

**KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS**  
**JŪRŲ TECHNIKOS FAKULTETAS**  
**ELEKTROTECHNIKOS KATEDRA**

**TVIRTINU** \_\_\_\_\_

Katedros vedėja: prof. dr. Eleonora Guseinovicė  
2013

**ELEKTRONIKOS IR ELEKTROS INŽINERIJOS MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ**  
**PROGRAMOS „PRAMONĖS ELEKTROS ĮRANGA IR AUTOMATIKA“**  
(Studijų kodas 612H60002)  
**MAGISTRO TEZĖS**

**NEDIDELĖS GALIOS VERTIKALIOS VĖJO**  
**ELEKTRINĖS TYRIMAS**

Recenzentas: \_\_\_\_\_  
2013

Vadovas: habil.dr. Antanas Andrius Bielskis  
2013

Recenzentas: \_\_\_\_\_  
2013

Rengė: TMPE-11 Žilvinas Purtokas  
2013

Klaipėda, 2013

**BAKALAURO IR MAGISTRO BAIGIAMŲJŲ DARBŲ LYDRAŠČIO FORMA**

Pildo bakalauro/magistro baigiamojo darbo autorius

Žilvinas Purtokas

(bakalauro/magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

Nedidelės galios vertikalios vėjo elektrinės tyrimas

(bakalauro/magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

**Patvirtinu, kad bakalauro/magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis bakalauro/magistro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.**

Žilvinas Purtokas

(bakalauro/ magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

**Sutinku, kad bakalauro/magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.**

Žilvinas Purtokas

(bakalauro/ magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė ir parašas)

Pildo bakalauro/magistro baigiamojo darbo vadovas

**Bakalauro/magistro baigiamąjį darbą ginti**

.....

2013 05 27

(data )

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

prof. habil. dr. Andrius Antanas Bielskis

(bakalauro/magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuriojančios studijų programą, administratorius (sekretorius)

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje

(data)

Sigita Kasparavičienė

.....  
(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuriojančios studijų programą, vedėjas

**Bakalauro/magistro baigiamąjį darbą ginti**

.....

2013 05 27

(data )

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

prof. dr. Eleonora Guseinovicienė

(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

**Recenzentu(-ais) skiriu** ..... prof. dr. Eleonora Guseinovicienė.....

..... doc. dr. Algirdas Brazaitis.....

(įrašyti recenzento(ų) vardą, pavardę)

2013 05 27

(data )

prof. dr. Eleonora Guseinovicienė

(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

## TURINYS

ANOTACIJA.....	3
ĮVADAS.....	5
1. LITERATŪROS APŽVALGA .....	6
1.1 Vėjaračių apžvalga .....	14
1.2 Vėjo elektrinių poveikis aplinkai.....	16
1.2.1 Triukšmas .....	16
1.2.2 Vizualinis poveikis .....	17
1.2.3 Saugumas ir poveikis gyvūnijai bei augalijai .....	18
1.2.4 Elektromagnetiniai trikdžiai .....	18
1.2.5 Energijos kaina .....	18
1.2.6 Reljefo formos suardymas .....	19
1.2.7 Šešėlių mirgėjimas.....	19
1.2.8 Šviesos atspindėjimas .....	19
1.3 Vėjo elektrinę apibūdinantys parametrai .....	20
1.3.1 Naudingumo rodiklis .....	20
1.4 Vėjo energijos panaudojimas .....	21
1.5 Vėjo elektrinės su vertikaliąja ašimi.....	22
1.6 Vertikalios ašies komerciniu būdu platinamos vėjo elektrinės .....	23
1.6.1 Statocoolien GSE 4 vėjo elektrinė.....	23
1.6.2 Urban Green Energy vėjo elektrinė.....	24
1.6.3 Astralux Ltd 2kW vėjo elektrinė .....	25
1.7 Teisiniai įstatymai mažoms vėjo elektrinėms ir jų statybai Lietuvoje .....	26
2 TYRIMO METODAI IR MEDŽIAGA.....	27
2.1 Tyrimo objekto pasirinkimas.....	27
2.2 Sukamojo ploto apskaičiavimas .....	29
2.3 Vertikalios ašies vėjo elektrinės realaus modelio gamyba .....	31
2.3.1 Generatoriaus apvijos- statorius .....	31
2.3.2 Generatoriaus magnetiniai diskai- rotoriai .....	32
2.3.3 Sparnuotės dalys .....	34
2.3.4 Tyrimo objekto montavimas.....	35
2.3.5 Vėjo elektrinės valdymo skydas .....	38
2.3.6 Vėjo elektrinės gedimų diagnostika .....	41
2.4 Generatoriaus bandymas stende .....	42
3. TYRIMO REZULTATAI .....	43
3.1 Tyrimo metu kilusi problema ir jos sprendimas.....	47
IŠVADOS.....	49
LITERATŪRA .....	52
PRIEDAI .....	55

## ANOTACIJA

Klaipėdos universitetas  
Jūrų technikos fakultetas  
Elektrotechnikos katedra

ISBN      ISSN  
2013 06 08

Magistro tezės

Pavadinimas: **NEDIDELĖS GALIOS VERTIKALIOS VĖJO ELEKTRINĖS**

### **TYRIMAS**

Autorius: Žilvinas Purtokas, TMPE-11 gr.

Darbo vadovas: habil.dr. Antanas Andrius Bielskis

Darbo apimtis: 53 psl., 1 lent., 57 pav.

Kalba:

lietuvių

anglų

## ANOTACIJA

Tyrimo objektas- nedidelės galios savadarbė vertikali vėjo elektrinė.

Tyrimo tikslas- patikrinti vertikalią ašies vėjo elektrinės pritaikomumą urbanistinėse teritorijose, aptarti konkretaus tipo elektrinės privalumus bei trūkumus. Atliekant ilgalaikius bandymus realiose sąlygose, nustatyti energetinius rodiklius.

Tyrimo objektas- sukonstruota vėjo elektrinė. Tyrimo atlikimo vieta Klaipėda. Tyrimo trukmė 6 mėnesiai.

Tyrimo rezultatai įrodė, kad atlikus atitinkamus pakeitimus, tyrimo objektą galima naudoti gyvenamosiose zonose, gaunant vidutinį elektrinės naudingumo koeficientą, nesukeliant žalos aplinkai.

### **REIKŠMINIAI ŽODŽIAI:**

Vėjo, elektrinė, vertikali, nedidelės galios, nuolatinių magnetų, savadarbė, turbina.

Klaipėda University  
Faculty of Marine engineering  
Department of Electrical engineering

ISBN      ISSN  
08 06 2013

Master's thesis

Title: **LOW POWER VERTICAL AXIS WIND TURBINE STUDY**

Author: Žilvinas Purtokas, TMPE-11 gr.

Supervisor: habil.dr. Antanas Andrius Bielskis

Work's size: 53 papers, 1 tables, 57 pictures.

Lithuanian

English

### **SUMMARY**

The object of investigation- low power self made vertical axis power plant.

The study aims to find out possibility to use vertical wind power plants in urban territories, overview pros and cons. The long-term real-life testing to determine energy performance.

The study object- authors made wind power plant. Study place- Klaipėda. Duration of the study- 6 months.

The results demonstrated that by appropriate changes to the research object can be used in residential areas receiving an average efficiency without harming the environment.

### **KEYWORDS:**

Wind power, vertical axis, low-power, permanent magnets, self made, turbine.

## ĮVADAS

Dideliu greičiu besiplečiant miestams didėja aplinkos užterštumas tiek biologine tiek optine prasmėmis. Viską modernizuojant, automatizuojant atsiranda vis didesni elektros energijos sunaudojimo mastai. Siekiant sumažinti kylančias gamtos užterštumo tendencijas, siekiama atrasti naujų technikos įrenginių bei prietaisų, kurie ne tik saugotų ir neterštų gamtos, bet ir prisidėtų prie aplinkos švarinimo. Vienas tokių projektų, kuris bandomas įgyvendinti- tai elektromobilių naudojimas miesto teritorijose. Įgyvendinus tokį projektą būtų galima atsisakyti vidaus degimo varikliais varomo viešojo transporto, kuris yra vienas didžiausių nuolatinių miesto užterštumo židinių. Su visomis panašiomis inovacijomis dar labiau didėtų elektros energijos suvartojimas, todėl lygiagrečiai ieškoma efektyvių bei ekologiškų elektros energijos gavimo būdų. Išrandant vis geresnius naudingumo rodiklius turinčius generatorius, bandoma juos pritaikyti įvairių rūšių judesių bei virpesių energijos absorbcijai ir konvertavimui į elektros energiją. Šiuo metu pasaulyje naudojami įvairaus tipo įrenginiai, kurie geba išgauti elektros energiją iš saulės UV spindulių, žemės virpesių, vandens bangų, upių vandens tėkmės, vėjo ir net iš oro virpesių.

Praktine dalimi yra atliekamas tyrimas su realiu modeliu realiomis sąlygomis. Analizuojamos tyrimo objekto savybės ir pateikiamos išvados nurodančios galimus sprendimus, norint pagerinti vėjo elektrinių naudojimą urbanistinėse teritorijose.

Magistrinio baigiamojo darbo tikslas yra ištirti vertikalios ašies vėjo elektrinės energetinių rodiklių gerinimo perspektyvas, atkreipiant dėmesį į šiuo metu labiausiai kylančias problemas projektuojant tokio tipo vėjo varomas elektrines, skirtas naudoti urbanistinėse teritorijose.

Siekiant šio tikslo reikia:

1. Išsiaiškinti pasirinktos konstrukcijos vėjo elektrinės techninius privalumus, pritaikymo galimybes.
2. Išanalizuoti pagrindinius reikalavimus nedidelėms vėjo elektrinėms, kad jos galėtų būti montuojamos arti gyvenamųjų bei miegamųjų teritorijų, švietimo bei kitų viešųjų įstaigų.
3. Įvertinti vizualinius, garsinius ir kitus galimus trikdžius žmogaus aplinkai.
  1. Atlikti eksperimentinius tyrimus su realiai sukonstruota vėjo elektrine.
  2. Patikrinti elektrinės efektyvumą esant skirtingiems redukcijos koeficientams.
  3. Eksperimentiniu būdu nustatyti vėjo elektrinės energetinius rodiklius.
  4. Įvertinti sukonstruotos sistemos trūkumus.
  5. Pasiūlyti tam tikrų trūkumų sprendimo alternatyvas.
  6. Gautų rezultatų analizė.

# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

Buvo apžvelgtos platinamos vertikalios ašies vėjo varomos elektrinės, generatorių konstrukcijos, veikimo principai, valdymo algoritmai. Analizuotos didžiausios problemos, pasirenkant kelių rūšių generatorius.

“Economic index for selection of wind turbine generator at a site” straipsnyje aptariama kokie rodikliai nulemia elektrinės parinkimą. Kaip gaunamas ekonominis indeksas, kuris padeda parinkti tinkamiausią elektrinę įvairiose vietose. Kokią įtaką atsiperkamumui turi tinkamos elektrinės parinkimas.

Pateikta vėjo stiprumo skaičiavimo lygtis:

$$\bar{v} = \left( \frac{\sum_{i=1}^N f_i v_i^n}{\sum_{i=1}^N f_i} \right)^{\frac{1}{n}} \quad [m / s] \quad (1)$$

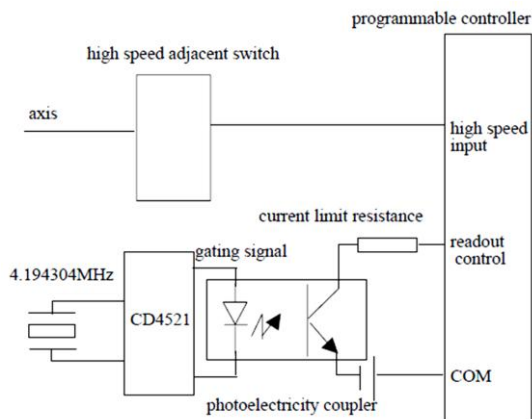
- Čia  $\bar{v}$  -vėjo stiprumas;
- $v$ - faktinis vėjo greitis;
- $N$ - vėjo matavimų skaičius;
- $f$ - vėjo dažnumas;
- $n=3$ - konstanta.

Vidutinė vėjo elektrinės galia išreiškiama lygtimi:

$$P_{e,ave} = \int_0^{\infty} P_e(v) f(v) dv \quad (2)$$

- čia  $P_e(v)$ -galios priklausomybė nuo vėjo;
- $f(v)$ -vėjo kitimo funkcija. [1]

„Design of Wind Turbine Generator Control System” straipsnyje apžvelgiamos apsaugos sistemos, kurios užtikrina saugų vėjo elektrinės darbą. Aptariami visų prietaisų veikimo algoritmai avarinėmis situacijomis, taip pat kompleksiniai poveikiai elektrinės darbui ekstremaliomis sąlygomis. PLC pritaikymas vėjo elektrinės valdymui, generatoriaus greičio kontrolei.



1.1 pav. Generatoriaus greičio matavimo grandinė [2]

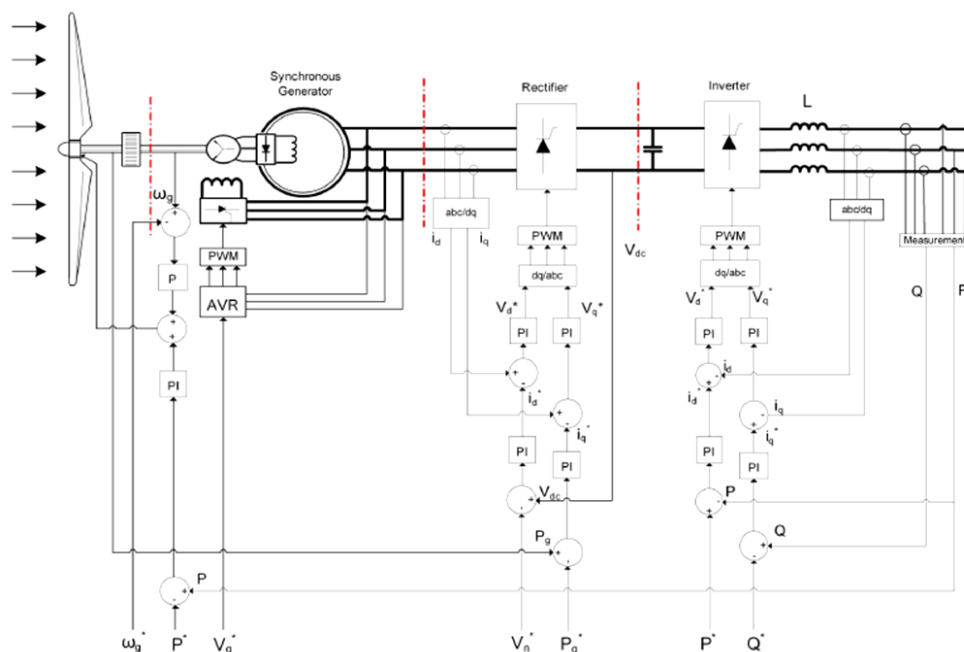
“Maximum Power Extraction for a Wind-Turbine Generator with No Wind Speed Sensor” straipsnyje aptariama mintis, kaip galima valdyti vėjo elektrinės sparnų apkrovą, nenaudojant

$\Delta P_{out}$	$\Delta(\frac{V_{inv}}{m_a})$	Decision
> 0	> 0	Increase $\delta$
< 0	< 0	Decrease $\delta$
> 0	< 0	No change
< 0	> 0	No change

sudėtingos ir didelio kiekio sensorių turinčios įrangos. Aprašytas “viršūnės” siekimo algoritmas.  $\Delta P_{out}$  - galia iš inverterio,  $V_{inv}$ - inverterio įėjimo įtampa,  $m_a$ - inverterio modulcijos amplitudė.

1.2 pav. Didžiausio naudingumo sekimo algoritmas [3]

“Modelling and Control of a Wind Turbine Synchronous Generator” straipsnyje aptartas vėjo elektrinės kontrolės modeliavimo procesas, kai naudojamas sinchroninis generatorius.



1.3 pav. Vėjo elektrinės valdymo sistemos blokinė diagrama su sinchroniniu generatoriumi ir pilnu įtampos konvertavimu[4]

“Wind Turbine Generator Condition-Monitoring Using Temperature Trend Analysis“ straipsnyje analizuojama galimybė valdyti elektrinę stebint tik generatoriaus temperatūrą. Matomos gaunamos paklaidos, inertiškumai. Šitoks valdymas pernelyg inertiškas, kad būtų galima jį pritaikyti nedidelės galios elektrinėms [5]

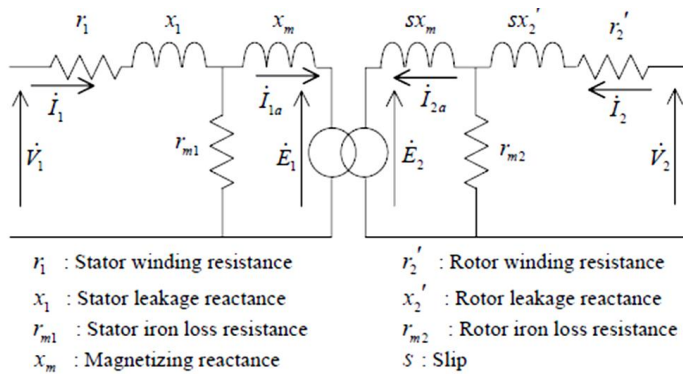
„Review of Failures and Condition Monitoring in Wind Turbine Generators“ straipsnyje nurodomi jutikliai, kurių reikia gedimų identifikavimui. Aptariamos gedimų tikimybės atskiruose mazguose, bei jų atvaizdavimas. Pastebima jog labai didelė gedimų tikimybė yra reduktoriuose. [6]

“Studies on a Wind Turbine Generator System Using a Shaft Generator System“ straipsnyje tyrinėjamas „ašinio“ tipo generatoriaus, plačiai naudojamo laivuose, pritaikymas vėjo elektrinei. Aptartas tokio generatoriaus valdymo sistemos algoritmas. [7]

„Efficiency Calculation of Wind Turbine Generation System with Doubly-Fed Induction Generator“ straipsnyje skaičiuojama dvigubos indukcijos generatoriaus efektyvumas, naudojant jį vėjo elektrinėje t.y. esant skirtingiems greičiams. Aptariami nuostoliai susidarantys magnetinėse grandinėse, mechaninėje dalyje.

Nuostolių reduktoriuje skaičiavimo formulė:

$$P_{Gear} = P_{Gearm} \frac{n}{n_{rated}} \quad (3)$$

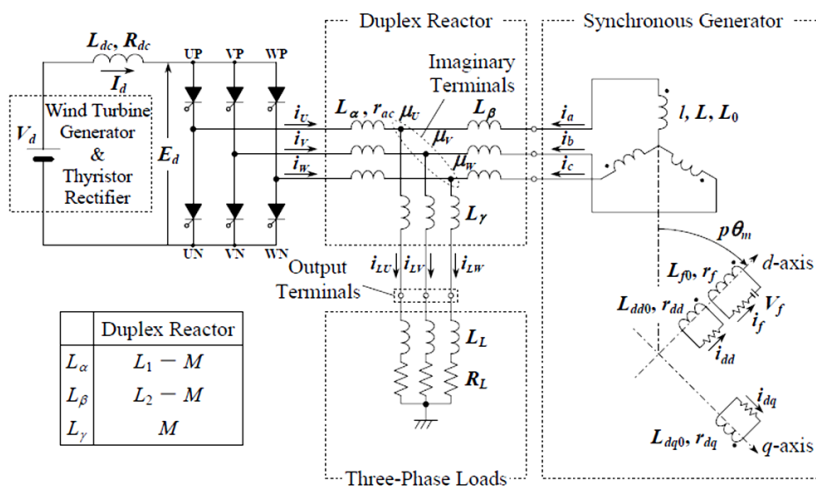


1.4 pav. Ekvivalentinė analizuojamo generatoriaus schema [8]

Statoriaus ir rotoriaus varinių apvijų nuostolių skaičiavimo lygtys:

$$\begin{aligned} \text{Stator side } P_{co1} &= r_1 \cdot (I_{11}^2 + I_{12}^2) \\ \text{Rotor side } P_{co2} &= r_2 \cdot (I_{21}^2 + I_{22}^2) \end{aligned} \quad (4)$$

„Dynamic Performance Analysis of A Hybrid Wind Turbine Generator System“ straipsnyje nagrinėjama hibridinė generatoriaus sistema. Analizuojama, kaip būtų galima sujungti du sinchroninius generatorius į vieną sistemą.



1.5 pav. Vėjo generatoriaus ir sinchroninio generatoriaus jungimo schema [9]

„Direct Grid Connection of a Slip-Permanent Magnet Wind Turbine Generator“ straipsnyje aptariamas generatorius apkrovos valdymas tristorine sistema tam, kad nebūtų generatoriaus desinchronizacijos, atliekamas tokios sistemos modeliavimas. [10]

„Optimal Design of Low-speed Permanent Magnet Generator for Wind Turbine Application“ straipsnyje apžvelgiamas vieno tipo generatorius. Šis generatorius pritaikytas nedideliems sūkiams, todėl galima jį naudoti nedidelio greičio vėjo jėgainėms. Atvaizduota kokią įtaką daro tinkamas apvijų suvyniojimas ir rotoriaus magnetų pločio parinkimas.

Lygtis nurodanti ryšį tarp statoriaus griovelių kiekvienai fazei ir skirtingo poliaus [11]:

$$q = \frac{Z_s}{2mp} = a + \frac{c}{d} \quad (5)$$

čia  $Z_s$ - statoriaus griovelių skaičius;

m- apvijų sk. fazėje;

p- polių porų skaičius;

a- integralas;

c/d nesuprastinama dalis.

„Design Optimization and Evaluation of Different Wind Generator Systems“ straipsnyje aptarta skaičiavimo metodika, kiek galima optimizuoti vėjo jėgainės valdymo sistemas ir kaip keičiasi valdymas nuo redukcijos lygių.

Nuostolių reduktoriuje priklausomybė nuo ašies sukimosi greičio:

$$P_{gear} = k_g P_N \frac{n_r}{n_{rN}} \quad (6)$$

čia  $P_n$  - elektrinės galia;

$k_g$  - reduktoriaus konstanta (vienos pakopos 1,5);

$n_r$  - rotoriaus greitis;

$n_{rN}$  - nominalus rotoriaus greitis.

Apvijų griovelio, oro tarpo ir apvijų indukcijos nuostoliai [12]:

$$L_{sm} = \frac{6 \cdot \mu_0 \cdot L_e \cdot r_s \cdot (k_w \cdot N_s)^2}{\pi \cdot p^2 g_{eff}} \quad (7)$$

čia  $k_w$  - apvijų faktorius;

$N_s$  - vijų skaičius apvijoje;

$r_s$  - oro tarpo spindulys;

$g_{eff}$  - efektyvus oro tarpas;

$L_e$  - ekvivalentinis šerdies ilgis;

$\mu_0$  - vakuumo laidumo konstanta;

p- polių porų skaičius.

„Design Optimization and Comparison of Large Direct-drive Permanent Magnet Wind Generator Systems“ straipsnyje apžvelgiama didelės galios horizontali vėjo elektrinė. Padarius tam tikrus konstrukcinius pataisymus, oro tarpų sumažinimu, apvijų griovelių gilinimu ir platinimu, platesnių magnetų naudojimu, pasikeitė generatoriaus naudingumas.

Pateikta elektroninio galios keitiklio nuostolių skaičiavimo formulė [13]:

$$P_{conv} = \frac{P_{convN}}{31} \left( 1 + 10 \frac{I_s}{I_{sN}} + 5 \frac{I_s^2}{I_{sN}^2} + 10 \frac{I_g}{I_{gN}} + 5 \frac{I_g^2}{I_{gN}^2} \right) \quad (8)$$

čia  $P_{convN}$  - nominali keitiklio galia;

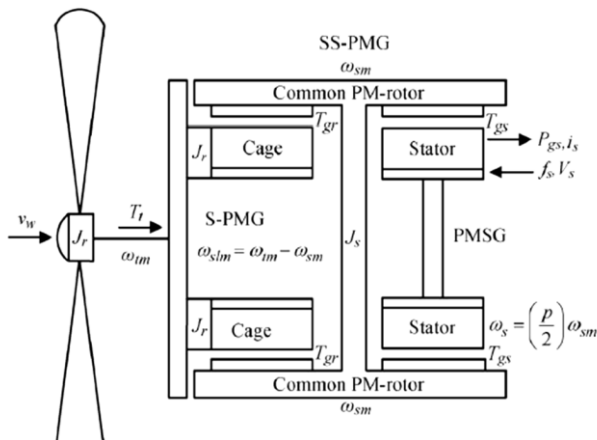
$I_s$  - generatoriaus srovė;

$I_{sN}$  - nominali keitiklio srovė generatoriaus pusėje;

$I_g$  - srovė tekanti iš keitiklio į tinklą;

$I_{gN}$  - Nominali keitiklio srovė tinklo jungimo pusėje.

