

# MIESTO VĖJO ENERGIJOS IŠTEKLIŲ TYRIMAS

Andrius Stuknys, Teodoras Šimkevičius

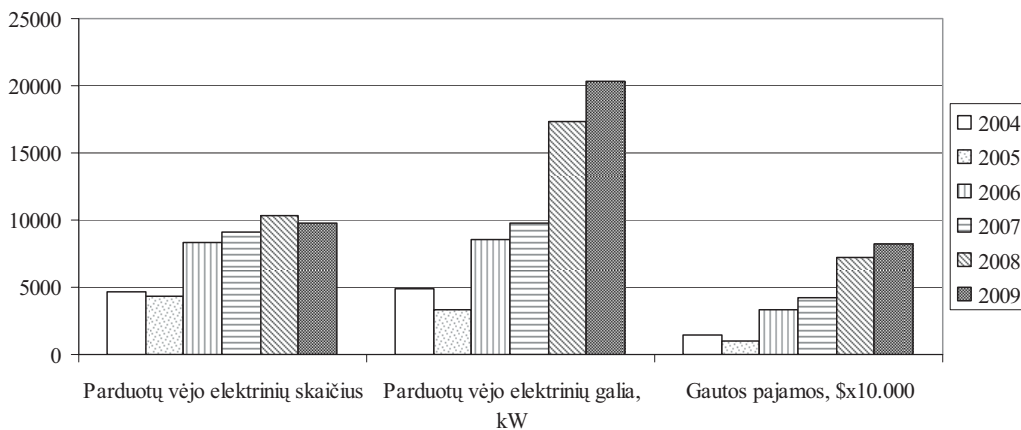
Karinės oro pajėgos, Ginkluotės ir technikos remonto depas  
Šiaulių universitetas, Technologijos fakultetas

## Ivadas

Tyrimo temos svarbą lemia poreikis ne tik didinti atsinaujinančių išteklių naudojimą, mažinti aplinkos taršą, bet ir pasitelkiant naujas technologijas apsirūpinti elektros energija, kuri nepriklausytų nuo instaliuotų elektros tinklų. Skaičiavimo metodikos leidžia tinkamai apskaičiuoti būtinajį poreikį ir optimaliai paskirstyti gaminamą energiją taip, kad vartotojas būtų aprūpintas energija reikiamu momentu.

Mažųjų vėjo elektrinių galia siekia nuo 100 W iki 50000 W, bet dėl vyraujančių mažų vėjo greičio apsimoka statyti tik nedidelės galios vėjo elektrines.

Lietuvos sąlygomis tokios elektrinės atsiperka greičiau, nes jos dirba efektyviau esant mažiems vėjo greičiams. Efektyviausia tokias elektrines įrengti kartu su kitais atsinaujinančiais energijos šaltiniais. Mažos galios vėjo elektrinės pagamina mažą dalį reikalingos elektros energijos, tačiau naujosios vėjo elektrinės yra gerokai efektyvesnės, bet labai brangios. Šio tipo elektrinių pasiūla rinkoje labai plati (žr. 1 pav.), tačiau jų kaina siekia iki dešimties tūkstančių litų už vieną kilovatą instaliuotos galios. Prieš statant vėjo elektrinę būtina įvertinti pagrindinius vėjo parametrus.



1 pav. Amerikos mažųjų vėjo elektrinių rinkos augimas

Įvertinus mažos galios vėjo elektrinės kainą, pastatymo išlaidas, aptarnavimo darbus, prijungimo prie elektros tinklų sąnaudas ir pagaminamos elektros energijos kiekį, rezultatas gali būti toks, kad vėjo elektrinė per visą tarnavimo laiką neatperka investuotų išlaidų.

**Tyrimo tikslas** – išanalizuoti vėjo energetikos plėtros Šiaulių mieste perspektyvas, ištirti vėjo greičio ir krypties kitimo dėsnumus.

**Uždaviniai:** Ištirti vidutinį vėjo greitį Šiauliuose; nustatyti vėjo turbulencijos lygį ir parametrus, reikalingus vėjo elektrinės ekonominiams skaičiavimams.

