o využití Papinova hrnce).

Uvedený prototyp pístové elektrocentrály by, mohl sloužit jako zdroj pro napájení světelných spotřebičů s LED zdroji, dobíjení akumulátorů 12V a dalších drobných elektrospotřebičů s jmenovitým napětím 12V a příkonu do 2W.

Vypočtená hodnota účinnosti prototypu pístové elektrocentrály ($\eta = 6,3\%$) viz bod 5.3. odpovídá předpokladům. Parní stroj, ze kterého návrh vychází má celkovou účinnost v rozmezí 5% až 15%, přičemž účinnost přeměny energie je maximálně 30%. Jelikož se jednalo o první prototyp vyrobený v dílenské toleranci a navíc řešený jako názorná učební pomůcka, je výsledek měření účinnosti neprůkazný. Pokud by byl vyroben další prototyp v přesnějších tolerancích, řešený jako skutečný použitelný zdroj (ne jako učební pomůcka), pak by se po úpravách vzešlých z poznatků získaných v mé práci účinnost zařízení podstatně zvýšila.

Zařízení najde uplatnění v místech, kde není možné se připojit k elektrické rozvodné síti. Současně je jeho provoz ekologický a téměř bezúdržbový. Také náklady na výrobu, provoz a údržbu jsou velmi nízké (viz bod 9.).

Díly a sestavy vytvořené v programu SolidWorks 2012 jsou přiloženy k práci na kompaktním disku (CD). Disk dále obsahuje animace jednotlivých prototypů a elektronickou podobu práce.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Elektrocentrála jako záložní zdroj na chalupu* [online]. 2012, poslední změna 07.12.2012 [cit. 2012-12-07]. <http://www.bydleniprokazdeho.cz/elektrocentrala-jako-zalozni-zdroj-na-chalupu.php>
- [2] *Elektrocentrály: Technologie a použití* [online]. Atoll Europe s.r.o., 2009, poslední změna 25.11.2012 [cit. 2012-11-25]. <http://www.atoll-europe.cz/eshop/technologie-elektrocentraly>
- [3] *Jak vybrat elektrocentrálu* [online]. AZ–svářecí technika, poslední změna 30.11.2012 [cit. 2012-11-30]. <http://www.az-svarecitechnika.cz/clanky/jak-vybrat-elektrocentralu>
- [4] *Alternativní zdroje energie* [online]. poslední změna 30.11.2012 [cit. 2012-11-30]. <http://www.solar.cz/technologie/alternativni-zdroje/>
- [5] *Typy obnovitelných zdrojů energie* [online]. Ministerstvo životního prostředí ČR, poslední změna 14.12.2009 [cit. 2012-11-30]. http://www.mzp.cz/cz/typy_oze
- [6] *Solární termické systémy: Praktické informace o úsporách energií a využití obnovitelných zdrojů* [online]. E.ON, 2010 [cit. 2012-12-01]. http://eon.energieplus.cz/files/EON_PC_solarni_energie.pdf
- [7] LUNDEGAARD. *Solární kolektory* [online]. poslední změna 01.12.2012 [cit. 2012-12-01]. <http://www.energetickyporadce.cz/obnovitelne-zdroje/energie-slunce/solarni-kolektory.html>
- [8] *Solární vakuový trubicový kolektor VU10-CPC* [online]. Solar Economic, poslední změna 01.12.2012 [cit. 2012-12-01]. <http://www.solareconomic.cz/solarec/eshop/6-1-Teplo/5-2-Solarni-kolektory/5/186-Solarni-vakuovy-trubicovy-kolektor-VU10-CPC>
- [9] *Solární vytápění kapalinové* [online]. Topenáři EKOMPLEX, 2012, poslední změna 01.12.2012 [cit. 2012-12-01]. <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/solarni-vytapeni/kapalinove.php>
- [10] *Obnovitelné zdroje: Geotermální energie* [online]. Skupina ČEZ, 2012, poslední změna 02.12.2012 [cit. 2012-12-02]. <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/geotermalni-energie.html>
- [11] MYSLIL, V., KUKAL, Z., POŠMOURNÝ, K., FRYDRYCH, V. Geotermální energie: Ekologická energie z hlubin Země – současné možnosti využívání. *Planeta: odborný časopis pro životní prostředí*. 2007, roč. 15, č. 4, s. 32. ISSN 1801-6898. [http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/4BE8C2DA7BE810F6C125725900456E0A/\\$file/planeta4_korektura3.pdf](http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/4BE8C2DA7BE810F6C125725900456E0A/$file/planeta4_korektura3.pdf)
- [12] *Využívání pevné biomasy* [online]. Ministerstvo životního prostředí ČR, 2009, poslední změna 15.02.2010 [cit. 2012-12-03]. <http://www.mzp.cz/cz/vyuzivani-pevne-biomasy>
- [13] *Energie z biomasy* [online]. poslední změna 13.04.2012 [cit. 2012-12-03]. <http://www.spvez.cz/pages/biomasa.htm>
- [14] *Energie biomasy* [online]. EkoWATT, poslední změna 04.12.2012 [cit. 2012-12-04]. <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-biomasy>
- [15] NOVAK, P. *Výroba stlačeného vzduchu a vakua* [online]. AZ kompresory – Tématický informační server, poslední změna 05.12.2012 [cit. 2012-12-05]. <http://www.az-kompresory.cz/vyroba-stlaceneho-vzduchu-a-vakua.html>

