

# Vėjo energetikos plėtros tendencijos

**Antanas Markevičius,  
Vladislovas Katinas**

*Lietuvos energetikos institutas,  
Atsinaujinančių energijos šaltinių  
laboratorija,  
Breslaujos g. 3,  
LT-3035 Kaunas*

Nagrinėjamos pasaulio šalių vėjo energetikos plėtros tendencijos bei laimėjimai, parodant vėjo energetikos privalumus ir trūkumus, palyginti su kitomis energijos rūšimis. Pateikiami įvairių tipų elektrinių energetiniai atsipirkimo rodikliai, parodoma vėjo energetikos plėtros raida pasauliniu mastu. Įvertinamos vėjo energetikos plėtros perspektyvos Lietuvoje. Parodoma vidutinio vėjo greičio matavimų Lietuvos pajūryje daugelio metų statistika ir kiti vėjo parametrai. Pateikiami dabartinių vėjo jėgainių konstrukcijų pavyzdžiai bei ekonominiai parametrai. Apžvelgiamos ateities vėjo jėgainių vystymosi ir taikymo kryptys.

**Raktažodžiai:** vėjo energija, vėjo išteklių, vėjo jėgainė, instaliuota galia, aplinkosauginis efektas

## 1. ĮVADAS

Lietuvos energetikoje restruktūrizuojamas energetikos sektorius, formuojami rinkos santykiai, sprendžiami Ignalinos atominės elektrinės uždarymo klausimai, pradedami eksploatuoti rezerviniai bei nauji pajėgumai, pasaulyje sparčiai panaudojami atsinaujinantys energijos šaltiniai, tarp jų vėjo energija.

Lietuvoje jau šį dešimtmetį, uždarius Ignalinos atominę jėgainę, kuri tenkina apie 85% elektros poreikių, bus pradėti naudoti rezerviniai pajėgumai, kurie naudoja įprastinį kurą – dujas ir naftą. Šiuo atveju gerokai padidės atmosferos tarša CO<sub>2</sub> (nuo dabartinių 0,8 Mton iki 6–7 Mton).

Pastaraisiais metais labai susidomėta vėjo energetika. Pasaulyje jau įrengtų vėjo jėgainių galia yra 19000 MW. Tai kur kas daugiau, palyginti su kitomis atsinaujinančios elektros energijos generavimo technologijomis, išskyrus didžiąją hidroenergetiką. Metinės vėjo energijos investicijos – 3,5 mlrd. JAV dol. Lentelėje pateikti naujausi pasaulio vėjo energetikos plėtros duomenys pagal [1]. Didžiausia galia įrengta Europoje – pagal vėjo jėgainių kiekio ir dydžio augimą per pastaruosius metus ryškiai išsiskiria Vokietija ir Ispanija. Europos Sąjungos siekis iki 2010 m. vartoti 12% atsinaujinančios energijos gali būti įvykdytas, įrengus 60000 MW galios vėjo jėgainių. Danija, išnaudodama jūros vėjo energijos išteklius, ypatingai yra pasiryžusi 2030 m. iš vėjo energijos gauti 50% visos elektros energijos nepertvarkydama elektros tinklo sistemos. JAV, Kalifornijoje ir Teksase senos vėjo jėgainės yra keičiamos naujomis, galingesnėmis bei efektyvesnėmis. Daugelis šalių, kurios turi gausius vėjo energijos išteklius, didina įrengtų jėgainių skaičių ir kuria