## Mažos galios miesto vėjo elektrinės pasirinkimo pagrindimas

Lietuvos miestų vėjo greičio ir krypties matavimo duomenų tyrimai atliekami remiantis meteorologijos stočių matavimo duomenimis [5]. Fiksuo-

jant vėjo greičius ir kryptis, sudaromas vėjo greičio pasiskirstymas pagrindiniuose Lietuvos miestuose [4]. Sparčiai populiarėjant mažajai vėjo energetikai, būtinas pasirinktos vietovės vėjo energijos išteklių tyrimas. Mažosios vėjo elektrinės pradeda generuoti elektros energiją esant net mažam vėjo greičiui – 1÷3 m/s. Šio tipo elektrinės dažniausiai naudojamos kaip autonominės elektrinės individualiems poreikiams tenkinti, esant pakankamam vėjo greičiui jos gali būti jungiamos į energetikos sistemos elektros tinklą. Remiantis pasaulinės meteorologijos organizacijos (PMO) nuostatais, vėjo greitis stotyse paprastai matuojamas kas trys valandos, tačiau šiuo atveju matavimai nėra tikslūs [2]. Mažųjų vėjo elektrinių projektams įgyvendinti reikalingi tokie matavimai, kur vėjo greitis matuojamas nuolat. Papildomai vėjo parametrų matavimai pasirinktoje vietovėje turi vykti ne mažiau kaip metus, matavimo sąlygos turi atitikti realias numatomai elektrinės statymo vietai būdingas sąlygas. Išanalizavus gautus duomenis ga-

lima padaryti gana išsamias išvadas apie pasirinktos vietovės tinkamumą mažos galios vėjo elektrinei statyti [1].

Šiuolaikinės aerodinaminės horizontalios ašies vėjo turbino paprastai turi gana aukštą efektyvumą, bet jų statymas vis dar labai brangus. Jas reikia nukreipti vėjo link naudojant papildomą sukimo mechanizmą. Vertikalios ašies turbinoms nereikia

tokios papildomos kontrolės sistemos, rotorius padėtis yra visada tinkama. Dėl jų paprastumo, pastatymo kaina yra mažesnė, palyginti su horizontaliomis vėjo turbinomis.

Pirmoje lentelėje pateikti įvairių turbinų tipų palyginimai įvertinant darbo našumą, pastatymo sudėtingumą, pagrindo vibracijas, greitaeigiškumą ir triukšmų lygį.

1 lentelė. *Vėjo turbinų palyginimas*

| Turbino tipas     | Įsisukimas       | Galios koeficientas | Greitaeigiškumas | Triukšmai | Veleno vibracijos | Bokšto vibracijos |
|-------------------|------------------|---------------------|------------------|-----------|-------------------|-------------------|
| Propelerinis      | Papildoma įranga | Aukštas             | Aukštas          | Dideli    | Neturi            | Didelės           |
| Daugiamentis      | Savaiminis       | Vidutinis           | Žemas            | Maži      | Neturi            | Didelės           |
| H tipo (Darrieus) | Papildoma įranga | Vidutinis           | Vidutinis        | Dideli    | Didelės           | Neturi            |
| Savonius          | Savaiminis       | Žemas               | Žemas            | Neturi    | Didelės           | Neturi            |
| Aerodinaminis     | Savaiminis       | Vidutinis           | Vidutinis        | Neturi    | Neturi            | Neturi            |

Mažos galios vertikalios ašies vėjo elektrinių poveikis aplinkai yra mažesnis, palyginti su horizontalios ašies jėgainėmis, tačiau vis tiek būtina atsižvelgti į šiuos veiksnius:

1. Triukšmą.
2. Vizualinį (estetinį) poveikį.
3. Saugumą ir įtaką gyvūnijai.
4. Elektromagnetinius trikdžius.
5. Šešėlių mirgėjimą ir atspindėjimą.

### Tyrimo metodai

Vėjo greičio, krypties, temperatūros ir slėgio matavimai atlikti Šiaulių miesto meteorologijos stotyje EYSA, kurios koordinatės yra 55° 93' šiaurės platumos, 23° 32' rytų ilgumos, matavimo aukštis 107 m virš jūros lygio. Analizei ir skaičiavimams naudotas vienerių metų laikotarpis 2009-01-01–2009-12-31. Matavimo stoties parametrai buvo fiksuojami kas valandą, jeigu atsirasdavo pokyčių, fiksavimo dažnis didėjo. Gautų duomenų statistinė analizė atlikta *MATLAB* programa. Tyrimo metu gauti duomenys apdorojami kompiuteryje *Microsoft Excel* ir *MATLAB* programomis, tyrimo rezultatai pateikiami grafikuose.

Priklausomai nuo vietovėje esančių kliūčių ir meteorologinių sąlygų, kinta vėjo greitis ir kryptis, todėl kinta ir energija  $E(t)$ . Vėjo energijos kiekis, tenkantis per 1 sekundę 1 m<sup>2</sup> vėjaračio plotui, statmenam vėjo srautui, apskaičiuojamas taip:

$$E(t) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot x^3; \quad (1)$$

Čia:  $E(t)$  – vėjo energija [W / m<sup>2</sup>];  $x$  – vėjo greitis [m / s];  $\rho$  – oro tankis [~1,225 kg / m<sup>3</sup>].

Rezultatai gaunami vėjo greičio ir krypties matavimo duomenis apdorojant matematinės statistikos

būdu [3]. Analizuojant vėjo greičius ir jų pasirodymo tikimybes matyti, kad vėjo greičio tankio funkcijos asimetrija yra teigiama, ši funkcija turi ryškų maksimumą tam tikrame vėjo greičio intervale [5]. Tikimybinį vėjo greičio pasiskirstymą geriausiai atitinka Weibull'o skirstinys. Vėjo greičio tikimybės pasiskirstymo tankis gali būti išreikštas taip:

$$f(x) = \left(\frac{b}{a}\right) \cdot \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}; \quad (2)$$

Čia:  $f(x)$  – vėjo greičio  $x$  pasiskirstymo funkcija;  $a$  – Weibull'o skirstinio skalės parametras;  $b$  – Weibull'o skirstinio formos parametras. Parametrai *MATLAB* programa apskaičiuojami mažiausių kvadratų metodu.

Vėjo vidutinis greitis apskaičiuojamas:

$$x_{vid} = a \cdot \Gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{b}\right); \quad (3)$$

čia  $\Gamma$  – Eulerio gama funkcija,  $x_{vid}$  – vidutinis vėjo greitis [m/s].

Standartinis vėjo greičio nuokrypis išreiškiamas:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_{vid} - x_i)^2}{k-1}}; \quad (4)$$

$k$  – fiksuojamų reikšmių skaičius

Vėjo srauto turbulencijos lygis išreiškiamas:

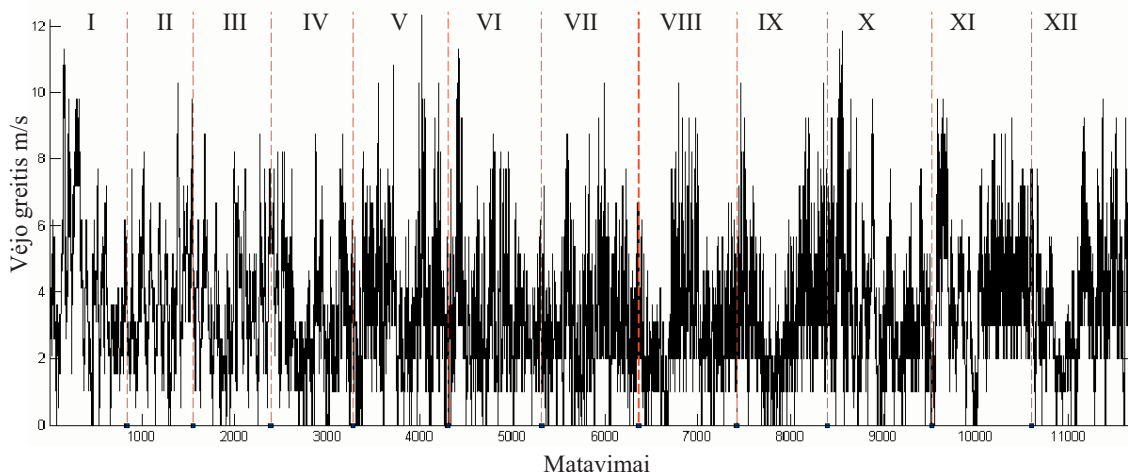
$$Tu = \frac{\sigma}{x_{vid}} \cdot 100\%. \quad (5)$$

## Tyrimo rezultatai

2009 m. Šiauliuose buvo atlikti vėjo greičio ir krypties matavimai. Pagal gautus matavimo duomenis reikalinga apskaičiuoti atitinkančio statistinio skirstinio parametrus, nustatyti vėjo kryptį ir greičių pasiskirstymą. Atlikti tyrimai rodo, kad miestų vėjo energijos išteklių pasiskirstymas išanalizuotas nepakankamai, mažos galios vėjo elektrinių statytojams nepakanka informacijos būsimoms statymo vietoms planuoti. Norint apskaičiuoti pasirinktos vėjo elektrinės tikėtiną metinį energetinį produk-

tyvumą, reikia turėti pasirinktos vietovės Weibull'o skirstinio parametrus ir pasirinktos vėjo elektrinės galios kreivę. Weibull'o parametrų vertės priklauso nuo vietovės geografinės padėties, žemės paviršiaus šiurkštumo toje vietovėje ir nuo aukščio virš žemės paviršiaus.

2009 m. Šiauliuose atlikti vėjo greičio matavimai (12 mėnesių) pavaizduoti 2 pav., kuriame matyti, kad kitimas viso matavimo metu yra labai chaotiškas.

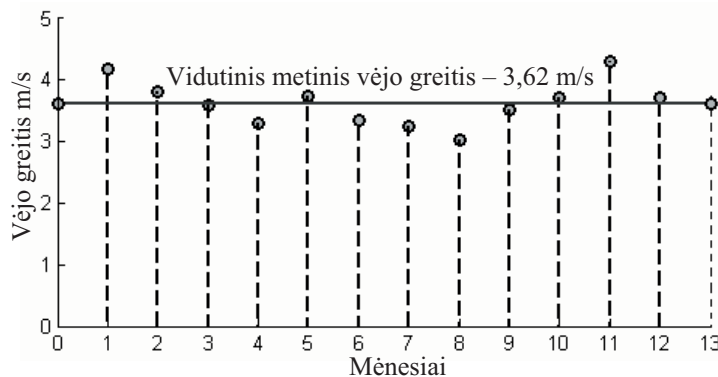


2 pav. Šiaulių meteorologijos stoties EYSA metinių vėjo greičio matavimų duomenys

Pasirinktoje vietovėje vėjo greičio ir krypties skaičiavimams didelės įtakos turi įvairaus aukščio gyvenamieji pastatai, be to, pačios miesto zonos yra labai skirtingos. Miesto parkai ir krašto rajonai gali turėti stiprius vėjo greičius ir žemą turbulentiškumą: šiose vietose tos pačios turbinos, kurios yra naudojamos pavienėse gyvenvietėse, gali puikiai veikti. Tačiau kitose miesto zonose, kur yra daug pastatų, vidutiniai vėjo greičiai yra žemesni. Norint optimaliai išnaudoti vėjo energetinius resursus, svarbu tinkamai pasirinkti vėjo elektrinės modelį, galią, pastatymo

vietą ir aukštį, išanalizuoti turbinos parametrus, atlikti generuojamos galios skaičiavimus, kurie nulemtų pasirinkto modelio tinkamumą. Atlikta vėjo energijos parametrų analizė (žr. 3 pav.) rodo, kad Šiaulių mieste vėjo greičiai yra labai maži – vidutinis metinis vėjo greitis yra 3,62 m/s ir nėra didelių skirtumų tarp vidutinių kelių mėnesių vėjo greičių.

Matavimai rodo, kad žiemą vyrauja didesni vėjo greičiai nei vasarą. Rugsėjo mėnesio vidutinis greitis mažiausias – 3,02 m/s, lapkričio mėnesio didžiausias – 4,29 m/s.



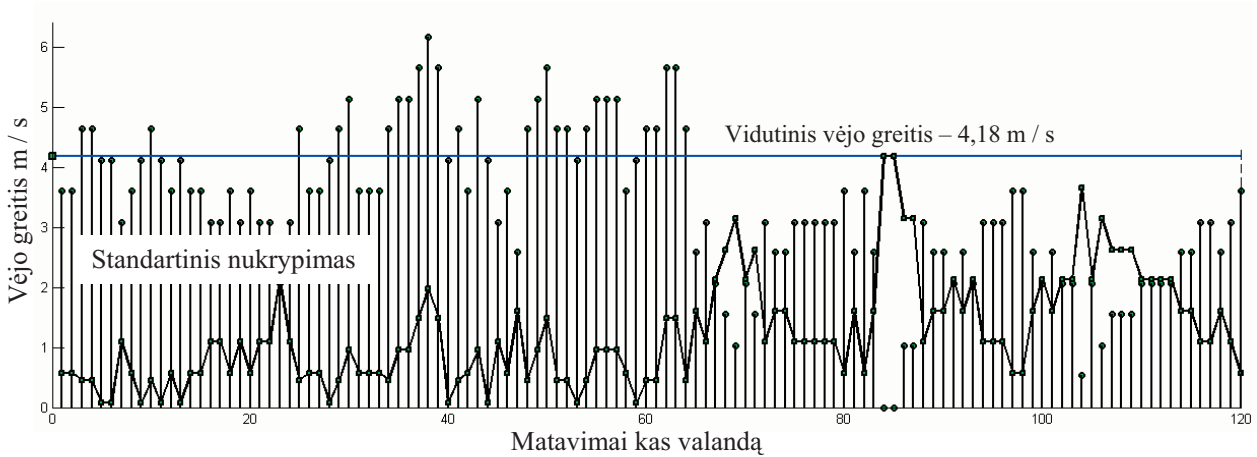
3 pav. Vidutinių vėjo greičių kitimas Šiaulių mieste

Mieste vėjo pulsacijos pakankamai didelės. Susidariusios pulsacijos neigiamai veikia horizontalių vėjo elektrinių darbą, tačiau tai netrukdo vertikalios

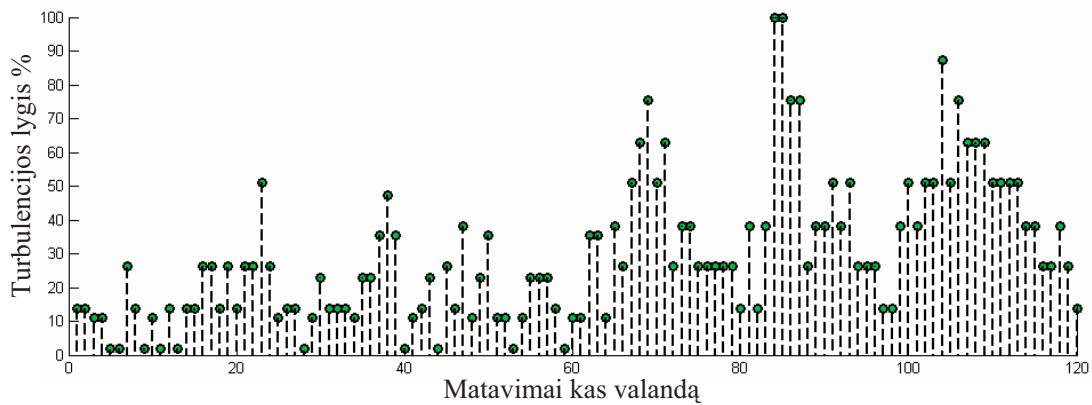
ašies vėjo elektrinėms. Analizuojant sausio mėnesio penkių parų parodymus (4 pav.) matyti, kad vidutinis vėjo greitis yra 4,18 m/s. Tuo metu užfiksuotas

maksimalus vėjo greitis – 6,17 m/s. Esant didelei turbulencijai (žr. 5 pav.), kinta vėjo kinetinė energija, ne-

tolygus vėjo srautas nevienodai apteka vėjo turbinos mentes, o tai mažina vėjo elektrinės efektyvumą.



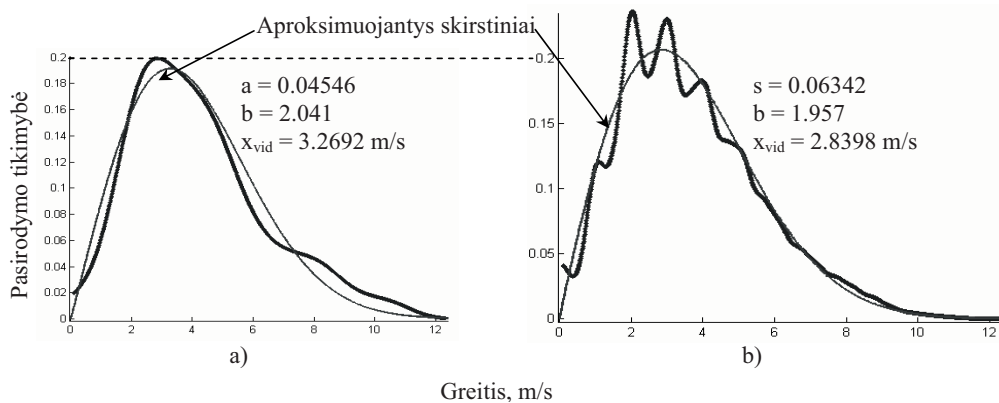
4 pav. Sausio mėnesio penkių parų vėjo greičiai



5 pav. Sausio mėnesio penkių parų vėjo srauto turbulencijos lygis

Vėjo elektrinės generuojamos galios skaičiavimui reikalinga nustatyti Weibull'o skirstinio parametrus, nes tai padės numatyti tikslesnius tikėtinus pagaminamos elektros energijos kiekius. Analizuojant gautus duomenis buvo sudaromi atskiri kiekvieno mėnesio vėjo greičio reikšmių pasirodymo dažnio grafikai, taip pat ir bendras metinis vėjo greičio

reikšmių pasirodymo dažnio grafikas. Vykdydami aproksimacijas pagal Weibull'o skirstinį buvo gauti šio skirstinio parametrai  $a$  ir  $b$  (žr. 6 pav.). Turint šiuos pagrindinius parametrus buvo suskaičiuotas parametras  $c$  ir vidutinis vėjo greitis. Gauti rezultatai surašyti antroje lentelėje.



6 pav. Sausio mėnesio (a) ir bendro metinio (b) vėjo greičio reikšmių pasirodymo dažnio grafikai ir aproksimacija naudojant Weibull'o skirstinį

2 lentelė. *Weibull`o parametrai*

| Mėnesiai  | Apskaičiuoti rezultatai |              |              |               |
|-----------|-------------------------|--------------|--------------|---------------|
|           | a parametras            | b parametras | c parametras | $x_{vid}$ m/s |
| Sausis    | 0,04546                 | 2,041        | 4,5468       | 3,2692        |
| Vasaris   | 0,0509                  | 2,008        | 4,4062       | 3,1261        |
| Kovas     | 0,05918                 | 1,967        | 4,2093       | 2,9338        |
| Balandis  | 0,08306                 | 1,88         | 3,7566       | 2,5086        |
| Gegužė    | 0,06073                 | 1,911        | 4,3314       | 2,9394        |
| Birželis  | 0,07291                 | 2,018        | 3,6605       | 2,6078        |
| Liepa     | 0,08358                 | 1,863        | 3,7895       | 2,5072        |
| Rugpjūtis | 0,08989                 | 1,929        | 3,4866       | 2,3873        |
| Rugsėjis  | 0,07535                 | 1,817        | 4,1496       | 2,6728        |
| Spalis    | 0,06968                 | 1,899        | 4,0664       | 2,7428        |
| Lapkritis | 0,02095                 | 2,397        | 5,0163       | 4,0046        |
| Gruodis   | 0,06055                 | 1,915        | 4,3249       | 2,9409        |
| Metinis   | 0,06342                 | 1,957        | 4,0930       | 2,8398        |

Vėjo elektrinių turbinos pradeda dirbti esant tam tikram vėjo greičiui, jei vėjo greitis bus žemesnis negu rotoriaus suveikimo greitis, tai turbina nesisuks, todėl labai svarbu parinkti atitinkamą rotorių, kad būtų įmanoma gauti energijos esant net labai žemiems vėjo greičiams. Turbulentiškumas yra kita svarbi problema. Horizontalios ašies vėjo elektrinės turbulentinėmis sąlygomis dirba prastai, vertikalios ašies vėjo elektrinės turbulentinėmis sąlygomis veikia pakankamai efektyviai ir vėjo krypties kitimas nesukelia papildomų problemų. Turint vietovės vėjo greičio parametrus ir vėjo elektrinių galios kreives, nesunku prognozuoti pagaminamos energijos kiekį.

## Išvados

Mažoji vėjo energetika sparčiai plėtojama ir vertinama kaip viena iš pagrindinių priemonių sprendžiant ekonomines ir ekologines problemas.

Matavimo stotys Lietuvos miestuose leidžia pakankamai tiksliai fiksuoti ilgalaikius vėjo energinius parametrus.

Šiaulių mieste vėjo energijos išteklių dydžiui didelę reikšmę turi ne tik vėjo greitis ir kryptis, bet ir topografinės sąlygos, urbanistikos objektai, miesto želdiniai, žemės paviršiaus reljefas. Nuo kliūčių besiformuojantys vėjo sūkurių stipriai veikia vėjo greitį ir kryptį.

## Literatūra

1. Birgiolas E., Katinas V., 2006, Vėjo srauto parametrų kitimo dėsningumų tyrimas Lietuvos pajūryje. *Energetika*. Nr. 2. P. 29–33.
2. Deveikis T., Navardauskas E., 2006, Vėjo elektrinių gaminamos energijos kiekio ir atsiperkamumo įvertinimas. *Elektros ir valdymo technologijos*. Kaunas.
3. Katinas V., Markevičius A., 2001, Vėjo energijos išteklių ir stebėjimo postų kūrimas Lietuvoje. *Energetika*. Nr. 2. P. 45–50.
4. Katinas V., Markevičius A., Burlakovas A., 2006, Vėjo energetika ir jos artimiausia perspektyva Lietuvoje. *Energetika*. Nr. 3. P. 67–76.
5. Katinas V., Tumosa A., 2001, Vėjo energijos išteklių ir stebėjimo postų kūrimas Lietuvoje. *Energetika*. P. 45–50.

## INVESTIGATION INTO URBAN WIND ENERGY RESOURCES

*Andrius Stuknys, Teodoras Šimkevičius*

### Summary

Investigation into urban wind energy resources is presented in the paper. Wind speed and direction measurements in Šiauliai city have been statistically assessed. Urban wind turbines additionally offer a possibility of renewable energy generation. There are many developments on the market for small wind turbines. Wind turbines of these types could be placed on many urban buildings and also next to private houses. Calculating the energy potential in the turbine building environment is very important, because the results significantly reveal the suitability of the chosen wind turbine. These data are useful for choosing wind turbines by such parameters: nominal wind speed, start up wind speed, stop wind speed, and positioning.

**Keywords:** renewable energy sources, small wind turbines, wind speed, wind energy, turbulence, deviation.

**MIESTO VĖJO ENERGIJOS IŠTEKLIŲ TYRIMAS***Andrius Stuknys, Teodoras Šimkevičius***Santrauka**

Straipsnyje nagrinėjamos miesto vėjo energijos išteklių galimybės. Atlikta Šiaulių miesto 2009 m. duomenų vėjo greičio ir krypties matavimo statistinė analizė. Mažosios miesto vėjo elektrinės suteikia galimybę išgauti energiją iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Mažųjų vėjo elektrinių rinka sparčiai vystosi. Šio tipo vėjo elektrinės gali būti instaliuotos įvairiuose miesto pastatuose, taip pat ir įvairiose nuosavų namų vietovėse. Labai svarbu išanalizuoti vėjo elektrinės statymo aplinkoje energetinį potencialą, nes gauti rezultatai aiškiai parodo pasirinktos vėjo elektrinės tinkamumą. Duomenys reikalingi renkantis vėjo elektrines pagal šiuos parametrus: nominalų vėjo greitį, rotoriaus suveikimo greitį, stabdymo vėjo greitį ir pastatymo pobūdį.

**Prasminiai žodžiai:** atsinaujinantieji energijos ištekliai, vėjo energija, mažosios vėjo elektrinės, vėjo greitis, vėjo energija, turbulencija, nuokrypis.

Įteikta 2010-09-02