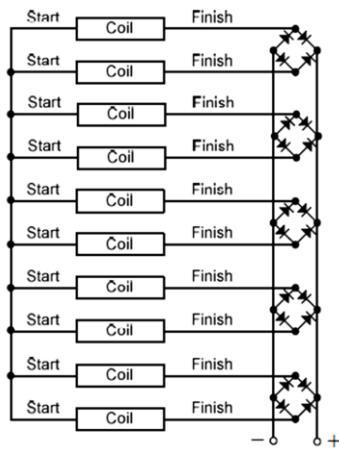
„Design of New Concept Direct Grid-Connected Slip-Synchronous Permanent-Magnet Wind Generator“ straipsnyje išsamiai išanalizuotas eksperimentinio tipo generatorius, jo konstrukcija bei savybės.



1.6 pav. Generatorius su dviem nepriklausomais rotoriais[14]

„Dynamic Magnetic Field Analysis and Optimum Design of Small-sized Wind Power Generator“ straipsnyje aptariamos magnetinių laukų ypatybės plokščiajame generatoriuje, tinkamiausios savybės tokio generatoriaus pritaikymui nedidelėje vėjo elektrinėje. Generatorius statorius be magnetolaidžio, vien tik apvijos, su tikslu panaikinti startini sukibimą. Atlikus bandymus gautas 20% naudingumas, naudojant generatorių prijungtą prie Savoniaus tipo sparnuotės. [15]

„Design and Construction of Axial Flux Permanent Magnet Generator for Wind Turbine Generated DC Voltage at Rated Power 1500 W“ straipsnyje analizuojamas autoriaus pagamintas plokščiasis generatorius. Generatoriaus apvijos sujungtos į penkias fazes ir pasirinkta 12 polių skaičius rotoruose. Atlikus eksperimentinius bandymus, su plokščiuoju generatoriumi, prie 25m/s vėjo gauta 1500W galia.



1.7 pav. Penkių fazių statoriaus jungimo schema. [16]

Pateikta vėjaračio generuojamos aerodinaminės galios lygybė:

$$P = 0.5\rho AC_p V^3 \quad (9)$$

čia  $\rho$ - oro tankis;

A- sparnuotės šluojamasis paviršius;

$C_p$ - sparnuotės kokybės koeficientas;

v- vėjo greitis.

„Application of Soft Magnetic Composites to PM Wind Generator Design“ straipsnyje vietoj plieninių magnetolaidžių siūloma tam tikro kompozito medžiagos pritaikymas generatorių konstrukcijoje. Palyginamos šios medžiagos savybės su plieninėmis savybėmis generatoriuje. Išvadose teigiama, kompozitinės medžiagos yra pranašesnės, kai reikia pagaminti mažų sūkių ir daug polių turinčius generatorius. [17]

„Design of a PM Wind Generator, Optimised for Energy Capture over a Wide Operating Range“ straipsnyje apžvelgiama generatoriaus polių skaičiaus ir galios priklausomybės skirtinguose vėjo greičių diapazonuose. [18]

„Wind Energy Conversion System Simulator using Variable Speed Induction Motor“ straipsnyje atliekama simuliacija vėjo generuojamos elektros energijos valdymui ir konvertavimui, kad būtų galima ją tiekti į tinklą. Taip pat atliekami pasirusošiamieji skaičiavimai simuliacijai. [19]

Vėjo energija tenkanti ploto vienetui:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V_w^3 \quad (10)$$

čia  $\rho$  - oro tankis;

A- srauto plotas

$V_w$ - oro masės greitis.

Elektros galios išraiška:

$$P_e = \eta_m \eta_g P_m \quad (11)$$

$\eta_m$  - reduktoriaus naudingumo koeficientas,

$\eta_g$  - generatoriaus naudingumo koeficientas.

„Development of Vertical Axial Wind Turbine driven by Three Hastate Windmill and Permanent Magnet Generator“ straipsnyje aptariamas eksperimentinis tyrimas, sukonstruotos vėjo elektrinės. Tiriamas nuolatinių magnetų generatorius. Analizuojama vėjo elektrinės sparnuotės konstrukcija. Atliekami sparnuotės naudingumo skaičiavimai.

Sparnuotės efektyvumo randamas:

$$\eta = \frac{E_o}{E_i} \times 100\% \quad (12)$$

Vėjaračio darbas randamas:

$$E_o = \frac{2\pi}{60} \times T \times n \quad (13)$$

čia T- vėjaračio sukuriama jėga Nm;

n- vėjaračio greitis aps/min;

Vėjo atliekamas darbas randamas:

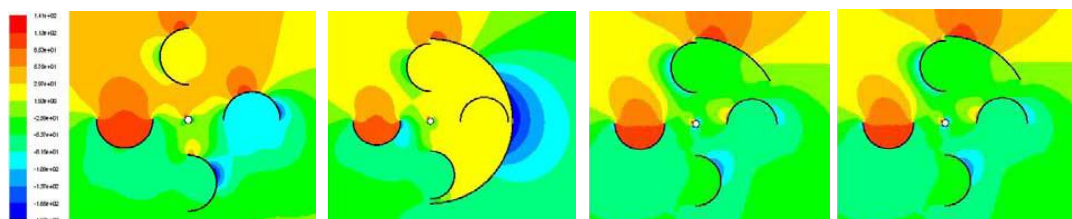
$$E_i = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \quad (14)$$

čia  $\rho$  - oro tankis;

A- plotas;

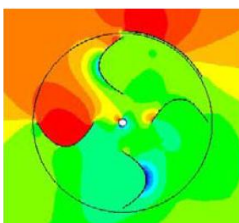
$V_w$ - oro masės greitis. [20]

“A new type of vawt and blade optimization” straipsnyje pasirinktas keturių sparnų vertikalaus ašies vėjaračio. Atlikti modeliavimai su skirtingais vėjo nukrypėjais.



1.8 pav. Vėjaračio simuliacijos duomenys (modeliavimo duomenys be nukreipėjo, su  $180^\circ$ , su  $30^\circ$  ir su  $45^\circ$  nukreipėjais).

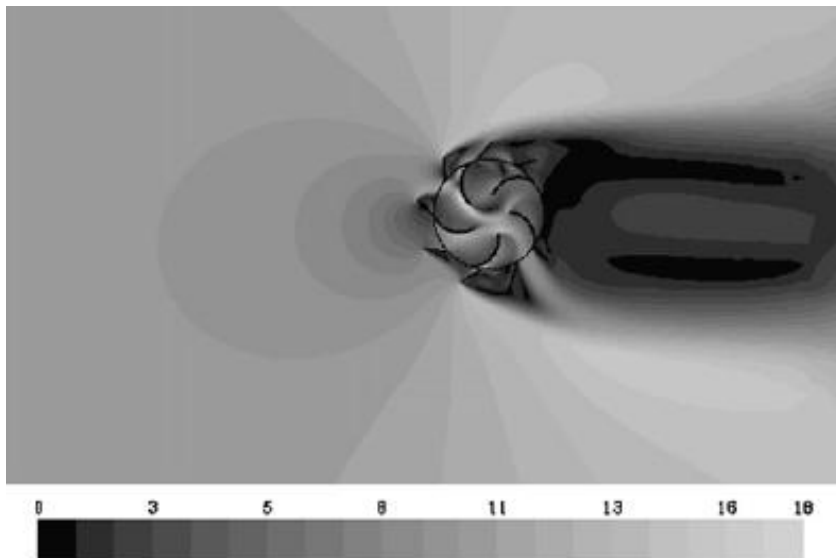
Patobulintos formos sparnuotė davė didesnę efektyvumą:



1.9 pav. Simuliacijos duomenys su pakeistos formos sparnais

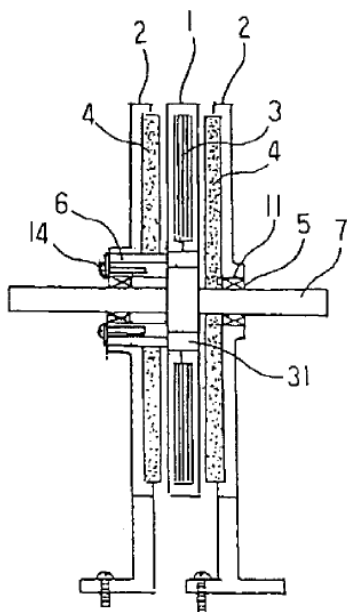
Modeliavimo metu nustatyta, jog sparnų formos net ir nedideli pakeitimai gali stipriai pakeisti rezultata [21]

„Energy and exergy efficiency comparison of horizontal and vertical axis wind turbines“ straipsnyje analizuojamos aerodinaminės savybės turbinos tipo vėjaračiuje. Lyginimai simuliacijų rezultatai su Savonius tipo vėjaračiais.



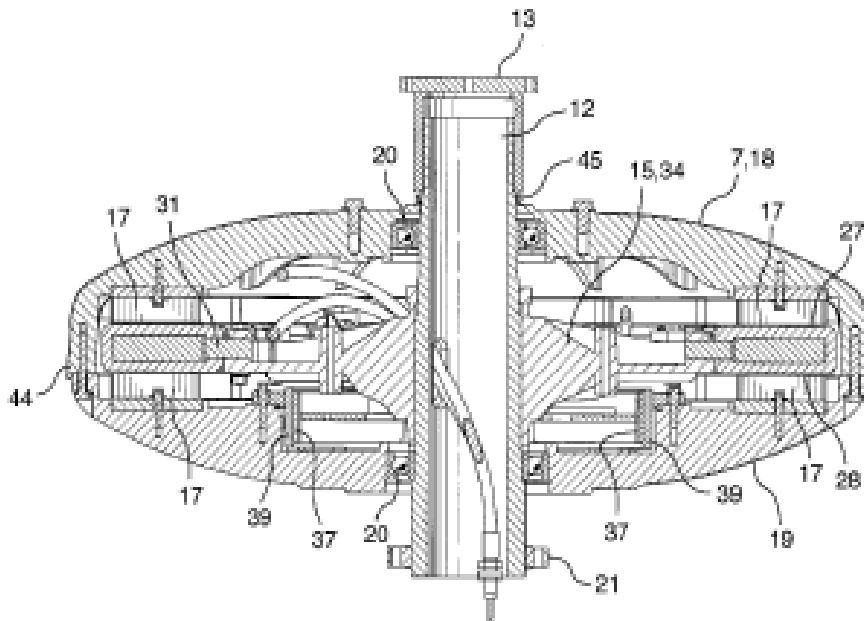
1.10 pav. Turbinos tipo vėjaračio simuliacijos duomenys- vėjo greitis [22]

Apžvelgti plokščiųjų generatorių patentai. Rastas patentas US 2008/0278014 A1 skirtas plokščiajam generatoriui. Šis generatorius turi du statorius, kuriuose sumontuoti nuolatiniai magnetai ir rotorius su apvijomis. Apvijų galai išvedami per šepetėlius ir kolektorių. Magnetai sumontuoti ant plastikinio paviršiaus be papildomo magnetolaidžio.



1.11 pav. Patentuotas plokščiasis generatorius (1- rotorius, 2- statoriai, 3- apvijos, 4- nuolatiniai magnetai, 5- guoliai, 6- šepetėliai ir 7- velenas) [22.1]

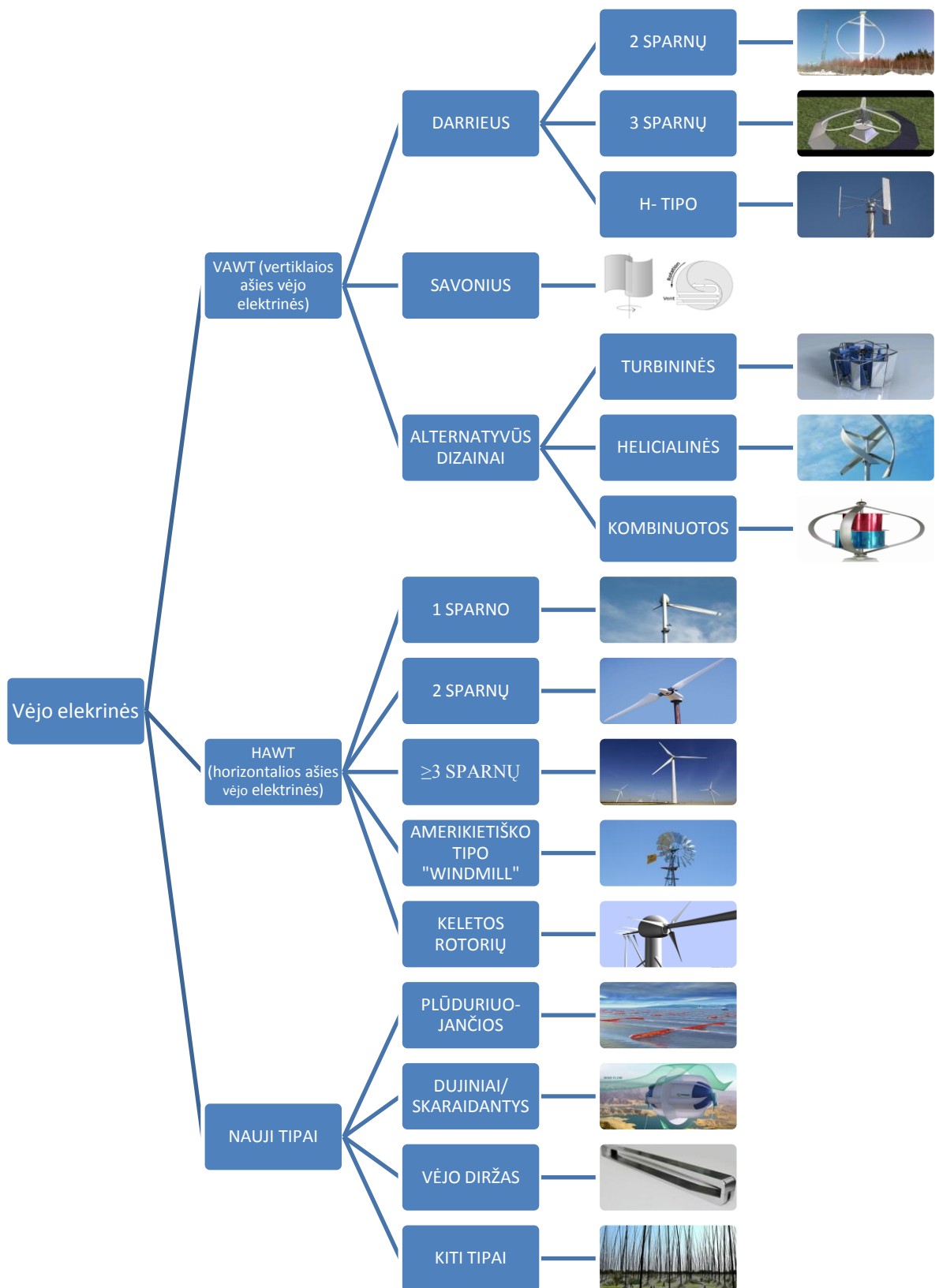
Dar vienas patentas rastas su plokščiuoju generatoriumi ir integruotu mechaniniu stabdžiu. Šis generatorius turi du rotorius ir vieną statorių kuriame yra patalpintos apvijos. Patentuotas rotorius yra didelė konstrukcijos dalis, t.y. magnetiniai diskai, viso generatoriaus korpusas.



1.12 pav. Patentuotas plokščiasis generatorius, (17- magnetai, 7,18,19,44- korpusas, 31- statorius, 28- apvijos, 20- guoliai, 37,39- stabdymo sistema, 12- stacionarus stovas, 13- apsauginis dangtis)

## 1.1 Vėjaračių apžvalga

Vėjo energiją - judančio oro srauto kinetinę energiją - mechaniniu darbu vėjo elektrinėse paverčia vėjaračiai, kuris suka generatorių, o jis gamina elektros srovę. Yra sukurta įvairių konstrukcijų vėjo elektrinių su skirtingų formų mentėmis, tačiau pagal vėjaračio ašies padėtį oro sraute galima išskirti dvi vėjo elektrinių grupes: su horizontaliaja vėjaračio ašimi, lygiagrečia tekančiam oro srautui, ir vertikaliaja ašimi, statmena oro srautui. Yra daug tipų sparnuočių ir su laiku jų vis daugėja.



1.13 pav. Vėjo elektrinių tipai pagal sparnus

Tyrimui pasirinkta vertikaliųjų ašies turbinų tipo sparnuotė turinti statorių ir rotorių. Šitokio tipo sparnuotė yra visiškai nepriklausoma nuo vėjo krypties. Taip yra todėl, kad visos sparnuotės yra simetriškai išdėstytos visomis kryptimis. Vėjas gali nuolat keisti savo kryptį, bet sparnuotė vis

tiesk jį sugaus. Tai itin svarbu vietose, kur vėjas būna turbolencinis nepastovios krypties, pvz. mieste.

Statorius- nejudanti vėjo elektrinės vėjamačio dalis, kuri šio tipo elektrinei suteikia tris pranašumus:

1. Jis tinkama linkme nukreipia oro srautus, taip leisdamas rotoriumi išvystyti didesnę galią;
2. Statorius sukuria tvirtą narvą, kurio viduje saugiai gali sukintis rotorius esant labai dideliems vėjams, siekiantiems net iki 60m/s;
3. Statorius arba vėjo nukreipėjai uždenkia dalį rotoriaus, tokiu būdu apsaugodami rotorius nuo vėjo, tose vietose, kuriose vėjas stabdytų sparnuotę.

Šitokio tipo sparnuotės neišvysto didžiulio greičio, bet sukuria didelį sukimo momentą. Todėl jos nekelia didelio triukšmo, neatsiranda didelių vibracijų. Šios savybės leidžia daug lengviau kontroliuoti elektrinės darbą, įvykus gedimui ar esant dideliame vėjui. Dėl mažesnių rotoriaus sukimosi greičių ir vibracijų, nei tradicinėse horizontalios ašies elektrinėse, pailgėja mechaninių dalių tarnavimo laikas, pvz.: guolių, dantračių.

## **1.2 Vėjo elektrinių poveikis aplinkai**

Vėjo elektrinių poveikis aplinkai yra santykinai nedidelis, lyginant su kitomis tradicinėmis elektrinėmis, tačiau jos vis tiek kelia tam tikrą susirūpinimą. Pagrindinis poveikis aplinkai arba net vėjo energetikos priimtumas vertinamas, atsižvelgiant į šiuos veiksniai:

- Triukšmas;
- Vizualinis (estetinis) poveikis;
- Saugumas ir įtaka gyvūnijai ir augalijai bei gamtinėms buveinėms;
- Elektromagnetiniai trikdžiai;
- Energijos kaina ir aplinkos teršimas;
- Reljefo formos suardymas (erozija);
- Šešėlių mirgėjimas;
- Šviesos atspindėjimas.

### **1.2.1 Triukšmas**

Judėdami vėjo turbinos sparnai kelia garsą, kuris pagal šaltinį gali būti mechaninis arba aerodinaminis:

- Greičių dėžė, generatorius ir guoliai kelia mechaninį triukšmą, kurio stiprumas priklauso nuo nominalios galios ir konstrukcijos. Kuo didesnė konversijos sistema, tuo didesnis ir triukšmas.
- Sklęsdamos per orą, rotoriaus mentės kelia aerodinaminį triukšmą, kurio garsumas priklauso nuo sukimosi greičio bei vėjo malūno sparnų formos ir savybių. Be to, svarbus ir oro srovės sukuriavimo stiprumas.



atidedami. Vertinant vizualinį poveikį, svarbu atskirti matomumą nuo vizualinio poveikio. Vizualinė įtakos zona (VIZ) apima žemės plotus aplink vėjo elektrines, iš kurių turbinos gali būti visiškai arba dalinai matomos.

Vėjo turbinų vizualinis poveikis priklauso nuo daugelio veiksnių. Kai kuriuos jų galima išmatuoti, kiekybiškai įvertinti arba modeliuoti, naudojant tam tikras priemones, pvz. atstumą nuo stebėtojo iki vėjo elektrinių, turbinų dydį ir tipą, sparnų skaičių, rotoriaus sukimosi greitį, vėjo turbinų spalvą, vėjo turbinų išsidėstymą teritorijoje, aplinkos apšvietimo sąlygas, oro sąlygas, esamą regėjimo lauką ir aplinkiniame kraštovaizdyje matomus elementus. Šiuos ir daugelį kitų veiksnių galima objektyviai įvertinti, tačiau kiekvieno jų įtaka skirsis, priklausomai nuo vietos, iš kurios bus stebima vėjo elektrinė.

### **1.2.3 Saugumas ir poveikis gyvūnijai bei augalijai**

Daugumoje vėjo energetiką plėtojančių valstybių buvo atlikti išsamūs tyrimai, kaip vėjo turbinos veikia paukščių gyvenimą. Paprastai svarbiausiu dalyku laikytas paukščių susidūrimo su vėjo malūnais dažnumas, tačiau taip pat tirta ir turbinų įtaka paukščių ramybei ir maisto ieškojimui. Susirūpinimas dėl poveikio paukščiams yra suprantamas. Kartais paukščiai žūva, atsitrenkę į rotoriaus sparnus. Naujausia technologinė pažanga sumažino pavojų migruojantiems paukščiams, padidindama pramoninių elektrinių menčių dydį ir pagerindama jų matomumą, sumažindama sukimosi greitį, taip pat panaudodami vamzdinius stiebus su vidinėmis kopėčiomis ir požeminėmis instaliacijomis, nebesudaro sąlygų tupėjimui ir lizdų sukimui ant pačios konstrukcijos.

### **1.2.4 Elektromagnetiniai trikdžiai**

Vėjo elektrinėse esantys generatoriai turi nuolatinių magnetų, kurie nuolat aplink save kuria magnetinį lauką. Kuo didesnės galios generatorius tuo magnetinis laukas yra stipresnis ir aprėpia didesnę plotą. Veikiant elektrinei šie magnetiniai laukai yra iškraipomi ir jie tampa nebepastovūs.

Kaip ir kitos konstrukcijos, didelės vėjo turbinos gali skaidyti elektromagnetinio ryšio (taip pat televizijos) signalus. Tai vyksta, kai vėjo turbinų dydis yra panašus į perduodamų televizijos ir radijo signalų bangų ilgį. Besisukančios vėjo turbinų dalys gali kelti radijo transliacijos trikdžius. Metaliniai rotorai atspindi radijo bangas ir trukdo radijo ir televizijos bangų priėmimui. Atidžiai parinkus vėjo turbinų vietą ir atlikus nedidelį techninį reguliavimą, galima pašalinti radijo ir televizijos signalų potencialius trikdžius telekomunikacijų sistemose.

### **1.2.5 Energijos kaina**

Vėjo turbinų ir vėjo energijos konvertavimo įrangai naudojamos medžiagos yra brangios, todėl energijos kainą reikėtų įvertinti, atsižvelgiant į vėjo turbinų dydį, jų tipą ir instaliuotą galią. Elektrinės kainą labiausiai įtakojantys elementai yra retieji Neodimio nuolatiniai magnetai, bei

elektros energijos konvertavimo įrangoje naudojami taurieji metalai. Didelei kainai įtakos turi ir infrastruktūros, reikalingos elektrinių įrengimui, atsiperkamumas.

### **1.2.6 Reljefo formos suardymas**

Pasitaikė atveju, kada vėjo elektrinių parko statyba sukėlė dirvožemio eroziją. Tokios problemos galima išvengti, statybos projektavimo pradžioje pakankamai dėmesio skiriant dirvožemio apsaugai ir erozijos reguliavimo priemonėms. Faktiškai, tai galima daryti vykdant bet kokio pobūdžio statybą, lengvai erozijos paveikiamoje vietovėje. Tačiau šiuo metu vyrauja bendra nuomonė, kad vėjo elektrinių poveikis aplinkai yra nedidelis.

### **1.2.7 Šešėlių mirgėjimas**

Tam tikroje geografinėje padėtyje ir esant tam tikram dienos metui, saulė gali užėti už vėjo turbinų sparnų ir mesti šešėlį. Sparnams sukantis, šešėlis ima mirgėti. Šis poveikis pasireiškia tik pastatuose, kur mirgėjimas patenka į vidų per langą, žinoma, jeigu pastatas stovi arčiau negu rekomenduojama. Tačiau tai yra didelė problema, kai norima statyti vėjo elektrines labiau urbanizuotose vietovėse, nes mirgėjimo efektas manoma sukelia diskomforto pojūtį, kai kuriais atvejais gali sukelti net ir onkologinius susirgimus.

Atsižvelgiant į šiuos faktus ieškoma būdų kaip būtų galima šį efektą sumažinti, o ateityje galbūt ir panaikinti.



1.15 pav. Mirgėjimo efektas labiausiai pastebimas pastatuose

### **1.2.8 Šviesos atspindėjimas**

Tam tikromis sąlygomis judantys vėjo turbinų sparnai gali atspindėti saulės šviesą. Atspindėtos šviesos kiekis priklauso nuo sparnų paviršiaus apdailos ir šviesos kritimo kampo. Tokie atspindžiai gali sukelti net avarines situacijas pvz. važiuojant automobiliu arba skrendant lėktuvu, vairuotojas apakinamas ryškaus saulės atspindžio. Šiam efektui sumažinti dabar yra parenkami neatspindintys dažai ar jau iš karto konstrukcinės medžiagos.

## 1.3 Vėjo elektrinę apibūdinantys parametrai

Nedidelės galios vėjo elektrinės apibūdinantys projektiniai parametrai

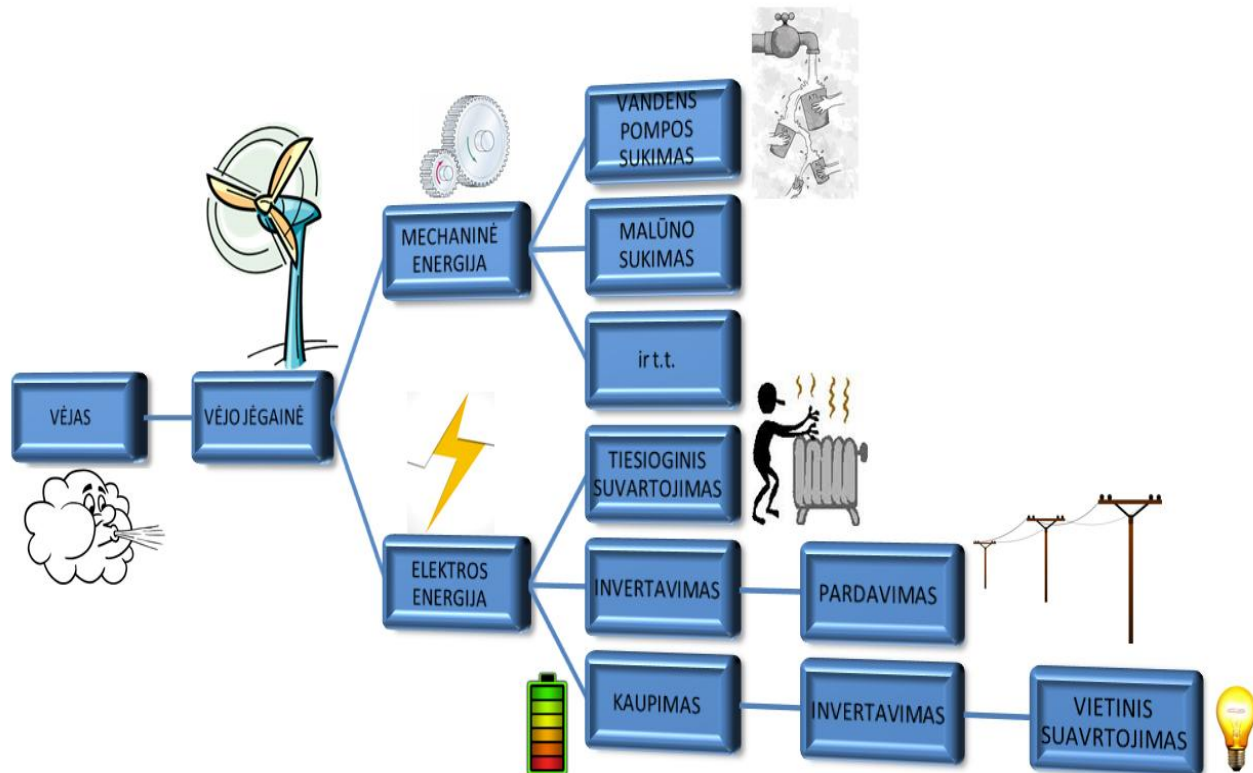
- Mašinos parametrai:
  - vardinė galia [W]
  - stebulės aukštyje darbinio vėjo greičių intervalas  $V_{in} - V_{out}$  [m/s]
  - projektinė darbo trukmė [metai]
- Vėjo sąlygos:
  - metinis vidutinis vėjo greitis [m/s]
  - vidutinė vėjo srauto kryptis [°]
  - turbulencijos modelis ir parametrai
  - stebulės aukštyje ekstremalusis vėjo greitis  $V_{e1}$  ir  $V_{e50}$  [m/s]
    - ekstremaliojo gūσιο modelis ir parametrai, kurie pasikartoja vidutiniškai kartą per 50 metų
- Elektros tinklo sąlygos:
  - normalaus tiekimo įtampa ir intervalas [V]
  - normalaus tiekimo dažnis ir intervalas [Hz]
  - didžiausia elektros tinklo prastovos trukmė [paros]
  - elektros tinklo prastovų skaičius [1/m.]
- Kitos aplinkos sąlygos:
  - projektinės sąlygos mažosios jūrinės vėjo turbinos naudojimo atveju (vandens gylis, bangų sąlygos ir kita)
  - normaliosios ir ekstremaliosios temperatūros intervalai [°C]
  - santykinė oro drėgmė [%]
  - oro tankis [kg/m<sup>3</sup>]
  - lietus, kruša, sniegas ir apledėjimas
  - chemiškai aktyvios medžiagos
  - mechaniškai aktyvios dalelės
  - apsaugos nuo žaibo sistemos aprašas

### 1.3.1 Naudingumo rodiklis

Svarbiausias vėjo elektrinės rodiklis - našumas, t. y., kiek ji gali pagaminti elektros energijos, pavyzdžiui, per metus. Našumą, be įvairių kitų veiksnių, lemia vėjaračio darbo plotas, dar vadinamas vėjaračio „šluojamuoju“ plotu, kurį jis besisukdamas užima erdvėje. Reikia žinoti tai, kad vėjaračio išvystoma galia yra mažesnė už vėjo srauto galią, nes jis negali panaudoti visos oro

srauto kinetinės energijos. Oro srautas, praėjęs pro vėjaračio „šluojamąjį“ plotą ir atidavęs vėjaračiui dalį savo energijos, dar privalo turėti tam tikrą greitį, kad pasitrauktų, netrukdydamas atitekančiam oro srautui.

Kokią vėjo srauto galios dalį vėjaratis paverčia mechanine galia, parodo galios koeficientas, vadinamas vėjo energijos išnaudojimo koeficientu. Teoriškai yra apskaičiuota, kad idealus vėjaratis gali panaudoti tik 59,3 proc. oro srauto energijos, t. y. idealaus vėjaračio galios koeficientas yra 0,593. Tai riba, prie kurios gali tik priartėti realių vėjaračių galios koeficientai. Tobuliausių šiuo metu gaminamų dvimenčių ir trimenčių horizontaliosios ašies vėjaračių didžiausia pasiekama galios koeficiento reikšmė yra 0,45-0,48. Vertikaliosios ašies vėjaračių su specialaus aerodinaminio profilio mentėmis galios koeficiento reikšmė yra 0,3-0,35, o Savoniaus tipo vėjaračių galios koeficientas tesiekia 0,2-0,25. Todėl vertikaliosios ašies vėjaratis pagamins beveik trečdaliu mažiau elektros energijos, negu trijų menčių horizontaliosios ašies tokio paties „šluojamojo“ ploto vėjaratis. Taigi, energetiniu požiūriu vertikaliosios ašies vėjaračiai yra mažiau efektyvūs.



1.16 pav. Vėjo energijos panaudojimo galimybių medis

## 1.4 Vėjo energijos panaudojimas

Vėjo malūnų energija gali būti naudojama dviem būdais:

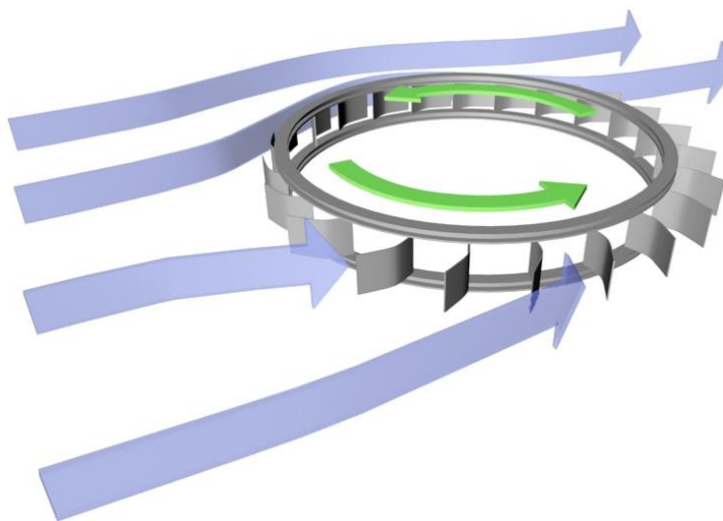
- Mechaninę energiją jau labai senai yra naudojama vandens pompų, malūnų sukimui. Mechaninis sukimo momentas tiesiogiai perduodamas kokiam nors darbo organui.
- Atsiradus galingiems nuolatiniams magnetams, labai populiariu tapo statyti generatorius, kurie mechaninę energiją iškart keičia elektrine energija. Ši elektros energija gali būti iškart

paverčiama į šilumą, bet taip pat galima ją invertavus atiduoti į elektros tinklus. Dar vienas variantas yra kaupti generuojamą energiją akumuliatoriuose ir vėliau invertavus (jei to reikia) panaudoti įvairiems prietaisams maitinti.

### 1.5 Vėjo elektrinės su vertikaliąja ašimi

Absoliuti dauguma dabar statomų vėjo elektrinių, kurių galia būna nuo 100 W iki kelių megavatų, yra su horizontaliąja vėjaračio ašimi. Tačiau pastaraisiais metais įvairios firmos individualių sodybų energetiniams poreikiams tenkinti siūlo palyginti nedideles iki kelių kilovatų galios vėjo elektrines, turinčias vertikaliąsias ašies vėjaračius. Tokios elektrinės, kaip teigia gamintojai reikalauja mažiau priežiūros, kelia mažesnę triukšmą, labiau atsparios ekstremalioms oro sąlygoms.

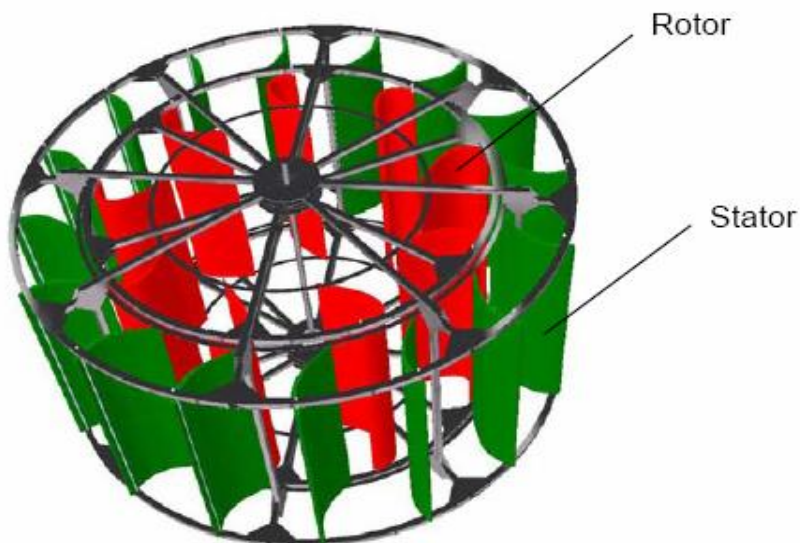
Vertikaliąsias ašies vėjo elektrinės turi keletą esminių privalumų, palyginant su įprastomis trijų sparnų vėjo elektrinėmis. Jų konstrukcija paprastesnė, nes nereikalingi įtaisai, nukreipiantys vėjaratį pagal vėjo kryptį. Be to, tokių vėjaračių menčių gamyba gali būti pigesnė, nes menčių profilis per visą ilgį yra vienodas, o horizontaliosios ašies vėjaračių mentės plotis, storis ir sukimo kampas yra tolygiai kintantys per visą ilgį. Vertikaliąsias ašies vėjaračiai gali būti specialaus aerodinaminio profilio vertikaliomis mentėmis, bet gali būti ir paprasto lovio ar sraigto formos mentėmis pavyzdžiui Savoniaus rotoriai.



1.17 pav. Vertikaliąsias ašies sparnuotės vėjo pasipriešinimo schema [25]

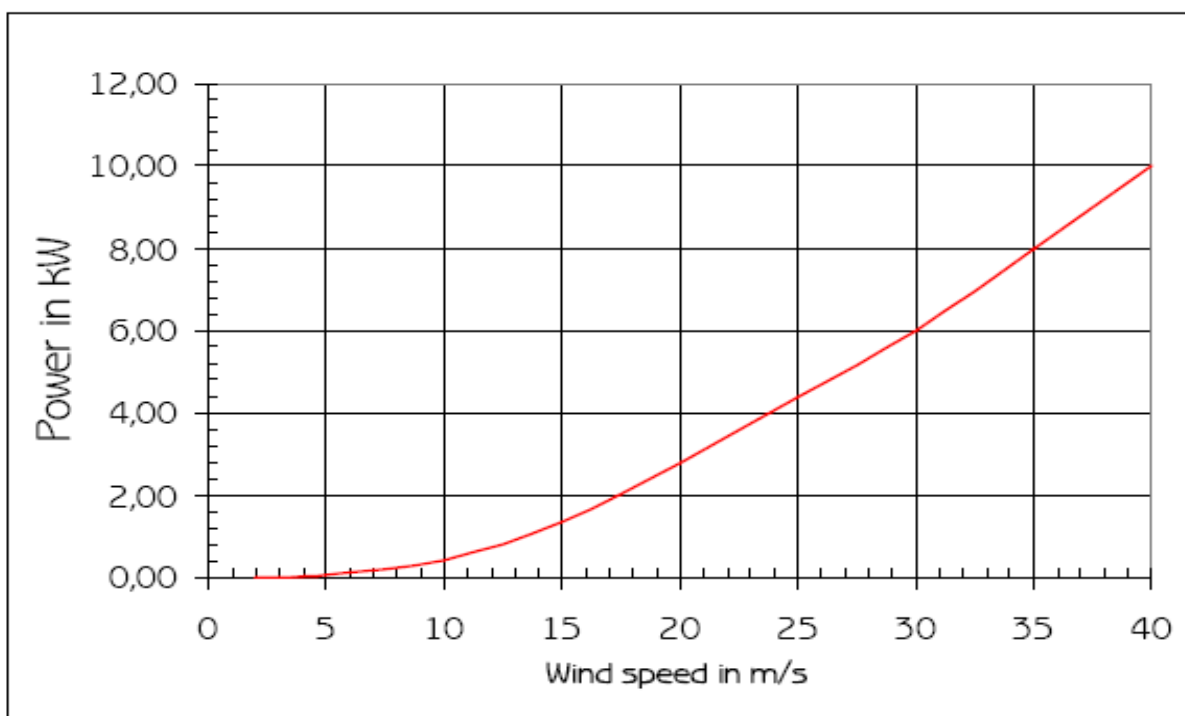
## 1.6 Vertikalios ašies komerciniu būdu platinamos vėjo elektrinės

### 1.6.1 Statoeolien GSE 4 vėjo elektrinė



1.18 pav. Statoeolien vertikalios ašies vėjo elektrinė [26]

- Diametras / aukštis : 4m / 1,5 m
- Startinis vėjas : 2 m/s
- Maksimalus darbinis vėjas : 60 m/s
- Galia prie 15 m/s : 1,3 kW
- Galia prie 25 m/s : 4,4 kW
- Galia prie 40 m/s : 10 kW
- Sukimosi greitis : 0 -120 rpm
- Generatorius : Sinchroninis nuolatinių magnetų
- Svoris : 800 kg



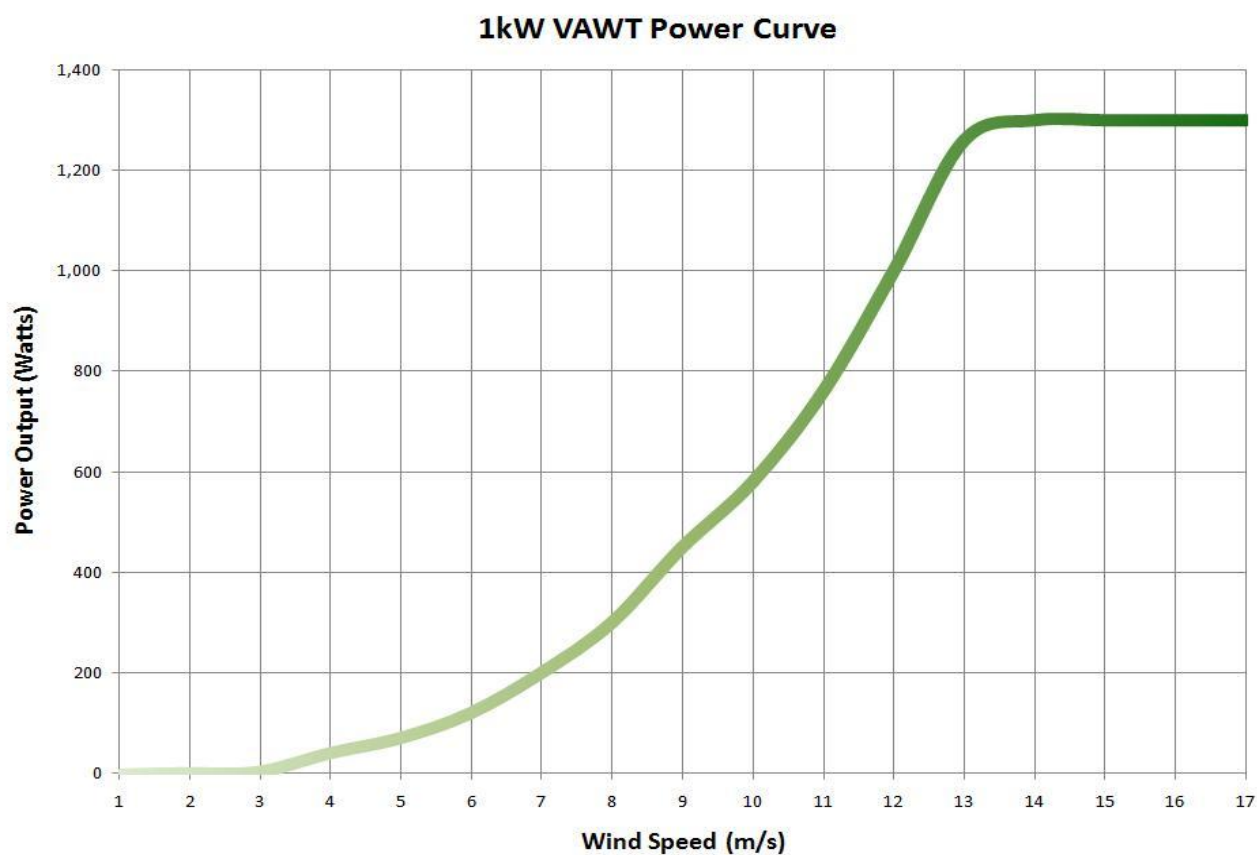
1.19 pav. Statoeolien vėjo elektrinės galios kreivė [26]

## 1.6.2 Urban Green Energy vėjo elektrinė

- Diametras / aukštis : 1,8m / 2,7m
- Startinis vėjas : 3 m/s
- Maksimalus darbinis vėjas : 30 m/s
- Galia prie 7 m/s : 0,2 kW
- Galia prie 10 m/s : 0,6 kW
- Galia prie 15 m/s : 1,3 kW
- Sukimosi greitis : 0 -180 rpm
- Generatorius : Sinchroninis nuolatinių magnetų
- Svoris : 175 kg



1.20 pav. Urban Green Energy vėjo elektrinė [27]



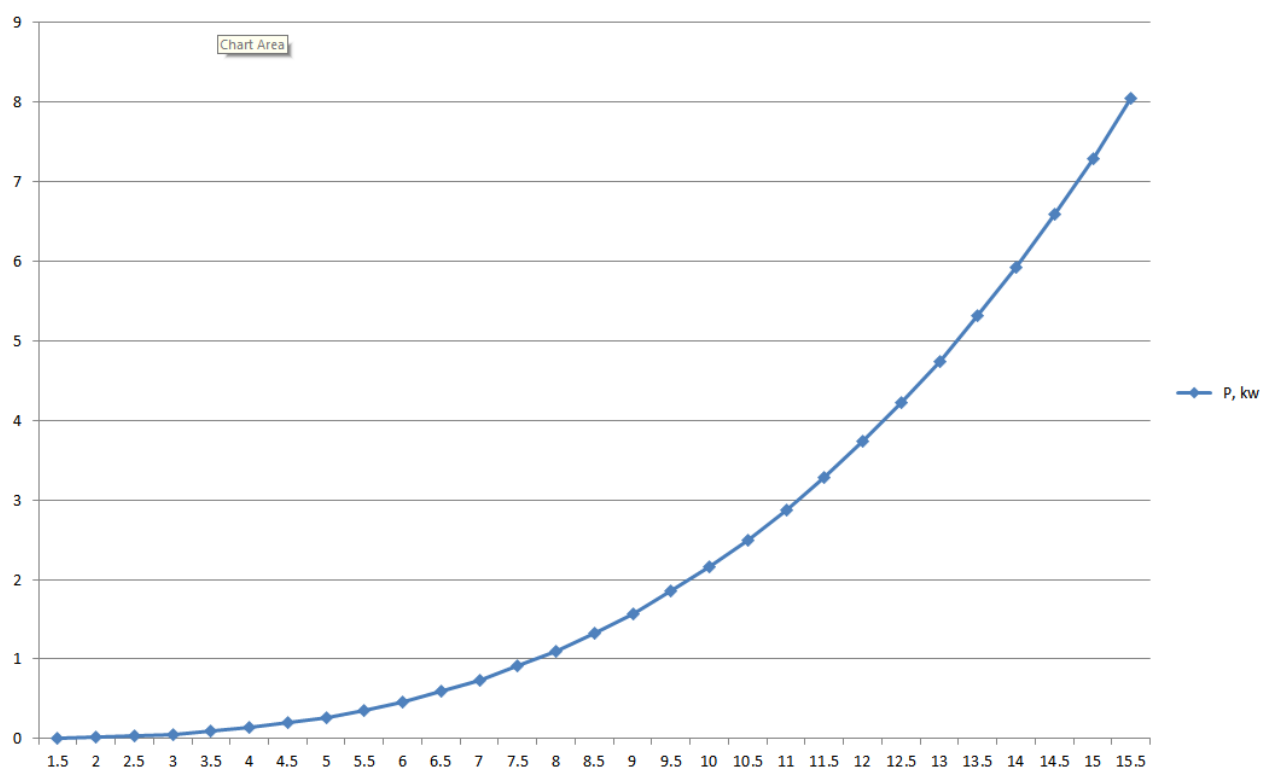
1.21 pav. Urban Green Energy vėjo elektrinė galios kreivė [27]

### 1.6.3 Astralux Ltd 2kW vėjo elektrinė



- Diametras / aukštis : 4m /2m
- Visos konstrukcijos aukštis 4m
- Startinis vėjas : 1,5 m/s
- Maksimalus darbo vėjas: 40 m/s
- Galia prie 8 m/s : 1 kW
- Galia prie 11,5 m/s : 3 kW
- Galia prie 14 m/s : 5 kW
- Sukimosi greitis : 0 -110 rpm
- Generatorius : Sinchroninis nuolatinių magnetų
- Svoris : X kg

1.22 pav. Astralux Ltd vėjo elektrinė [28]



1.23 pav. Astralux Ltd 2kW elektrinės galios priklausomybė nuo vėjo greičio [28]

## **1.7 Teisiniai įstatymai mažoms vėjo elektrinėms ir jų statybai Lietuvoje**

**Statybos techninis reglamentas STR1.01.07.2010 „Nesudėtingi statiniai“ (Žin., 2010, Nr. 115-5903) [29]**

Inžineriniai statiniai 2 lentelė eilutė nr. 12

Nedidelės galios vėjo elektrinės priskiriamos prie inžinerinių statinių. Inžineriniai statiniai skirstomi į I grupės ir II grupės nesudėtingus statinius. I grupei priskiriamos vėjo elektrinės, kurių aukštis iki 10m ir galia 0,5-10kW. II grupei priskiriamos vėjo elektrinės, kurių aukštis neviršija 15m ir galia yra 10-30kW. Jei vėjo elektrinė montuojama ant kokio nors pastato ar įrenginio aukštis matuojamas nuo žemės paviršiaus.

Žemės sklype kaip nesudėtingas statinys, gali būti statoma viena vėjo elektrinė.

Elektrinės statymo atstumas iki kaimyninio sklypo ribos gali būti sumažintas, jei gautas gretimo sklypo savininko (naudotojo) sutikimas raštu.

Vėjo elektrinių, kurių statybinės konstrukcijos yra iki 2,2 m aukščio, nelaikomi nesudėtingais statiniais ir joms netaikomos Statybos įstatymo statiniams nustatyti reikalavimai.

Vėjo elektrinėms, aukštesnėms kaip 10 m (aukštis matuojamas įskaitant sparnų ilgį) ar turinčioms 2 ar daugiau turbinų, atliekama atranka dėl poveikio aplinkai vertinimo.

**Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas (Žin., 2011, Nr. 62-2936); [30]**

49 straipsnis. Atsinaujinančių išteklių energiją naudojančių energijos gamybos įrenginių projektavimo ir statybos reikalavimai

6.2 Vėjo elektrinės žemės sklype turi būti įrengtos taip, kad trumpiausias atstumas iki sklypo ribos būtų didesnis už įrenginio ilgį, plotį arba aukštį pasirenkant didžiausią iš šių trijų matmenų. (Šis atstumas gali būti sumažintas, jei gautas gretimo sklypo savininko (naudotojo) sutikimas raštu.)

Šie įrenginiai įrengiami pagal atitinkamų įrenginių gamintojo įrengimo ir eksploatavimo taisykles. Joms netaikomi žemės paskirties atitikties reikalavimai, poveikio aplinkai vertinimo procedūra, nereikalingas leidimas statyti ir poveikio visuomenės sveikatai vertinimas. Gretimuose gyvenamosios paskirties sklypuose vėjo elektrinės skleidžiamo triukšmo lygis turi atitikti sveikatos apsaugos ministro nustatytus triukšmo ribinius dydžius.

## 2 TYRIMO METODAI IR MEDŽIAGA

### 2.1 Tyrimo objekto pasirinkimas

Tyrimui pasirinktas plokščiojo tipo generatorius, kuris aprašytas straipsnyje „Dynamic Magnetic Field Analysis and Optimum Design of Small-sized Wind Power Generator“. Šis generatoriaus tipas ypatingas tuo, jog statorius neturi magnetolaidžių, sukuriančio statoriaus ir rotorius sukibimo jėgas. Dėl šios priežasties šitokio tipo generatorius plačiai naudojamas vertikaliuos ašies vėjo elektrinėse, kurių sukimosi greitis yra nedidelis. Dėl mažo vertikaliuos ašies vėjo elektrinių sukimosi greičio, naudojamas lėtų sūkių generatorius arba yra montuojamas reduktorius.

Minėtame straipsnyje aptartas generatorius ir pateikta išvada, jog atlikus eksperimentinius matavimus, naudojant generatorių kartu su Savoniaus tipo vėjaračiu, gautas 20% elektrinės naudingumas. Tai vienas iš mažiausių efektyvumo rodiklių vėjo elektrinėse, bet toks rezultatas vertikaliai vėjo elektrinei yra pakankamai geras.

Taip pat buvo atliekama apžvalga Klaipėdos rajone eksploatuojamų nedidelės galios įvairių tipų vėjo elektrinių. Buvo įvertinama generatoriaus konstrukcija, kokiuose greičių diapazonuose eksploatuojamas generatorius. Buvo konsultuojamasi su elektrinės eksploataciją atliekančiais asmenimis.

Apžvelgus patentinę informaciją apie plokščiuosius generatorius, pasirinktas paprasčiausios konstrukcijos generatorius: du rotoriai su nuolatiniais magnetais ir vienas statorius su apvijomis be magnetolaidžių. Tyrimui parinktas trijų fazių, nuolatinų magnetų, vidutinio greičio generatorius (300-1100 aps/min). Šitokie generatoriai buvo naudojami vertikaliuose tijų menčių individualiai gamintose elektrinėse, esančiose Klaipėdos rajone. Todėl nutarta atlikti tyrimą tokio generatoriaus pritaikyme mažų sūkių vertikaliuos ašies elektrinėje.

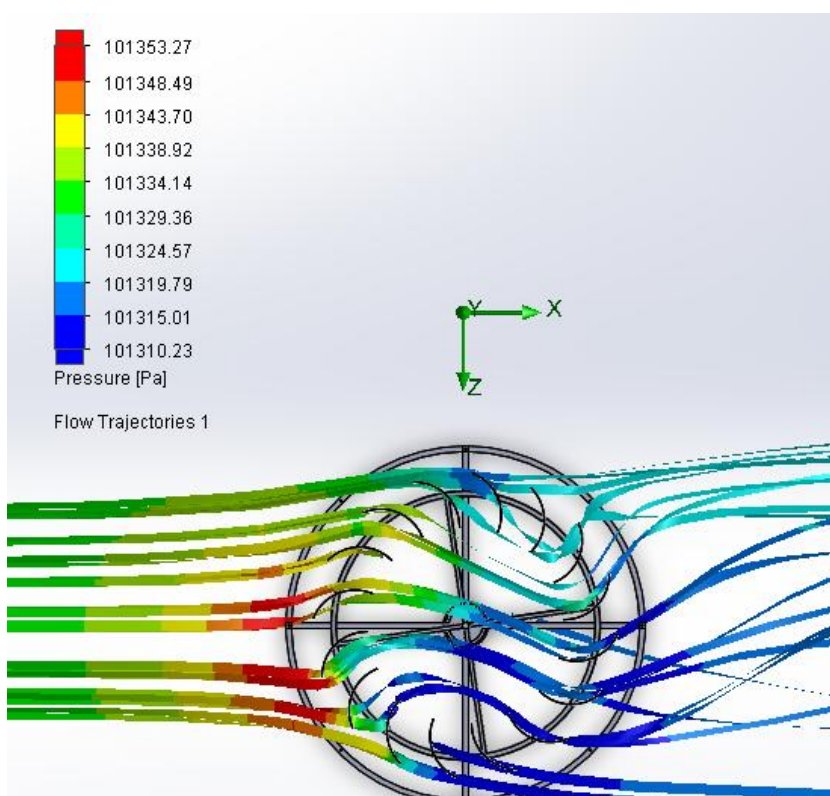
Tyrimo generatoriui preliminarūs duomenys pasirinkti, apžvelgus Lietuvoje populiaraus vėjo energetikos tyrinėtojų internetinį puslapį [www.zir.lt](http://www.zir.lt). Įvertinus keletą forumuose aptartų pačių autorių gamintų generatorių duomenis, nuspręsta gaminti panašių parametrų generatorių, kuris buvo aprašytas vienoje iš forumo temų. Generatorius pagamintas naudojant 50x25x12mm dydžio 24 magnetus rotoriuose, o statoriaus devynios ritės suvyniotos iš dvigubos 1,52mm varinės vielos. Ritėse sutalpinta 60 vijų ir sujungtos taip jog gaunamas trifazis generatorius. Aprašytas generatorius su 1,4 omų apkrova ties 315 aps/min greičių išvysto 1446W. [30.1] Tam, kad įvertinti duomenų patikimumą tyrimų autorius buvo nuvykęs prie jau veikiančios elektrinės.

Generatoriaus sukimui pasirinktas turbinos principo vėjaratis. Toks vėjaratis turi galimybę dirbti plačiame vėjo greičių diapazone (0-60m/s). Šio tipo vėjaračiai geriau funkcionuoja urbanistinėse teritorijose, lyginant su kito tipo elektrinėmis. Kadangi vėjo elektrinės bandymų vieta numatyta kur yra daug sūkių bei vėjo kryptis nuolat besikeičianti, šio tipo vėjaratis tinkamiausias.

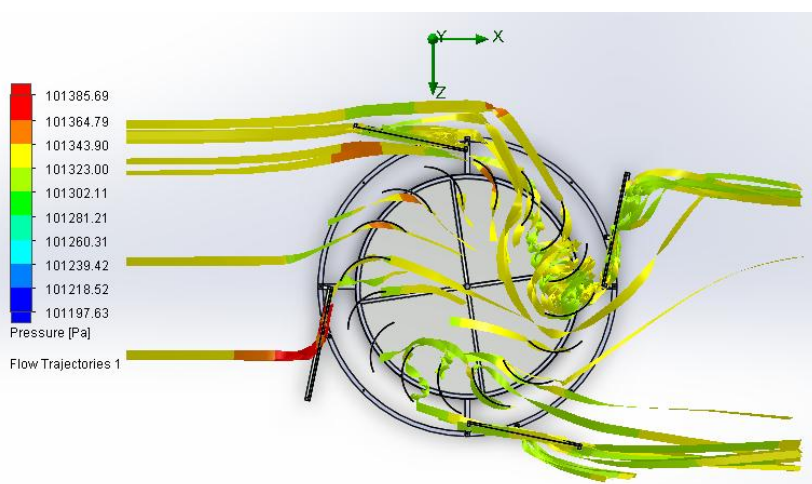
Turbinos tipo vėjaračio parametrų parinkimas buvo atliekamas, modeliuojant vėjaračių “Solidworks flow simulation” programa. Įvertinus straipsnyje “A new type of vawt and blade optimization” [21] ir straipsnyje “Energy and exergy efficiency comparison of horizontal and vertical axis wind turbines” [22] aptartus vėjaračių duomenis, buvo pasirinktas 16 sparnų rotorius. Atliktos simuliacijos “Solidworks” programoje parodė jog vėjaračio naudingumą galima padidinti montuojant vėjo nukreipimo sistemas.

Atikti modeliavimai, kad būtų įvertintas oro slėgio pasiskirstymas vėjaračiuje. Modeliavimo sąlygos:

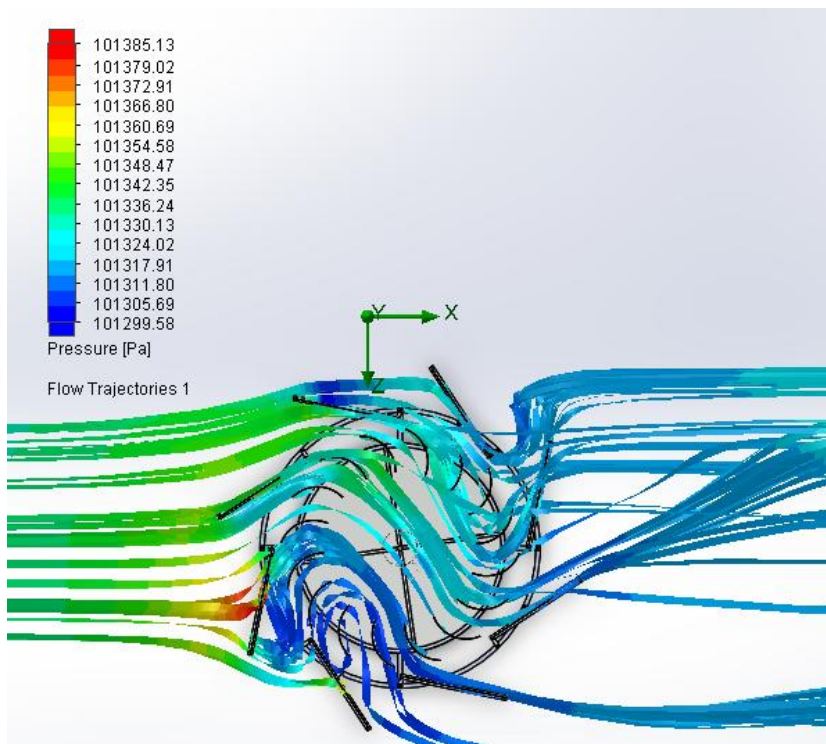
- oro srauto judėjimas 10m/s;
- oro srauto judėjimo kryptis x ašies atžvilgiu.



2.1 pav. Duomenys, kai vėjo srautai nėra papildomai nureipiami



2.2 pav. Modeliavimo duomenys su keturiais vėjo nukreipėjais



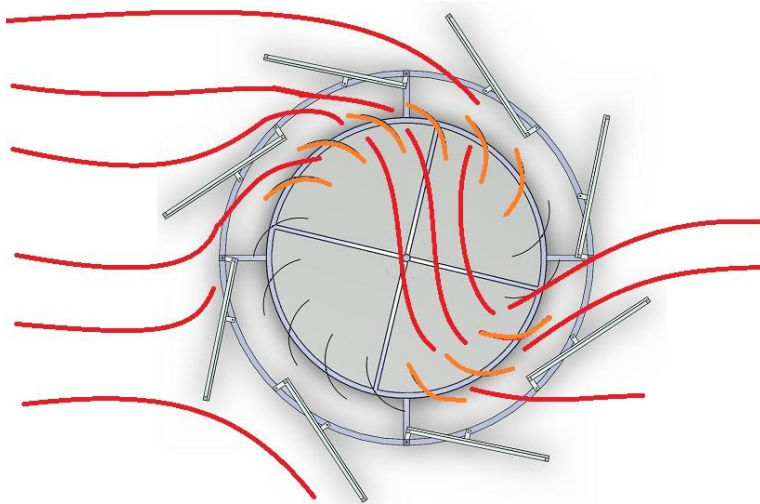
2.3 pav. Modeliavimo duomenys su aštuoniais vėjo nukreipėjais

Atlikus modeliavimą buvo nustatyta jog vėjo elektrinės vėjaratis, su aštuoniais vėjo nukreipimo sparnais, turi geresnes aerodinamines savybes, t.y. didesnis oro srauto kiekis pratekantis per vėjaratį yra nukreipiamas taip, kad sukuria didesnę sukimo momentą.

## 2.2 Sukamojo ploto apskaičiavimas

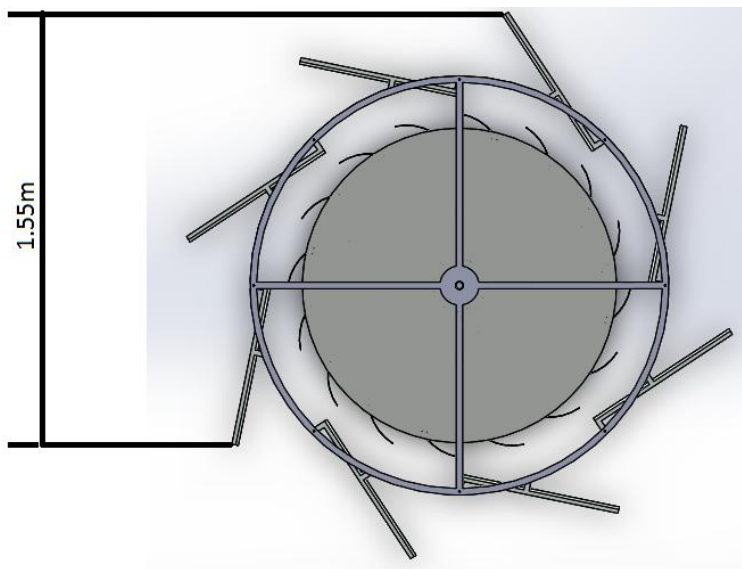
Sukamasis plotas yra svarbus rodiklis, kuris nurodo, koks plotas visos sparnuotės vienu laiko momentu atlieka naudingą darbą. Todėl reikia atlikti šio ploto skaičiavimus. 2.4 paveiksle, kuriame pavaizduotos oro srauto linijos, matome, jog vidutiniškai nuolat sukamąjį momentą kuria 8-9 rotoriaus mentės.

Vienos sukimo mentės matmenys 1,25m aukštis ir 0,3125m plotis. Tokios mentės sukimo plotas yra  $0,39\text{m}^2$ . Įvertinus konstrukciją nustatyta, jog nuolat išnaudojama  $\frac{1}{2}$  visų elektrinės rotoriaus sparnų ploto. Gauname- iš  $6,25\text{m}^2$  sparnų ploto, sukamąjį momentą kuria  $6,25/2=3,13\text{m}^2$



2.4 pav. Oro srautai vėjo elektrinėje

Taip pat svarbus yra plotas, iš kurio yra nukreipiami oro srautai. Kuo didesnę plotą oro srautų sukonzentruojama į vėjaratį, tuo didesnę galią galima išgauti. Išmatavus reikiamus atstumus, gauname plotą:  $s = 1.55 \cdot 1.25 = 1.94m^2$



2.5 pav. Naudingai nukreipiamo oro srautų plotas

Vėjo energija tenkanti modeliuojamam vėjaraičiui gali būti apskaičiuota formule (13):

$$E_i = \frac{1}{2} \cdot 1.12 \cdot 1.94 \cdot 10^3 = 1086.4J$$

Vėjaraičio atliekamą darbą randame formule (14):

$$E_0 = \frac{2\pi}{60} \cdot 49 \cdot 45 = 230.91J$$

Modeliuojamo vėjaraičio naudingumo koeficientą randame formule (12):

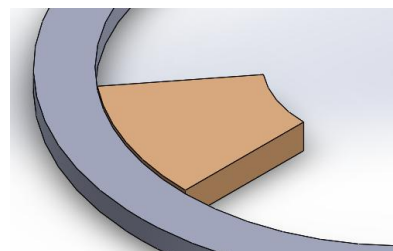
$$\eta = \frac{230.91}{1086.4} \cdot 100 = 21\%$$

## 2.3 Vertikalios ašies vėjo elektrinės realaus modelio gamyba

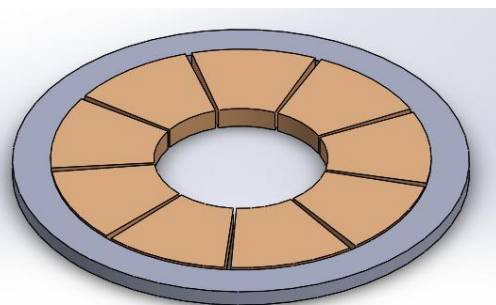
### 2.3.1 Generatoriaus apvijų- statorius

Statoriaus apvijų parinkimas nulemia labai daug generatoriaus parametrų. Kad parinkti tinkamas apvijas, buvo atliekami bandymai, vyniojant rites skirtingais vielų storiais, vijų skaičiais, tol kol buvo pasiektos reikiamos charakteristikos. Svarbūs yra ir ritės matmenys, nes reikalingas tinkamas apvijų išsidėstymas, kad liktų sąlyginai mažai oro tarpų tarp vijų. Bandymų būdu buvo pasirinktas optimaliausias variantas ir kiekviena ritė buvo suvyniota iš dvigubos 1.6mm skersmens lakuotos vielos. Ritėje yra susukta 71 apvija tam, kad gautume reikiamą 12v įtampą prie 100aps/min greičio.

Statoriuje yra sumontuotos devynios rites, kas trečia vija yra sujungta nuosekliai. Gavome tris grandis kurių kiekvienos varža yra 0,5 omo. Sudėjus sujungtas rites į apskritimą ir užliejus dvikomponentine epoksidine derva gavome vientisą statorių.



2.6 pav. Generatoriaus statoriaus ritės (nuotrauka autoriaus, 2013)

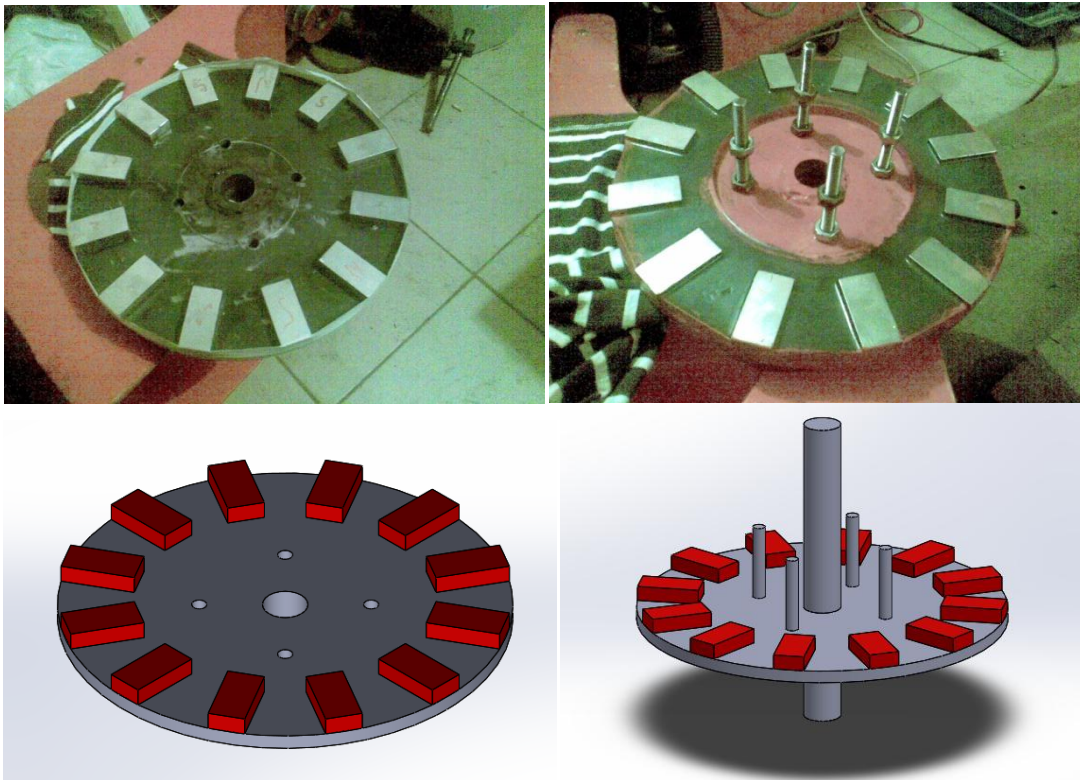


2.7 pav. Generatoriaus apvijų, statorius (nuotrauka autoriaus, 2013)

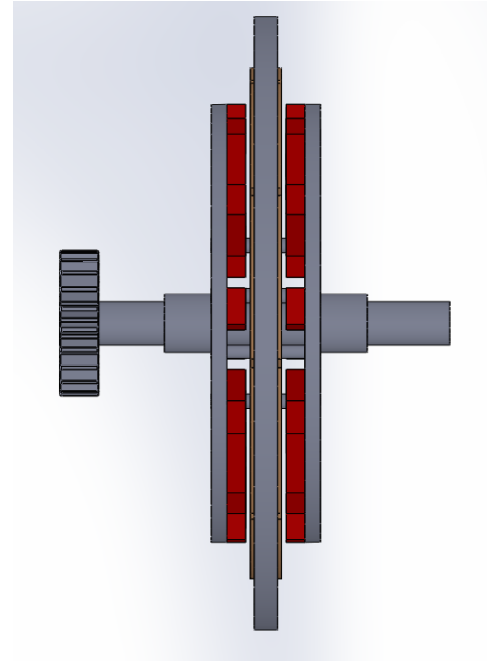
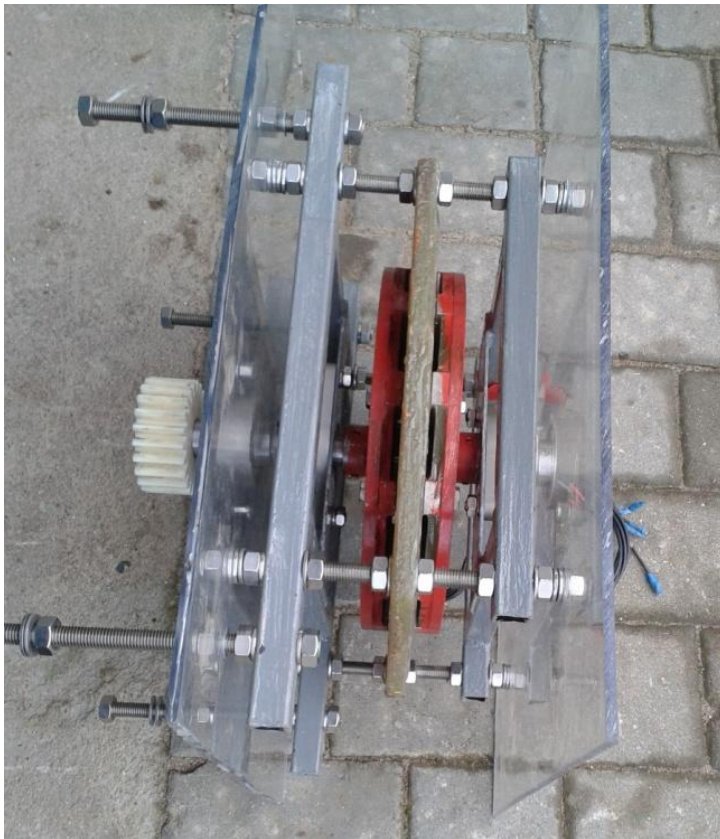
### 2.3.2 Generatoriaus magnetiniai diskai- rotoriai

Rotorius, kaip ir visose šiuo metu gaminamose vėjo elektrinių generatoriuose, gaminamas naudojant nuolatinis magnetus. Tobulėjant technologijoms atrandami vis stipresni magnetai., tai leidžia mažinti generatorių matmenis, didinti jų galią. Žinoma didėjant magnetų stiprumui didėja ir jų kaina, nes jiems gaminti naudojami retieji metalai.

Generatoriaus rotorius sukonstruotas panaudojus 10mm storio plieno diskus, ant jų priklijuota po 12vnt stiprių neodimio magnetų N45 (25x50x12). Tam kad magnetinių laukų sukurtos jėgos neišjudintų magnetų, jie buvo priklijuoti su kontaktiniais klizais prie plieno diskų ir aplieti epoksidine derva.

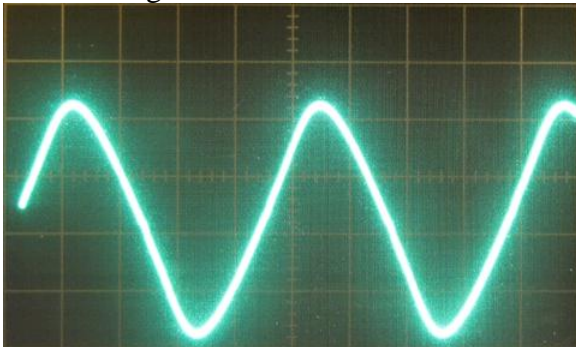


2.8 pav. Generatoriaus rotorius su priklijuotais magnetais (nuotraukos autoriaus, 2013)



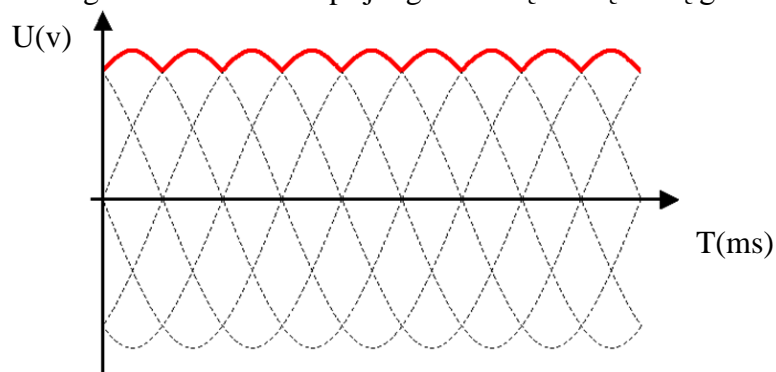
2.9 pav. Pilnai surinktas ir sureguliuotas generatorius (nuotrauka autoriaus, 2013)

Pamatus generatoriaus fazines charakteristikas gauta taisyklinga sinusoidė visose trijose fazėse.



2.10 pav. Generatoriaus vienos fazės fazinė kreivė

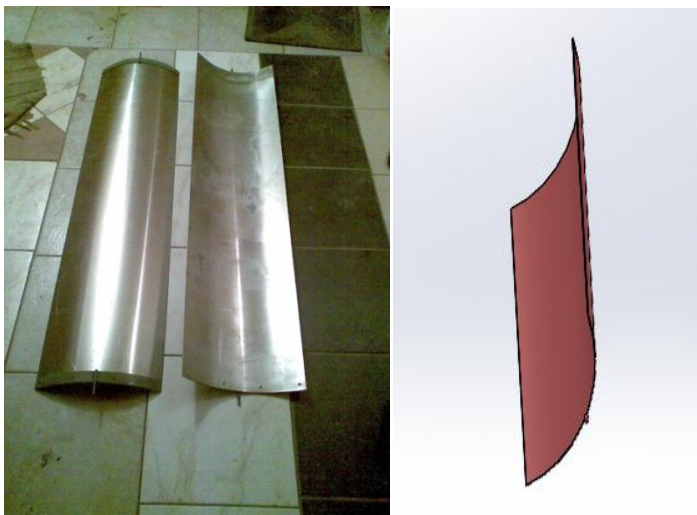
Kadangi statorius trifazis prijungus trifazį diodų tiltelį gauname sąlyginai nuolatinę įtampą.



2.11 pav. Įtampa po diodinio tiltelio

### 2.3.3 Sparnuotės dalys

Sparnuotė pati svarbiausia dalis vėjo elektrinėje, nes nuo jos efektyvumo priklauso kokia dalis ją kertančio vėjo srauto bus paversta mechanine energija ir perduota generatoriui. Tam kad vėjo elektrinė būtų jautresnė ir kad greitai sureaguotų į vėjo pokyčius, sukioji dalis turi būti kiek galima lengvesnė. Mažesnes inercijos jėgas turinčią sparnuotę esant būtinybei galima greičiau sustabdyti, sukuriamos mažesnės vibracijos esant disbalansui ir taip pat supaprastėja vėjo elektrinių konstrukcijos. Sparnuotei sukonstruoti naudoti 1mm storio padidinto kietumo aliuminio lakštai. Sparno matmenys 1,25x0,31m:



2.12 pav. Vėjo elektrinės rotoriaus sparnai (nuotrauka autoriaus, 2013)

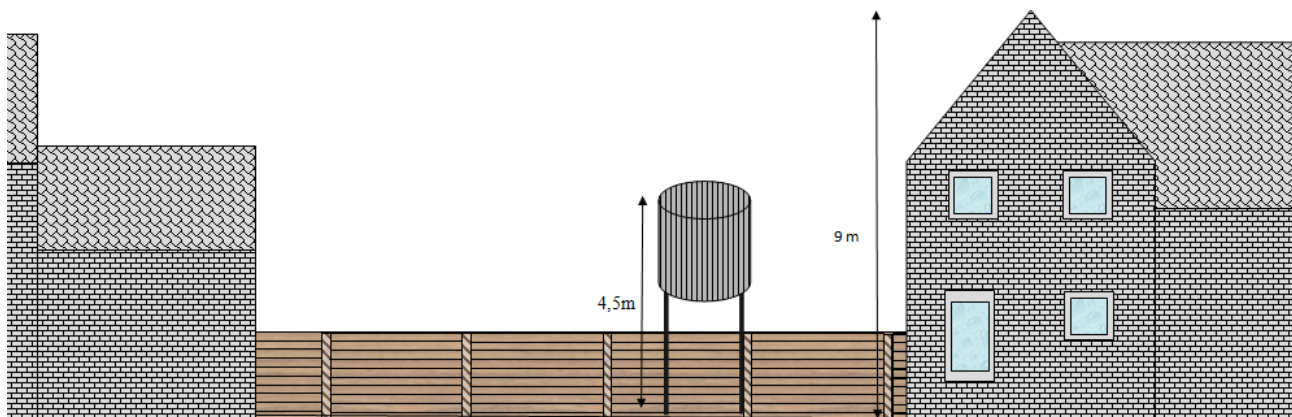
Apžvelgus sparnuotės rotoriaus konstrukciją matosi, jog didelė dalis konstrukcijos sukuria pasipriešinimo momentą. Tam kad sumažinti šį pasipriešinimą bus atliekami eksperimentiniai bandymai sumontuojant vėjo nukreitėjus, kurie turės pakreipti oro srautus tokia kryptimi, kad būtų sukuriamas dar didesnis sukimo momentas. Todėl buvo pagaminti sparnuotės statoriaus vėjo nukreitėjai. Jų rėmelis suvirintas iš 10x10x1mm plieninio profiliuoto vamzdžio ir prie jo pritvirtinti profiliuoti cinkuotos skardos lakštai.



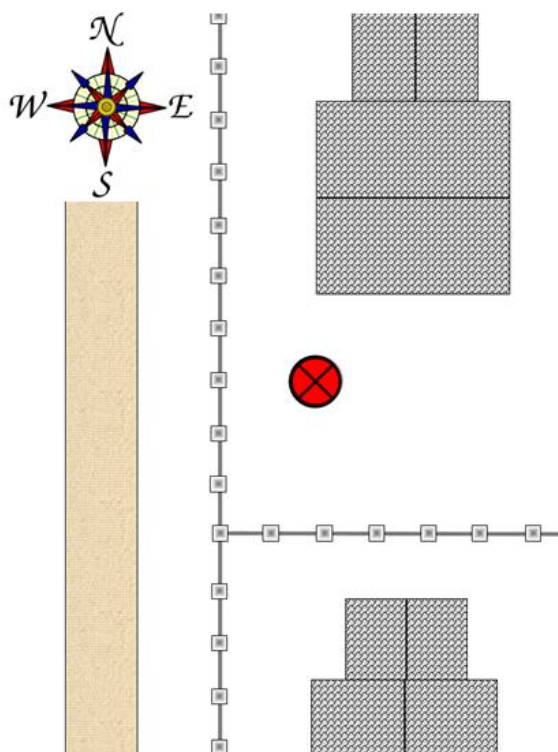
2.13 pav. Vėjo elektrinės vėjo nukreipimo sparnai (nuotrauka autoriaus, 2013)

### 2.3.4 Tyrimo objekto montavimas

Tyrimo objekto montavimo vieta yra vidutinio pastatų tankumo teritorijoje (vidutinis pastatų aukštis 12-17m). Laikantis LR įstatymų parinta montavimo vieta pavaizduota 2.14 ir 2.15 paveiksluose. Montavimo vietoje tyrimo objektui sukuriama sąlyga itin sudėtinga, kadangi atstumas nuo pastato siekia vos 3 metrus ir dėl pastato stogo konstrukcijos elektrinė didelę laiko dalį gaus sūkurinius oro srautus.



2.14 pav. Vėjo elektrinės vieta pastatų atžvilgiu, vaizdas iš rytų pusės.

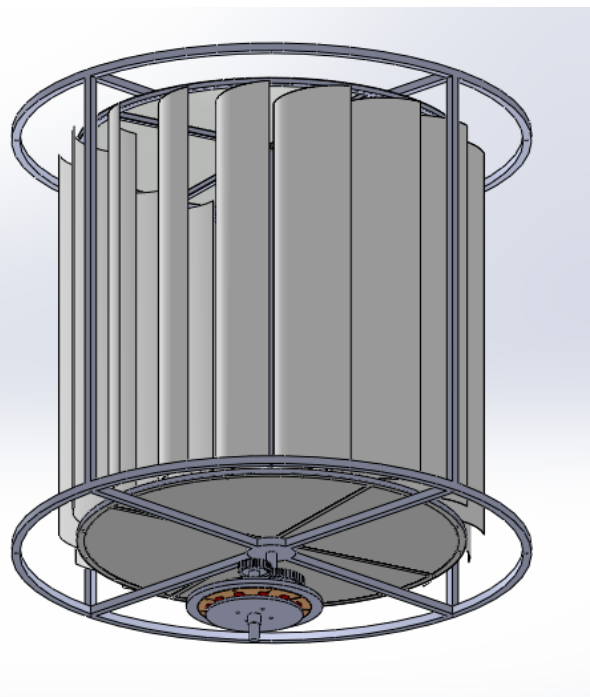


2.15 pav. Vėjo elektrinės padėtis pastatų atžvilgiu, vaizdas iš viršaus

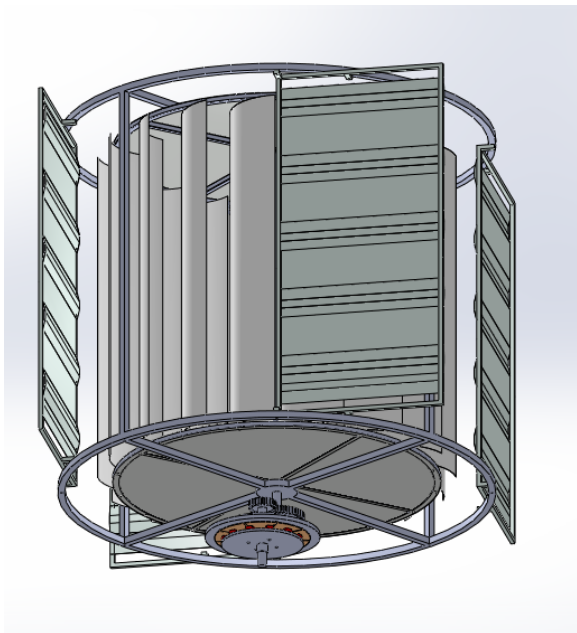
Visa konstrukcija buvo statoma ant polinių pamatų, kurių gylis siekia 1,3metro, vieno poliaus diametras 0,3metro. Tvirtinimai prie pamato suprojektuoti su galimybe pareguliuoti

konstrukcija taip, kad ji stovėtų lygiai. Jei būtų kokių nors nukrypimų po žiemos ar kitų išorinių poveikių konstrukciją būtų galima perreguliuoti.

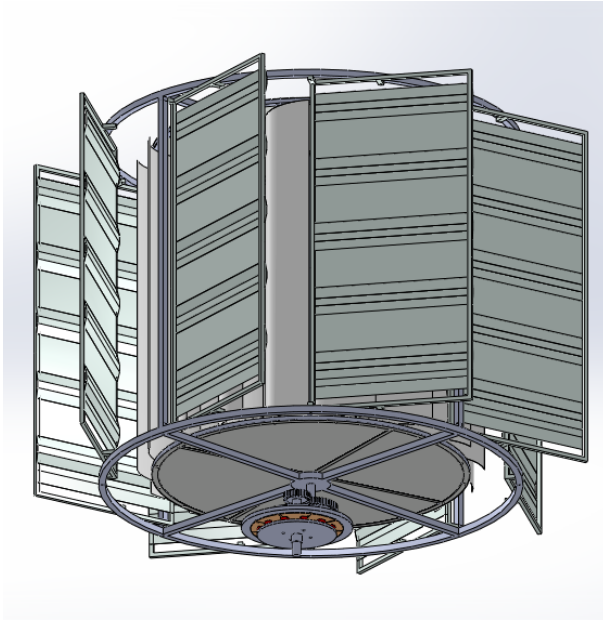
Vėjo elektrinė buvo sumontuota ant trijų metrų ilgio plieninių stulpų, pačios sparnuotės aukštis siekia 1,6 metro, taigi bendras elektrinės aukštis yra 4,5 metro.



2.16 pav. Vėjo elektrinės be vėjo nukreipėjų (nuotrauka autoriaus, 2013)



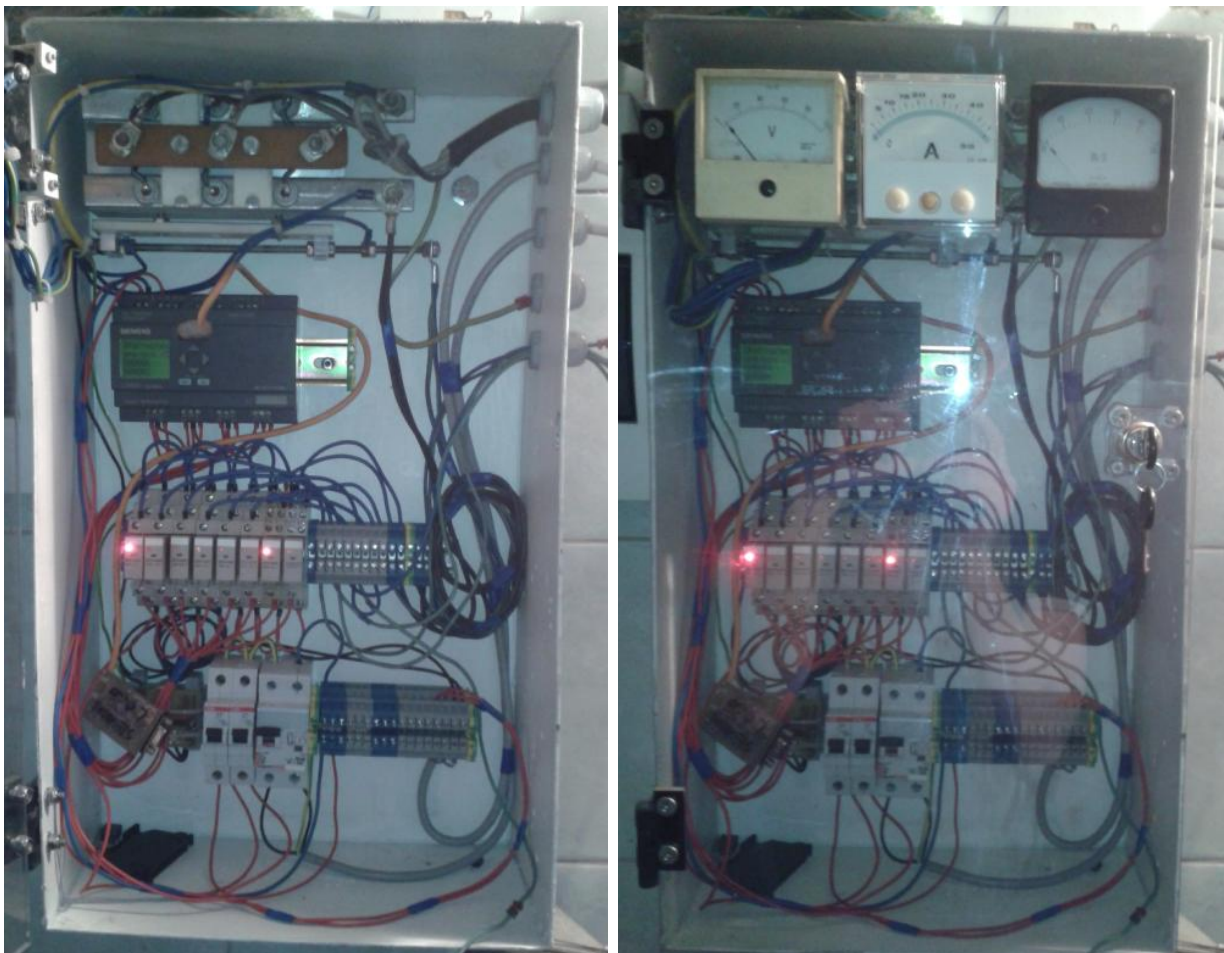
2.17 pav. Vėjo elektrinė su keturiais vėjo nukreipimo sparnais (nuotrauka autoriaus, 2013)



2.18 pav. Vėjo elektrinė su aštuoniais statoriaus sparnais (nuotrauka autoriaus, 2013)

### 2.3.5 Vėjo elektrinės valdymo skydas

Sukonstravus elektrinę, buvo būtina sumontuoti bent minimalias vėjo elektrinės stebėjimo bei kontrolės sistemas. Pagrindiniai elementai kuriuos sumontavau yra voltmetro, įtampos stebėjimui už diodinio tiltelio, ampermetras, gaunamai srovei iš generatoriaus stebėti, ir anemometras, faktiniam vėjo greičiui matuoti. Vėjo elektrinės darbui reguliuoti buvo pasirinktas Siemens Logo valdiklis, kuris matuoja sparnuotės sukimosi greitį, pagal kurį yra parenkama elektrinės apkrova. Valdiklis taip pat apsaugo elektrinę nuo neleistinų sukimosi greičių pajungdamas stabdymo varžas.



2.19 pav. Vėjo elektrinės valdymo ir kontrolės skydas (nuotraukos autoriaus, 2013)



2.20 pav. Vėjo elektrinės stebėjimo elementai: voltmetro, ampermetras, anemometras (nuotrauka autoriaus, 2013)



2.21 pav. Siemens Logo valdiklis apkrovos parinkimui ir sukimosi greičiui stebėti (nuotrauka autoriaus, 2013)



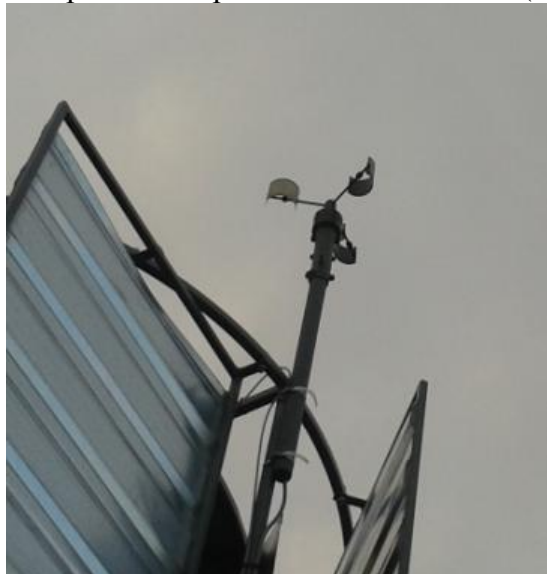
2.22 pav. Avarinio stabdymo 0,5 omo varža (nuotrauka autoriaus, 2013)



2.23 pav. Trifazis diodinio lygintuvas sumontuotas ant aušintuvo (nuotrauka autoriaus, 2013)



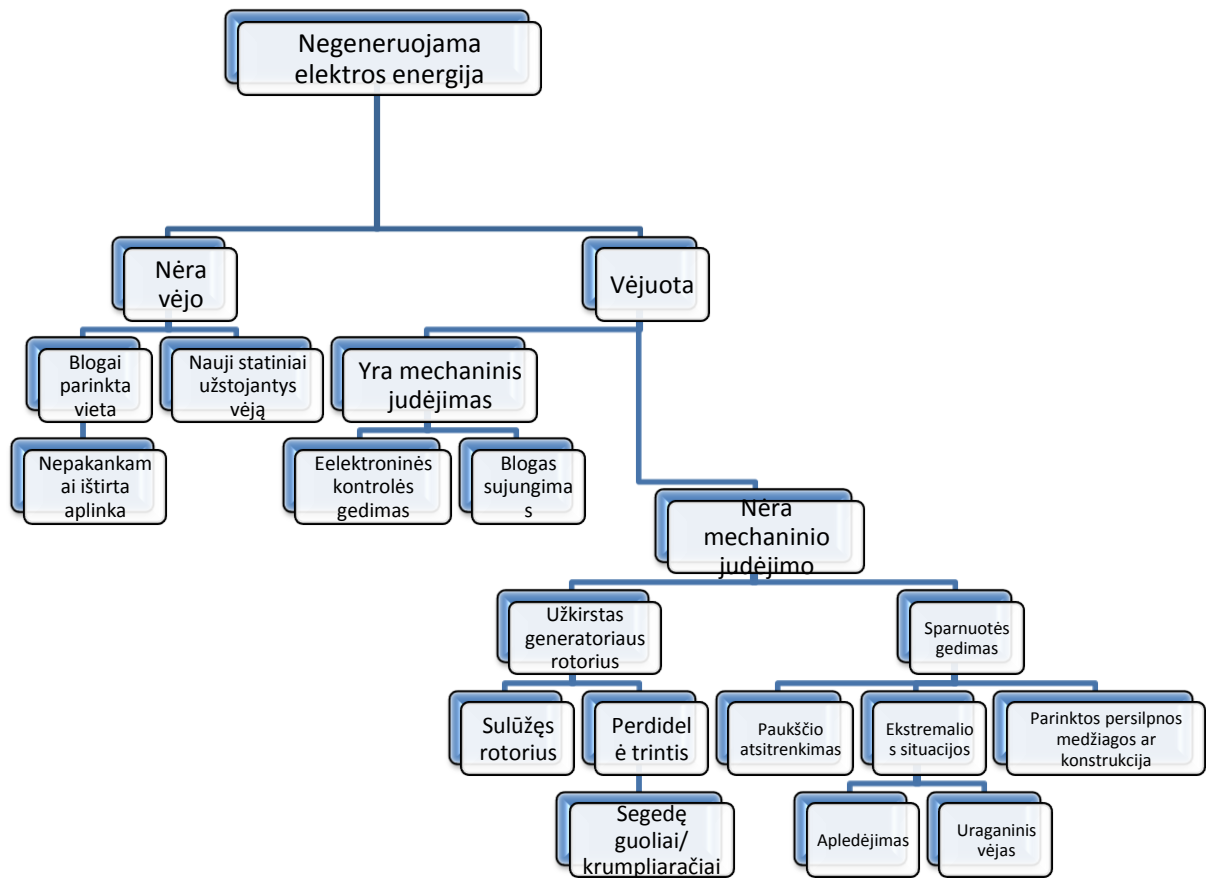
2.24 pav. Magnetinis jutiklis sparnuotės apsisukimams skaičiuoti (nuotrauka autoriaus, 2013)



2.25 pav. Anemometras (nuotrauka autoriaus, 2013)

### 2.3.6 Vėjo elektrinės gedimų diagnostika

Vėjo elektrinė tai sudėtingas inžinerinis įrenginys, kuriame yra daug įvairių tipų mechaninių jungčių, elementų, elektros prietaisų, atskirų sistemų. Visi naudojami elementai turi būti nuolat prižiūrimi, atliekama jų profilaktinė patikra. Tačiau technika nėra tokia tobula, kad ji būtų patikima šimtu procentų, todėl kartais įvyksta gedimai. Tuos gedimus reikia nustatyti, rasti jų atsiradimo priežastis, todėl buvo sudarytas gedimo paieškos algoritmas, kuris leidžia greičiau aptikti gedimą ir jį pašalinti.



2.26 pav. Vėjo elektrinės gedimų analizės algoritmas

## 2.4 Generatoriaus bandymas stende

Surinkus generatorių buvo atliekami bandymas stende. Buvo naudojamos dvi apkrovos 0,8 omų ir 1,4 omo. Generatorius buvo sukamas per diržinę pavarą su 3kW galios 900aps/min trifaziu varikliu. Greitis buvo keičiamas dažnio keitiklio pagalba. Gauti greičių duomenys buvo apskaičiuoti žinant dažnio keitiklio generuojamą dažnį. Todėl įvertinus skriemulių matavimo paklaidas, gaunama 5aps/min generatoriaus greičio paklaida.

1 lentelė. Stende atliktų generatoriaus bandymų duomenys

Apkrova (Omais)	Apsisukimu sk. per min.	Įtampa V	Srovė A	Galia W
∞	70	13	0	0
	150	23	0	0
	250	32	0	0
	300	41	0	0
0.8	15	1,1	1,5	1,65
	70	8,3	9,8	81,34
	100	12	14,2	170,4
	140	15,8	19,5	308,1
	180	21	25,2	529,2
	210	24	27,8	667,2
1,4	70	7	6,1	42,7
	100	10	9	90
	130	14	14,9	208,6
	180	20	20,4	408
	250	27	26,1	704,7

### 3. TYRIMO REZULTATAI

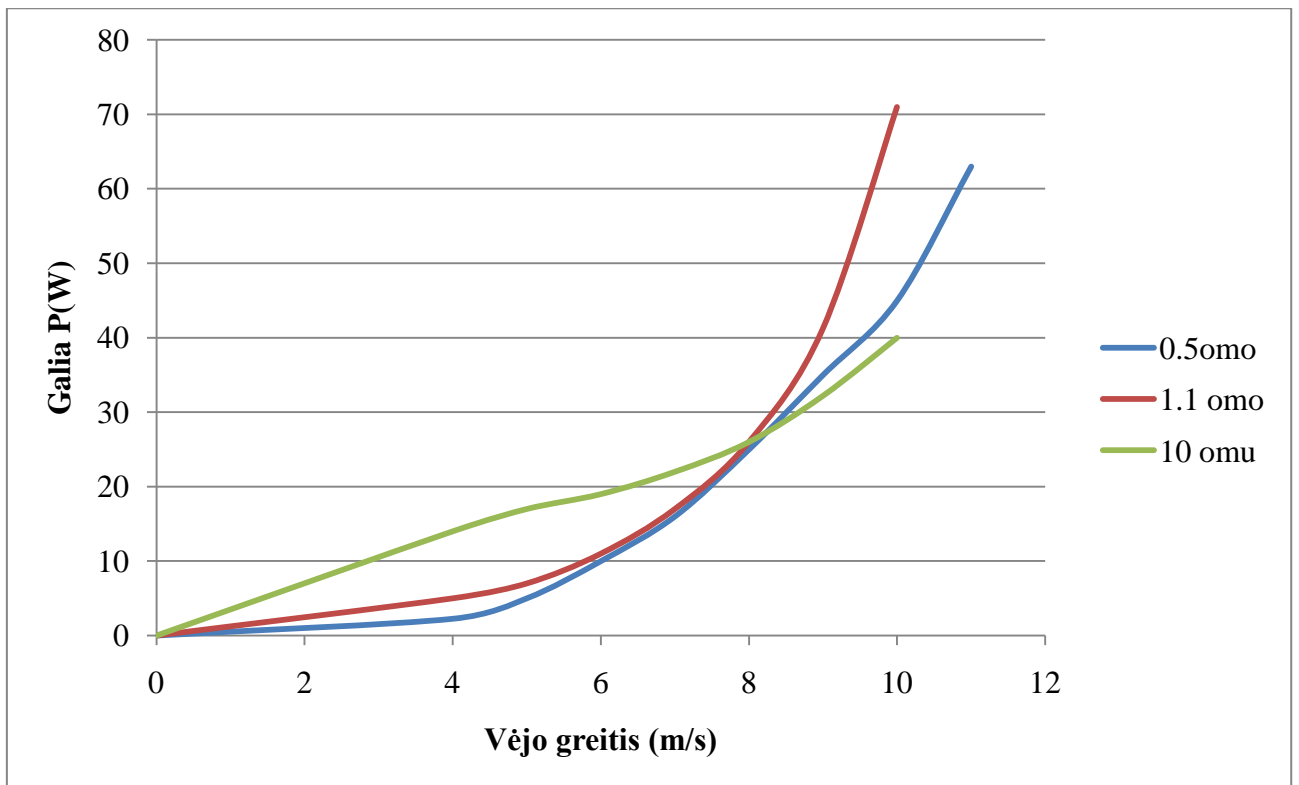
Sumontavus visas pagrindines mechanines bei valdymo ir stebėjimo sistemas, buvo atliekami eksperimentiniai bandymai. Pirmasis bandymas buvo atliekamas be apkrovos norint sužinoti, kokius sūkius pasiekusi sparnuotė pasiekia disbalansą. Atliekant bandymus vėjo greitis siekė 10-12 m/s, toks vėjo greitis yra gana didelis atsižvelgiant į elektrinės sumontavimo vietą bei aukštį. Bandymo metu sparnuotė pasiekė 150 aps/min greitį ir jokių disbalanso požymių nepastebėta.

Vėliau buvo atliekami bandymai prie sparnuotės primontavus generatorių. Kadangi sparnuotės konstrukcija yra tokia, jog ji nepasiekia didelių greičių, yra būtinas reduktorius. Taigi buvo pasirinktas redukcijos koeficientas 1:2 ir pagaminti krumpliaraičiai. Kadangi reduktorius turėjo būti atviras (dėl konstrukcijos paprastumo) buvo nuspręsta juos gaminti iš specialaus kaprolono, nes iš šios medžiagos pagaminti dantračiai nereikalauja nuolatinio tepimo.



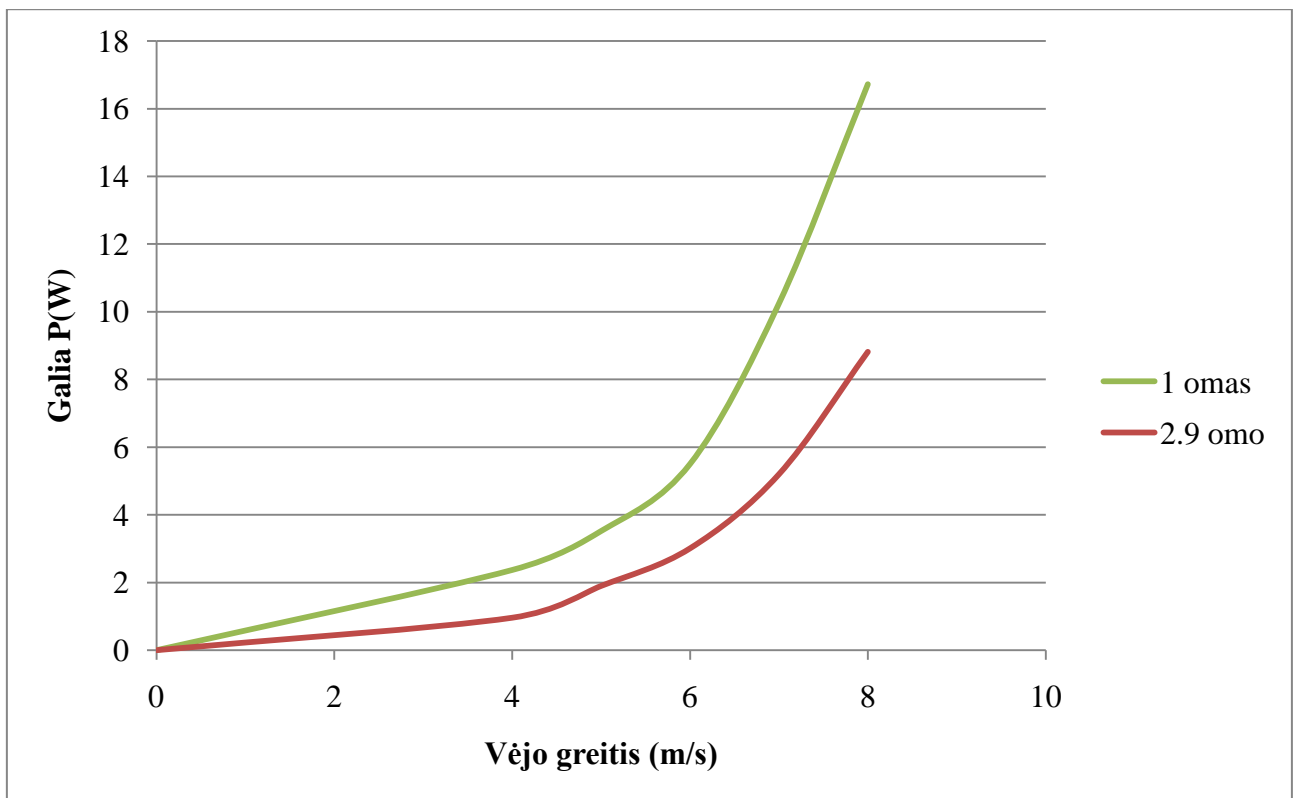
3.1 pav. Kaproloninis reduktoriaus krumpliaratis (nuotrauka autoriaus, 2013)

Atlikus eksperimentinius matavimus, be statoriuje vėją nukreipiančių sparnų, kai reduktoriaus perdavimo koeficientas 1:2, apkrovus generatorių 0,5, 1,1 ir 10 omų apkrovomis, gauti rezultatai pavaizduoti grafiškai:



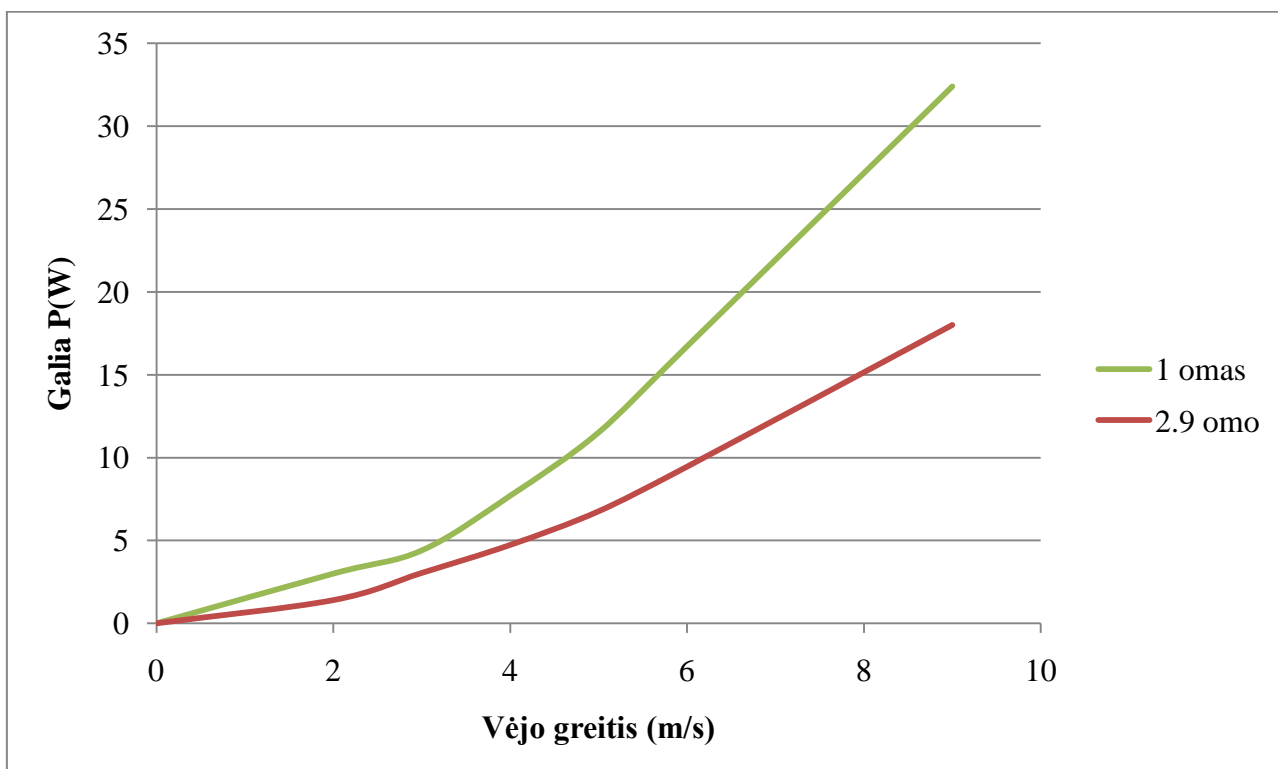
3.2 pav. Galios priklausomybė nuo vėjo be statoriaus sparnu kai redukcija 1:2

Sekantis eksperimentinis tyrimas buvo atliekamas sumontavus keturis statoriaus nukreipiančiuosius sparnus ir esant redukcijos koeficientui 1:2. Gauti rezultatai pavaizduoti grafiškai:



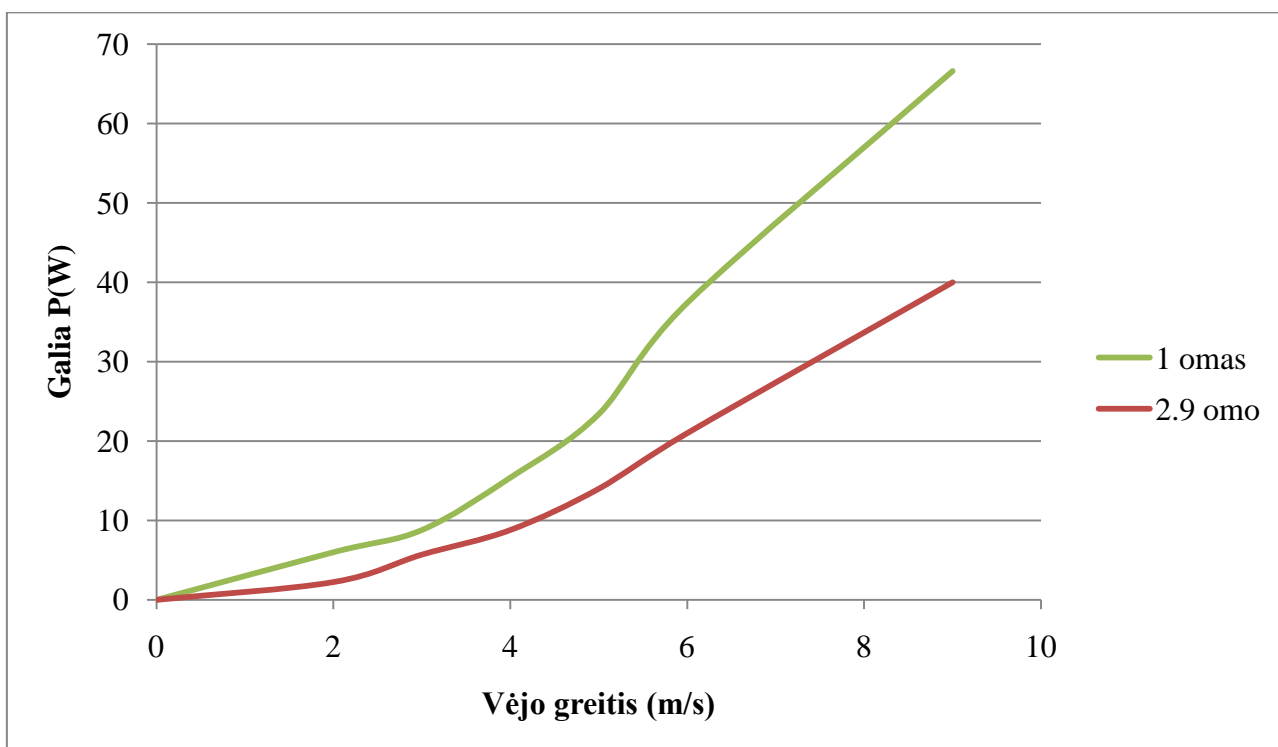
3.3 pav. Vėjo elektrinės galios priklausomybė nuo vėjo su 4 statoriaus sparnais, kai redukcija 1:2

Trečiasis bandymas buvo atliekamas sumontavus dar keturias vėjo nukreipiančiąsias. Bandymo su aštuoniomis vėjo nukreipiančiosiomis ir redukcijos koeficientu 1:2 duomenys:



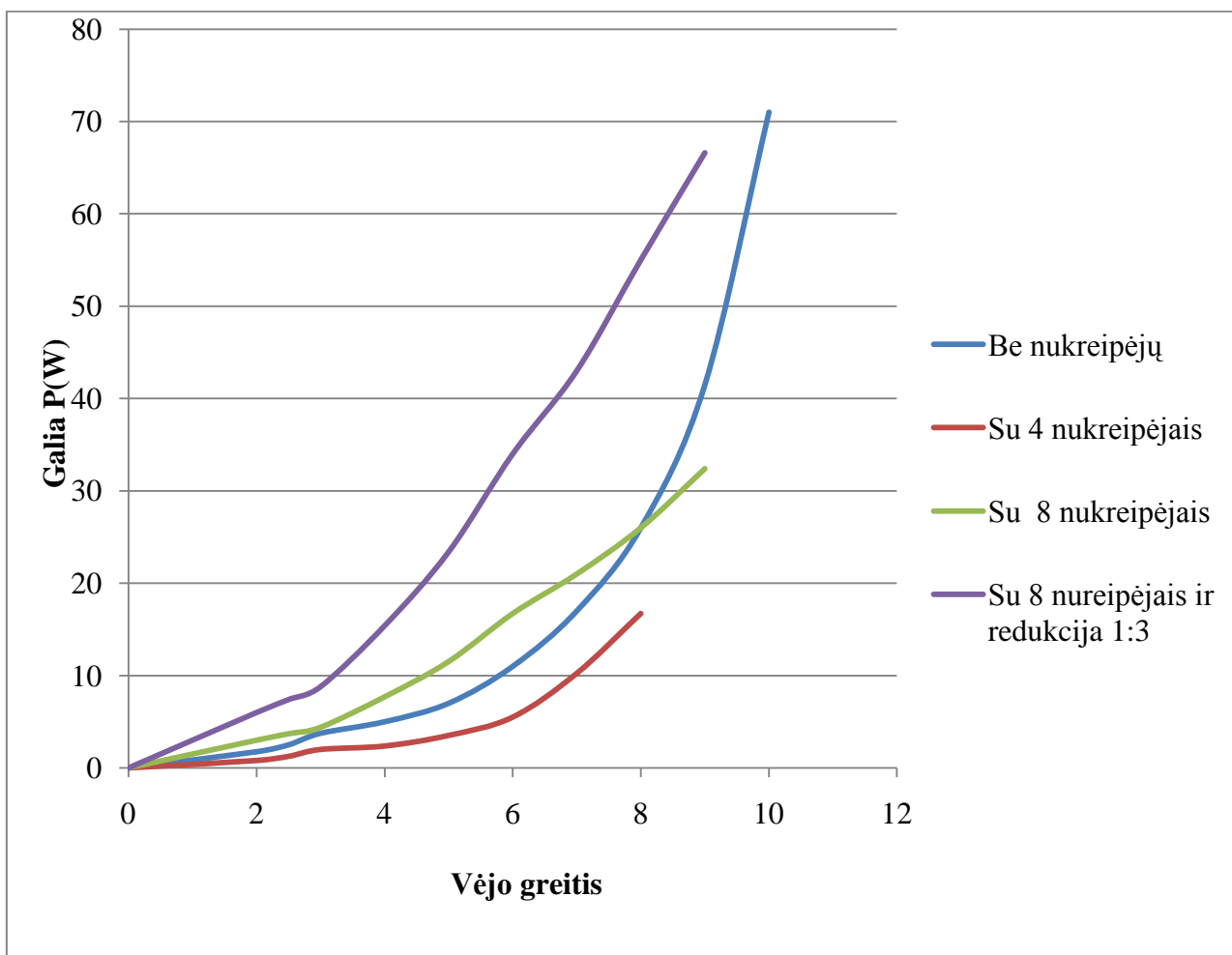
3.4 pav. Elektrinės galios priklausomybė nuo vėjo su aštuoniais statoriaus sparnais kai redukcija 1:2

Paskutinis bandymas buvo atliekamas paliekant visas aštuonias vėjo nukreipiančiąsias bet padidinus redukcijos koeficientą iki 1:3. Gauti duomenys pavaizduoti grafiškai:



3.5 pav. Elektrinės galios priklausomybė nuo vėjo greičio su 8 statoriaus sparnais ir redukcija 1:3

Atlikus visus eksperimentinius bandymus ir išanalizavus gautuosius duomenis sudarytas galios priklausomybės nuo vėjo grafikas, kuriame matomas galios pasikeitimas atliekant atitinkamus vėjo elektrinės pakeitimus.



3.6 pav. Skirtingos konstrukcijos vėjaračio vėjo elektrinės galių grafikas kai elektrinė apkrauta 1 omo apkrova

Pasinaudojant (12), (13), (14) formules buvo apskaičiuotas realiai sukonstruotos vėjo elektrinės sparnuotės naudingumo koeficientas.

Vėjaračio atliekamas darbas:

$$E_0 = \frac{2 \cdot 3.14}{60} \cdot 34.7 \cdot 58 = 210.65 J$$

čia T- vėjaračio sukuriama jėga Nm;  
n- vėjaračio greitis aps/min;

Vėjo atliekamas darbas randamas:

$$E_i = 0.5 \cdot 1.25 \cdot 1.94 \cdot 10^3 = 1212.5 J$$

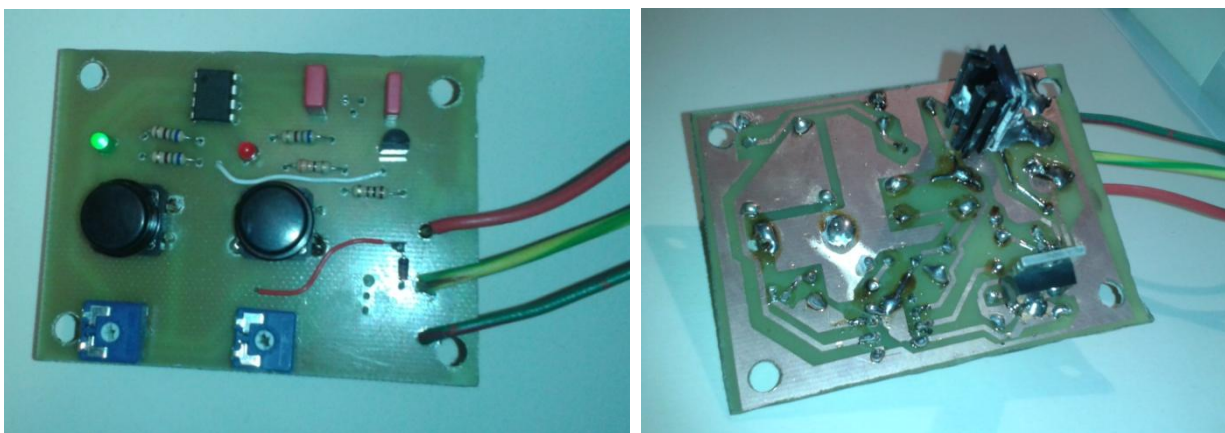
Sparnuotės efektyvumas:

$$\eta = \frac{E_0}{E_i} \cdot 100\% = \frac{210.65}{1212.5} \cdot 100 = 17.37 \approx 17\%$$

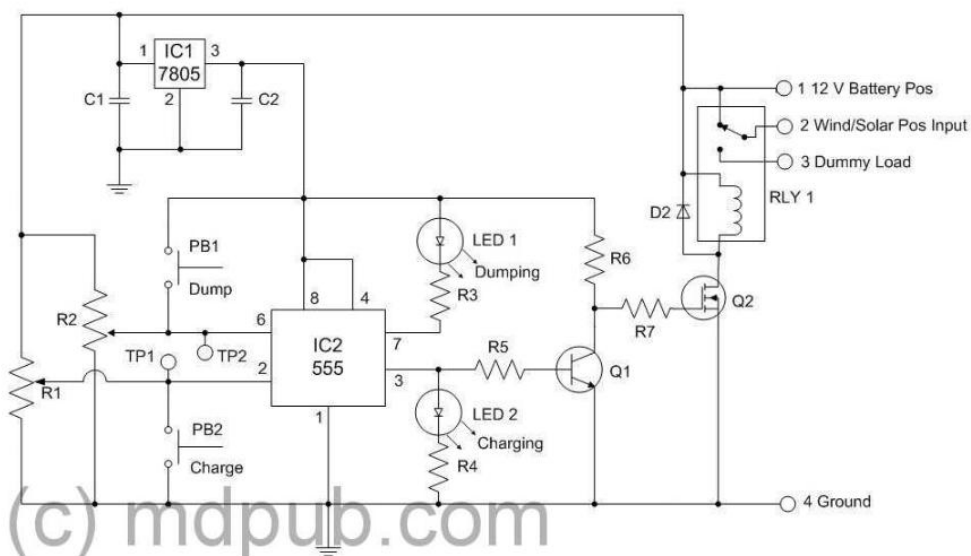
### 3.1 Tyrimo metu kilusi problema ir jos sprendimas

Sumontavus vėjo elektrinę ir atliekant eksperimentinius bandymus bei matavimus, buvo pradėta ieškoti tinkamiausio varianto, kaip maksimaliai sunaudoti pagaminamą energiją. Pirmieji bandymai panaudoti išgaunamą elektros energiją, buvo pakopomis jungti kaitinimo elementus. Kadangi pasirinktasis valdiklis neturi analoginių įėjimų, perjungimai buvo atliekami matuojant impulsų, ateinančių iš vėjaračio apsisukimus fiksuojančio jutiklio, trukmę. Po kelių mėnesių eksploatacijos ir pirmųjų didelių vėjų viršijančių 12m/s paaiškėjo, jog šitokiu principu apkraunama vėjo elektrinė patiria didelius mechaninius smūgius ir taip pat sudėtinga parinkti greičių intervalus, kuriuose kaitinimo elementai išvystytų savo nominalią galią ir neperdegtų.

Todėl pasirinkta krauti akumulatorius ir tik tada naudoti elektros energiją. Tam kad būtų saugiai kraunamas akumulatorius, reikalingas krovimo kontroleris, kuris fiksuotų akumulatoriaus įtampą ir neleistų jo perkrauti.



3.7 pav. Akumulatoriaus krovimo kontroleris (nuotraukos autoriaus, 2013)



3.8 pav. Akumulatoriaus krovimo kontrolerio schema [31]

Kontroleris matuoja akumulatoriaus įtampą ir pasiekus nustatytą reikšmę visa generuojama elektrinė energija nukreipiama į kaitinimo elementus. Šituo atveju kaitinimo elementai atlieka tik apsauginę funkciją t.y. neleidžia vėjo elektrinei pernelyg greitai įsisukti ir būti sugadintai. Nukritus akumulatoriaus įtampai, jis yra prijungiamas prie vėjo elektrinės ir vėl vyksta krovimas. Šitaip apkrauta sistema veikia geriau.

Po 30 dienų eksploatacijos pastebėta, kad, kai akumulatorius nėra pakrautas, vėjo elektrinė dirba be apkrovos tol, kol nepasiekia akumulatoriuje esančios įtampos, todėl vėjaratis daug greičiau įsisuka iki reikiamo greičio ir pradeda krauti akumulatorių. Akumulatorius krovimo įtampos diapazone (10-14,5V) apkrova vėjo elektrinei švelniai didėja, didėjant vėjo stiprumui. Taip išvengiama mechaninių smūgių, kurie gali stipriai apgadinti įrenginį.

Tačiau akumulatoriui pasikrovus ar padidėjus įtampai stabdymo varžos pajungimo metu, lieka stiprus stabdymo smūgis, kuris esant ekstremalioms oro sąlygoms gali sugadinti reduktorių ir elektrinė be mechaninio stabdžio pagalbos būtų nesuvaldoma.

## IŠVADOS

1, Norint statyti vėjo elektrines urbanizuotose teritorijose, reikalingi jų statymo leidimai, išskyrus tuos atvejus, kai elektrinė yra statoma nuosavoje teritorijoje ir kai aplink ją tokiu atstumu, koks yra visos elektrinės aukštis, nėra jokių antžeminių ne jums priklausančių statinių ir elektrinės galingumas neviršija 10kW ribos. Taip pat vienas iš svarbiausių rodiklių, ribojantis vėjo elektrinių statybą, yra triukšmo lygis. Taigi jei triukšmo lygis viršija leistiną, toje teritorijoje numatytą ribą, statyba negalima.

2, Eksperimentiniuose tyrimuose naudotos elektrinės konstrukcija turi šiuos privalumus:

- Tylus sparnuotės darbas, jei nevertinamas reduktorius keliamas triukšmas;
- Nėra nei šešėliavimo nei atspindžių efekto;
- Nesunkiai priderinama išvaizda prie aplinkos architektūros.

3, Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami vasario-balandžio mėnesiais. Per šiuos mėnesius buvo atliekami įvairūs pakeitimai, bet nebuvo galimybės elektrinės išbandyti prie didesnio nei 15m/s vėjo. Bet visi bandymai, kurie turėjo būti atlikti, buvo padaryti ir išanalizuoti.

4, Buvo pastebėta keletą veiksnių, kurie gali įtakoti diskomfortą žmogui:

- Triukšmas iš atviro tipo reduktoriaus, kuris buvo matuojamas stovint prie pat elektrinės ir sieke 65dB, bet šis triukšmo lygis gali būti sumažintas, sumontavus uždaro tipo planetarinį reduktorių.
- Pastebėtas atspindžio efektas, kai buvo sumontuoti tik keturi vėjo nukreipėjai statoriuje, bet sumontavus dar keturis šis efektas visiškai išnyko.

5, Buvo atliekami eksperimentiniai bandymai su generatoriumi bandymų stende ir buvo pasiekta 700w galia ties 250aps/min. Didesnei galiai išvystyti nebuvo techninių galimybių, bet gautų rezultatų užtenka, nes toks ir buvo planuotas vidutinis generatoriaus greitis.

Atliekant bandymus su generatorim jau sumontuotu vėjaratyje, pasiekta didžiausia galia buvo 72W prie 10 m/s vėjo.

6, Sukonstruotoje vėjo elektrinėje pastebėti trūkumai:

- Mažesnis nei planuotas sparnuotės sukimo momentas. To priežastis netinkamu kampu sumontuotos rotoriaus sparnai, tam kad parinkti tinkamą kampą reikalingi sudėtingesni aerodinaminiai modeliavimai.

- Generatoriaus statoriaus gamybai naudota nepakankamai tiksli forma apvijų užliejimui, todėl negalima sumažinti oro tarpo tarp statoriaus ir rotoriaus. Dabar oro tarpas vietomis siekia 2mm, nors buvo planuota pasiekti 0.5mm tikslumą, todėl dabar gaunama mažesnė įtampa esant tam pačiam sukimosi greičiui.
- Naudoto generatoriaus naudingumas išauga viršijus 100aps/min ribą, todėl naudojant jį su sukonstruotu vėjaračiu reikalinga gana didelė redukcija, bet dėl sukimo momento trūkumo ji negalima.
- Prieš pasirenkant vėjo elektrinės montavimo vietą buvo stebimas vėjo kryptingumas Klaipėdos mieste, bet dėl vėjo matavimo įrangos trūkumo, buvo nepakankamai įvertintos oro sąlygos vėjo elektrinės montavimo vietoje. Dėl reljefo ypatybių, elektrinės montavimo vietoje vėjo kryptis ir greitis yra kitokie nei Klaipėdos apskrities meteorologinių stotelių parodymuose.
- Vėjo elektrinei naudotos konstrukcinės medžiagos, plienas, cinkuota skarda, aliuminio lakštai, sustiprina reduktoriuje ir generatoriuje atsirandančių vibracijų garsą.
- Elektrinės generuojamą energiją naudojant rėliniu būdu jungiant kaitinimo elementus gaunami dideli smūgiai reduktoriuje, o esant gūsingam vėjui jie labai dažni, todėl stipriai trumpėja guolių bei dantračių eksploatacijos laikas. Taip pat gaunami dideli srovių šuoliai, perjungimų metu, kurie kartais sudegina kaitinimo elementus.

#### 7, Pastebėtų trūkumų šalinimo alternatyvos:

- Didesnį dėmesį skirti sparnuotės aerodinamikai, daugiau konsultuotis su šios srities specialistais, atlikti daugiau bandymų su maketais.
- Generatoriaus gamybai pasirinkti itin tvirtas medžiagas, kad būtų galima padaryti tikslias formas statoriaus apvijų užliejimui.
- Vertikalios ašies vėjaračiams reikėtų naudoti didesnį polių skaičių turinčius generatorius, kad būtų galima juos jungti tiesiogiai prie vėjaračios arba bent su minimalia redukcija. Tada būtų sumažinamas skleidžiamas garsas ir būtų galimybė sumažinti guolių skaičių, taip mažinant mechaninius nuostolius. Generatorius, naudotas eksperimentiniuose bandymuose, skirtas didesniems sūkiams t.y. 400-800ps/min.
- Vėjo elektrinės montavimo vieta turi būti parenkama tik vietinių matavimų išvadomis. Stebėjimai turi būti atliekami metus laiko, tam kad būtų įvertinta geriausiai tinkanti vieta elektrinei, kurioje būtų gaunama didžiausias kiekis energijos visus metus. Matavimai turi būti atliekami tame aukštyje kuriame planuojama statyti elektrinę.
- Elektrinės gamybai reikėtų naudoti labiau garsą slopinančias medžiagas, tokias kaip plastikas, stiklo pluoštas. Su tokiomis medžiagomis būtų sumažintas konstrukcijos svoris, inertiškumas, taip pat daugeliu atvejų padidėtų atsparumas atmosferos poveikiams, oksidacijai.

- Elektrinės apkrovos reguliavimui reikėtų naudoti tiristorines sistemas, kurios leistų švelniai didinti ar mažinti apkrovas priklausomai nuo vėjo stiprumo, taip išvengiant mechaninių smūgių.

Eksperimentiniuose bandymuose naudota vėjo elektrinė turėtų būti pakelta aukštyje arba perkelta į labiau vėjuota vietą. Tinkamai sureguliuoti sparnų kampai ir sukonstruota tiristorinė apkrovos valdymo sistema. Reikėtų frezavimo būdu sulyginti statoriaus paviršius, kad būtų galima sumažinti oro tarpus iki rotorijų.

Vėjo elektrinės kūrimui reikalingas geras supratimas apie elektros generatorius, reikalingos statybos žinios tinkamų pamatų suprojektavimui, taip pat reikia supratimo mechanikos srityje, perdavimo elementų parinkimui ir svarbiausia reikia puikiai suvokti aerodinamikos dėsnius, nes 60% elektrinės naudingumo nulemia tinkamas sparnuotės sumodeliavimas.

## LITERATŪRA

- 1 Straipsnis apie ekonominį indeksą vėjo elektrinėms  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4747082> 2013 01 06
- 2 Straipsnis apie saugumo sistemas  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4778276> 2012 10 11
- 3 Straipsnis apie vėjo elektrinės sparnų valdymą  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4596148> 2012 10 11
- 4 Vėjo jėgaines modeliavimo ir kontrolės sukūrimo procesas  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6125833> 2012 10 11
- 5 Vėjo elektrinės valdymas matuojant temperatūrą  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5970135> 2012 10 11
- 6 Vėjo elektrinių gedimų identifikavimas  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5608150> 2012 10 11
- 7 Ašinio generatoriaus pritaikymas vėjo elektrinėse  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1574914> 2012 10 22
- 8 Dvigubo maitinimo generatoriaus naudingumo tyrinėjimas  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5608319>, 2012 10 22
- 9 Hibridinio generatoriaus tyrimas  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4771127> 2012 11 20
- 10 „Slystančio“ generatoriaus privalumai- trūkumai  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6064084> 2012 11 20
- 11 Optimaliai parinktos konstrukcijos nedidelio greičio nuolatinių magnetų generatorius  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6307131> 2012 11 20
- 12 Vėjo elektrinių valdymo optimizavimas  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4771150> 2012 11 20
- 13 Didelės galios vėjo elektrinių optimizavimas  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4412171> 2012 12 01
- 14 Konceptinio tipo generatoriaus konstrukcijos ypatybės  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6171042> 2012 12 01
- 15 Plokščiojo tipo nuolatinių magnetų generatoriaus naudojimas nedidelės galios vėjo elektrinėse  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1322674> 2012 12 01
- 16 Plokščiojo nuolatinių magnetų generatoriaus gamyba bei analizavimas  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5993994> 2012 12 01
- 17 Naujų kompozitinių magnetolaidžių pritaikymas generatoriuose  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1709048> 2013 01 20

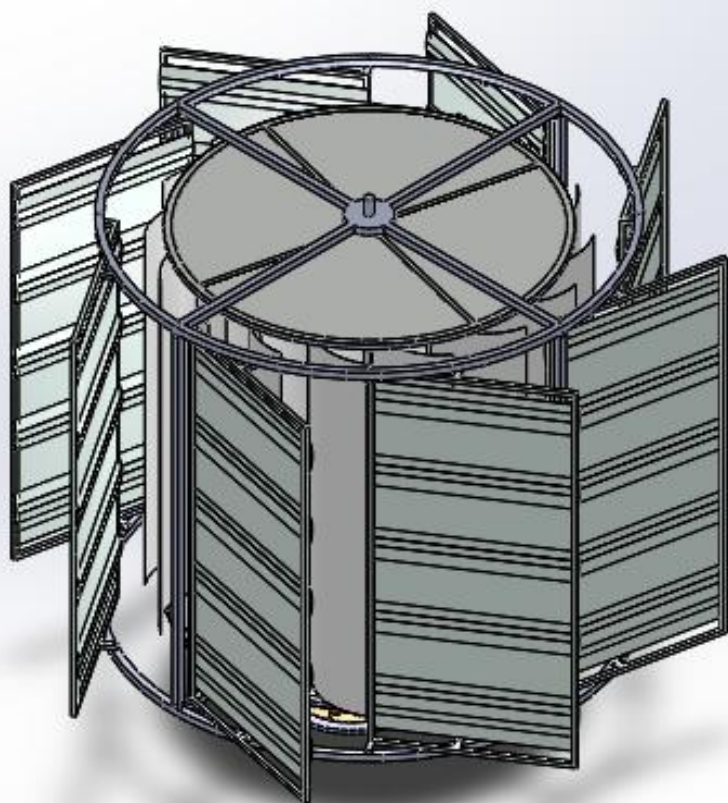
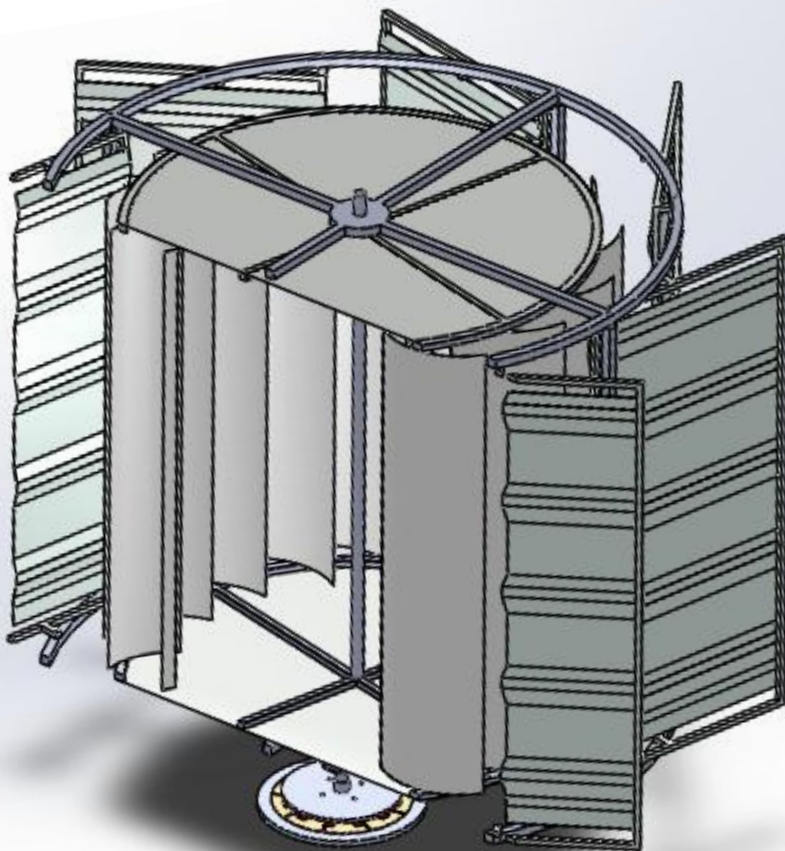
- 18 Nuolatinių magnetų generatoriaus polių skaičiaus įtaka gaunami galiai  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1531537> 2013 01 21
- 19 Vėjo generuojamos elektros energijos valdymas ir konvertavimas  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5712519> 2013 02 10
- 20 Vėjo elektrinės nuolatinių magnetų generatoriaus ir sparnuotės apžvalga ir analizė  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5553558> 2013 02 11
- 21 Vertikalios vėjo elektrinės vėjaračio aerodinaminių savybių modeliavimas  
<http://ezproxy.biblioteka.ku.lt:2076/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5518733> 2013 02 11
- 22 Turbinos tipo vėjaračio aerodinaminių savybių modeliavimas ir simuliacija  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148109004388> 2012 12 12
- 22.1 Patentuoto generatorius dokumentacija  
United States, patent publication US 20080278014 A1  
<http://www.tb.lt/pic/pic.htm> 2011 04 20
- 22.2 Vėjo elektrinei skirto generatoriaus su integruotu stabdžiu patentas  
United States, patent publication US 2011/0115232 A1  
<http://www.tb.lt/pic/pic.htm> 2011 04 20
- 23 Garso lygių skalė decibelais  
<http://milwaukee.gov/ImageLibrary/Groups/cityGreenTeam/documents/SoundScale.png>  
2013 02 10
- 24 LR įstatymas reglamentuojantis leistiną triukšmo lygį  
[http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc\\_l?p\\_id=301455&p\\_query=&p\\_tr2=](http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=301455&p_query=&p_tr2=) 2013 01 20
- 25 Vėjo aptakumas vertikalios sparnuotės atžvilgiu  
[http://plusmood.com/2009/03/tornado-tower-visiondivision-collaboration-with-markus-wagner/visiondivision\\_tornado\\_wind\\_diagram/](http://plusmood.com/2009/03/tornado-tower-visiondivision-collaboration-with-markus-wagner/visiondivision_tornado_wind_diagram/) 2013 01 28
- 26 StatoEolien vertiklaio ašies vėjo elektrinė  
[http://peswiki.com/index.php/Directory:Gual\\_Industrie\\_StatoEolien\\_Vertical-Axis\\_Wind\\_Turbine](http://peswiki.com/index.php/Directory:Gual_Industrie_StatoEolien_Vertical-Axis_Wind_Turbine)  
2012 12 03
- 27 Urban Green Energy vėjo elektrinė  
<http://www.bettergeneration.co.uk/wind-turbine-reviews/urban-green-energy-uge-1kw-wind-turbine.html> 2012 12 03
- 28 A.stralux Ltd vėjo elektrinė  
<http://newwindturbine.com/> 2013 01 29
- 29 Statybos techniniai reglamentai  
<http://www.infolex.lt/ta/59810> 2013 01 10
- 30 Lietuvos respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas  
[http://www.istatymas.lt/istatymai/atsinaujinanciu\\_istekliu\\_energetikos\\_istatymas.htm](http://www.istatymas.lt/istatymai/atsinaujinanciu_istekliu_energetikos_istatymas.htm) 2013 01 10

30.1 Eksperimentinio plokščiojo tipo generatoriaus parametrai ir duomenys  
[http://zir.lt/e107\\_plugins/sgallery/gallery.php?view.5](http://zir.lt/e107_plugins/sgallery/gallery.php?view.5) 2012 03 26

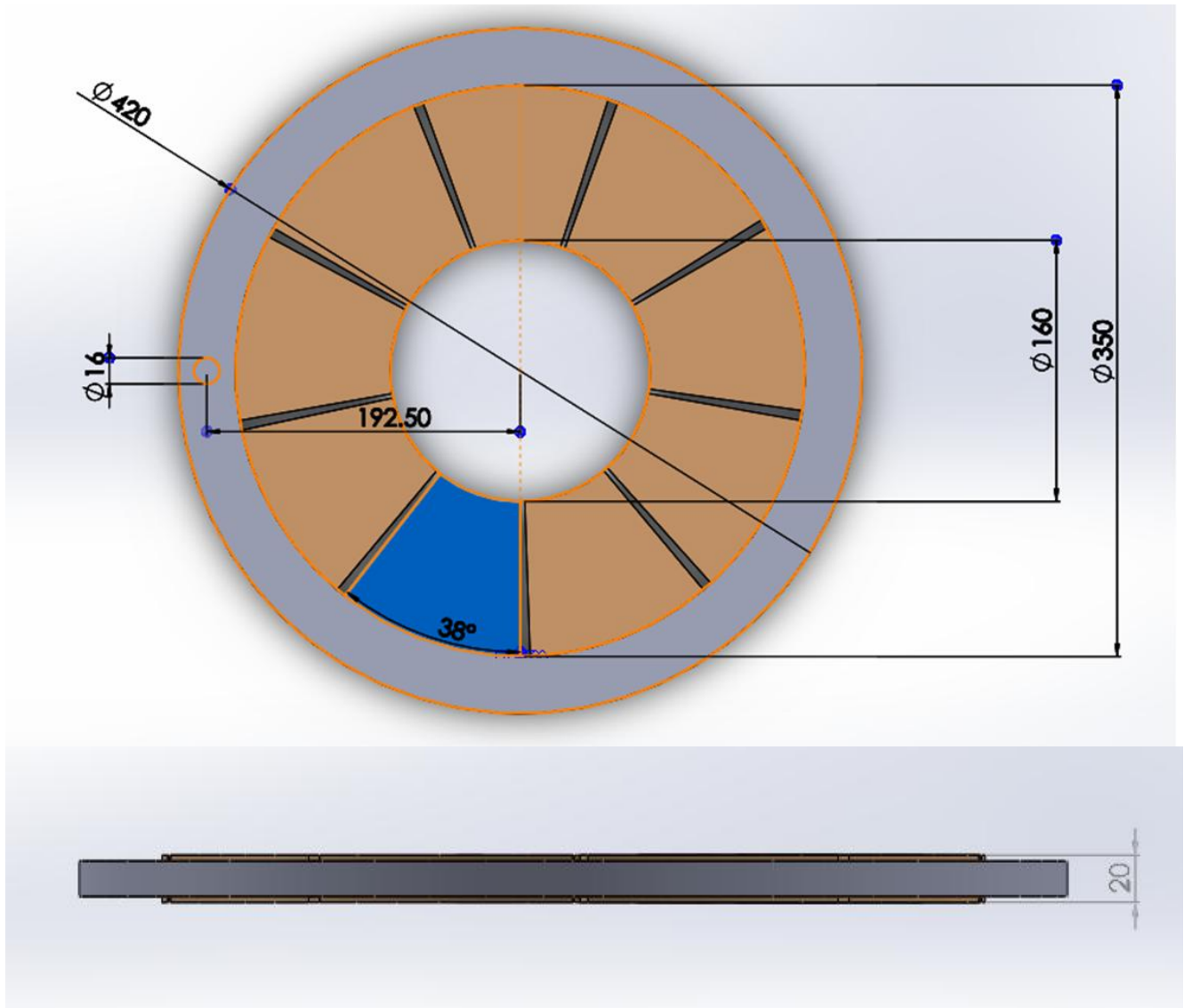
31 Akumuliatorių krovimo kontrolieris  
<http://www.mdpub.com/555Controller/> 2013 03 20

## PRIEDAI

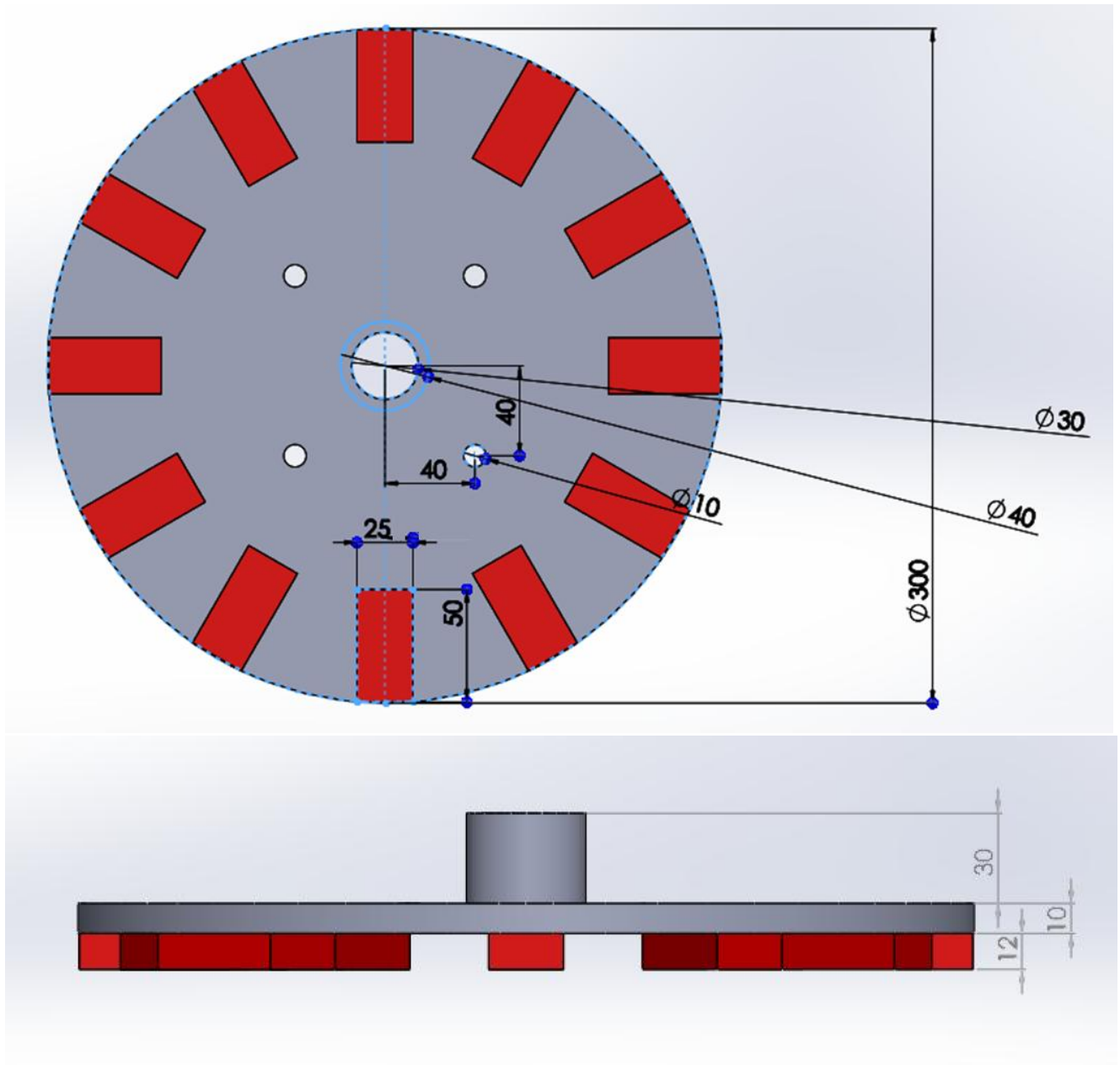
# Vertikalios ašies vėjo elektrinė



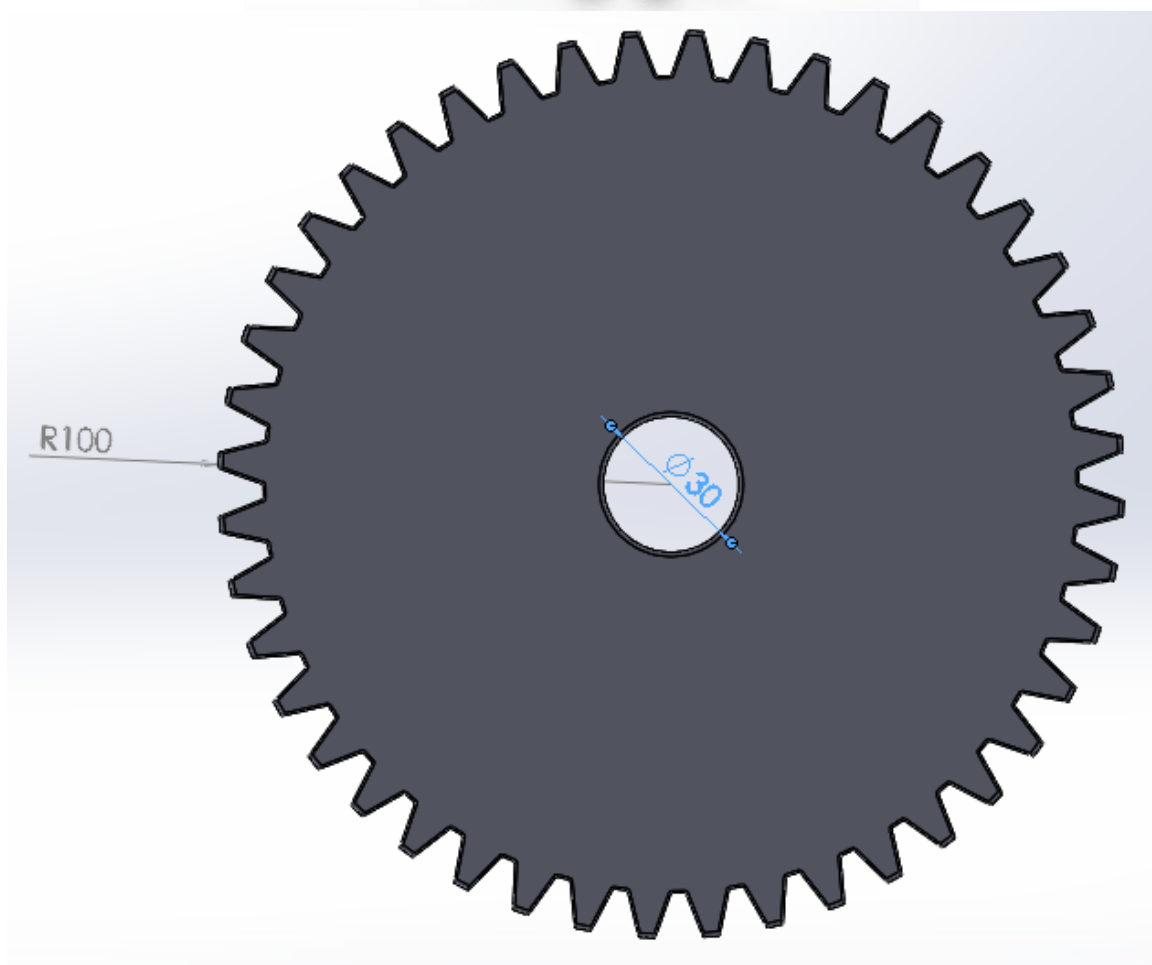
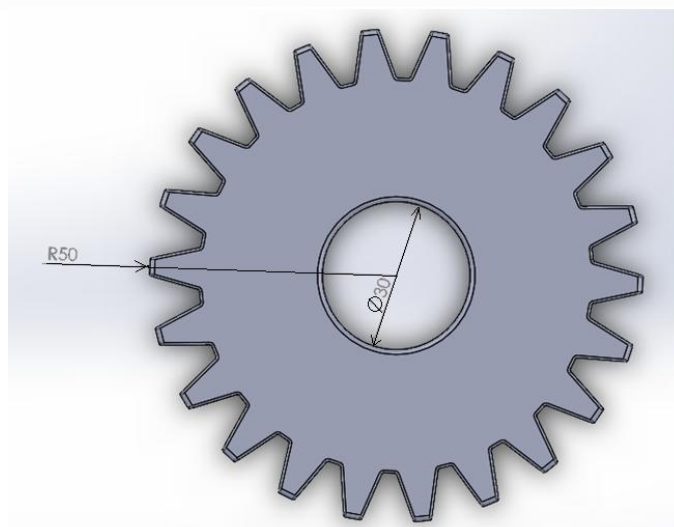
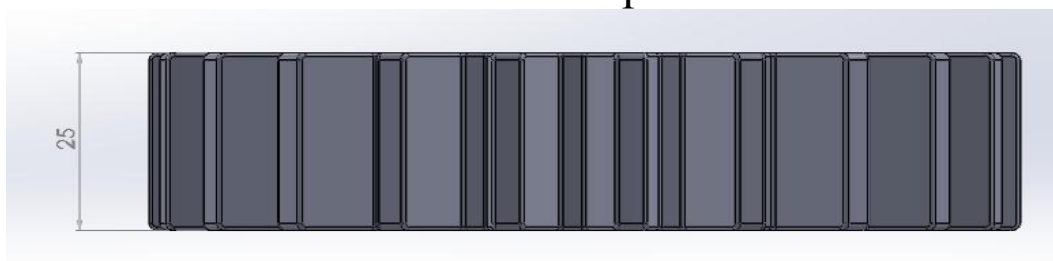
# Generatoriaus statorius (apvijos)



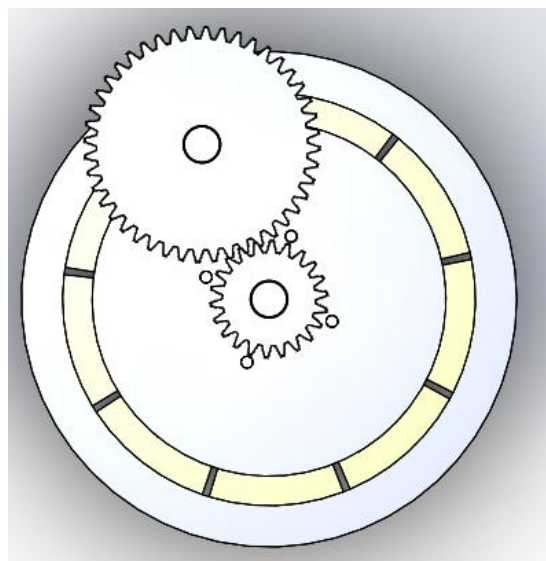
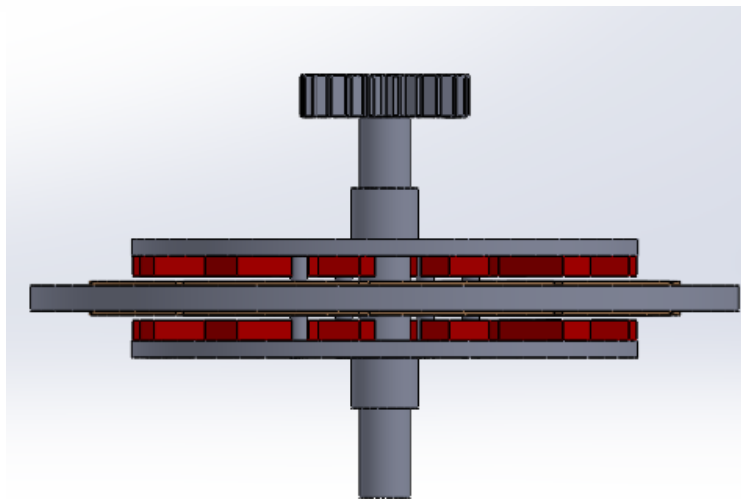
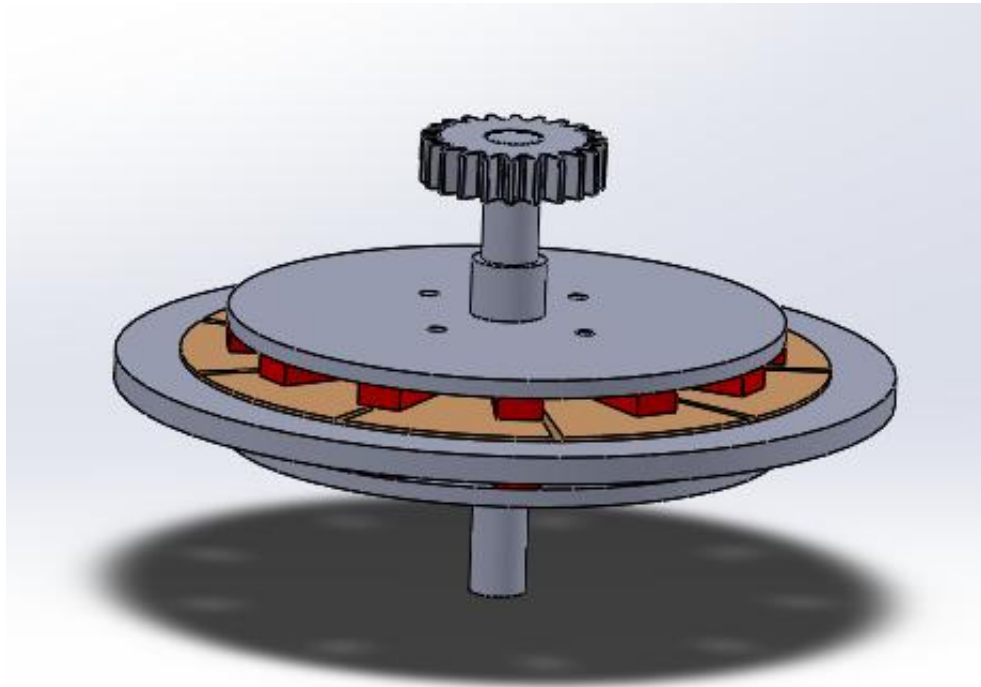
# Generatorius rotorius (magnetinis diskas)



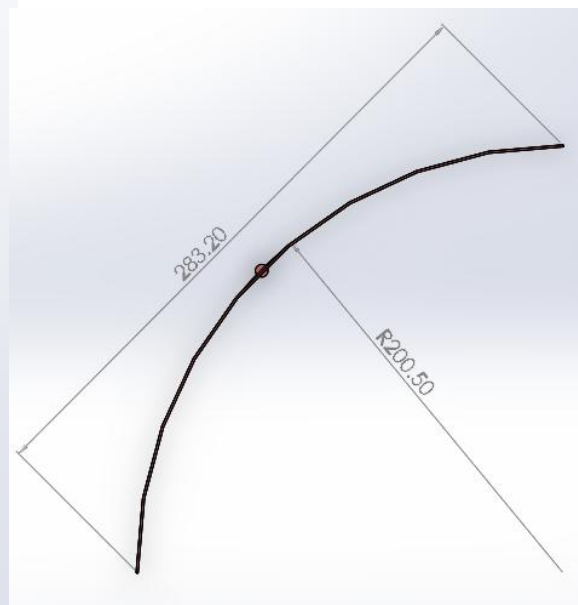
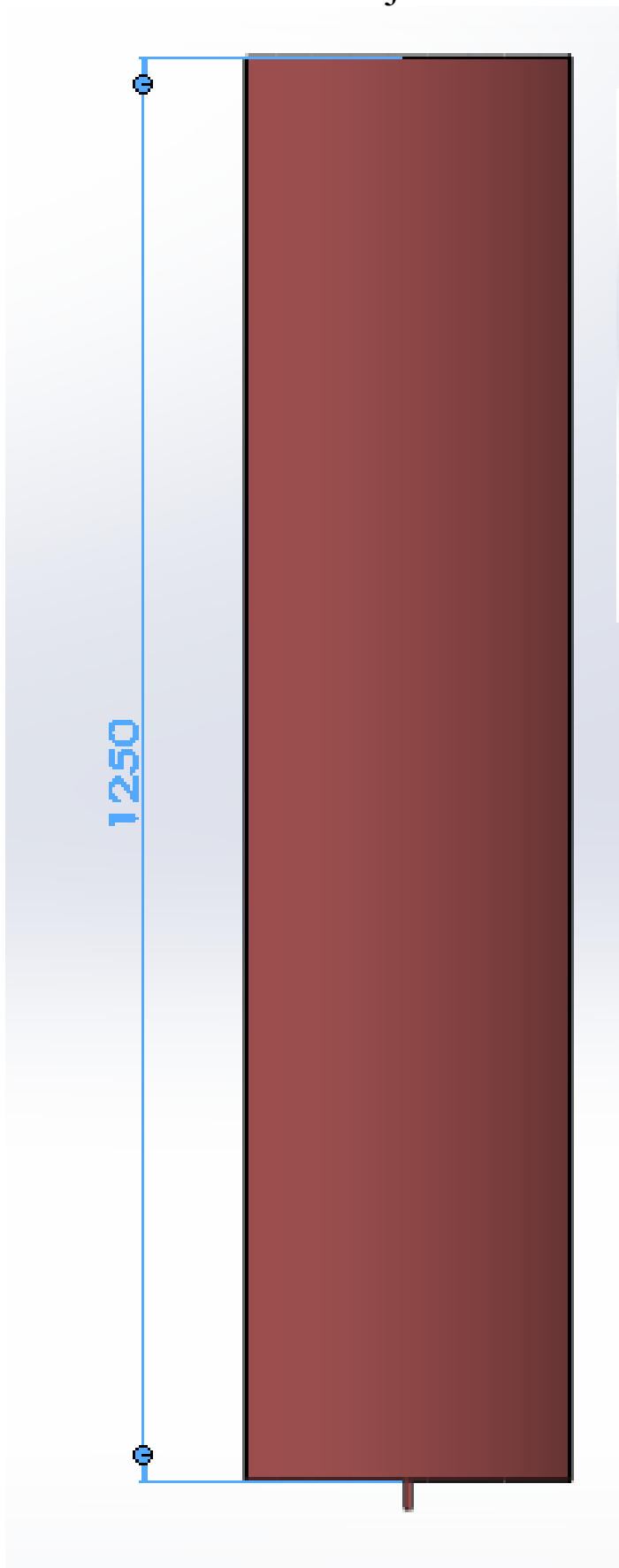
## Reduktoriaus krumpliaračiai



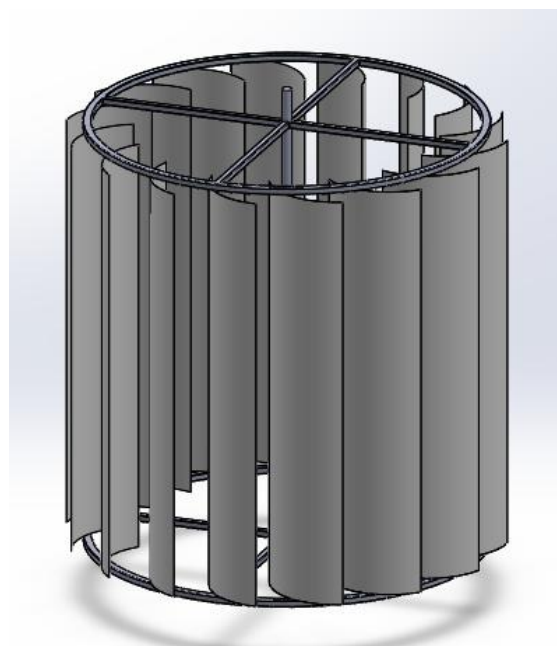
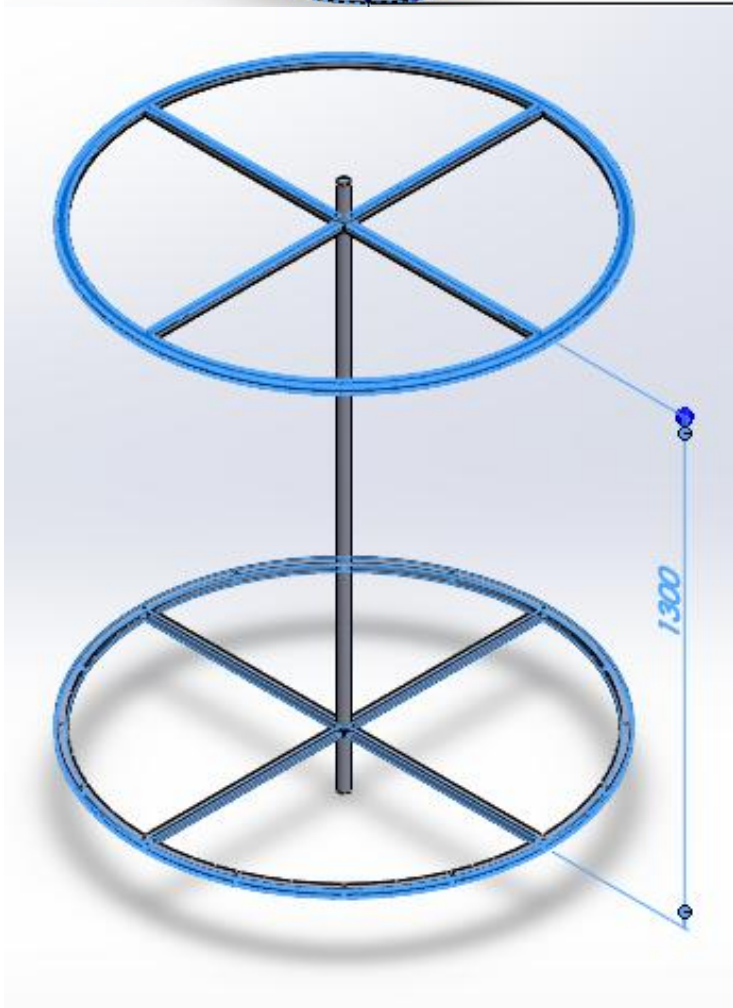
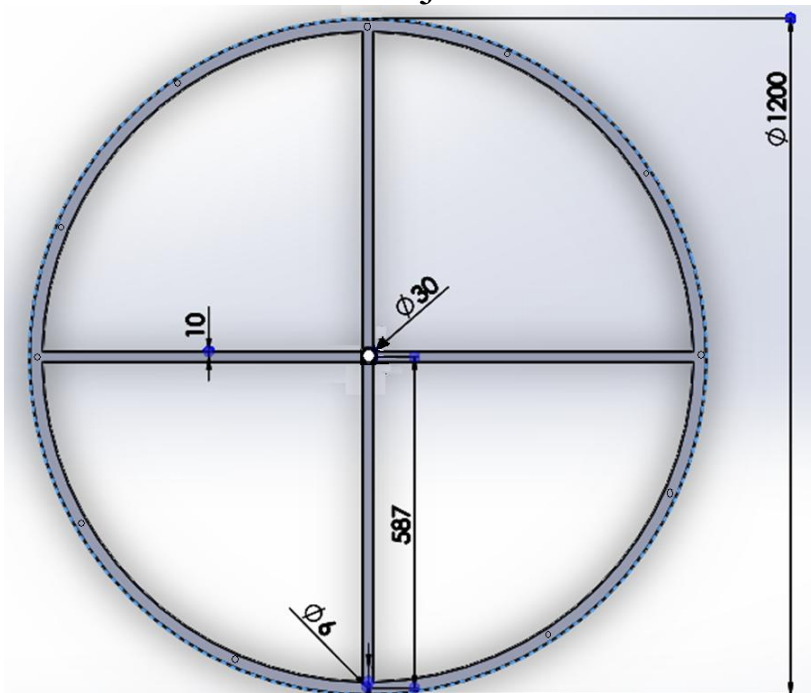
# Generatoriaus surinkimo schema



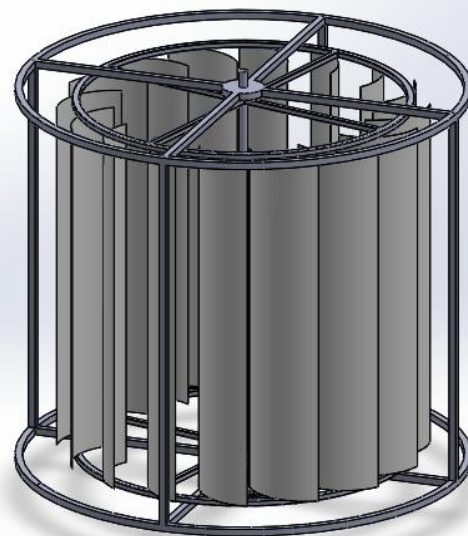
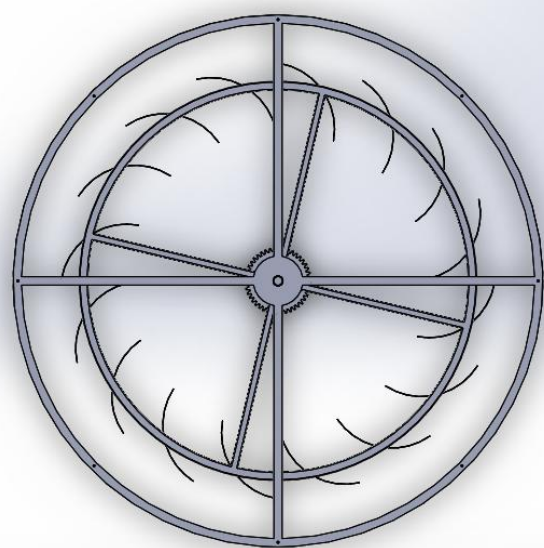
## Vējaračio rotoriaus sparnas



# Vējaračio rotoriaus korpusas



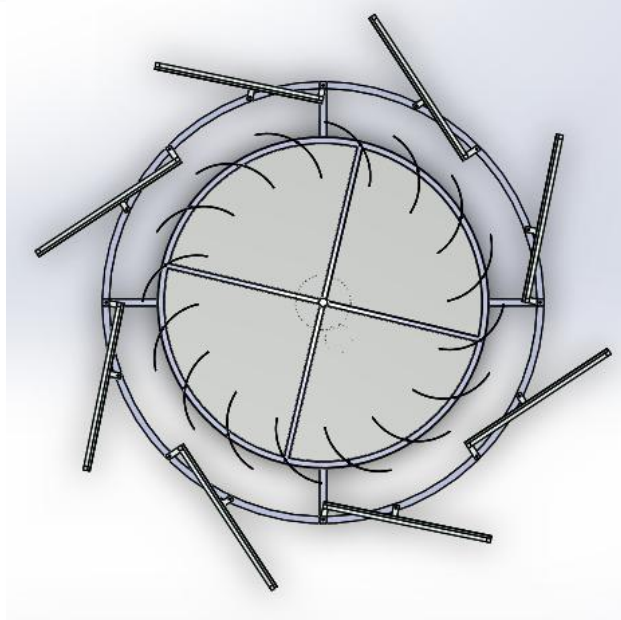
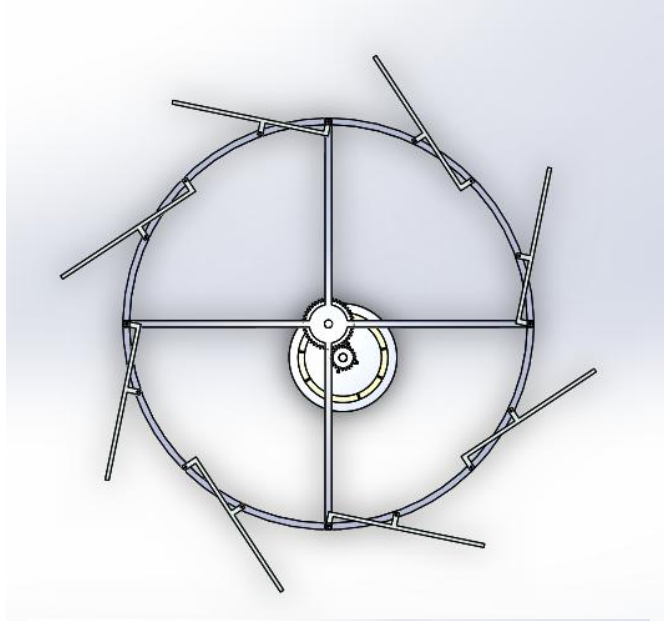
## Vējaračio statoraus korpusas



# Vējaračio statoriaus sparnas



## Vējo elektrinās pjūvīai



## Generatoriaus montavimo vieta