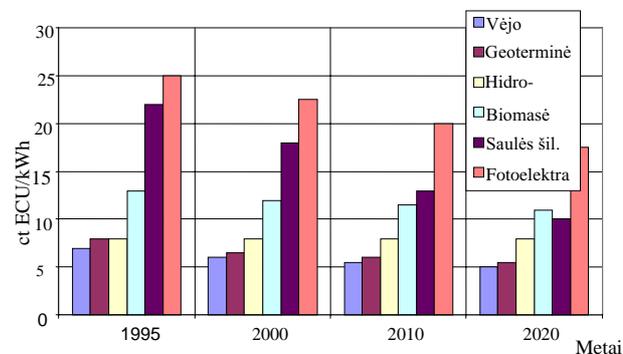
naujas įdiegimo programas bei iniciatyvas, skatinančias vėjo energetikos plėtrą. Pasaulyje yra 40 šalių, kuriose vėjo energetika tenkina didelę energijos poreikių dalį. Didžiuliai vėjo energijos išteklių yra Kinijoje, Indijoje ir Pietų Afrikoje, taip pat Europos šalių jūrų pakrantėse.

Darbo tikslas – išanalizuoti vėjo energetikos plėtros tendencijas ir panagrinėti vėjo energetikos perspektyvas Lietuvoje.

Darbą finansavo Lietuvos valstybinis mokslo ir studijų fondas.

## 2. VĖJO ENERGIJOS KAINA

Skaičiavimai parodė, kad vėjo energija yra pigi. Vėjuotose vietovėse vėjo energija gali konkuruoti su iškastinio kuro energija, dargi neišskaičius iš pastarosios net aplinkos teršimo mokesčio. Besiplėtojant vėjo energetikos pramonei, gaminamos energijos kaina sparčiai mažėja, pvz., padidinus įdiegtą galią dvigu-



1 pav. Atsinaujinančių energijos šaltinių kainų kitimo prognozė Europoje (TERES-II)

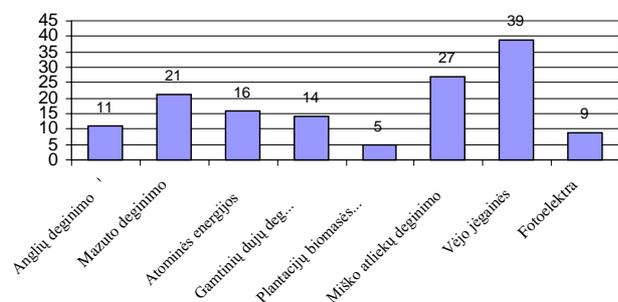
bai, kaina sumažėja 15%. Škotijoje įrengto vėjo jėgainių parko generuojamos energijos kaina yra bene mažiausia pasaulyje – tik 3 ct EUR/kWh. Be to, vėjo energija pati pigiausia iš visų atsinaujinančios energijos rūšių ir, laikui bėgant, turi tendenciją mažėti (1 pav.).

### 3. ENERGIJOS ATSIPIRKIMO RODIKLIS

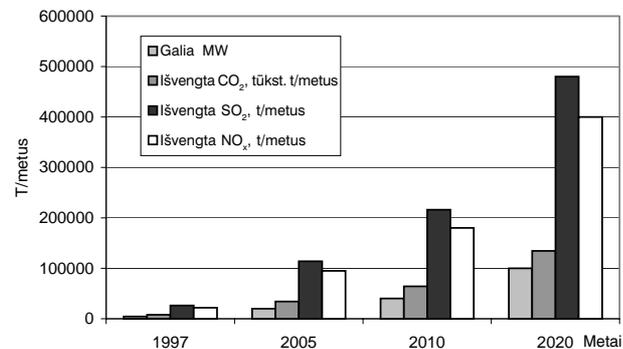
Kiekvieno tipo elektrinės energijos atsipirkimo rodiklis yra per visą eksploatacijos laiką pagamintos energijos santykis su energijos kiekiu, reikalingu jai pastatyti, aptarnauti ir kurui ruošti. Organinio kuro atveju energija sunaudojama jam išgauti, gabenti, sandėliuoti ir deginti. Jeigu šis rodiklis yra artimas vienetui, tai tokio tipo jėgainė neturėtų būti statoma. Kuo šis rodiklis didesnis, tuo jėgainė efektyvesnė. Įvairių energijos šaltinių jėgainių energijos atsipirkimo rodikliai pavaizduoti 2 pav.

Iš pateiktų duomenų matyti, kad vėjo jėgainių atveju jis yra didžiausias, tai rodo mažiausią poveikį gamtai ir jos teršimą (3 pav.):

Per artimiausią dešimtmetį organinio kuro deginimo technologijos nebus taip išstbulintos, kad gerokai sumažėtų išskiriamų teršalų kiekiai. Šiuo atveju, įjungus rezervinius pajėgumus, kurie naudoja įprastinį kurą – dujas ir naftą, labai padidėtų atmosferos tarša CO<sub>2</sub> (nuo dabartinių 0,8 Mton iki 6–7 Mton). Šie taršos lygiai neatitiktų Kioto protokolo reikalavimų sumažinti CO<sub>2</sub> emisiją, palyginti su 1990 m. lygiu. Kadangi CO<sub>2</sub>



2 pav. Jėgainių energijos atsipirkimas



3 pav. Vėjo energijos aplinkosauginis efektas

kiekių mažinimo galimybės kitose veiklos srityse (pvz., transporto) yra komplikotos ir neduodančios greitų rezultatų, tai energetikoje naujų „švarių“ technologijų dėka bus galima gauti norimą efektą.

Lentelė. Pasaulio vėjo energetikos plėtra (instaliuota galia MW)				
Šalis	2001	2000	1999	1998
Vokietija	6916	6095	4443	2875
Ispanija	2728	2538	1542	834
JAV	2525	2494	2464	1820
Danija	2382	2364	1771	1383
Indija	1248	1214	1035	992
Italija	560	427	283	178
Olandija	474	448	411	361
Anglija	406	406	344	333
Kinija	328	316	261	214
Švedija	264	241	215	174
Graikija	249	226	82	39
Kanada	142	137	125	82
Japonija	142	125	68	40
Airija	132	129	73	73
Portugalija	104	99	60	60
Austrija	80	79	42	30
Egiptas	68	68	35	5
Prancūzija	63	62	22	19
Australija	61	31	10	9
Marokas	54	54	0	0
Kosta Rika	51	51	46	26
Suomija	38	38	38	17
Naujoji Zelandija	35	35	35	5
Belgija	24	13	9	6
Brazilija	20	20	20	17
Turkija	19	19	9	9
Argentina	15	14	13	12
Liuksemburgas	15	15	10	9
Norvegija	13	13	13	9
Iranas	11	11	11	11
Tunisas	11	11	0	0
Lenkija	8	5	5	5
Rusija	5	5	5	5
Ukraina	5	5	5	5
Iš viso	19212	17824	13520	9665

### 4. VĖJO ENERGETIKOS PLĖTROS PERSPEKTYVOS LIETUVOJE

Vėjo energijos ištekliams Lietuvos teritorijoje nustatyti buvo panaudoti meteorologinių stočių duomenys surinkti 1977–1989 m. Pagrindinėms vėjo energijos charakteristikoms nustatyti taikomi statistiniai duomenų apdorojimo metodai. Pajūrio regione vėjo greičiai pagal dydį pasiskirstę gerokai tolygiau

negu Vidurio ar Rytų Lietuvoje. Kaip ir galima buvo tikėtis, didžiausi vėjo energijos ištekliai yra pajūrio zonoje, mažiausi – Rytų ir Pietryčių Lietuvoje.

Pagrindinė vėjo energetinė charakteristika – jo greitis. Dėl įvairių meteorologinių veiksnių veiklos ir vietovės reljefo sąlygų vėjo greitis ir kryptis nuolat kinta, todėl nuolat kinta ir vėjo jėgainės gaminamas energijos kiekis, kuris gali būti įvertintas su tam tikra tikimybe. Energijos kiekis, kurį gali pagaminti vėjo jėgainė per ilgą laiką (sezoną, metus), gali būti nusakytas pakankamai tiksliai.