-
- [16] RAČEK, J. *Technická mechanika. Mechanika tekutin a termomechanika*. Brno: Nakladatelství Novotný, 2007, 231 stran. ISBN 978-80-214-3368-7.
- [17] KEVENEY, M. *Animated Engines* [online]. poslední změna 11.11.2012 [cit. 2013-02-11]. <http://www.animatedengines.com/index.html>
- [18] ŠEDÝ, P. *Parostroje web* [online]. poslední změna 30.07.2011 [cit. 2012-12-01]. <http://parostroje.wz.cz>
- [19] KOLÁŘ, D., MAŠTALÍŘSKÝ, V., HANÁK, T., ŘEHOŘ, M. STRETECH 2011. *Ekologická parní elektrocentrála*. Praha, 2011. ISBN 978-80-01-04837-5. <http://www1.fs.cvut.cz/stretch/2011/sbornik/149.pdf>
- [20] HRUŠKA, M. *Parní stroj* [online]. poslední změna 19.01.2013 [cit. 2013-05-19]. <http://www.parnistroj.czweb.org/index.html>
- [21] *Podrobnější výklad výpočtu potřebného výkonu elektrocentrály* [online]. Elektrocentrály Honda, poslední změna 07.12.2012 [cit. 2012-12-07]. <http://www.hondaelektrocentrally.cz/produkty-a-vyrobci/honda/podrobnji-vyklad-vypotu-potebneho-vykonu-elektrocentrally>
- [22] MORAVEC, H. *Schottkyho dioda* [online]. 2003, poslední změna 07.12.2012 [cit. 2012-12-07]. http://www.z-moravec.net/ext_el/diod/schotky.php

PŘÍLOHY

Příloha A Smlouva na výrobu dílců elektrocentrály

Smlouva o bezúplatné spolupráci mezi Střední školou strojírenskou a elektrotechnickou Trnkova 113, Brno a studentem VUT FEKT, Brno Janem Prokopem

Věc: Výroba dílců pro model elektrocentrály z dodané výkresové dokumentace pro bakalářskou práci
Jana Prokopa

Název bakalářské práce Jana Prokopa: Elektrocentrály pro obnovitelné zdroje energie

Vedoucí (VUT FEKT): doc. Ing. Petr Baxant, PH.D.

Škola pro Jana Prokopa provede výrobu dílců elektrocentrály, dle výkresů jím poskytnutých. Jedná se o práce soustružnické a frézařské.

Materiál zakoupí a dodá Jan Prokop.

Montáž sestavy zařízení provede Jan Prokop.

Za to Jan Prokop pro SŠSE Trnkova 113 bezplatně vyhotoví výkresovou dokumentaci sestavy modelu zařízení, které bude sloužit k prezentaci školy a názorné výuce na základě požadavků odborných vyučujících této školy. Výkresovou dokumentaci v 3D programu SolidWorks může škola použít při výuce žáků v předmětu Technická dokumentace.

STŘEDNÍ ŠKOLA STROJÍRENSKÁ
A ELEKTROTECHNICKÁ,
BRNO, TRNKOVA 113
IČO: 00380431 DIČ: CZ00380431

V Brně dne: 12.11.2012


Za školu: Ing. Roman Moliš
ředitel


Student VUT FEKT Jan Prokop: