

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS**  
**TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**  
**ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA**

Valdas Brazauskas

**VĖJO ELEKTRINIŲ SUKELIAMO ĮTAMPOS MIRGĖJIMO**  
**CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS**

Magistro darbas

**Vadovas**

lekt. M. Račas

ŠIAULIAI, 2011

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS**  
**TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**  
**ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA**

**TVIRTINU**  
Katedros vedėjas  
lekt. dr. G.Valiulis

2011 06 11

**VĖJO ELEKTRINIŲ SUKELIAMO ĮTAMPOS MIRGĖJIMO**  
**CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS**

Energetikos inžinerijos magistro darbas

**Recenzentas**

doc. dr. T. Šimkevičius

2011 06 01

**Vadovas**

lekt. M. Rauchas

2011 06 11

**Atliko**

EM9 gr. stud.

V. Brazauskas

2011 06 11

ŠIAULIAI, 2011

Brazauskas V. Research of Voltage Flicker Caused by Wind Farms: Master theses of electrical engineer / research advisor lekt M. Raugas; Šiauliai University, Technological Faculty, Electrical Engineering Department. – Šiauliai 2011. – 57 p.

## **SUMMARY**

In master's thesis analyzed wind – voltage flicker caused by the phenomenon and its causes. In the work discussed the impact of wind power operating for power voltage quality. Also determined an effect of voltage flicker for electrical equipment, humans health and environment. The work presents the methodology for calculating the voltage flicker of wind power at the connection point to power grid.

Practical calculations of master's thesis have been made in the Pakruojis 6 MW wind power park. In the master's thesis calculated voltage change causes the wind power connection point of the constant voltage flicker, switching at an initial speed of the wind-induced voltage flicker and switching at the rated speed of the wind-induced voltage flicker. The calculation was made in the wind park, connected to 10 and 35 kV power network.

The end of work contains conclusions of the investigation results.

Brazauskas V. Vėjo elektrinių sukeliama įtampos mirgėjimo charakteristikų tyrimas: Magistro darbas / vadovas lekt. M. Rauchas; Šiaulių universitetas Technologijos fakultetas, Elektros inžinerijos katedra. – Šiauliai, 2011. – 57 psl.

## SANTRAUKA

Šiame darbe nagrinėjamas vėjo elektrinių sukiamas įtampos mirgėjimo reiškinys, įvardijamos jo atsiradimo priežastys. Aptariama vėjo elektrinių sukelta įtaka tinklo įtampos kokybei. Taip pat nustatomas įtampos mirgėjimo poveikis elektriniams įrenginiams, žmogaus sveikatai ir aplinkai. Darbe pateikiama įtampos mirgėjimo skaičiavimo metodika vėjo elektrinės prijungimo taške.

Tiriamosios dalies skaičiavimai atlikti pasirinkus Pakruojo rajone esantį 6 MW vėjo elektrinių parką. Magistro baigiamajame darbe paskaičiuotas staigusis įtampos pokytis vėjo elektrinės prijungimo taške, nuolatinis įtampos mirgėjimas, perjungimų ties pradiniu vėjo greičiu sukeltas įtampos mirgėjimas ir perjungimų ties vardiniu vėjo greičiu sukeltas įtampos mirgėjimas. Skaičiavimai atlikti vėjo elektrinių parkui, prijungtam prie 10 ir 35 kV elektros tinklo.

Darbo pabaigoje pateikiamos išvados apie tyrimo rezultatus.

## Turinys

<b>LENTELIŲ SĄRAŠAS</b> .....	7
<b>PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS</b> .....	8
<b>ĮVADAS</b> .....	9
<b>1. VĖJAS IR VĖJO ELEKTRINĖS</b> .....	10
<b>2. ĮTAMPOS MIRGĖJIMAS</b> .....	12
<b>3. VĖJO ELEKTRINIŲ ĮTAKA ĮTAMPOS KOKYBEI</b> .....	15
3.1. Elektros energijos kokybė .....	15
3.2. Įtampos kokybės parametrai .....	16
3.3. Nuostoviosios tinklo įtampos kitimų leistinumas.....	18
<b>4. VĖJO ELEKTRINĖS REGULIAVIMAS</b> .....	21
4.1. Vėjo elektrinės valdymo kriterijus .....	21
4.2. Vėjo elektrinės įtampos mirgėjimas .....	22
4.3. Vėjo gūsiai ir trumpieji jungimai .....	23
4.4. Menčių pokrypio kampo keitimas .....	25
<b>5. MIRGĖJIMO AŠTRUMAS</b> .....	29
<b>6. STAIGUS ĮTAMPOS POKYČIAI IR MIRGĖJIMAS</b> .....	30
6.1. Mirgėjimo atsiradimo priežastys .....	30
6.2. Staigūs įtampos pokyčiai .....	36
<b>7. VĖJO ELEKTRINIŲ PRIJUNGIMO LEISTINUMO SKAIČIAVIMAS 35 KV ELEKTROS TINKLE</b> .....	38
7.1. Tinklo įtampos mirgėjimo leistinumo skaičiavimas.....	38
7.2. Nuolatinis įtampos mirgėjimas .....	44
7.3. Perjungimų ties pradiniu vėjo greičiu sukeltas mirgėjimas.....	46
7.4. Perjungimų ties vardiniu vėjo greičiu sukeltas mirgėjimas.....	47
<b>8. VĖJO ELEKTRINIŲ PRIJUNGIMO LEISTINUMO SKAIČIAVIMAS 10 KV ELEKTROS TINKLE</b> .....	48
8.1. Tinklo įtampos mirgėjimo leistinumo skaičiavimas.....	48

<b>IŠVADOS IR PASIŪLYMAI .....</b>	<b>50</b>
<b>NAUDOTA LITERATŪRA .....</b>	<b>51</b>
<b>PRIEDAI .....</b>	<b>53</b>

## Lentelių sąrašas

Lentelė 4.1 Vėjo elektrinių ir vėjo elektrinių parkų dažnio avarinės vertės.....	21
Lentelė 6.1 Pagrindiniai mažųjų vėjo turbinų klasių parametrai.....	36
Lentelė 7.1 Staigiųjų įtampos pokyčių arba mirgėjimo leistinosios ribos.....	38
Lentelė 7.2 Mirgėjimo koeficiento matavimo duomenys.....	39
Lentelė 7.3 Vėjo elektrinių įjungimų, esant pradiniam vėjo greičiui, sukeltas įtampos mirgėjimas ir jos pokytis.....	39
Lentelė 7.4 Vėjo elektrinių įjungimų, esant vardiniam vėjo greičiui, sukeltasis įtampos mirgėjimas ir jos pokytis .....	39
Lentelė 7.5 Vėjo elektrinės duomenys .....	40
Lentelė 7.6 Mirgėjimo aštrumo ilgalaikio rodiklio leistinoji riba .....	44
Lentelė 8.1 Vėjo elektrinių prijungimo taško parametrai.....	48

## Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Vėjo elektrinių parkas .....	10
2.1 pav. Įtampos pokyčio sukeltas šviesos srauto kitimas.....	12
2.2 pav. Cikliškas įtampos mirgėjimo grafika.....	13
2.3 pav. Bendra mirgėjimo kreivė .....	13
3.1 pav. Dažnio reguliavimo vyksmas .....	15
3.2 pav. Vėjo elektrinių reakcija į prijungimo taške išmatuoto dažnio pokyčius.....	16
3.3 pav. Elektros maitinančioji linija su 2 vartotojais ir viena vėjo elektrine įtampų grafikai.....	18
3.4 pav. Vėjo elektrinės reaktyviosios galios mainams keliami reikalavimai.....	19
3.5 pav. Tiristorinių ventilių atidarymo kampas $\delta$ .....	20
4.1 pav. Dažnio valdymo grafikas, iliustruojantis avarines vertes .....	22
4.2 pav. Trumpojo jungimo sukeltas įtampos pokytis laike .....	24
4.3 pav. Trumpojo jungimo poveikis sistemos dažniui.....	24
4.4 pav. Skirtingo slėgio zonos aerodinaminiam profilyje .....	25
4.5 pav. Aerodinaminį profilį veikiančios jėgos.....	25
4.6 pav. VE valdymas kampu tarp oro srauto ir aerodinaminio profilio ašies $\alpha$ .....	26
4.7 pav. Kilvarterio efektas už vėjo elektrinės vėjaračio.....	27
4.8 pav. Elektrinės galios valdymas kampu $\delta$ .....	27
6.1 pav. Vėjo greičio ir krypties matuoklis .....	30
6.2 pav. Vėjo greitis 10, 30 ir 50 metrų aukščiuose .....	31
6.3 pav. Vėjo pasiskirstymas prie rotoriaus.....	31
6.4 pav. Vėjo srauto judėjimas aplink bokštą.....	33
6.5 pav. Tarp bokšto ir mentės vykstantis šešėliavimas.....	33
6.6 pav. Šešėliavimo poveikis .....	34
6.7 pav. VE įsijungimo / išsijungimo prie pradinės nustatytos vėjo greičio vertės grafikas.....	35
6.8 pav. Vėjo elektrinės siūbavimo nuo vėjo pavyzdys .....	36
6.9 pav. Leistino įtampų kitimų lygio (% nuo vardinės įtampos), priklausomybė nuo jų pasikartojimo dažnio (1 min.).....	37
7.1 pav. Vėjo elektrinės prijungimo schema .....	41
7.2 pav. Vėjo elektrinės generatoriaus išsijungimo ir įsijungimo akimirksnis.....	46



## Įvadas

Šiuo metu vėjo energetika yra viena iš sparčiausiai besivystančių ir vis dažniau naudojamų elektros energijos gamybos šaltinių visame pasaulyje. Mūsų šalyje vėjo energetika vystoma taip pat gana dideliu greičiu.

Lietuvoje turime keleta vėjo elektrinių parkų, kurie yra prijungti prie bendro naudojimo elektros tinklų. Tačiau su vėjo elektrinių veikimu galima susieti ir įvairias problemas, kylančias gaminant elektros energiją bei ją perduodant tiesioginiams ar netiesioginiams jos vartotojams.

Vėjas yra kintantis ir nepastovus dydis, todėl gaminant elektros energiją naudojantis vėjo elektrinėmis tenka susidurti su įvairiais nesklandumais, kadangi vėjas pasižymi nepastovia pūtimo kryptimi, didele greičių pūtimo įvairove ir t.t. Iš visų neskandumu, su kuriais susiduriama, svarbiausiu galima laikyti įtampos mirgėjimo reiškinį, kadangi šio mirgėjimo pasekmės yra jaučiamos vartotojams.

Vėjo elektrinių sukeltas įtampos mirgėjimas yra labai rimta problema elektros tinklams, nes šių vėjo elektrinių gaminama elektros energija priklauso nuo vėjo greičio. Per dažnas vėjo pokytis elektros tinkluose sukelia įtampos svyravimus, kurie sutrikdo vartotojų elektrinių ar elektroninių prietaisų veikimą. To pasekoje gali labai sumažėti šių prietaisų eksploatavimo trukmė.

**Darbo tikslas** – ištirti vėjo elektrinių sukeliama įtampos mirgėjimo charakteristikas, pateikti rekomendacijas bei pasiūlyti priemones įtampos mirgėjimui mažinti.

Darbo tikslui pasiekti iškeliami šie uždaviniai:

- Išanalizuoti vėjo elektrinių generuojamos įtampos kokybės parametrus.
- Nustatyti įtampos mirgėjimą apibūdinančias charakteristikas.
- Išsiaiškinti įtampos mirgėjimo atsiradimo priežastis, kurias sukelia vėjo elektrinės.
- Atlikti supaprastinta įtampos mirgėjimo skaičiavimo metodika, vėjo elektrinės prijungimo taške.
- Pateikti pasiūlymus ir išvadas.

## 1. Vėjas ir vėjo elektrinės

**Vėjo elektrinė** (vėjo turbinos generatoriaus sistema) – vėjo turbiną, pavara, generatorių, valdiklį ir bokštą apimanti sistema, verčianti kinetinę vėjo energiją elektros energija.

**Vėjo elektrinių parkas** – jungtinė visuma, susidedanti iš vienos ar daugiau vėjo elektrinių ir jų įrenginių, jungianti jas prie prijungimo taško bei tarpusavyje (1.1 paveikslas). Šie vėjo elektrinių parkai atitinka ir atsinaujinančios energetikos, ir paskirstytojo generavimo sąvokas bei gali būti vadinami mažaisiais generatoriais.



1.1 pav. Vėjo elektrinių parkas [1]

Nuolatinis vėjo greičio svyravimas sukelia atitinkamus turbinos generatoriaus įtampos lygio svyravimus, todėl pagrindines vėjo savybės išskirčiau šias:

- nepastovi pūtimo kryptis;
- didelė pūtimo greičių įvairovė, nuo ramybės laikotarpio (jūreiviškai štiliaus) iki viesulų ir audrų vėjo;
- gūšiai arba turbulenciškumas, kai vėjas pučia šuorais, staigiai sustiprėja, dažnai papūsdamas iš šono ir netolygiai;
- kai už elektrinės susidaro Kilvarterio efektas, vėjas per  $5D$  atstumą ( $D$  yra vėjamačio skersmuo) tampa sūkuriuotas. Jei į šią zoną papuola kita vėjo elektrinė, antroji nebegali normaliai veikti ir jos galia ženkliai krenta. Dominuojančio vėjo kryptimi vėjo elektrines reikia išdėstyti šachmatine tvarka, kad jos kuo mažiau viena kitą užstotų.

Jeigu elektros tinklo, prie kurio prijungtos vėjo turbinos, galingumas nėra pakankamai didelis, tai gali atsiliepti viso tinklo įtampos kokybei ir kartu kelti kai kurių sunkumų tiek buitiniams, tiek pramoniniams vartotojams.

Konkreči vėjo turbinos jungimo į tinklą schema priklauso nuo to, kokio tipo generatorius panaudotas vėjo turbinoje ir kokių turbinos greičio režimu dirba pati turbina.

Kai vėjo turbina dirba kintamuoju rotorius sukimosi dažnių, jos generatoriaus įtampos dažnis irgi yra nuolatos kintantis, ir tokia turbina negali būti įjungta į elektros tinklą tiesiogiai. Reikalinga tarpinė grandis – tai įtampos keitiklis (inverteris). Jis vėjo turbinos generatoriaus įtampa pirmiausiai išlygina, po to išlygintą nuolatinę įtampa paverčia į kintamąją įtampa, kurios dažnis atitinka elektros tinklo dažnį.

Dirbant stabiliuoju rotorius sukimosi dažniu, vėjo turbinos jungiamos su tinklu tiesiogiai, naudojant individualų įtampos transformatorių.

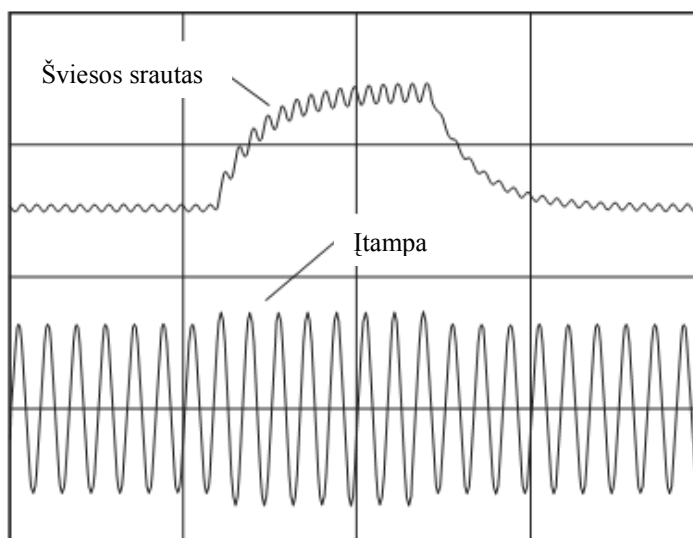
## 2. Įtampos mirgėjimas

**Mirgėjimas** – vizualus svyravimo išpūdis, sukeltas šviesos šaltinio, kurio šviesumas arba spektrinė sudėtis kinta laike. Virš tam tikro lygio mirgėjimas tampa aštrus ir pradeda dirginti akis. Dirginimas auga labai greitai, didėjant svyravimų amplitudei. Esant tam tikram pasikartojimo dažniui, net mažiausi svyravimai gali dirginti akis.

Žodis „mirgėjimas“ siejamas su sinonimais kaip, kad:

- įtampos svyravimai;
- įtampos mirgėjimas;
- šviesos arba lempų mirgėjimas.

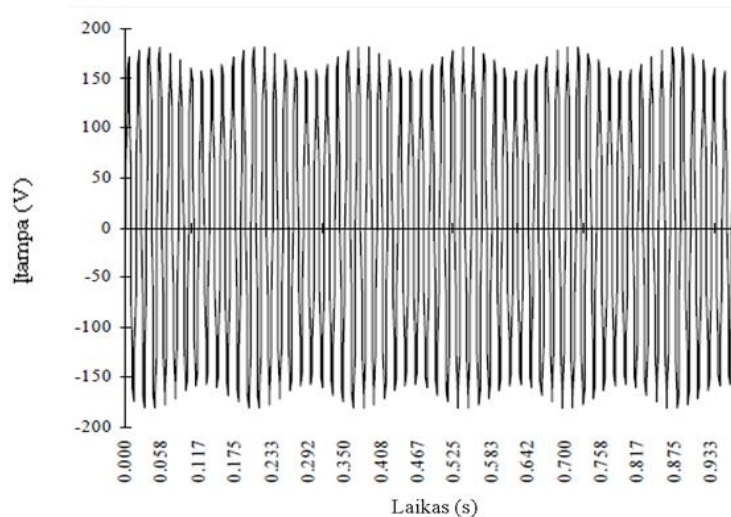
Šie reiškiniai gali būti apibrėžti kaip sistemos įtampos svyravimai, sukeliantys pastebimus pokyčius. Dažniausiai įtampos mirgėjimą žmogaus akis pastebi kai kambaryje ar kitoje patalpoje turinčioje elektros lemputes, dėl įtampos nestabilumo jos pradeda mirguliuoti. 2.1 paveiksle pavaizduota kaip mažas įtampos pokytis sukelia pastebimą šviesos srauto kitimą.



2.1 pav. Įtampos pokyčio sukeltas šviesos srauto kitimas [2]

Visa tai nėra jau taip blogai, tačiau atsiradę galingesni įtampos pokyčiai pavyzdžiui gamyklose, kur nepertraukiamų darbo režimų dirba įvairiausios staklės ar įrengimai, gali turėti įtakos jų veikimui ar netgi šių įrenginių gyvavimo trukmei.

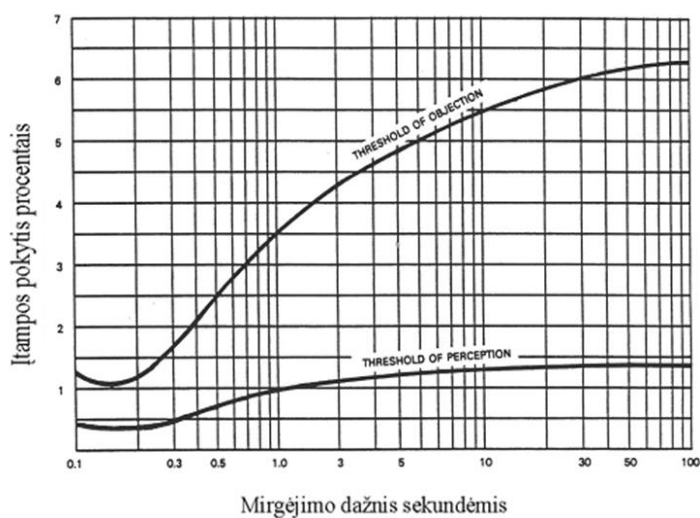
Įtampos mirgėjimas gali būti suskirstytas į du tipus: cikliškas ir necikliškas. Cikliškas mirgėjimas yra periodinių įtampos svyravimų sistemos įtampos rezultatas, su neciklišku mirgėjimu į atsitiktinį įtampos svyravimą. Cikliškas mirgėjimo pavyzdys pateiktas 2.2 paveiksle.



2.2 pav. Cikliškas įtampos mirgėjimo grafikas [3]

Kaip parodyta 2.2 paveiksle, mirgėjimas yra tiesiog amplitudės modeliavimas. Tradicinis metodas, skirtas išreikšti įtampos mirgėjimą yra panašus į amplitudės modeliavimą, tad paprastai įtampos mirgėjimas išreiškiamas procentinės įtampos pavidalu, atsižvelgiant į vidutinės įtampos dydį per tam tikrą laiko intervalą.

Ankstyvaisiais dar 1900 m., buvo atlikta daug tyrimų, kurių metu buvo nustatytas įtampos mirgėjimo lygis žmogaus akims. Mirgėjimo kreivė parodyta 2.3 paveiksle sukurta pagal K.P.Xenis ir W.Perine 1937 m., rezultatus gautus iš 21 grupės stebėtojų [3]. Siekiant, kad būtų atsižvelgta į mirgėjimo pobūdį, stebėtojai buvo veikiami įvairiomis įtampų svyravimų bangomis, apšvietimo lygiais ir apšvietimo rūšimis.



2.3 pav. Bendra mirgėjimo kreivė [3]

Dažnio įtampos mirgėjimas yra svarbus nustatant, ar mirgėjimo lygis pastebimas. Tipiškas dažnių diapazone pastebimas mirgėjimas yra nuo 0,5 Hz iki 30,0 Hz, su stebimų dydžių, pradedant nuo mažiau kaip 1,0 % reikšmės. Kaip parodyta 2.3 paveikslėlyje, dažnių įtampos mirgėjimas yra apie 5 – 10 Hz. Iš esmės tai reiškia, kad žmogaus akis labiau linkusi į įtampos svyravimus šiame 5 – 10 Hz diapazone. Kai mirgėjimo dažnis didėja ar mažėja nuo šio intervalo, žmogaus akis paprastai tampa atspari skaisčio svyravimams.

### 3. Vėjo elektrinių įtaka įtampos kokybei

#### 3.1. Elektros energijos kokybė

Elektros kokybės sąvoka apima:

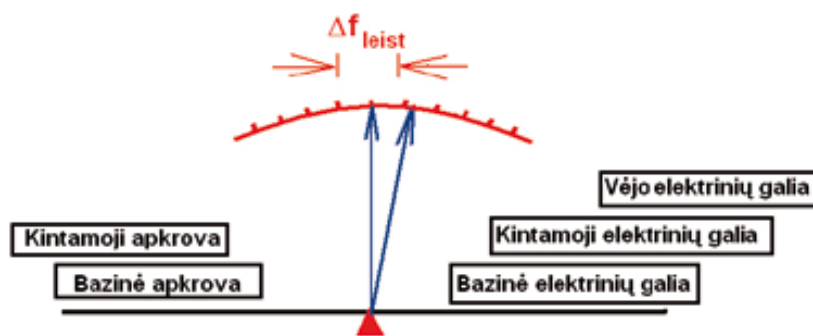
- dažnio valdymo kokybę;
- įtaką elektros tiekimo patikimumui;
- įtampos kokybę.

Įtampos kokybės dalyje dar išskiriame:

- nuostoviosios įtampos pokyčių leistinumą;
- staigiuosius įtampos pokyčius;
- įprastinės vėjo elektrinių veikos sukeltą įtampos mirgėjimą;
- įjungimų, išjungimų ir apvijų perjungimų sukeltą įtampos mirgėjimą;
- harmoninių įtampų (arba srovių) sukeltuosius iškreipius.

Elektros kokybės bendrojo naudojimo elektros tinkluose parametrus riboja reikalavimai, nurodyti kokybės standarte [4].

Tad kalbant apie elektros energijos kokybę pirmiausia tenka rūpintis visai elektros sistemai svarbia dažnio kokybe (3.1 paveikslas).



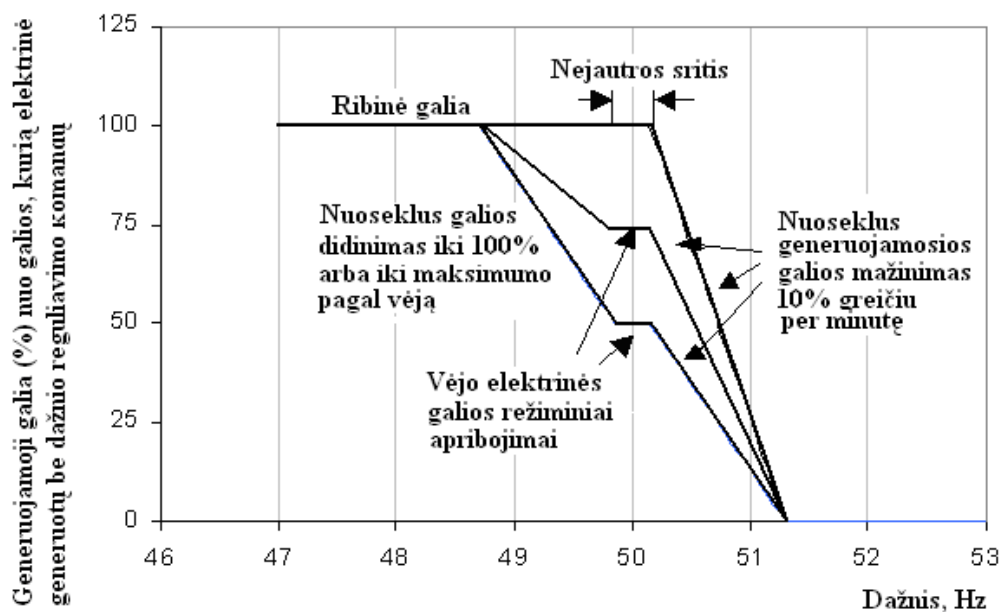
3.1 pav. Dažnio reguliavimo vyksmas [5]

Dažnio vertė turi būti 50 Hz, galimi tik nedideli, kelių milihercų reguliavimo postūmiai. Lietuvoje galinčių reguliuoti dažnį elektrinių nėra, todėl šią paslaugą tenka importuoti.

Elektros sistemos dažnis yra aktyvios galios visoje sistemoje funkcija. Visos elektros sistemos mastu stambiosios vėjo elektrinės, tiksliau jų parkai, dažnio valdymo kokybei daro ženklia įtaką. Vėjo elektrinių parkai skirstomi į 5 jungimo grupes:

- 330 kV;
  - 110 kV;
  - 35 kV;
  - 10 kV;
  - 0,4 kV.
- ← Prie šių grupių jungiami didieji parkai.
- ← Prie šių grupių jungiami mažesnieji parkai ir atskiros elektrinės.

Dažnio reguliavimo reikalavimai dideliems vėjo parkams ir pavienėms elektrinėms skiriasi. Todėl, bet kokios vėjo elektrinės galia turi būti valdoma, pavyzdžiui, generuojamoji galia turi būti mažinama, jei sistemoje nebėra kur dėti elektros pertekliaus, ir generavimą kartu su vietiniu elektros kaupikliu reikia didinti, jei toks poreikis atsiranda.



3.2 pav. Vėjo elektrinių reakcija į prijungimo taške išmatuoto dažnio pokyčius [6]

Dabartinėse vėjo elektrinėse yra įtaisytos menčių pokrypio kampo keitimo pavaros. Jei tinklo dažnis pasikeičia, vėjo elektrinė turi būti reguliuojama taip, kaip pateikta 3.2 paveiksle. Vėjo elektrinių įrengimo taisyklėse numatyta, kad dažnio matavimo prietaisas turi būti  $\pm 10$  mHz tikslumo ir nejautrus harmonikoms.

### 3.2. Įtampos kokybės parametrai

Leistinas tinklo apkrovimas šiuo atveju gali būti ribojamas ne tik terminiais tinklo pralaidumo parametrais, bet ir įtampos kokybės parametrais. Tad skaičiuojant vėjo elektrinių statymo galimybes taip pat tenka susidurti su nepakankamos įtampos kokybės reiškiniu. Pagrindė būtų galima išskirti:



- Vėjo netolygaus pūtimo sukeliama įtampos mirgėjimą;
- Vėjo elektrinių įsijungimo ir išsijungimo iš tinklo sukeliama šuolini įtampos mirgėjimą;
- Vėjo elektrinės įrenginių generuojamų aukštesniųjų įtampos harmonikų lygį;
- Trifazės įtampos nesimetrijos reiškinį.

Tačiau tik du elektros kokybės parametrai turi daugiau juntamos įtakos vartotojui:

- Dažnai pasikartojantys įtampos šuoliai;
- Tiekiamos į tinklą elektros srovės aukštesnių harmonikų lygis.

Įtampos kitimo ar mirgėjimų dydis priklauso nuo tinklo parametrų, o jų sumažinimas reikalauja brangesnių įrenginių. Todėl įtampos kokybės reiškinys yra lokalus, tai yra prie vienos linijos prijungus vėjo elektrinę, kokybė bus leistiniųjų normų ribose, kitoje vietoje leistinosios ribos gali būti pažeistos. Apie elektros kokybės parametrų matavimus vėjo elektrinėse smulkiau galima sužinoti LST EN 61400-21 standarte [7].

Praktiškai nepasitaikė, kad vėjo elektrinėse generuojamos aukštesniosios harmonikos ar nesimetrijos lygiai viršytų standarte leistinasias vertes. Dažniausiai neviršijamas ir vėjo netolygumų sukeliamas įtampos mirgėjimo leistinasis aštrumo rodiklis, o štai su vėjo elektrinės įsijungimų ir išsijungimų iš tinklo sukeliama šuoliniu mirgėjimu būna bėdų.

Jei paskaičiavus mirgėjimo aštrumą paaiškėja, kad vėjo elektrinė gali atlikti tik pvz., 8 komutacijas per valandą, vėjo elektrinės kompiuterį programuoti tenka taip, kad kol nepasibaigė astronominė valanda ir neprasidėjo naujų leistiniųjų įjungimų tarpnis, vėjo elektrinė turėtų paprasčiausiai stovėti nedirbdama. Be abejo, tokioje vietoje elektrinės galima ir iš viso nestatyti. Turbūt esate matę, kaip kelios vėjo elektrinės sukasi, o viena ar dvi laukia laikrodžio komandos stovėdamos.

Sudėtingiausiai sprendžiamas įtampos kokybės parametras yra tinklo įtampa, nes vėjo elektrinės labai užkelia įtampą.

Vėjo elektrinės statome atokiose, mažai gyventojų ir kartu mažai išvystytų elektros linijų turinčiose vietovėse. Toks elektros tinklas vadinamas silpnu (ne tuo požiūriu, kad papūtus vėjui laidai trūksta ir stulpai virsta, bet elektros energijos perdavimo aspektu). Tokios elektros linijos turi palyginti plonus laidininkus, didesnę varžą tad vėjo elektrinei prisijungus gaunami dideli įtampos šuoliai. Leistinosios įtampos pokyčių ribos yra  $\pm 10$  proc. nuo vardinės įtampos (pvz., 10 kV vardinės įtampos atveju leistinosios įtampos lubos yra 11 kV). Jei įtampa būtų didesnė, yra galimybė, kad greta vėjo elektrinės esančiame kaimelyje sudegs pavyzdžiui televizoriai ar kompiuteriai.

Jeigu įtampos sureguliuoti nepavyksta, vėjo elektrinės toje vietoje statyti ir prie tokios silpnos linijos jungti negalima. Tačiau galima elektros liniją rekonstruoti, iškelti vietinius vartojus,

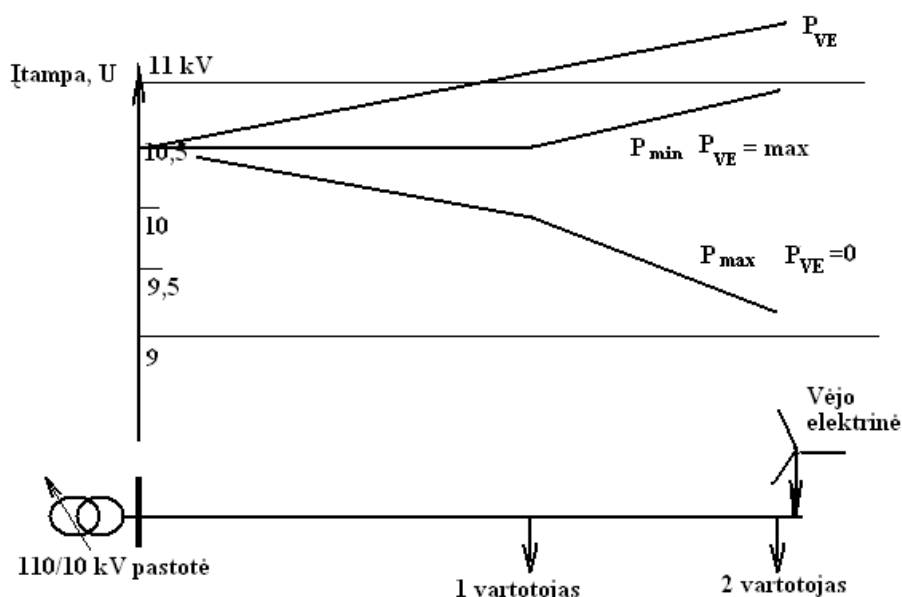
pasistatyti atskirą liniją, taip pat taip užprogramuoti vėjo elektrinės kompiuterį, kad šis sektų įtampą prijungimo taške ir ją žemintų.

Tačiau jeigu vis dėlto standarto nustatyti elektros kokybės leistinieji rodikliai yra netenkinami, vėjo elektrinių toje vietoje statyti negalima (nes, pavyzdžiui, elektros tinklai pinigų atpirkti viso kaimelio sudegusiems televizoriams ar kompiuteriams neturi).

### 3.3. Nuostoviosios tinklo įtampos kitimų leistinumas

Vėjo elektrinės įrengiamos vietovėse, kuriose arti nėra nuolatinių gyventojų. Parenkant vietą, reikia atsižvelgti į leistą akustinį triukšmą, žemės sklypo paskirtį ir net į vėjaračio sparnų skleidžiamą saulės šešėlio kitimą, esant žemai vakaro saulei, nes visi dirgikliai gyventojus nuteikia priešiška. Elektrinėms veikiant, tinklo įtampa pakyla ir tai gali būti elektrinių prietaisų gedimų priežastimi. Elektros kokybės standarte leistinieji įtampos pokyčiai apriboti  $\pm 10\%$  intervalu. Vadinasi, nuostoviosios įtampos kitimo ribos vėjo elektrinėms veikiant ir neveikiant 0,4 kV, 10 kV ir 35 kV tinkle neturi išeiti už kokybiškos įtampos ribų. Aukštosios įtampos 110 kV ir 330 kV tinkluose įprastiniai elektros kokybės standartai nebegalioja, nes tai jau ne vieši bendro naudojimo, o žinybiniai tinklai ir įtampos lygius apsprendžia elektros sistemos ir jos įrenginių darbo sąlygos.

Nuostoviosios tinklo įtampos leistinasis padidėjimas yra skaičiuojamas didžiausios vėjo elektrinių generuojamos galios režime. Jei minimumo lygis nežinomas, galima priimti, kad vietinės apkrovos nėra. Labai dažnai nežinomi realūs įtampos lygiai didžiausių vietinės apkrovų metu, todėl dar papildomai skaičiuojamas žemiausių įtampų lygių režimas. Jei įtampos netelpa į leistinąjį intervalą, tenka numatyti papildomas įtampos valdymo priemones.

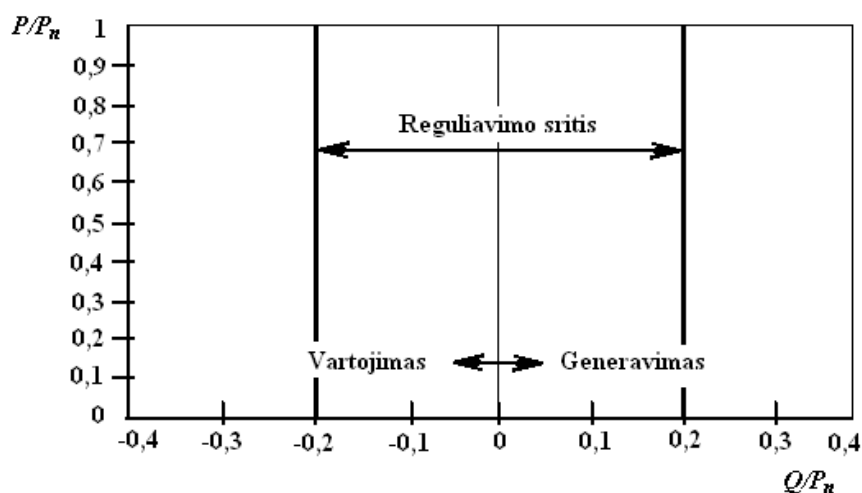


3.3 pav. Elektros maitinančioji linija su 2 vartotojais ir viena vėjo elektrine įtampų grafikai [7]

Maitinančiosios 10 kV linijos įtampų grafike, kuris parodytas 3.3 paveiksle, matome, kad vėjo elektrinei neveikiant, linijos įtampos nenukrenta daugiau, kaip per -10%, arba per 1 kV. Tai tipinė kaimo elektros tinklų įtampų situacija. Visa tai pasiekama maitinančioje pastotėje ant šynų palaikant +5% padidintą įtampa 10,5 kV. Vėjo elektrinei veikiant galimas režimas, kai dalį jos generuojamos galios suvartoja vietiniai vartotojai ir susidaręs galios perteklius nuteka į pastotės 10 kV šynas, tačiau įtampa linijoje nepakyla daugiau kaip 11 kV. Tai gerasis atvejis.

Blogasis atvejis susidaro, kai vėjo elektrinės galia tiek didelė, kad vietinių vartotojų apkrova yra per maža, arba jų iš viso nėra. Tada vėjo elektrinės prijungimo prie linijos taške įtampa tampa per daug aukšta ir viršija 11 kV ribą. Jei turime vėjo elektrinių parko vidaus tinklą, tai galima teigti, kad tai ne viešo maitinimo, o žinybinis elektros tinklas ir jam įtampos kokybės reikalavimus galima netaikyti. Tuo pačiu padidinta virš 11 kV įtampa, jei tai leidžia transformatorių darbo režimai yra toleruotina. Jei tai viešo maitinimo skirstomųjų elektros tinklų linija, kurioje, bet kada gali atsirasti naujos 10 kV žeminančios pastotės ir nauji vartotojai, linijoje įtampa turi būti žemesnė už 11 kV.

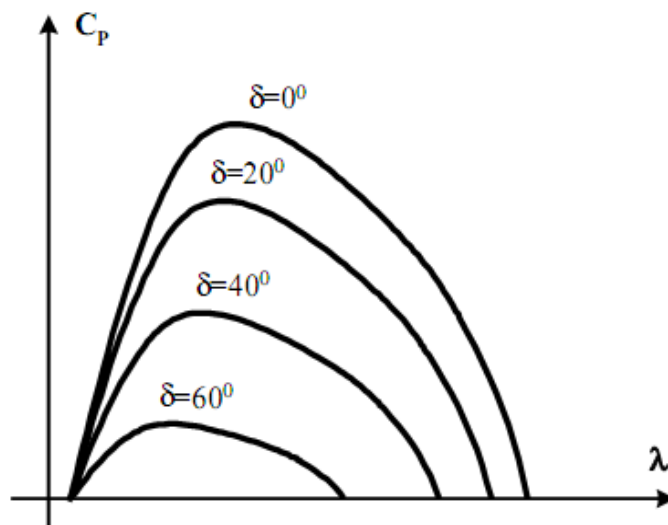
Vėjo elektrinių konstrukcijose numatyta galimybė reguliuoti prijungimo taško įtampą keičiant generuojamos arba vartojamos reaktyviosios galios kiekį (3.4 paveikslas).



3.4 pav. Vėjo elektrinės reaktyviosios galios mainams keliami reikalavimai [6]

Jei reaktyviosios galios mainai mažesni kaip 25 kvar, reguliavimo reikalavimas netaikomas. Norint sumažinti prijungimo taško įtampą, reikia vėjo elektrinė suderinti taip, kad ji būtų reaktyviosios galios vartotojas. Asinchroninio generatoriaus atveju, parenkama mažesnė kondensatorių baterija, arba ji visai išjungiamą. Tada asinchroninis generatorius generuos aktyviają, o vartos reaktyviają galias ir jo galia įtampos kitimo skaičiavimuose bus išreiškiama  $P - jQ$ , arba, jei skaičiuosime kaip neigiamą apkrovą, bus  $-P + jQ$ .

Vėjo elektrinėse su keitikliais, kondensatorių baterijų dažniausiai nėra, o reaktyvioji galia, tikriau koeficientas  $\cos(\varphi)$  yra reguliuojamas keičiant tiristorinių ventilių atidarymo kampą  $\delta$  (3.5 paveikslas).



3.5 pav. Tiristorinių ventilių atidarymo kampas  $\delta$  [8]

Yra dar viena tinklo įtampos valdymo galimybė – perderinti 110/10 kV transformatoriaus atšakų reguliatorių taip, kad didžiausių generuojamų galių atvejais būtų mažinama 10 kV šynų įtampa ir tuo pačiu viso 10 kV linijų tinklo įtampa. Tačiau reikia patikrinti, ar nebus vartotojui per daug sumažinta įtampa.

## 4. Vėjo elektrinės reguliavimas

### 4.1. Vėjo elektrinės valdymo kriterijus

Generuojamoji vėjo elektrinės (vėjo elektrinių parko) galia, nustatyta kaip 60 sekundžių (1 minutės) trukmės vidurkio vertė  $P_{60}$ , bet kuri akimirksni neturi viršyti generavimo leistinosios ribos daugiau kaip per elektrinės (vėjo parko) vardinės galios 5% dalį.

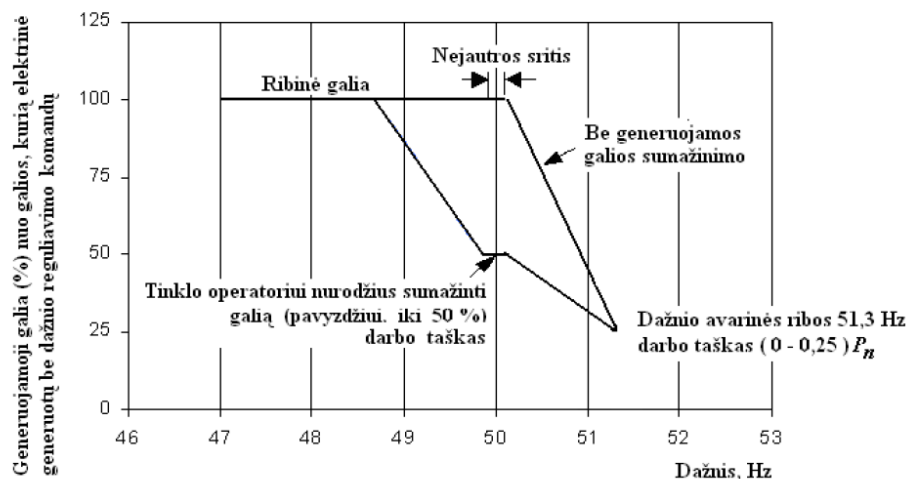
Jei elektrinei ar parkui, perdavimo tinklo operatorius nurodė valdyti dažnį, vėjo elektrinės arba parko valdymo įrenginiai turi keisti nurodytos generuojamos galios vertę pagal perdavimo tinklo dažnio vertę. Tokiais atvejais dažnio valdymo komandos tampa viršesnės už vėjo elektrinės valdymo pagal nurodytą galią komandas.

Vėjo elektrinė ar jų parkas privalo dalyvauti valdant dažnį. Apie tai sprendžia ir nurodo skirstomųjų ar perdavimo tinklo operatorius, nuotoliniu būdu valdydamas vėjo elektrines ar jų parkus. Galios ir dažnio valdymas turi būti toks, kad valdomas galios sumažinimas ar didinimas, kartu kontroliuojant dažnį, vėjo elektrinės valdikliui gavus atitinkamą komandą, būtų atliktas ne lėčiau kaip per 30 sekundžių. Jei tinklo dažnis pasikeičia, vėjo elektrinė turi būti reguliuojama taip, kaip pateikta 4.1 lentelėje.

Lentelė 4.1

Vėjo elektrinių ir vėjo elektrinių parkų dažnio avarinės vertės

	Statų sritis	Avarinė vertė
Nukrypusių nuo vardinio dažnių reguliavimo srities žemiausiojo dažnio riba ( $f_{\min}$ ).	50,00...47,00 Hz	48,7 Hz
Nukrypusių nuo vardinio dažnių reguliavimo srities aukščiausioji dažnio riba ( $f_{\max}$ ).	50,00...53,00 Hz	51,3 Hz
Nukrypusių nuo vardinio dažnių nejautrumo srities aukštesnioji riba ( $f_{d+}$ ).	50,00...53,00 Hz	50,15 Hz
Generuojamos galios reguliavimo faktorius dažnių $f_{\min}$ , $f_{d-}$ ir $f_{d+}$ ... $f_{\max}$ srityje, žiūrėti 5 paveikslą.	Aukštesniems dažniams: $(1 - \frac{f - f_{d+}}{f_{\max} - f_{d+}}) \cdot 100\%$ Žemesniems dažniams: $(1 + \frac{f - f_{d-}}{f_{\min} - f_{d-}}) \cdot 100\%$	
Reguliavimo greitis, apskaičiuotas nuo ribinės vertės iki visiško suregulavimo taško.	10% vardinės galios per sekundę	



4.1 pav. Dažnio valdymo grafikas, iliustruojantis avarines vertes [6]

Iš lentelės ir paveikslėlio matyti, kad nuo 47,0 Hz iki 53,0 Hz dažnių juostoje, dažnio matavimo paklaida neturi viršyti  $\pm 10$  mHz. Šis reikalavimas turi būti vykdomas, net jei įtampos kreivė būtų iškreipta harmonikų. Fazės pokytis (iki  $20^\circ$ ) šios charakteristikos neturi paveikti.

Tikrinant vėjo elektrinių parko atsakus į pažeidimus, turi būti įrengta elektros sistemoje naudojama įrašymo įranga, kuri fiksuoja duomenis 10 sekundžių prieš pažeidimą, per pažeidimą ir 60 sekundžių po pažeidimo. Įrašymo įrangoje turi būti pakankamas įrašymo kanalų skaičius. Taip pat turi būti galima papildomai įrašyti pasirinktos kiekvieno tipo vėjo elektrinės ar viso parko prijungimo taško dydžius pvz:

- įtampą;
- aktyviąją galią;
- reaktyviąją galią;
- dažnį;
- srovę.

Vėjo elektrinių parko indėlis į įtampos pokyčius ir jos mirgėjimą bei harmonikas prijungimo taške turi būti nustatytas remiantis srovės ir (arba) galios matavimais ir įtampų skaičiavimais, kurie yra atliekami pagal perdavimo tinklo operatoriaus pateiktų schemų varžas.

#### 4.2. Vėjo elektrinės įtampos mirgėjimas

Vėjo elektrinės įtampos mirgėjimas yra santykinai greiti ir labai greiti dėl vėjo greičio ir oro tankio kitimų atsirandantys ir nuolat pasikartojantys įtampos pokyčiai, kurie per elektrinio apšvietimo prietaisus neigiamai veikia žmonių regėjimą: jų akyse sukelia mirgėjimo pojūčius. Fiziologiniais tyrimais nustatytos ribinės tokio mirgėjimo vertės pateiktos elektromagnetinio

suderinamumo serijos mirgėjimą nagrinėjančiuose standartuose [9]. Vertinant vėjo elektrinės sukeltą mirgėjimą prijungimo taške skiriami du faktoriai:

- pirmuoju faktoriumi, kuris vadinamas mirgėjimo koeficientu, vertinamas vėjo elektrinės generuojamos galios svyravimų indėlis į tinklo įtampos mirgėjimą;
- vėjo elektrinės perjungimų įtakai įtampos mirgėjimui prijungimo taške išreikšti yra taikomas antrasis – įtampos mirgėjimo laipto faktorius.

Abu faktoriai nustatomi per vėjo elektrinės tipo bandymus, kurie taip pat dar priklauso nuo:

- vidutinio metinio vėjo greičio statybos vietoje  $v_a$ ;
- matuojamo vėjaračio veleno aukštyje;
- tinklo trumpojo jungimo grandinės pilnutinės varžos fazinio kampo vertės  $\Psi_k$  prijungimo taške.

Vėjo elektrinių gamintojai turi nustatyti mirgėjimo koeficiento ir mirgėjimo laipto faktoriaus vertes esant vidutiniams metiniams vėjo greičiams:

$$v_a = 6 \text{ m/s}, 7,5 \text{ m/s}, 8,5 \text{ m/s ir } 10 \text{ m/s}.$$

bei esant trumpojo jungimo grandinės faziniams kampams lygiems:

$$\Psi_k = 30^0, 50^0, 70^0 \text{ ir } 85^0.$$

Jei statybos vietoje konkrečiai tokių vėjo greičių nėra ar prijungimo tinklo taške fazinio kampo vertė skiriasi, mirgėjimo koeficiento ir mirgėjimo laipto faktoriaus vertės randamos interpoliuojant elektrinės tipo bandymo rezultatus.

### 4.3. Vėjo gūšiai ir trumpieji jungimai

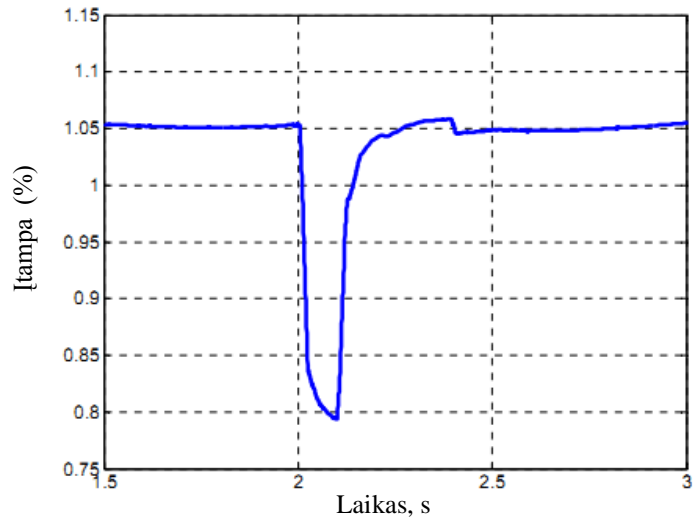
Vėjo elektrinių apsaugų nuo vėjo gūsių nustatymai turi būti išskaidomi atskiroms vėjo elektrinėms galimai skirtingai. Būtina, kad elektrinių stabdymo ir įjungimo vėjo greičių nustatymai skirtųsi ne mažiau kaip 10% tam, kad šiek tiek pasikeitus vėjo greičiui jos vėl nebūtų stabdomos ir įjungiamos. Rekomenduojama, kad vėjo elektrinės turėtų vėjo gūsių dinaminę valdymo sistemą, kuri esant stabdymo vėjo greičiui, lygiam apie 0,8 - 0,85 leistinos didžiausios vėjo greičio vertės, tačiau ne mažesniai kaip 25 m/s, pradėtų mažinti generuojamą galią. Toliau didėjant vėjo greičiui ir pasiekus leistiną didžiausiąją vėjo greičio reikšmę, galia turi būtų sumažinta iki nulio.

Vėjo elektrinių įsijungimo prie minimalaus vėjo greičio nustatymai taip pat turi būti diferencijuojami pagal vėjo greičio ar laiko išlaikymo nustatymus, kitaip vėl gali pasireikšti įtampos mirgėjimo sąlyga. Todėl vėjo elektrinių apsaugų veikimas turi būti skirtingas esant tokiems gedimams:

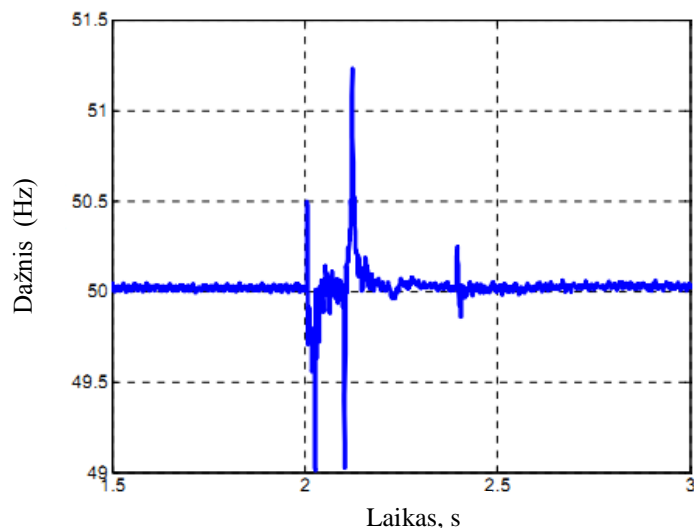
- artimoje zonoje (elektrinėje ir jos prijunginyje) reaguojant į srovės padidėjimą;

- tolimoje zonoje (elektros tinkle už elektrinės prijunginio) reaguojant į elektros tinklo įtampos ir dažnio pokyčius.

Dėl vėjo elektrinių srovės keitiklių didelio jautrio padidėjusiai srovei, esančių, vėjo elektrinių apsaugų nustatymai įtampos sumažėjimui yra ganėtinai dideli ir siekia apie 0,8 – 0,9  $U_n$  atjungiant be laiko išlaikymo. Todėl net ir labai nutolę trumpieji jungimai tinkluose turi tiesioginį poveikį į vėjo elektrinių atjungimą. Tokiu būdu gaunamas vienas iš mirgėjimo pavyzdžių (4.3 paveikslas).



4.2 pav. Trumpojo jungimo sukeltas įtampos pokytis laike



4.3 pav. Trumpojo jungimo poveikis sistemos dažniui

Pilnai išjungtos vėjo elektrinės pradeda suktis tik po keletos minučių, o tuo metu prarasta galia kompensuojama kitų elektrinių galios didinimu. Siekiant greitesnio vėjo elektrinės galios atkūrimo tikslinga, kad trumpojo jungimo metu vėjo elektrines galvaniškai neatsijungtų nuo elektros tinklo, nes trumpasis jungimas nėra jos prijunginyje ir jis gali būti pašalintas, atjungiant



pažeistą sistemos elementą ne vėjo elektrinių jungtuvais. Todėl šiuo metu dauguma vėjo elektrinių turi trumpojo jungimo išlaikymo technologiją, angliškai taip vadinamą „Fault ride through“ [10].

Atsikūrus tinklo įtampai, vėjo elektrinė ar parkas turi atkurti leistiną generuojamą galią, ne mažesniu kaip 20 % – 50 % vardinės galios per sekundę greičiu, t. y. atkuriant buvusią galią ne ilgiau kaip per 2 – 5 sekundes atsikūrus prijungimo taško įtampai iki 0,85 vardinės jos vertės.

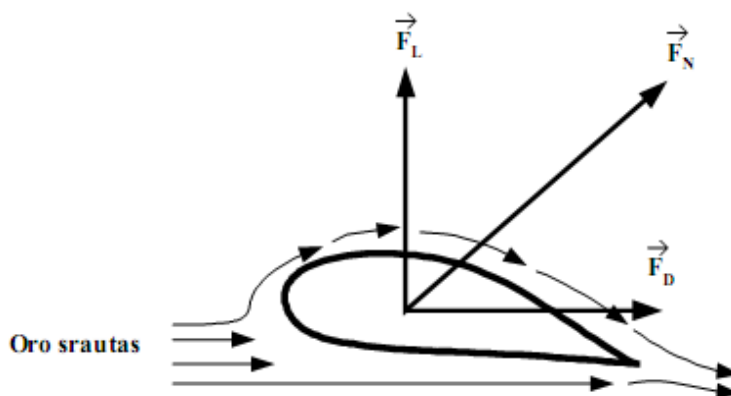
#### 4.4. Menčių pokrypio kampo keitimas

Praeinant pro aerodinaminį profilį oro srautui viršutinėje profilio dalyje (kurios kontūras yra ilgesnis už apatinės dalies kontūro ilgį) slėgis bus mažesnis, o apatinėje dalyje slėgis bus didesnis (4.4 paveikslas).



4.4 pav. Skirtingo slėgio zonos aerodinamiame profilyje [8]

Dėl to profilį veikia normalinė jėga  $F_N$ , kurią galima išskaidyti į dvi dedamąsias – kėlimo jėgą  $F_L$  (su oro srautu sudaro  $90^\circ$  kampą) ir pasipriešinimo jėgą  $F_D$  (kryptys lygiagrečiai su oro srauto kryptimi) (4.5 paveikslas).



4.5 pav. Aerodinaminį profilį veikiančios jėgos [8]

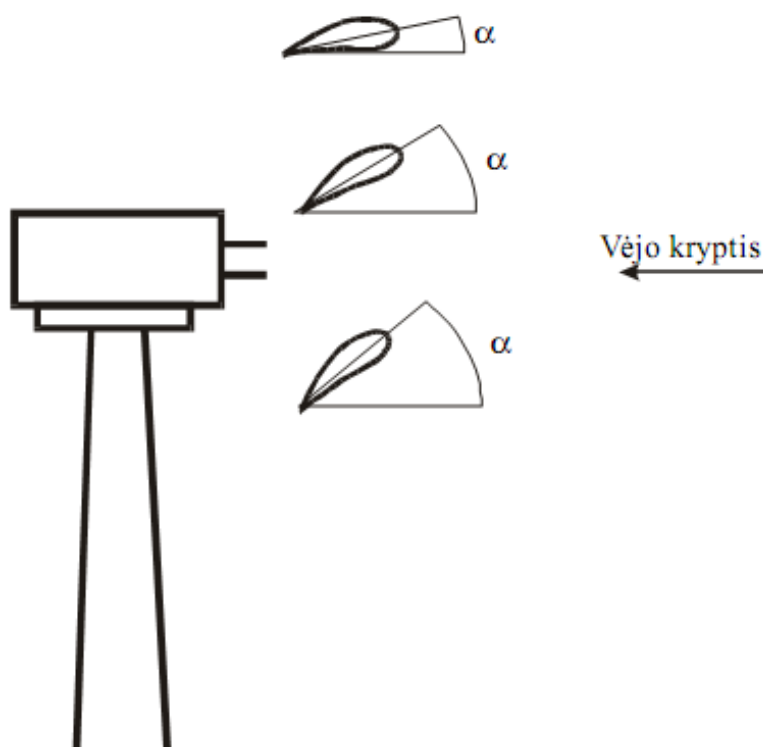
Pagal tai, kuri iš šių jėgų vyrauja, rotoriai skirstomi į keliamuosius ir stumiamuosius. Keliamieji ( $F_L > F_D$ ) rotoriai paprastai turi didesni kampinį sukimosi greitį ir gana mažą sukimo momentą, o stumiamieji ( $F_L < F_D$ ) – atvirkščiai.

Kadangi vėjo greitis ir kryptis yra nuolat kintantys dydžiai, tai atsižvelgiant į vėjo greičio ir krypties pokyčius turbina yra nuolat valdoma pakopų valdymo sistemos. Pagrindinė valdymo sistemos funkcija yra galios optimizavimo funkcija, t.y., iš pro turbinos rotoriaus plotą praeinančio oro srauto išgauti galią, artimą vardinei turbinos galiai. Kita valdymo sistemos funkcija – išlaikyti stabilų turbinos rotoriaus sukimosi greitį.

Moderniose vėjo elektrinėse dažniausiai naudojami šie mechaniniai turbinos galios ir sukimosi greičio valdymo būdai:

- Valdymas keičiant kampą tarp oro srauto krypties ir aerodinaminio profilio ašies  $\alpha$  (angliškai – pitch control);
- Pasyvus valdymas oro sūkuriomis, susidaranciais kitapus rotoriaus mentės (angliškai – passive stall control);
- Kompleksinis valdymas;
- Valdymas keičiant kampą  $\delta$  tarp oro srauto krypties ir horizontaliosios turbinos ašies (angliškai – yaw control).

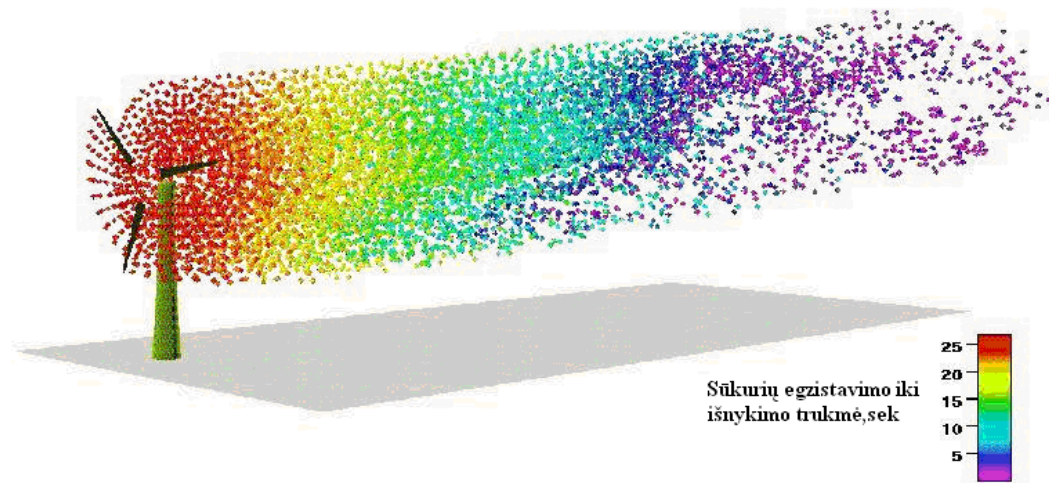
Valdymas kampu tarp oro srauto krypties ir aerodinaminio profilio ašies  $\alpha$  pavaizduotas 4.6 paveiksle.



4.6 pav. VE valdymas kampu tarp oro srauto ir aerodinaminio profilio ašies  $\alpha$  [8]

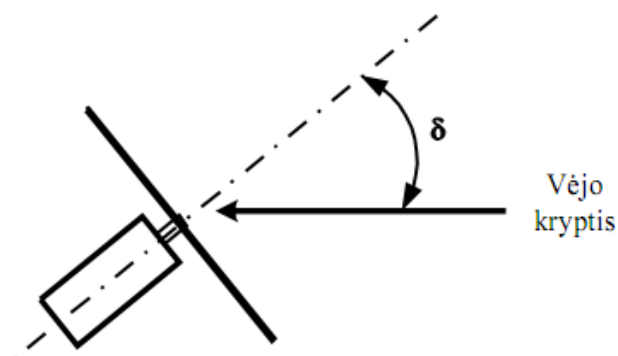
Šiuo būdu galima optimizuoti elektrinės generuojamą galią bei rotoriaus sukimosi dažnį. Tai leidžia maksimaliai panaudoti oro srauto energiją, kai jo greitis ne didesnis už vardinį, ir apriboti galią, kai oro srauto greitis padidėja, palyginti su projektiniu.

Didėjant oro srauto greičiui auga ir kitapus rotoriaus mentės susidarantys oro sūkuriai, kitaip dar vadinamas Kilvarterio efektas (4.7 paveikslas), todėl du trečdaliai pasaulyje gaminamų elektrinių naudoja sūkurinį valdymą. Pagrindinis šio metodo privalumas yra paprastumas, nes mentės nejudamai tvirtinamos prie jėgainės ašies. Tačiau esant mažiems oro srauto greičiams dėl sūkurių prarandama dalis energijos ir tuo pačiu pasireiškia viena iš mirgėjimo atsiradimo priežasčių.



4.7 pav. Kilvarterio efektas už vėjo elektrinės vėjaračio [11]

Kompleksinis valdymas jungia abu anksčiau minėtus būdus. Kol vėjo greitis nesiekia vardinio, naudojamas valdymas kampu  $\alpha$ . Kai vėjo greitis didesnis už vardinį, prasideda galios ribojimas sūkuriiais. Elektrinės rotorius ir horizontaliosios ašys (4.8 paveikslas) nuolat orientuojamas pagal vėjo kryptį.



4.8 pav. Elektrinės galios valdymas kampu  $\delta$  [8]

Vėjo elektrinių, kaip ir kitų paskirstytojo generavimo šaltinių, darbas elektros tiekimo tinkluose turėtų padidinti elektros tiekimo patikimumą. Deja, tiksliai apskaičiuoti patikimumo padidėjimą tikimybiniais metodais yra ne taip paprasta, nes trūksta pradinių duomenų, veikos statistikos rodiklių ir vėjo elektrinių darbo patyrimo. Kadangi vėjo elektrinės nėra skirstomųjų tinklų nuosavybėje, jų įrenginių gedimų statistika Lietuvoje net nerenkama.

Kita problema yra tai, kad dabartiniame skirstomajame tinkle dominuoja spindulinės linijos, kurios yra prijungiamos tik vienu jungtuvu. Atsitikus trumpajam jungimui, spindulinė linija su visomis prijungtomis vėjo elektrinėmis atjungiama, todėl šioje schemoje vėjo elektrinės elektros tiekimo patikimumo nedidina.

## 5. Mirgėjimo aštrumas

Mirgėjimo aštrumas – dirginančio mirgėjimo poveikio intensyvumas, apibūdinamas Tarptautinės elektrotechnikos sąjungos ir Tarptautinės elektrotechnikos komisijos (UIE-IEC) mirgėjimo matavimo metodu bei įvertinamas šiais dydžiais:

- trumpalaikis aštrumas ( $P_{st}$ ), matavimo trukmė dešimt minučių,
- ilgalaikis aštrumas ( $P_{lt}$ ), apskaičiuojant 12 sekančių vienas paskui kitą 10 minutinių intervalų per dvi valandas trumpalaikių aštrumų vidurkį.

Įprastinėmis veikos sąlygomis 95% savaitės trukmės ilgalaikio mirgėjimo aštrumas, atsiradęs dėl įtampos svyravimų, turi būti  $P_{lt} < 1$ . Reakcija į mirgėjimą yra subjektyvi ir skiriasi priklausomai nuo mirgėjimo atsiradimo priežasties bei trukmės. Kai kuriais atvejais, kai  $P_{lt} = 1$ , gali prasidėti akių dirginimas, tuo tarpu kitais atvejais, net jei  $P_{lt}$  didesnis, dirginimo nebūna.

Nuolatinis įtampos mirgėjimas, kurį sukelia pučiančio vėjo ir elektrinės konstrukcijos ypatybės, yra išreiškiamas ilgalaikio (120 minučių) aštrumo vidurkio  $P_{lt}$  leistinąja verte. Mirgėjimo suvokimo trukmės 2,3 sekundžių laikas apskaičiuojamas įvertinant santykinį įtampos pokytį  $d$  ir įtampos pokyčio pavidalą (laipto pavidalo pokyčio faktoriaus  $F$  vertė lygi 1):

$$t_f = 2,3 (100 d F)^3 \quad (5.1)$$

Per 10 minučių (600 sekundžių, trumpoji stebėjimo trukmė) buvusių mirgėjimų trukmės susumuojamos ir paverčiamos mirgėjimo aštrumo rodikliu  $P_{st}$ :

$$P_{st} = \sqrt[3]{\frac{\sum t_f}{600}} \quad (5.2)$$

Sudėjus dvylika trumpųjų stebėjimų, gaunamas ilgos trukmės stebėjimas (120 minučių arba 2 valandos) ir apskaičiuojamas jo vidurkis:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} P_{st.j}^3} \quad (5.3)$$

Kadangi vėjui pučiant stebėjimai dažniausiai būna vienodi, yra įprasta, kad  $P_{st}$  ir  $P_{lt}$  sutampa. Bendra trukmė turi būti ne trumpesnė kaip savaitė. Audrų ir kitų metų vidurkiui mažai įtakos turinčių meteorologinių reiškinių sukelti mirgėjimai nevertinami. Mirgėjimo reiškinys yra tikimybinio pobūdžio ir jo reikšmė neturi viršyti planuojamos mirgėjimo spinduliavimo ribinės vertės.

## 6. Staigus įtampos pokyčiai ir mirgėjimas

### 6.1. Mirgėjimo atsiradimo priežastys

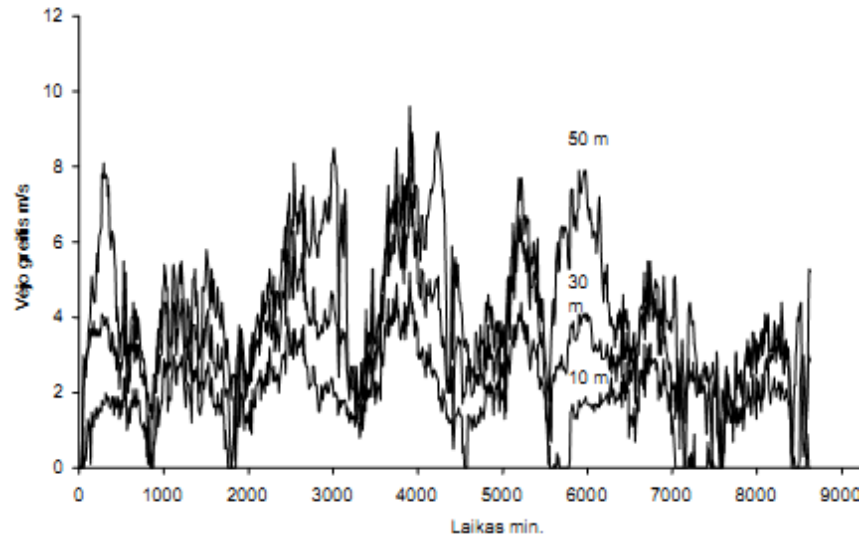
Dabar dominuoja vėjo elektrinės, kurios yra aktyviomis sukimo pavaromis sukamos prieš vėją. Tuo tikslu virš vėjo elektrinės yra iškeliami vėjo greičio ir krypties matuokliai (6.1 paveikslas), kurių signalus apdoroja elektrinės kompiuteris. Tada vėjaratis yra visada nukreiptas prieš vėją, ir tokios elektrinės yra galingesnės.



6.1 pav. Vėjo greičio ir krypties matuoklis [12]

Sukimo momento ir vėjo turbinų sugeneruotoje energijoje yra daug daugiau kintamųjų negu kad energijoje kurią pagamina paprastieji generatoriai. Vėjo elektrinių sukeliama svyravimai yra atsitiktiniai procesai kuriuos lemia vėjo greitis skirtinguose aukščiuose skirtingu metu ir periodiniai procesai. Šie periodiniai procesai iš esmės pasireiškia dėl dviejų reiškinių: vėjo poslinkio ir bokšto šešėliavimo. Vėjo poslinkio sąvoka naudojama apibūdinti vėjo greičio kitimui aukščio atžvilgiu, o bokšto šešėliavimas apibūdinamas kaip vėjo krypties pasikeitimas dėl bokšto struktūros.

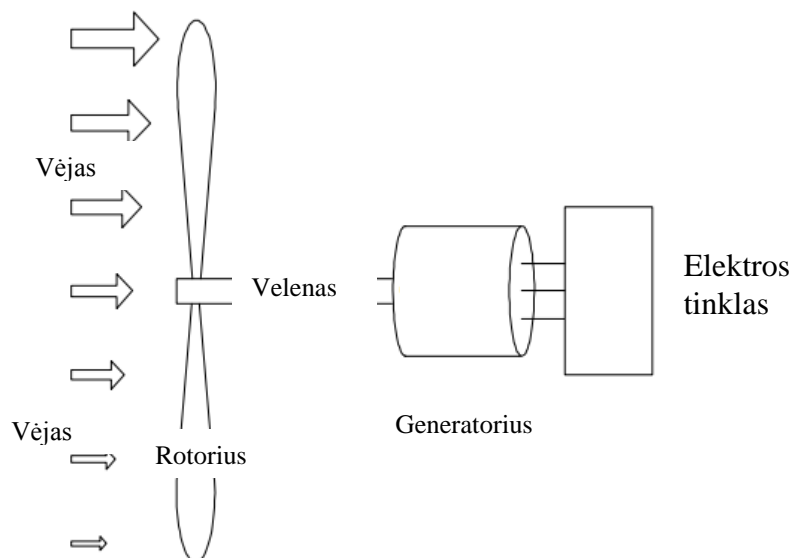
Vėjo greitis paprastai didėja su aukščiu, tad ši sąvybė yra vadinama vėjo poslinkiu. Sukimo momento pulsacijos ir elektros energijos pulsacija pastebėta esant skirtingiems vėjo greičio periodiniams svyravimams skirtinguose aukščiuose (6.2 paveikslas).



6.2 pav. Vėjo greitis 10, 30 ir 50 metrų aukščiuose [13]

Galia ir sukimo momentas svyruoja esant skirtingoms vėjo sąlygoms, su kuriomis susiduria kiekviena mentė sukdamasi per visą ciklą. Pavyzdžiui: mentė esanti viršuje susiduria su didesniu vėjo greičiu, negu ta mentė kuri yra nukreipta žemyn. Per kiekvieną sukimąsi, sukimo momentas svyruoja (vibruoja) tris kartus, t.y. kiekviena mentė kerta mažiausią ir didžiausią vėjo pūtimo greitį (6.3 paveikslas).

Trijų menčių vėjaratis turi ypatybę: viena iš menčių savo žemiausioje padėtyje prasilenkdama su vėjo elektrinės bokštu nors ir trumpam, bet neveikia – iš vėjo nebeima galios, nes nuo bokšto ją paveikia atsispindėjęs antvėjis, todėl per vieną vėjaračio apsisukimą vėjo elektrinės generuojama galia tris kartus per vieną sūkį sumažėja, gaunasi nuolat jaučiamas galios pulsavimas  $3p$  ( $p$  yra vėjaračio sūkiai) dažniu. Tai viena iš mirgėjimo (angliškai – flicker) atsiradimo priežasčių.



6.3 pav. Vėjo pasiskirstymas prie rotoriaus [14]

Kai vėjas pučia tiesiai į rotorių, dalis jo atsimuša į rotoriaus mentes, tuomet vėjas yra nukreipiamas ir taip sumažinamas sukimo momentas ties kiekviena mente. Šis veiksmas vadinamas bokšto šešėliavimu. Dėl sukimo momento pulsacijos atirandantis bokšto šešėliavimas yra labai svarbus, kai turbinos mentės praeidamos žemiausioje padėtyje pro bokštą yra užblokuojamos, o ne nukreipiamos. Dėl šios priežasties dauguma šiuolaikinių vėjo turbinų rotorių yra priešais vėją. Vėjo lauke susidarantis bokšto šešėliavimas yra apibrėžiamas 6.1 formule:

$$V(y,x) = v_H + v_{\text{bokšto}}(y,x) \quad (6.1)$$

čia:  $v_H$  – vėjo greitis stebulės aukštyje (m/s);

$v_{\text{bokšto}}(y,x)$  – pastebėtas vėjo greičio sutrikimas dėl bokšto šešėliavimo, kuris yra įtrauktas į vėjo greitį stebulės aukštyje.

P. Sorensenas sumodeliavo matematinį modelį kuris parodo bokšto sutrikimus [15]. Šiam matematiniam modeliui jis panaudojo teorija susijusią su vėjo srauto judėjimu aplink bokštą (6.2 formulė).

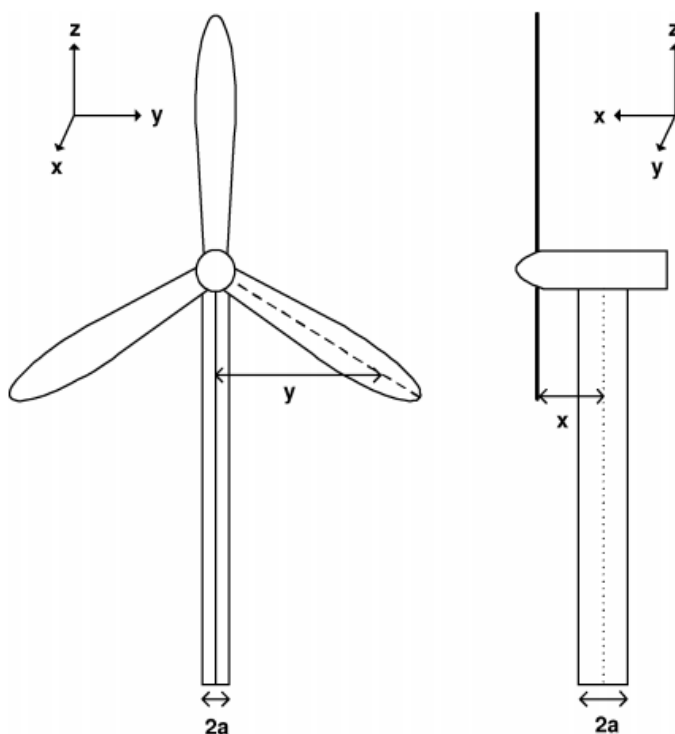
$$v_{\text{bokšto}}(y,x) = v_0 a^2 \cdot \frac{y^2 - x^2}{(x^2 + y^2)^2} \quad (6.2)$$

čia:  $v_0$  – vidutinis vėjo greitis (m/s);

$a$  – bokšto spindulys (m);

$y$  – šoninis atstumas nuo mentės vidurio iki bokšto vidurio linijos (m);

$x$  – atstumas tarp mentės ir bokšto vidurio linijų, mentei esant žemiausioje padėtyje (m).



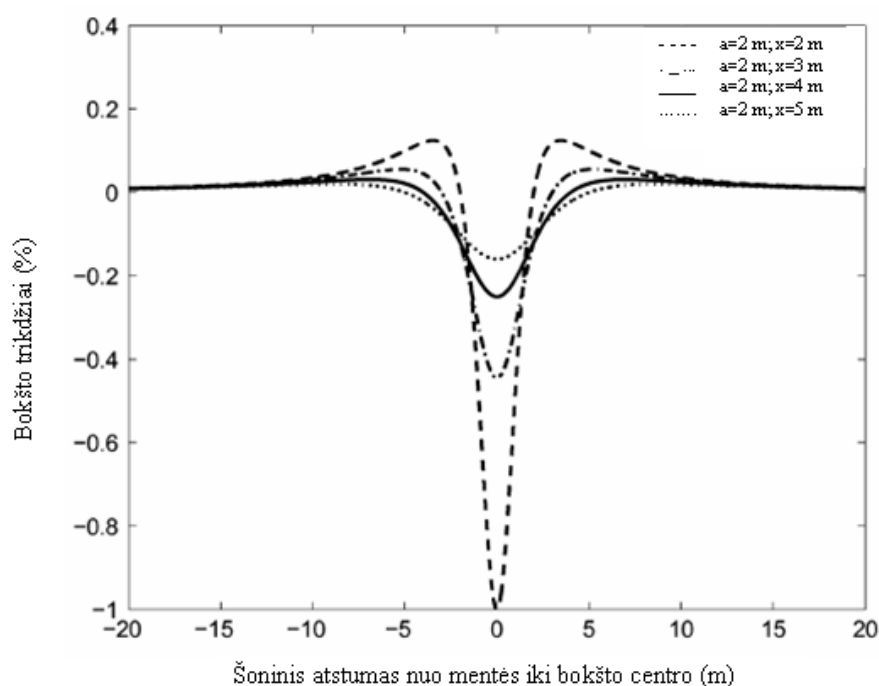


#### 6.4 pav. Vėjo srauto judėjimas aplink bokštą [14]

Pagal 6.2 formulę apskaičiuota kaip esant skirtingiems atstumams „x“ tarp bokšto ir menčių vyksta šešėliavimas, t.y. nustatoma prie kokio atstumo šešėliavimas yra stipresnis, silpnesnis [15].

6.5 paveiksle parodyta „ENERCON“ 2 MW vėjo elektrinės rezultatai, kai bokšto spindulys ties prasilenkiančia mente 2 metrai, ir keturi skirtingi atstumai „x“ tarp bokšto ir mentės (t.y. kai viena iš menčių yra žemiausioje padėtyje).

Vėjo elektrinė pastatyta Pakruojo rajone. Šios vėjo elektrinės rotoriaus skersmuo 82 metrai ( $R = 41$  m.), bokšto aukštis 100 metrų, vidutinis metinis vejo greitis elektrinės pastatymo vietoje apytiksliai ~6 m/s.



6.5 pav. Tarp bokšto ir mentės vykstantis šešėliavimas

Iš šių rezultatų galima pastebėti, kad kuo „x“ atstumas mažesnis tuo šešėliavimo poveikis stipresnis.

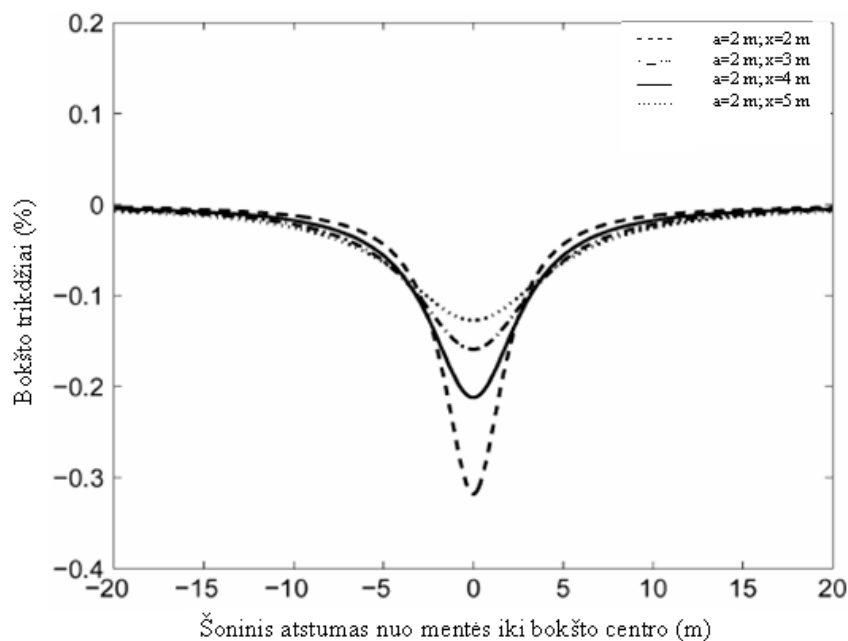
Kitas bokšto šešėliavimo nustatymo būdas gali būti apskaičiuojamas naudojantis kitu matematinio modeliu kuris yra išreiškiamas 6.3 formulę:

$$v_{bokšto}(y, x) = -V_0 \cdot \frac{D}{2\pi} \cdot \frac{x}{(x^2 + y^2)} \quad (6.3)$$

čia:  $D$  – bokšto skersmuo ties mentės prasilenkimo vieta (m).

Skaičiavimai atlikti naudojant tuos pačius atstumus „x“ tarp bokšto ir mentės (t.y.,  $x = 2, 3, 4, 5$  m.).

Žemiau pateiktame paveiksle parodyti rezultatai, kai bokšto spindulys ties prasilenkiančia mente 2 metrai, ir keturi skirtingi atstumai „x“ tarp bokšto ir mentės (t.y. kai viena iš menčių yra žemiausioje padėtyje).

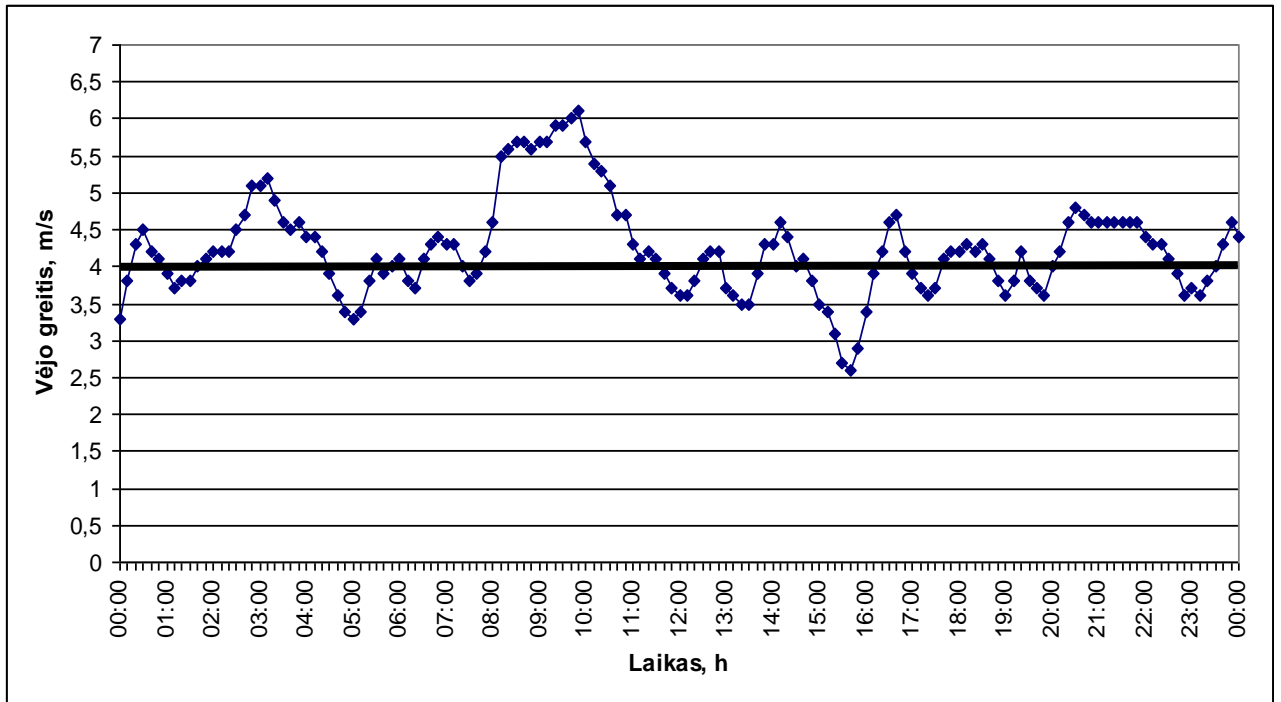


6.6 pav. Šešėliavimo poveikis

Grafiškai lyginant abu matematinius modelius pastebėta, kad labiau priimtinas yra pirmasis matematinis modelis, nes jis apima abu reiškinius: tiek vėjo srauto suletėjimą prieš bokštą, tiek vėjo srauto pegeritėjimą abiejose bokšto pusėse.

Kita mirgėjimo priežastis kurią išskirčiau ir apibūdindčiau būtų tokia kai stiprėjant vėjui elektrinės įsijungia tik prie pradinės nustatytos vėjo greičio vertės, pavyzdžiui 4 m/s. Jei vėjas susilpnėja – išsijungia, jei sustiprėja – vėl įsijungia.

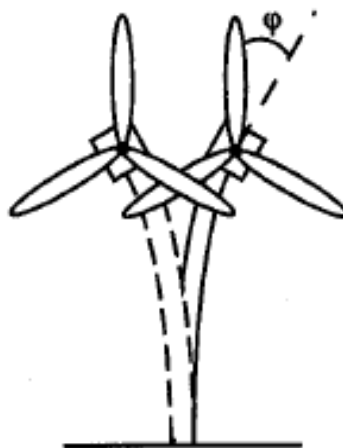
6.7 paveiksle parodytas vėjo greičio kitimas vienos dienos bėgyje. Iš jo galime pastebėti, kad per 24 valandas vėjo greitis labai kinta, o tai turi įtakos vėjo elektrinės darbui, nes kaip jau prieš tai buvo minėta vėjo elektrinė nesant reikiamam vėjui tiesiog išsijungia. Turime generuojamos galios šuoliavimą nuo 0 iki tam tikros vertės. Be to yra elektrinių, kurios vėjui susilpnėjus iki tam tikro, pavyzdžiui 5 m/s greičio, perjungia generatoriaus polių skaičių ir vietoje vardinės, pavyzdžiui 250 kVA galios pradeda generuoti tik 50 kVA galia. Apvijų perjunginėjimas vėjui keičiantis yra antroji mirgėjimo priežastis.



6.7 pav. VE įsijungimo / išsijungimo prie pradinės nustatytos vėjo greičio vertės grafikas

Viesulo metu, vėjo greičiui pasiekus 25 m/s, vėjo elektrinė automatiškai išsijungia, nes gali sulūžti. Vėjo greičiui sumažėjus vėl įsijungia, padidėjus – išsijungia. Šokinėjimas vyksta iki 0, kai vėjo elektrinė atsijungia ir iki maksimumo, kai įsijungia. Turime trečiąją mirgėjimo priežastį.

Vėjo greičiui sustiprėjus iki vėjo elektrinės stiprio ribos, pavyzdžiui iki 52 m/s, elektrinė griūna, todėl perkant vėjo elektrinę svarbu žinoti vietovės savybes, ir nenusipirkti per daug silpno gaminio. Taip pat nuo pernelyg stipraus vėjo, elektrinės ima siūbuoti į šonus tam tikru kampu  $\varphi$ . Siūbavimo kampas skirtingose vėjo elektrinėse skiriasi, nes jo dydis priklauso nuo elektrinės stiebo aukščio. Vėjo elektrinės siūbavimo pavyzdys parodytas 6.8 paveiksle.



### 6.8 pav. Vėjo elektrinės siūbavimo nuo vėjo pavyzdys [13]

Pagal konstrukcijos stiprumą, vėjo elektrinės yra skirstomos į 1, 2, 3 ir 4 bei S (super) klases. Visos šios klasės pateiktos 6.1 lentelėje [16].

Lentelė 6.1

Pagrindiniai mažųjų vėjo turbinų klasių parametrai

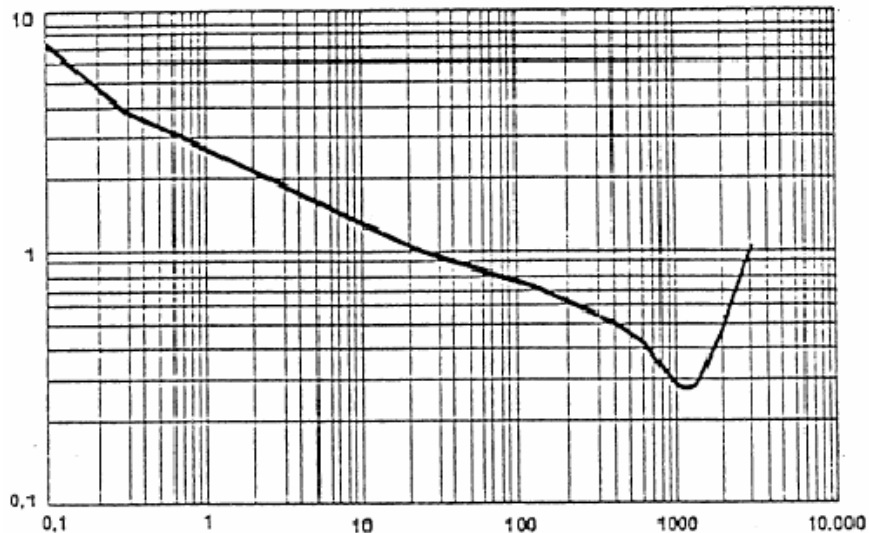
MVT klasės	I	II	III	IV	S
$V_{ref}$ (m/s)	50	42,5	37,5	30	Vertės tiksliai nurodo konstruktorius
$V_{ave}$ (m/s)	10	8,5	7,5	6	
$I_{15}$ (-)	0,18	0,18	0,18	0,18	
$a$ (-)	2	2	2	2	

Čia: vertės naudojamos stebulės aukščiui, ir  
 $I_{15}$  – bedimensė charakteristinė turbulencijos intensyvumo vertė, esant 15 m/s,  
 $a$  – bedimensis polinkio parametras.

Atskirai aptariant klases galima pastebėti, kad S klasės elektrinės yra skiriamos statyti atviroje jūroje. Lietuvoje tik 2 ar 3 klasės elektrinės, nes pasitaiko gana stiprių viesulų, o elektrinės yra brangios. Vėjaračio mentis laužo staigiai sustiprėjančio ir pakeičiančio pūtimo kryptį vėjo gūšiai. Tai vietovių, kuriose dominuoja kalvos, miškai, vėjo kliūtys, atvirų laukų ir namų deriniai, vėjo ypatybė. Vėjaratį gūsis arba pristabdo, arba pagreitina, tokiu būdu turime ketvirtąją mirgėjimo priežastį.

### 6.2. Staigūs įtampos pokyčiai

Staigūs įtampos pokyčiai tinkle gali atsirasti dėl įvairių didesnės galios elektros įrenginių įjungimo ar išjungimo, o taip pat dėl vėjo turbulenciškumo (dažnis mažesnis už 0,1 Hz) ir bokšto sąveikos su vėjo turbinos mente įtakos (dažnis 1-2 Hz). Leistinos tokio įtampos kitimo ribos yra reglamentuojamos LST EN 61000-3-7 (IEC 61000-3-7) standartu. Apribojimais įvesti remiantis dažnai pasikartojančių įtampos šuolių sukeliama kaitrinių šviesos lempučių srauto kitimo poveikio ir jo leistino dydžio įvertinimu, kuris priklauso nuo pasikartojimo dažnio (6.9 paveikslas).



6.9 pav. Leistino įtampų kitimų lygio (% nuo vardinės įtampos), priklausomybė nuo jų pasikartojimo dažnio (1 min.) [17]

Leistina įtampos kitimo riba mažėja, didėjant pasikartojimo dažniui. Ypač didelius srovės, o tuo pačiu ir įtampos šuolius tinkle sukelia asinchroninių variklių ar generatorių paleidimas arba išjungimas.

Dėl dažno vėjo elektrinių junginėjimosi, vėjo stiprumui nukritus žemiau minimalios ribos ir vėl ją pasiekus, arba viršijus vėjo elektrinių leistiną vėjo stiprumo ribą, tinkle susidarę įtampos šuoliai gali viršyti leistiną ribą ir sukelti nemalonų apšvietimo prietaisų mirgėjimą. Šių mirgėjimų pasikartojimo dažnis priklauso nuo vėjo kitimo pobūdžio ir prijungtų viename taške vėjo elektrinių skaičiaus. Paprastai vienos elektrinės išjungimų skaičius yra nedidelis ir neviršija dešimties įjungimų - išjungimų per valandą. Tačiau jis didėja proporcingai vėjo elektrinių skaičiui.

Vėjo elektrinių sukiamų mirgėjimų dydžiui įvertinti yra naudojami sekantys parametrai:  $k_u(\psi_k)$ ,  $k_f(\psi_k)$ ,  $c(\psi_k, v_a)$ , kurie priklauso nuo vėjo elektrinių tipo ir yra pateikiami gamintojo.

## 7. Vėjo elektrinių prijungimo leistinumo skaičiavimas 35 kV elektros tinkle

### 7.1. Tinklo įtampos mirgėjimo leistinumo skaičiavimas

Vėjo elektrinių sukeliama mirgėjimų ir įtampos pokyčių lygis tiesiogiai priklauso nuo generatoriaus vardinės galios ir trumpojo jungimo galios prijungimo taške santykio bei vėjo elektrinės tipo. Prijungimo taško įtampos staigieji arba dinaminiai pokyčiai, kurių priežastis yra vėjo elektrinė, turi atitikti jų dydį ( $d$ ) ribojančius reikalavimus (7.1 lentelė) [6].

Lentelė 7.1

Staigiųjų įtampos pokyčių arba mirgėjimo leistinosios ribos

Įtampos pokyčių arba mirgėjimo dažnis $r$ (kartai per val.)	Didžiausias leistinasis įtampos pokytis arba mirgėjimas - $d = \frac{\Delta U_{din}}{U_n} \%$	
	35 kV ir žemesnėje įtampoje	110 kV ir aukštesnėje įtampoje
$r \leq 1$	4	3
$1 < r \leq 10$	3	2,5
$10 < r \leq 100$	2	1,5
$100 < r \leq 1000$	1,25	1

Staigusis įtampos pokytis yra apibrėžiamas kaip pavienis staigus įtampos kitimas. Staigieji įtampos pokyčiai būna vienkartiniai ir daugkartiniai.

Vienkartiniai staigieji įtampos pokyčiai pasitaikantys be jokių dėsningumų, mažesniu kaip vienas kartas per valandą dažniu ( $r \leq 1$ ).

Daugkartiniai įtampos pokyčiai yra arba dėl priverstinių elektrinės įjunginėjimų, apvijų perjunginėjimo ar priverstinių išjunginėjimų ties vardine vėjo greičio riba, o taip pat dėl nuolat veikiančių vėjo energijos savybių. Jų dažnis būna nuo kelių kartų per valandą iki daugkartinų šokinėjimų. Didžiausias sertifikate (1 priedas) nurodytas leistinasis perjungimų (įjungimų arba išjungimų) skaičius per 120 minučių arba per 2 valandas nurodytas:

- įjungimas ties pradiniu starto vėjo greičiu – 120 kartų arba tai bus 60 kartų per valandą;
- įjungimas pučiant vardiniam vėjo greičiui nurodytas 12 kartų per 2 valandas, arba 6 kartai per valandą.

Vėjo elektrinės generatoriaus įjungimo (išjungimo) arba apvių (polių) perjungimo sukeliamas įtampos pokytis vėjo elektrinės sertifikate apibrėžiamas  $k_u(\Psi_k)$  faktoriumi. Šis faktorius nustatomas per vėjo elektrinės tipo bandymus ir tikrinamas matavimais elektrinei veikiant.

Santykinis staigus įtampos pokytis „d“, išreikštas % nuo vardinės įtampos  $U_n$ , apskaičiuojamas naudojant priklausomybę (7.1).

$$d = 100 \cdot k_u(\Psi_k) \cdot \frac{S_n}{S_{t,j.}} \quad (7.1)$$

čia: d - santykinis staigus įtampos pokytis;

$k_u(\Psi_k)$  - įtampos kitimo faktorius, atspindintis vėjo elektrinės energijos kokybę;

$\Psi_k$  - tinklo (trumpojo jungimo grandinės) pilnutinės varžos fazinis kampas;

$S_n$  - vardinė vėjo elektrinės pilnoji galia;

$S_{t,j.}$  - pilnoji trumpojo jungimo galia prijungimo taške.

Energijos kokybės parametrų  $k_u(\Psi_k)$ ,  $k_f(\Psi_k)$ ,  $c(\Psi_k, v_a)$  matavimo rezultatai buvo gauti bandymo metu stebint Pakruojo rajone esančias vėjo elektrines ir yra pateikti 7.2, 7.3 ir 7.4 lentelėse.

Lentelė 7.2

**Mirgėjimo koeficiento matavimo duomenys**

$\Psi_k$	$30^0$	$50^0$	$70^0$	$85^0$
$v_a, \text{ m/s}$	$c(\Psi_k, v_a)$			
6,0	4,6	4,8	5,1	5,4
7,5	4,7	5,0	5,3	5,6
8,5	4,9	5,3	5,6	5,9
10,0	5,2	5,5	5,8	6,3

Lentelė 7.3

**VE įjungimų, esant pradiniam vėjo greičiui, sukeltas įtampos mirgėjimas ir jos pokytis**

$\Psi_k$	$30^0$	$50^0$	$70^0$	$85^0$
$k_f(\Psi_k)$	0,81	1,07	1,16	1,33
$k_u(\Psi_k)$	0,5	0,6	0,7	0,9

Lentelė 7.4

**VE įjungimų, esant vardiniam vėjo greičiui, sukeltas įtampos mirgėjimas ir jos pokytis**

$\Psi_k$	$30^0$	$50^0$	$70^0$	$85^0$
$k_f(\Psi_k)$	1,12	1,20	1,44	1,54
$k_u(\Psi_k)$	1,5	1,7	1,8	1,9

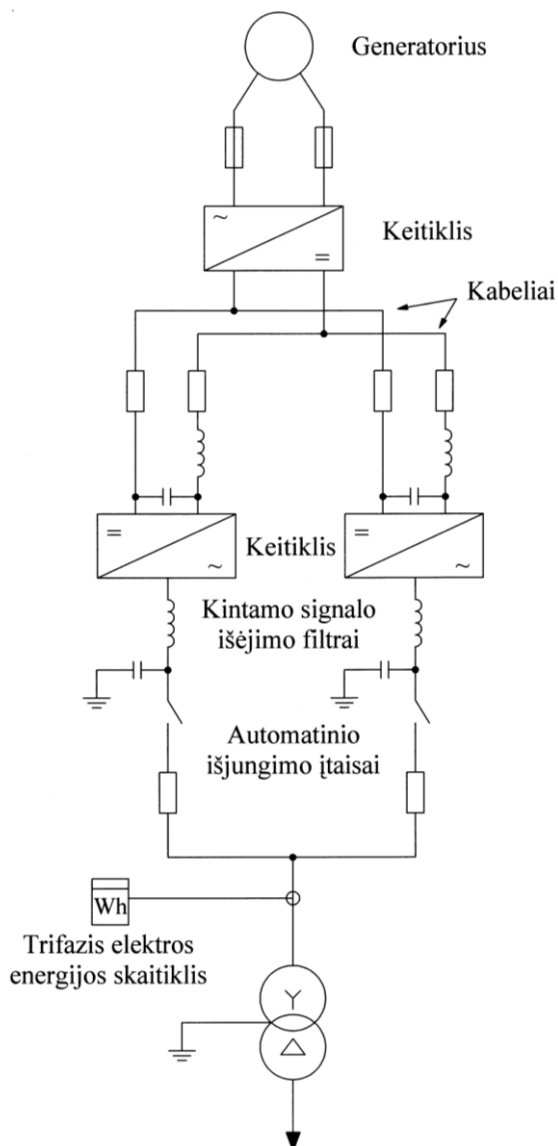
Naudojant šiuos vėjo elektrinės parametrus apskaičiuojame prijungimo taške trumpojo jungimo grandinės pilnutinės varžos fazinį kampą ( $\psi_k$ ) ir pilnosios galios trumpojo jungimo ( $S_{t.j.}$ ) reikšmę. Tuomet projektavimo stadijoje galima įvertinti vėjo elektrinės poveikį įtampos kokybei ir palyginti su jų leistinomis reikšmėmis.

Skaičiavimams naudojama 2 MW vėjo elektrinė su sinchroniniu generatoriumi. Šios vėjo elektrinės duomenys pateikti 7.5 lentelėje. Skaičiavimams atlikti pasirinkome ne vieną vėjo elektrinę, o tris, taigi skaičiavimai bus atliekami kaip vėjo elektrinių parkui. Šios vėjo elektrinės prijungtos prie 35 kV elektros tinklo sistemos.

Lentelė 7.5

Vėjo elektrinės duomenys

$P_n$ , kW	$S_n$ , kVA	$I_n$ , A	$U_n$ , V	$f_n$ , Hz	$S_{max}$ , kVA	$I_{max}$ , A
2000	2000	2887	400	50	2300	3325





### 7.1 pav. Vėjo elektrinės prijungimo schema

Iš 7.1 formulės matyti, kad prieš atliekant santykinio staigaus įtampos pokyčio skaičiavimus bus reikalinga  $S_{t.j.}$  (pilnoji trumpojo jungimo galia prijungimo taške). Ją apskaičiuoti galima naudojantis 7.2 formulę:

$$S_{t.j.} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{t.j.} \quad (7.2)$$

čia:  $U_n$  – nominali įtampa (V);  
 $I_{t.j.}$  - trumpojo jungimo srovė (A).

Norint apskaičiuoti pilnąją trumpojo jungimo galią prijungimo taške, tenka apskaičiuoti trumpojo jungimo srovę pagal 7.3 formulę.

$$I_{t.j.} = \frac{U_n}{Z + Z_{TR}} ; \quad (7.3)$$

čia:  $Z$  – linijos pilnoji varža ( $\Omega$ );  
 $Z_{TR}$  – transformatoriaus pilnoji varža (10 MVA transformatoriaus  $Z_{TR} = 3,253 \Omega$ ).

Norint apskaičiuoti trumpojo jungimo srovę, tenka apskaičiuoti linijos pilnąją varžą pagal 7.4 formulę.

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} ; \quad (7.4)$$

čia:  $R$  – linijos aktyvioji varža ( $\Omega$ );  
 $X$  – linijos reaktyvioji varža ( $\Omega$ ).

Norint apskaičiuoti linijos pilnąją varžą, tenka apskaičiuoti linijos varžas pagal 7.5 ir 7.6 formules.

$$R = L \cdot r_0; \quad (7.5)$$

$$X = L \cdot x_0; \quad (7.6)$$

čia:  $L$  – linijos ilgis (km);  
 $r_0, x_0$  – laidininkų aktyviosios ir reaktyviosios varžos ( $\Omega/\text{km}$ ).

Vėjo elektrinės prijungimui naudojamas AC-95 laidininkas. Šio laidininko aktyvioji ir reaktyvioji varžos nustatomos pagal pateiktus gamintojo duomenis [18].

Apskaičiuojame linijos aktyviają ir reaktyviają varžą pagal 7.5 ir 7.6 formules:

$$R = 15 \cdot 0,299 = 4,485 \Omega;$$

$$X = 15 \cdot 0,43 = 6,450 \Omega.$$

Apskaičiuojame pilnąją linijos varžą pagal 7.4 formulę:

$$Z = \sqrt{4,485^2 + 6,45^2} = \sqrt{20,12 + 41,6} = \sqrt{61,72} = 7,856 \Omega;$$

Apskaičiuojame trumpojo jungimo srovę pagal 7.3 formulę:

$$I_{t.j.} = \frac{35000}{7,856 + 3,253} = 3150,580 \text{ A}.$$

Apskaičiuojame pilnosios galios trumpąjį jungimą:

$$S_{t.j.} = \sqrt{3} \cdot 35000 \cdot 3150,58 = 190994 \text{ MVA}.$$

Apskaičiavus pilnosios galios trumpąjį jungimą vėjo elektrinės prijungimo taške, dar tenka apskaičiuoti tinklo trumpojo jungimo grandinės pilnutinės varžos fazinį kampą. Jis surandamas pagal 7.7 formulę.

$$\varphi = \arctg \frac{X}{R}; \quad (7.7)$$

$$\varphi = \arctg \frac{6,450}{4,485} = 55,18^\circ.$$

Remiantis vėjo elektrinės nurodytais įtampos kitimais apskaičiuota, kad esant trumpojo jungimo grandinės kampui  $55,18^\circ$ , susidarantis įtampos pokyčio faktorius turi šias vertes:

- įjungiant elektrinę ties pradinio vėjo greičio riba  $k_u(\psi_k) = 0,63$ ;
- įjungiant ties vardine vėjo greičio verte (14 m/s)  $k_u(\psi_k) = 1,73$ .

Šios konkrečios parametrų reikšmės randamos naudojantis 7.3 ir 7.4 lentelės vertėmis, t.y. jas interpoliuojant (interpoliacija įjungiant vėjo elektrinę ties pradinio vėjo greičio riba pateikta žemiau).

Pakruojo rajone vidutinis metinis vėjo greitis apytiksliai 6 m/s, todėl 55,18° kampui mirgėjimo koeficientas  $c(55,18^\circ, 6\text{m/s})$  bus lygus 4,87.

Perjungimų lentelėje, vėjo elektrinę jungiant ties pradiniu vėjo greičiu, mirgėjimo žingsnio faktorius  $k_f(55,18^\circ)$  yra lygus 1,0 o įtampos kitimo faktorių  $k_u(55,18^\circ)$  tenka interpoliuoti tarp 50° ir 70° kampų parametro verčių:

$$0,7 - \frac{0,7 - 0,6}{70 - 50} \cdot (70 - 59,32) = 0,65 .$$

Perjungiant vėjo elektrinę kai pučia vardinis vėjo greitis (14 m/s) mirgėjimo žingsnio faktorius  $k_f(55,18^\circ)$  apskaičiuojamas 1,21. Įtampos kitimo faktorius  $k_u(55,18^\circ)$  interpoliuojant apskaičiuojamas 1,73.

Yra dar ir trečias skaičiavimo būdas – tai apvijų perjungimas, tačiau didesnės galios elektrinėse tai nedaroma. Keičiamos tik nedidelės galios asinchroninių generatorių apvijos. „Enercon“ tipo 2 MW vėjo elektrinė turi žiedinį su daug polių generatorių, kuris yra sinchroninis. Kokiu greičiu sukasi vėjaratis, tokį dažnį generuoja generatorius (nuo kažkur tai 16 iki 100 Hz). Tuomet elektra papuola į lygintuvą kur tampa nuolatine. Vėliau elektra papuola į apgręžiklį, kuris iš jos padaro trifazę pagal pamatuotą tinkle esantį dažnį ir pagal tinkle esančią pamatuotą įtampą. Keitiklis pats save valdo, nuolat matuodamas tinkle esančius dydžius.

Apskaičiavus visas vertes surandame ar staigusis įtampos pokytis įjungiant vėjo elektrinę ties pradinio vėjo greičio riba neviršija 7.1 lentelėje nurodytų verčių. Skaičiuojame pagal 7.1 formulę:

$$d(\%) = 100 \cdot 0,63 \cdot \frac{2MVA}{190994MVA} = 0,66 \%$$

Didžiausias vėjo elektrinės sertifikate nurodytas leistinasis perjungimų (įjungimų arba išjungimų) skaičius per 120 minučių arba per 2 valandas nurodytas: ties pradiniu vėjo greičiu – 120 kartų arba tai bus 60 kartų per valandą. Tuomet leistinasis staigusis (dinaminis) įtampos kitimas, esant 60 kartų per valandą pasikartojimo dažniui 7.1 lentelėje ( $10 < r \leq 100$ ), 35 kV ir žemesnės įtampos tinkle yra ribojamas 2% verte. Vadinas, gautasis rezultatas ( $0,66 < 2$ ) yra tenkinamas, nes neviršija leistinos ribos.

Pakartosime skaičiavimus įjungimams ties vardiniu vėjo greičiu (7.1 formulė):

$$d(\%) = 100 \cdot 1,73 \cdot \frac{2MVA}{190994MVA} = 1,81 \%$$

Didžiausias vėjo elektrinės sertifikate nurodytas leistinasis perjungimų (įjungimų arba išjungimų) skaičius per 120 minučių arba per 2 valandas vėjo elektrinės įjungimui pučiant vardiniam vėjo greičiui nurodytas 12 kartų per 2 valandas, arba 6 kartai per valandą. Vadinasi leistinasis staigusis (dinaminis) įtampos kitimas, esant 6 kartų per valandą pasikartojimo dažniui 7.1 lentelėje ( $1 < r \leq 10$ ), 35 kV ir žemesnės įtampos tinkle yra ribojamas 3% verte. Gautasis rezultatas ( $1,81 < 3$ ) taip pat yra tenkinamas, nes neviršija leistinos ribos.

## 7.2. Nuolatinis įtampos mirgėjimas

Nuolatinis įtampos mirgėjimas, kurį sukelia pučiančio vėjo ir elektrinės konstrukcijos ypatybės, yra išreiškiamas ilgalaikio (120 minučių) aštrumo vidurkio  $P_{lt}$  leistinąja verte.

Įtampos mirgėjimo aštrumo rodiklis  $P_{lt}$ , kurio priežastis yra vėjo elektrinė, turi atitikti 7.6 lentelėje pateiktus reikalavimus:

Lentelė 7.6

### Mirgėjimo aštrumo ilgalaikio rodiklio leistinoji riba

10 kV tinkle	$P_{lt} \leq 0,50$
35 kV tinkle	$P_{lt} \leq 0,35$
110 kV tinkle	$P_{lt} \leq 0,20$

Elektromagnetinio suderinamumo standarte nurodyta, kad mirgėjimo aštrumas neturi viršyti vieneto, nes tai yra akių skausmą sukelianti riba. Norint apsidrausti ir turėti tam tikrą atsargą naujų neplanuotų, mirgėjimą sukeliančių, vartotojų ar generatorių prijungimo atvejais, lentelėje pateiktieji reikalavimai yra vadinami projektiniais ir yra kiek sugriežtinti.

Vienos vėjo elektrinės sukiamų mirgėjimų lygis  $P_{lt}$  (ilgo laikotarpio mirgėjimo aštrumo rodiklis) dėl įjungimo – išjungimo operacijų apskaičiuojamas naudojant 7.8 formulę:

$$P_{lt} = 8 \cdot N_{120}^{0,31} \cdot k_f(\Psi_k) \cdot \frac{S_n}{S_{t,j}} \quad (7.8)$$

čia:  $N_{120}$  – įjungimo – išjungimo operacijų skaičius 120 min. laikotarpyje;

$k_f(\Psi_k)$  - mirgėjimo laipto faktorius, atspindintis vėjo elektrinės energijos kokybę.

Vėjo elektrinėms dirbant nepertraukiamai taip pat vyksta mirgėjimų emisija dėl vėjo turbulenciškumo ir bokšto sąveikos su vėjo turbinos mente įtakos. Jų dydis preliminariai gali būti įvertintas naudojant ilgo laikotarpio (2 valandų) įtampos mirgėjimo aštrumo rodiklį (7.9 formulė):

$$P_{lt} = c(\Psi_k, v_a) \cdot \frac{S_n}{S_{t.j.}} \quad (7.9)$$

čia:  $c(\Psi_k, v_a)$  – įtampos mirgėjimo koeficientas;

$\Psi_k$  – tinklo trumpojo jungimo grandinės pilnutinės varžos fazinis kampas;

$v_a$  – vidutinis metinis vėjo greitis (m/s).

Vėjo elektrinių parko įtampos mirgėjimo koeficientui keliami reikalavimai išreiškiami 7.10 formule:

$$c(\Psi_k, v_a) < P_{lt} \cdot \frac{S_{t.j.}}{\sqrt{S_{park} \cdot S_n}} \quad (7.10)$$

čia:  $S_{park}$  – vėjo elektrinių parko pilnutinė vardinė galia;

$P_{lt}$  – įtampos mirgėjimo aštrumo rodiklis.

Jei prie prijungimo taško yra prijungta tik viena vėjo elektrinė, o elektrinių parko nėra ir jis neplanuojamas 7.10 formulė susiprastina:

$$c(\Psi_k, v_a) < P_{lt} \cdot \frac{S_{t.j.}}{S_n} \quad (7.11)$$

Kadangi skaičiavimai vykdomi vėjo elektrinių parkui tai šio parko (3 vėjo elektrinių kurių kiekviena yra po 2 MW) įtampos mirgėjimo koeficiento 35 kV tinkle leistiną reikalavimų ribą apskaičiuojamas pagal 7.10 formulę:

$$c(55,18^\circ, 6) \leq 0,35 \cdot \frac{190,994 \text{ MVA}}{\sqrt{6 \cdot 2}} = 19,29.$$

Pagal 7.10 formulę apskaičiuotas įtampos mirgėjimo koeficientas 35 kV tinkle tenkina leistiną reikalavimų ribą. Atsarga didžiulė, nes leistinoji riba 19,29 yra žymiai didesnė už elektrinės sukiamą mirgėjimą: 4,87. Taigi galime daryti išvada, kad nuolat vėjo elektrinės sukiamas mirgėjimas yra leistinas ir tokia elektrinė toje tinklo vietoje tinka.

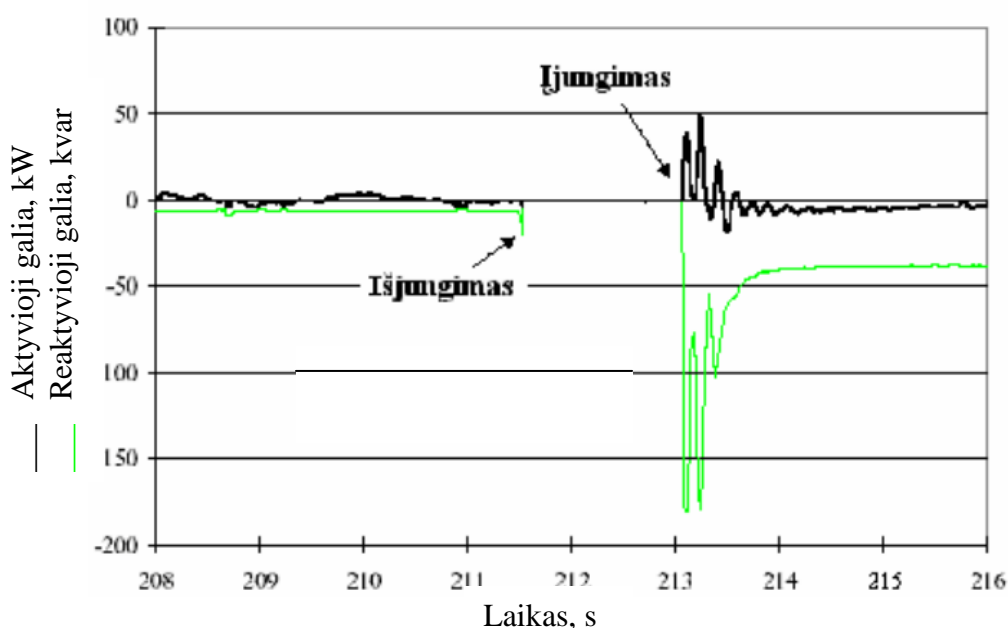
### 7.3. Perjungimų ties pradiniu vėjo greičiu sukeltas mirgėjimas

Mirgėjimo, kurį sukelia nuolat įjungiami ir vėl išjungiami vėjo elektrinė, balansuojanti jau ant pradinio tinkamo gaminti elektrą vėjo greičio ribos, leistinumas apskaičiuojamas naudojantis 7.12 formulę:

$$k(\psi_k) < \frac{P_{lt}}{8 \cdot \sqrt[3]{N_{120}}} \cdot \frac{S_{t.j.}}{\sqrt[3]{S_{park} \cdot S_n^2}}. \quad (7.12)$$

čia:  $N_{120}$  – vėjo elektrinės sujungimų ir vėjo elektrinės generatoriaus (-ių) perjungimų didžiausias projektinis skaičius per 120 min. (arba 2 val.) trukmę.

7.2 pateiktame paveiksle matyti įjungiamos ir išjungiamos vėjo elektrinės generatoriaus akimirksnis. Esant dažnam junginėjimuisi gaunamas mirgėjimo reiškinys kuris neigiamai veikia sistemos dažnio kokybę.



7.2 pav. Vėjo elektrinės generatoriaus išsijungimo ir įsijungimo akimirksnis

Jei vėjo elektrinės valdymo įrenginiai didžiausio (projektinio) sujungimų ir perjungimų skaičiaus per 2 valandų trukmę neriboja, įtampos mirgėjimo laipto faktoriui keliamų reikalavimų riba yra išreiškiama sekančia formule:

$$k(\psi_k) < \frac{P_{lt}}{16} \cdot \frac{S_{t.j.}}{\sqrt[3]{S_{park} \cdot S_n^2}}. \quad (7.13)$$

Jei prijungimo taške prijungiama tik viena vėjo elektrinė, o elektrinių parko nėra ir jis neplanuojamas 7.12 ir 7.13 formulių vardiklyje paliekama tik  $S_n$ .

Įtampos mirgėjimo laipto faktoriaus, pučiant pradiniam vėjo greičiui, 35 kV tinkle leistinoji reikalavimų riba yra apskaičiuojama pagal (7.12) formulę:

$$k(\psi_k) \leq \frac{0,35}{8 \cdot \sqrt[3]{120}} \cdot \frac{190994MVA}{\sqrt[3]{6MVA \cdot 2^2 MVA}} = 0,59$$

Kadangi vėjo elektrinės valdymo įrenginiai didžiausio (projektinio) sujungimų ir perjungimų skaičiaus per 2 valandų trukmę neriboja, įtampos mirgėjimo laipto faktoriui keliamų reikalavimų riba yra išreiškiama 7.13 formule:

$$k(\psi_k) < \frac{0,35}{16} \cdot \frac{190994}{\sqrt[3]{6 \cdot 2^2}} = 1,45$$

Vėjo elektrinės sertifikate nurodyta, kad jos įjungimas sukels mirgėjimą, kurio aštrumas bus  $k_f(55,18^\circ) = 1,0$ . Tad galima daryti išvada, kad nagrinėjama elektrinė pagal šį rodiklį ( $1 < 1,45$ ) yra tinkama, nes tenkina keliamus reikalavimus.

#### 7.4. Perjungimų ties vardiniu vėjo greičiu sukeltas mirgėjimas

Įtampos mirgėjimo laipto faktorius, pučiant vardiniam vėjo greičiui, leistinoji reikalavimų riba yra apskaičiuojama panašiai kaip, kad yra skaičiuojamas perjungimų ties pradiniu vėjo greičiu sukeltas mirgėjimas, tačiau čia yra kitas perjungimų dažnis – tik 12 kartų per 2 valandas:

$$k(\psi_k) < \frac{P_{lt}}{8 \cdot \sqrt[3]{N_{12}}} \cdot \frac{S_{t.j.}}{\sqrt[3]{S_{park} \cdot S_n^2}}; \quad (7.14)$$

$$k(\psi_k) < \frac{0,35}{8 \cdot \sqrt[3]{12}} \cdot \frac{190994MVA}{\sqrt[3]{6MVA \cdot 2^2 MVA}} = 1,27.$$

Vėjo elektrinės sertifikate randame, kad jos įsijungimas ties vardiniu vėjo greičiu sukels mirgėjimą, kurio aštrumas bus lygus  $k_f(55,18^\circ) = 1,21$ . Gautasis rezultatas nagrinėjamam vėjo elektrinių parkui pagal mirgėjimo aštrumo rodiklį ( $1,21 < 1,27$ ) yra tinkamas, nes tenkina keliamus reikalavimus.

## 8. Vėjo elektrinių prijungimo leistinumo skaičiavimas 10 kV elektros tinkle

### 8.1. Tinklo įtampos mirgėjimo leistinumo skaičiavimas

Vėjo elektrinių parko Pakruojo rajone prijungimo prie 10 kV elektros tinklo galimybes apskaičiuojamos analogiškai kaip, kad buvo atliekami skaičiavimai prie 35 kV elektros tinklo prijungimo.

Prijungimo taško įtampos staigieji arba dinaminiai pokyčiai, kurių priežastis vėjo elektrinė, turi atitikti jų dydį ( $d$ ) ribojančius reikalavimus (7.1 lentelė).

Pasinaudodami jau prieš tai buvusiais bandymo metu užfiksuotais rezultatais, bei vėjo elektrinės pagrindiniais parametrais apskaičiuojame pilnosios galios trumpąjį jungimą 10 kV elektros tinklo prijungimo taške. Skaičiavimai atliekami naudojantis 7.2, ..., 7.6 formulėmis, gauti rezultatai pateikti 8.1 lentelėje.

Lentelė 8.1

Vėjo elektrinių prijungimo taško parametrai

Laidininkas	$r_0, \Omega/\text{km}$	$x_0, \Omega/\text{km}$	$R, \Omega$	$X, \Omega$	$Z, \Omega$	$I_{t,j}, \text{A}$	$S_{t,j}, \text{MVA}$	$\varphi$
AC-70	0,42	0,44	6,3	6,6	9,12	808,21	13,99	46,33 <sup>0</sup>

Remiantis vėjo elektrinės nurodytais įtampos kitimais apskaičiuota, kad esant trumpojo jungimo grandinės kampui 43,33°, susidarantis įtampos pokyčio faktorius turi šias vertes:

- įjungiant elektrinę ties pradinio vėjo greičio riba  $k_u(\psi_k) = 0,58$ ;
- įjungiant ties vardine vėjo greičio verte (14 m/s)  $k_u(\psi_k) = 1,66$ .

Šios konkrečios parametrų reikšmės randamos naudojantis 7.3 ir 7.4 lentelės vertėmis, t.y. jas interpoliuojant tarp 30° ir 50° kampų.

Kaip jau buvo minėta Pakruojo rajone vidutinis metinis vėjo greitis apytiksliai 6 m/s, todėl 46,33° kampui mirgėjimo koeficientas  $c(46,33^\circ, 6\text{m/s})$  bus lygus 4,76.

Perjungimų lentelėje, vėjo elektrinę jungiant ties pradiniu vėjo greičiu, mirgėjimo žingsnio faktorius  $k_f(46,33^\circ)$  yra lygus 1,1.

Perjungiant vėjo elektrinę kai pučia vardinis vėjo greitis (14 m/s) mirgėjimo žingsnio faktorius  $k_f(46,33^\circ)$  apskaičiuojamas 1,19.

Žinodami visus šiuos parametrus surandame ar staigusis įtampos pokytis įjungiant vėjo elektrinę ties pradinio vėjo greičio riba neviršija 7.1 lentelėje nurodytų verčių. Skaičiavimas vykdomas naudojantis 7.1 formulę:



$$d(\%) = 100 \cdot 0,58 \cdot \frac{2MVA}{13,99MVA} = 8,29 \%$$

Didžiausias vėjo elektrinės sertifikate nurodytas leistinasis perjungimų (įjungimų arba išjungimų) skaičius per 120 minučių arba per 2 valandas nurodytas: ties pradiniu vėjo greičiu – 120 kartų arba tai bus 60 kartų per valandą. Tuomet leistinasis staigusis (dinaminis) įtampos kitimas, esant 60 kartų per valandą pasikartojimo dažniui 7.1 lentelėje ( $10 < r \leq 100$ ), 35 kV ir žemesnės įtampos tinkle yra ribojamas 2% verte. Vadinasi, gautasis rezultatas ( $8,29 > 2$ ) mūsų netenkina, nes yra viršijama leistinoji riba.

Pakartojant skaičiavimus įjungimams ties vardiniu vėjo greičiu pagal 7.1 formulę, gautasis rezultatas taip pat viršija leistinąsias staigiojo įtampos pokyčio ribas.

Kadangi yra viršijamos leistinosios staigiojo įtampos pokyčio ribos 2 MW vėjo elektrinės ar jų parko statyti ir jungti prie 10 kV elektros tinklo negalima.

Atliekant nuolatinio įtampos mirgėjimo, perjungimų ties pradiniu vėjo greičiu ir vardiniu vėjo greičiu skaičiavimus pastebėta, kad prie 10 kV elektros tinklo jungiant tokio galingumo (2 MW) vėjo elektrines yra viršijami nustatyti įtampos mirgėjimo kriterijai.

## Išvados ir pasiūlymai

1. Vėjo elektrinių parko indėlis į įtampos pokyčius ir jos mirgėjimą prijungimo taške remiasi srovės arba galios matavimais ir įtampų skaičiavimais, kurie yra atliekami pagal perdavimo tinklo operatoriaus pateiktų schemų varžas.

2. Elektros tinklo kokybę blogina elektrinės staigus įsijungimas ir išsijungimas, vėjo netolygumo iššauktas mirgėjimas, nuostoviosios įtampos padidėjimas virš leistinosios ribos. Todėl vėjo elektrinės, elektros tinklo kokybę turi gerinti reguliuodamos savo reaktyviąją galią ir įtampą vėjo elektrinės prijungimo taške. Taip pat vidinių kompiuterių valdymo dėka švelninti įsijungimo šuolius ir tuo pačiu mažinti įtampos mirgėjimus.

3. Vėjo elektrinės turėtų turėti vėjo gūsių dinaminę valdymo sistemą, kuri esant stabdymo vėjo greičiui, lygiam apie 0,8 - 0,85 leistinos didžiausios vėjo greičio vertės, tačiau ne mažesnės kaip 25 m/s, pradėtų mažinti generuojamą galią.

4. Didėjant vėjo elektrinės įjungimų ir išjungimų (generatorių perjungimų) skaičiui, šuolio mirgėjimas gali viršyti leistinąją ribą. Jei perjungimų riba pasiekta, vėjo elektrinė turi būti įjungiamą tik matavimo valandai pasibaigus.

5. Apsaugai nuo trumpųjų jungimų vėjo elektrinės turi turėti trumpojo jungimo išlaikymo technologija (angliškai – Fault Ride Through), kad esant trumpajam jungimui, vėjo elektrinės neatsijungtų nuo elektros tinklo, kai trumpasis jungimas nėra jos prijunginyje ir gali būti pašalintas atjungiant pažeistą sistemos dalį, o ne vėjo elektrines.

6. Jungiant vėjo elektrinę prie elektros tinklo, jos galios ribinė reikšmė labiausiai priklausys nuo santykinio staigaus įtampos pokyčio „d“, kuri lemia vėjo elektrinės įtampos kitimo faktorius  $k_u(\psi_k)$  ir tinklo trumpojo jungimo galia prijungimo taške  $S_k$ .

7. Atlikti skaičiavimo rezultatai parodo, kad 35 kV elektros tinklo prijungimo taške esantis prijungtas vėjo elektrinių parkas atitinka visus įtampos mirgėjimui keliamus reikalavimus, t.y., neviršija leistinųjų ribų.

8. Bandant prijungti vėjo elektrinių parką prie 10 kV elektros tinklo, iš apskaičiuotų rezultatų pastebime, kad to padaryti negalima, nes yra viršijamos leistinosios ribos. Norint tai padaryti reiktų sumažinti vėjo elektrinių parko galią arba pakeisti oro linijų laidus.

## Naudota literatūra

1. Vėjo elektrinių parkas. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2010 balandžio 25 d.]. Prieiga per Internetą: < [www.ekonomika.lt/naujiena/silaleje-bus-statomas-siemens-vejo-jegainiu-parkas-3012.html](http://www.ekonomika.lt/naujiena/silaleje-bus-statomas-siemens-vejo-jegainiu-parkas-3012.html) >.
2. Hanzelka Z., Bien A., „Voltage Disturbances Flicker Measurement“. AGH University of Science and Technology, 2005.
3. Xenis, C. P., Perine, W., „Slide Rule Yields Lamp Flicker Data“. Electrical World, 1937.
4. Įtampos kokybė bendro naudojimo elektros tinkluose. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2010 gruodžio 20 d.]. Prieiga per Internetą: < [www.vei.lt](http://www.vei.lt) >.
5. Nevardauskas, E., „Energijos balansavimo problemos“. Vilnius, Energijos erdvė Nr.1 2009.
6. Vėjo elektrinių prijungimo prie lietuviškos elektros energetikos sistemos techninės taisyklės. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2009 spalio 15 d.]. Prieiga per Internetą: < [www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc\\_1?p\\_id=231095](http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_1?p_id=231095) >.
7. LST EN 61400-21 Vėjo turbinų generatorių sistemos. 21 dalis. Į tinklą sujungtų vėjo turbinų energijos kokybės charakteristikų matavimas ir vertinimas (IEC 61400-21).
8. Petrauskas, G., „Modernių vėjo jėgainių savybės ir plėtojimo perspektyvos“. Kaunas, Energetika Nr.1 2001.
9. LST EN 61000-3-7 Elektromagnetinis suderinamumas (EMS). 3 dalis. Ribos. 7 skyrius. Svyruojančių apkrovų spinduliavimo ribų įvertinimas vidutiniosios ir aukštosios įtampos elektros tinkluose (IEC 6100-3-7).
10. Eek, J., Muljandi, E., Lemstrom, B., Uski-Joutsenvuo, S., „Dynamic models of wind farms for power system studies“, 2007.
11. Kilvarterio efektas. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2011 vasario 20 d.]. Prieiga per Internetą: < [www.ena.lt/doc\\_atasi/VEPG\\_2\\_dalis.pdf](http://www.ena.lt/doc_atasi/VEPG_2_dalis.pdf) >.
12. Vėjo greičio matuoklis. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2011 balandžio 12 d.]. Prieiga per Internetą: < [www.interautomatika.lt/index.php?1639963588](http://www.interautomatika.lt/index.php?1639963588) >.
13. Katinas, V., Markevičius, A., Burlakovas, A., „Vėjo energetika ir jos artimiausia perspektyva Lietuvoje“. Kaunas, Energetika Nr.3, 2006.
14. Dale S. L. Dolan, „Real-Time wind turbine emulator suitable for power quality and dynamic control studies“. Toronto, 2005.

15. Dale S. L. Dolan, „Simulation model of wind turbine 3p torque oscillations due to wind shear and tower shadow“. Toronto, 2006.
16. LST EN 61400-2. Vėjo turbinos. 2 dalis. Projektavimo reikalavimai, keliami mažosioms vėjo turbinioms (IEC 61400-2:2006). Vilnius, 2009.
17. Andriuškevičius, R., Kadiša, S., Klementavičius, A. „Vėjo elektrinių įtakos įtampos kokybei įvertinimas“. Lietuvos energetikos institutas, 2007.
18. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования. Москва: энергоатомиздат, 1991.
19. Bendikas, T., Nemura, A. „Pastovaus greičio vėjo elektrinių parko matematinis modelis“. Kaunas, Lietuvos mokslo akademija 2005.
20. Įtampos mirgėjimas. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2009 spalio 17 d.]. Prieiga per Internetą: <<http://www.vartotojulyga.lt/lt/paslaugos/elektra> >.
21. Katinas, V., Markevičius, A. „Vėjo energetika“. Kaunas, Lietuvos energetikos institutas 2001.
22. Katinas, V., Tumosa, A. „Vėjo energijos panaudojimo galimybės Lietuvoje“. Vilnius, 1995.
23. Rolf Grünbaum., „Voltage and power quality control in wind power applications by means of dynamic compensation“. ABB Power Systems AB, AC Power Division Vasteras, Sweden.
24. Voltage flicker. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2010 sausio 15 d.]. Prieiga per Internetą: <[www.energysolutionscenter.org/distgen/AppGuide/DataFiles/IEEEFlicker.pdf](http://www.energysolutionscenter.org/distgen/AppGuide/DataFiles/IEEEFlicker.pdf) >.
25. Wind power. [interaktyvus]. [Žiūrėta 2009 lapkričio 14 d.]. Prieiga per Internetą: <[http://www.corpi.ku.lt/power/doc/SSI\\_LT\\_grid\\_1\\_4\\_final.pdf](http://www.corpi.ku.lt/power/doc/SSI_LT_grid_1_4_final.pdf) >.

## **PRIEDAI**

**PRIE PERDAVIMO AR SKIRSTOMOJO TINKLO JUNGIAMOS VĒJO ELEKTRINĒS  
TECHNINIŲ ŽINIŲ LENTEĻĒS (PAVYZDŽIAI)**

1 lentelė

**Bendrieji vėjo elektrinės duomenys**

Vėjo elektrinės gamintojas ir gaminio pavadinimas	
Vėjo elektrinės tipas (gulščiosios ar stačiosios ašies)	
Sparnų tipas: Menčių skaičius Menčių pokrypio valdymas Greičio netekimo aktyvusis valdymas Greičio netekimo pasyvusis valdymas	
Sukimosi greičio valdymo tipas Pastovaus greičio Dviejų greičių Kintamo greičio	
Veleno ašies aukštis, m	
Vėjaračio skersmuo, m	
Generatoriaus tipas ir vardiniai įprastinės veikos ir pereinamojo vyksmo parametrai (santykinės generatoriaus varžos)	
Generatoriaus (-ių) vardinė galia (-ios), kW	
Keitiklio tipas, paskirtis ir prijungimo schema	
Keitiklio vardinė galia, kW, bei santykinės keitiklio varžos	
Transformatoriaus tipas ir vardinė galia, kVA, bei santykinės transformatoriaus varžos	

2 lentelė

**Vardiniai vėjo elektrinės duomenys**

Vardinė aktyvioji galia, $P_n$ , kW	
Vardinė pilnutinė galia, $S_n$	
Vardinė reaktyvioji galia, $Q_n$	
Vardinė įtampa, $U_n$	
Vardinė srovė, $I_n$	
Paleidimo srovės ir vardinės srovės santykis, $k_i$	
Transformatoriaus transformavimo koeficientas, kV/kV	
Vidutinis metinis vėjo greitis statybos vietoje, $v_a$ , m/s	
Vardinis elektrinės veikos vėjo greitis, $v_n$ , m/s	
(Generavimo pradžios) paleisties vėjo greitis, m/s	
(Priverstinio) stabdymo vėjo greitis, m/s	

3 lentelė

**Vardiniai bandymų organizacijos duomenys**

Vėjo elektrinės bandymų organizacijos pavadinimas	
Vėjo elektrinės bandymų ataskaitos numeris	
Vėjo elektrinės tipo apibrėžimas	
Bandytosios elektrinės serijos numeris	

4 lentelė

## Dokumentų pavadinimai ir datos

Informacijos tipas	Dokumento pav. ir data
Vėjo elektrinės bandymo, apimant valdymo parametrų status, aprašymas	
Vėjo elektrinės bandymų aikštelės ir prijungto elektros tinklo aprašymas	
Bandymo įrenginių aprašymas	
Bandymo sąlygų aprašymas	
Atitikties LST EN 61400-21 standarto reikalavimams aprašymas	

5 lentelė

## Dokumentų tvirtinimo įrašai ir datos

Autorius	
Tikrintojo įrašas	
Tvirtinimo įrašas	
Leidinio data	

6 lentelė

## Aktyviosios galios bandymų duomenys

Didžiausia leistinoji aktyvioji galia, $P_{\max \text{ leist}}$ , kW	
Didžiausios leistinosios ir vardinės galių santykis $p_{\max \text{ leist}} = P_{\max \text{ leist}} / P_n$	
Didžiausia išmatuotoji 60 s intervalo vidutinė galia $P_{60}$ , kW	
Didžiausios išmatuotosios 60 s intervalo vidutinės ir vardinės galių santykis $p_{60} = P_{60} / P_n$	
Didžiausia išmatuotoji 0,2 s intervalo vidutinė galia $P_{0,2}$ , kW	
Didžiausios išmatuotosios 0,2 s intervalo vidutinės ir vardinės galių santykis $p_{0,2} = P_{0,2} / P_n$	

7 lentelė

## Reaktyvioji galia, esant didžiausioms aktyviosioms galioms

Reaktyvioji galia, nustatyta generuojant didžiausią leistinąją aktyviają galią $P_{\max \text{ leist}}$ , kvar	
Reaktyvioji galia, nustatyta generuojant didžiausią 60 s intervalo vidutinę aktyviają galią $P_{60}$ , kvar	
Reaktyvioji galia, nustatyta generuojant didžiausią 0,2 s intervalo vidutinę aktyviają galią $P_{0,2}$ , kvar	

8 lentelė

## Reaktyvioji galia, esant skirtingoms generuojamoms aktyviosioms galioms

Generuojamoji galia (% nuo $P_n$ )	Aktyvioji galia (kW)	Reaktyvioji galia (kvar)	Vėjo greitis vėjaračio aukštyje (m/s)
0			
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			
100			

9 lentelė

Vėjo elektrinės veikos sukeliama įtampos mirgėjimo koeficientas  $c(\psi_k, v_a)$ 

Vidutinis metinis vėjo greitis, $v_a$ (m/s)	Perdavimo ar skirstomojo tinklo grandinės fazinis kampas, $\psi_k$ (laipsniais)			
	$30^\circ$	$50^\circ$	$70^\circ$	$85^\circ$
6				
7,5				
8,5				
10,0				

10 lentelė

## VE įjungimų, esant pradiniam vėjo greičiui, sukeltas įtampos mirgėjimas ir jos pokytis

Jungimo veiksmo tipas	Įjungimas, esant pradiniam vėjo greičiui			
Įjungimų ir išjungimų per 10 min. didžiausias skaičius, $N_{10}$				
Įjungimų ir išjungimų per 2 val. didžiausias skaičius, $N_{120}$				
Perdavimo ar skirstomojo tinklo grandinės fazinis kampas, $\psi_k$ , laipsniais	30	50	70	85
Įtampos mirgėjimo laipto faktorius, $k_f(\psi_k)$				
Įtampos pokyčio faktorius, $k_u(\psi_k)$				

11 lentelė

## VE įjungimų, esant vardiniam vėjo greičiui, sukeltasis įtampos mirgėjimas ir jos pokytis

Jungimo veiksmo tipas	Įjungimas, esant vardiniam vėjo greičiui			
Įjungimų ir išjungimų per 10 min. didžiausias skaičius, $N_{10}$				
Įjungimų ir išjungimų per 2 val. didžiausias skaičius, $N_{120}$				
Perdavimo ar skirstomojo tinklo grandinės fazinis kampas, $\psi_k$ , laipsniais	30	50	70	85
Įtampos mirgėjimo laipto faktorius, $k_f(\psi_k)$				
Įtampos pokyčio faktorius, $k_u(\psi_k)$				



12 lentelė

## VE generatorių arba apvijų perjungimų sukeltas įtampos mirgėjimas ir jos pokytis

Jungimo veiksmo tipas	Perjungimas, tarp generatorių ar apvijų esant blogiausiam sujungimui			
Perjungimo veiksmų per 10 min. didžiausias skaičius, $N_{10}$				
Perjungimo veiksmų per 2 val. didžiausias skaičius, $N_{120}$				
Perdavimo ar skirstomojo tinklo grandinės fazinis kampas, $\psi_k$ , laipsniais	30	50	70	85
Įtampos mirgėjimo laipto faktorius, $k_f (\psi_k)$				
Įtampos pokyčio faktorius, $k_u (\psi_k)$				

13 lentelė

## Vėjo elektrinės įrenginių skleidžiamų harmonikų vertės

Harmonikos eilė, h	Generuojamoji galia (kW)	Harmoninė srovė (% nuo $I_n$ )	Harmonikos eilė, h	Generuojamoji galia (kW)	Harmoninė srovė (% nuo $I_n$ )
2			3		
4			5		
6			7		
8			9		
10			11		
12			13		
14			15		
16			17		
18			19		
20			21		
22			23		
24			25		
26			27		
28			29		
30			31		
32			33		
34			35		
36			37		
38			39		
40			41		
42			43		
44			45		
46			47		
48			49		
50					
Didžiausias suminis harmoninis iškreipis, % nuo $I_n$					
Didžiausia galia, esant didžiausiam suminiam harmoniniam iškreipiui, kW					