Vėjo energijos kiekis, tenkantis per 1 sek. 1 m<sup>2</sup> vėjaračio plotui, statmenam vėjo srautui, apskaičiuojamas taip:

$$E(t) = 1/2 \rho V^3; \quad (1)$$

čia  $\rho$  – oro tankis kg/m<sup>3</sup>,  $V$  – vėjo greitis m/s,  $E(t)$  – vėjo energija W/m<sup>2</sup>.

Oro tankio dydis priklauso nuo oro temperatūros ir barometrinio slėgio, kuris savo ruožtu priklauso nuo aukščio virš jūros lygio. Lietuvos teritorijoje metinė vidutinė oro temperatūra 6,5°C, vidutinis aukštis virš jūros lygio 100 m, vidutinis barometrinis slėgis 750 mm Hg st. Pavyzdžiui, esant vėjo jėgainės vėjaračio ašies aukščiui 25 m nuo žemės paviršiaus, t. y. vidutiniškai 125 m virš jūros lygio, gauname, kad vidutinis oro tankis – 1,27 kg/m<sup>3</sup>.

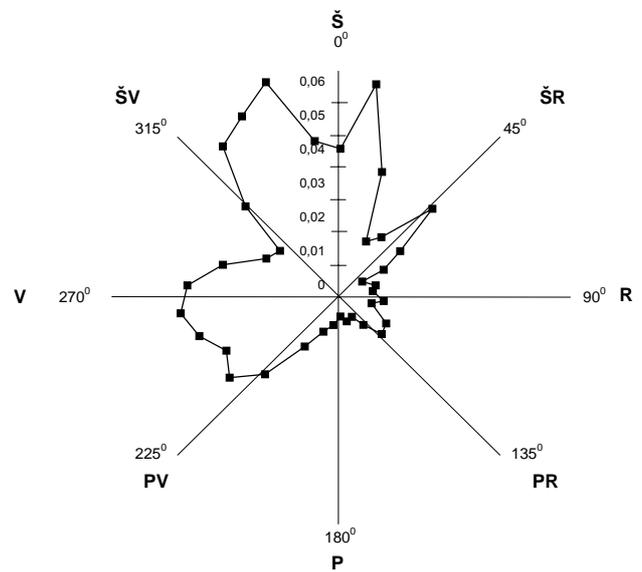
Vėjo jėgainių vėjaračio ašies aukštis nuo žemės paviršiaus paprastai būna nuo 10 iki 75 m. Vėjo jėgainių, kurių galia ne didesnė kaip 250 kW, ašis paprastai yra 20–30 m aukštyje. Vėjo parametrai meteorologijos stotyse, prisilaikant tarptautinių standartų, matuojami 10 m aukštyje. Matavimo rezultatai rodo, kad vėjo greitis didėja didėjant aukščiui ir priklauso nuo oro temperatūros bei vietovės atvirumo (šiuurkštumo) laipsnio. Esant stabiliam temperatūros pokyčiui, vėjo greitį  $V_2$  pasirinktame aukštyje  $h_2$  galima apskaičiuoti taip:

$$V_2 = V_1 \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^n, \quad (2)$$

čia  $V_1$  – vėjo greitis, išmatuotas meteorologijos stotyje, aukštyje  $h_1$ ;  $n$  – vėjo greičio profilio polinkio laipsnio rodiklis, kuris įvertina vietovės šiuurkštumo laipsnį. Matavimai rodo, kad, esant lygiai, be augmenijos ir pastatų vietai arba atviram vandens paviršiui,  $n = 0,1$ . Vietovėje su pasėliais arba apaugusioje neaukšta žole  $n = 0,14$ . Kai vietovėje auga pasėliai ir yra keletas nedidelių medžių,  $n = 0,2$ , o esant miškingai vietai  $n = 0,3$ . Užstatyti urbanistiniais pastatais vietai  $n = 0,4$  ir daugiau.

Vietovės vėjo energijos išteklių dydžiui didelę reikšmę turi ne tik vėjo greitis, bet ir kryptis. Energijos kiekis priklausys nuo vėjo greičio ir trukmės

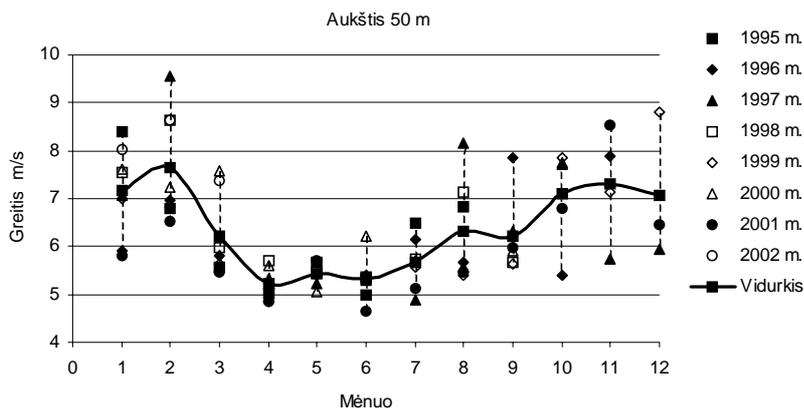
viena ar kita pasaulio šalių kryptimi, nes paprastai pastebimos skirtingos topografinės sąlygos pagal skirtingas pasaulio šalių kryptis. Todėl vėjo greičio nustatymas pagal kryptis leidžia tiksliau apskaičiuoti jo energijos išteklius. Paprastai vėjo kryptys suskirstomos į 8 pasaulio šalių (4 pav.) sektorius: šiaurės (Š), šiaurės rytų (ŠR), rytų (R), pietryčių (PR), pietų (P), pietvakarių (PV), vakarų (V), šiaurės vakarų (ŠV), kur kiekvienas sektorius apima 45° kampą. Pagal meteorologinius matavimus įvertinamas vėjo greičio pasiskirstymo dažnumas kiekvienam sektoriui. Mūsų atliktuose matavimuose vėjo kryptis buvo fiksuojama 1° tikslumu. Matavimai rodo, kad pajūrio regione (6 pav.) vyrauja vakarų (V) ir šiaurės (Š) vėjai, o Vidurio Lietuvoje – pietvakarių (PV) ir pietryčių (PR).



4 pav. Vėjo krypčių pasiskirstymas Klaipėdos regione (Giruliai) 2001 m. gegužės mėn. 1–31 d.

Vėjo greitis kinta tiek per metus (5 pav.), tiek per parą. Didžiausi vėjo greičiai yra žiemą, o mažiausi vasarą. Vėjo greitis per parą kinta gana tolygiai. Tai rodo vėjo greičio kitimo paros grafikas (6 pav.), kuris sudarytas suvidurkinus tos pačios valandos matavimo duomenis visomis mėnesio dienomis. Kiekvienos valandos vidutinė kvadratinė vėjo greičio kitimo reikšmė įvertinama standartiniu nukrypimu.

Vėjo jėgainė negali panaudoti visos vėjo energijos. Vėjo energijos prarandama keičiantis vėjo greičiui ir kryptiai, taip pat transmisijose perduodant sukamąjį judesį generatoriui, pačiame generatoriuje ir panašiai. Didžiausias teorinis vėjo energijos kiekis, kurį gali panaudoti vėjo jėgainė, Vokietijos specialisto A. Betz skaičiavimų duomenimis, sudaro 59,3% visos minėtos vėjo energijos. Tai yra teorinė riba, prie kurios turi artėti vėjo jėgainių gamintojai. Tarus [5],



5 pav. Vidutinio vėjo greičio kitimas Lietuvos pajūrio zonoje 1995–2002 m.

kad vėjaratis naudingai išnaudoja tik 40% pratekančios vėjo energijos, o transmisijos naudingumo koeficientas (n. k.) – 90%, generatoriaus – 95%, tai vėjo jėgainės, gaminančios elektros energiją, naudingumo koeficientas

$$\eta = 0,4 \times 0,9 \times 0,95 = 0,342, \text{ arba } 34,2\%. \quad (3)$$

Taigi vėjo jėgainės pagaminamas elektros energijos kiekis vatvalandėmis per metus bus:

$$E_m = E A \eta 8760; \quad (4)$$

čia  $E$  – vėjo energija, apskaičiuota pagal (1) formulę vėjaračio ašies aukštyje,  $A$  – jėgainės besisukančių sparnų užimamas plotas.

## 5. VĖJO JĖGAINĖS (VJ)

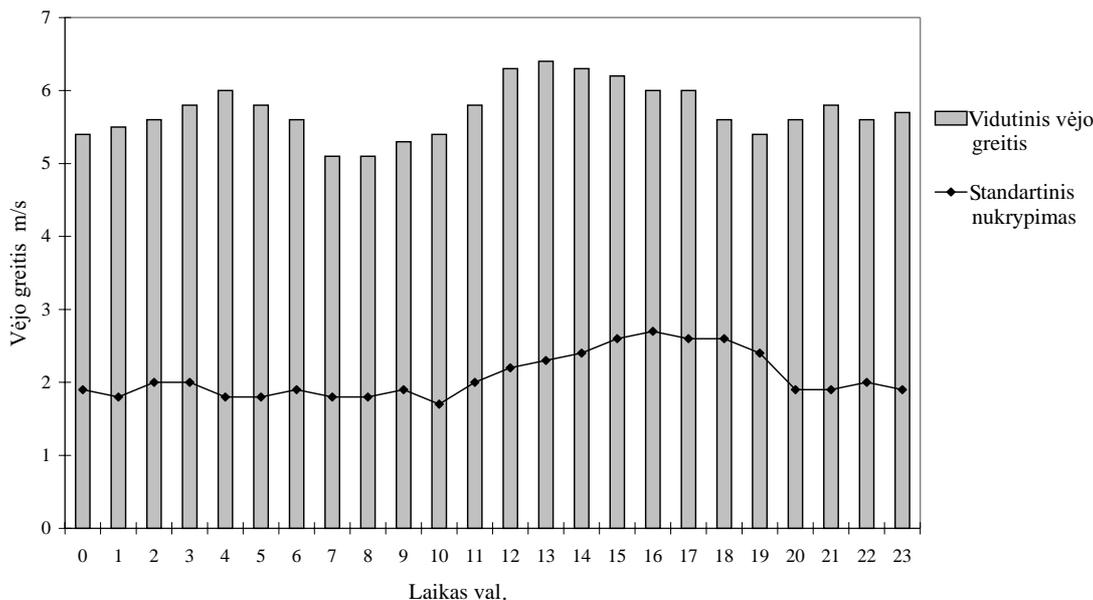
Didžioji vėjo energetikos pramonės dalis yra orientuota į didelės galios vėjo jėgainių, pritaikytų darbu sausumoje ir jūroje, gamybą. Šiuo metu didžiausios veikiančios vėjo jėgainės yra iki 2 MW ir daugiau galios. „Enerkon“ bendrovė pirmoji ruošiasi įrengti galingesnę negu 4 MW vėjo jėgainę. Šios jėgainės rotoriaus skersmuo 112 m, mentes gamina Abeking & Rasmussen bendrovė. „Enron Wind“ pagamino 3,2 ir 3,6 MW jėgaines, kurių rotorių skersmenys atitinkamai 104 ir 100 m. „Nordex“ bendrovė kartu su „Jacobs

Energie“ ir „Pro + Pro“ bendrovėmis sukūrė 5 MW vėjo jėgainę.

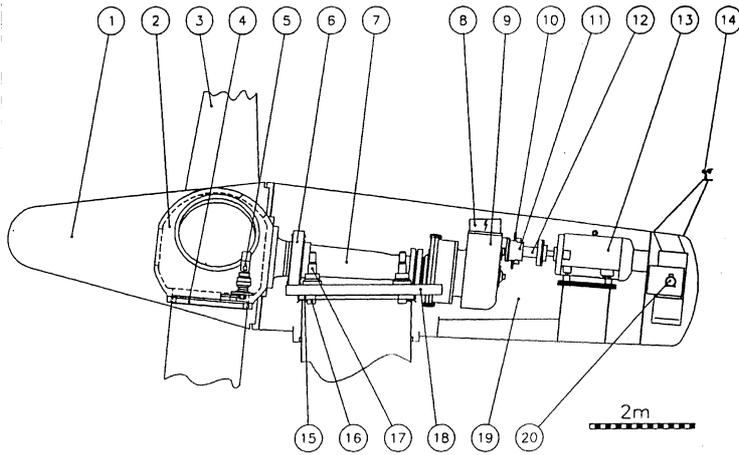
Konstruciniu požiūriu vėjo jėgainės plėtojasi tobulinant vėjaratį, t. y. naudojant sudėtingo profilio mentes triukšmingumui sumažinti, taip pat padidinti efektyvumą. Šiuo metu veikia 2 MW vėjo jėgainės, kurių startinis vėjo greitis yra 3 m/s.

„ABB Automation“ bendrovė [3] sukonstravo 1 MW, kintamo greičio, vidutinės įtampos (3,3 kV), be multiplikatoriaus, vėjo jėgainę.

Tai yra netolimos ateities vėjo jėgainių prototipas, kuris pasižymi didesniu patikimumu ir elektros energijos, tiekiamos į tinklą, kokybe bei geresniu, patikimesniu jėgainės valdymu. Vėjo jėgainių generatoriai gamins aukštos įtampos energiją, kuri tiesiog be transformatoriaus bus tiekama į tinklą.



6 pav. Vėjo greičio kitimo 50 m aukštyje nuo žemės paviršiaus Klaipėdos regione (Giruliai) 2001 m. gegužės mėn. 1–31 d. grafikas

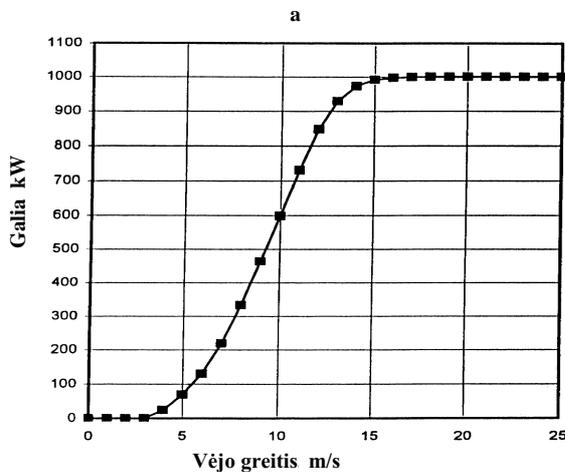


7 pav. „Bonus“ firmos VJ kabinos principinė schema. 1 – stebulės gaubtas, 2 – stebulė, 3 – mentė, 4 – mentės guolis, 5 – mentės pasukimo mechanizmas, 6 – veleno guolis, 7 – velenas, 8 – valdymo įrenginys, 9 – multiplikatorius, 10 – stabdžių diskas, 11 – stabdžių įrenginys, 12 – jungiamoji ašis, 13 – generatorius, 14 – meteorologiniai davikliai, 15 – kabinos pasukimo žiedas, 16 – kabinos pasukimo guolis, 17 – kabinos pasukimo mechanizmas, 18 – apsauginio gaubto laikiklis, 19 – apsauginis gaubtas, 20 – generatoriaus aušintuvas

VJ konstrukcija (7 pav.) pagrįsta vadinamąja „Danijos koncepcija“, t. y. 3 menčių vėjaratis su pastoviu sinchronizuotu sukimosi greičiu, taip pat asinchroniniu generatoriumi.

VJ multiplikatorius yra trijų laipsnių planetarinės konstrukcijos, aušinama išoriniu tepalo aušintuvu. Naudojamas sukimosi greičiui padidinti iki 1500 aps./min., tuo tarpu rotoriaus sukimosi greitis 22 aps./min. Prie greičių dėžės ašies sumontuoti mechaniniai diskiniai stabdžiai.

Generatorius. Asinchroninis, dviejų sukimosi greičių. Kai sukimosi greitis lygus 2/3 nominalaus greičio, naudojami 6 generatoriaus poliai, kai greitis pasiekia nominalų, generatorius perjungiamas į 4-polį.



**Mechaniniai stabdžiai.** Du hidrauliniai stabdžių cilindrai su trinties kaladėlėmis. Stabdoma dviem režimais normaliu darbo ir avariniu.

**Kabinos pasisukimo sistema.** Naudojami 4 pasukimo varikliai, kurie krumpliaračiais suka dantratinį žiedą kartu su kabinos platforma.

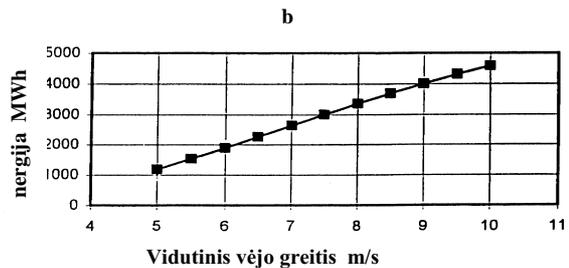
**Valdymo sistema** – mikroprocesinė su jungtuvais ir apsaugos įrengimais. Displėjus ir klaviatūra naudojami duomenimis nuskaityti ir naujiems nustatymams įvesti. Gali būti valdoma nuotoliniu būdu.

**Bokštas.** Konstrukcijai naudojami plieniniai vamzdžiai. Kas 6 m įrengiamos platformos su apšvietimu.

**VJ veikimas ir apsaugos sistemos.** Dirba automatiškai režimu priėmimo prieš visų vėjo sąlygų. Kai vėjo greitis pasiekia 5 m/s, jėgainės vėjaratis pradeda sukintis. Jam išisukus iki tam tikro (šiuo atveju iki 15 aps./min.) pastovaus greičio, generatorius (6 polių) yra prijungiamas prie elektros tinklo. Šiuo režimu generatorius veikia iki 7 m/s vėjo

greičio. Esant didesniems vėjo greičiams, generatorius perjungiamas į 4-polį, o vėjaratio greitis padidėja iki 22 aps./min. Vėjaratio pastovūs sūkių palaikomi automatiškai, padidėjus vėjo greičiui padidėja vėjaratio aerodinaminis pasipriešinimas, tuo pačiu vėjaratis stabdomas ir sūkių stabilizuojasi, be to, valdant menčių pasukimo kampą, keičiamas aerodinaminio pasipriešinimo dydis. Priklausomai nuo vėjo greičio, parenkant optimalų menčių pasukimo kampą, pasiekiamas idealus vėjaratio sūkių stabilizavimas, tuo pačiu užtikrinamas pastovus generatoriaus įtampos dažnis. Vėjo jėgainės galia didėja tiesiškai iki vėjo greitis pasiekia 14–15 m/s (8 pav., a). Šioje vietoje vėjaratis pradamas aerodinamiškai stabdyti, galia yra pastovi. Vėjo greičiui pasiekus ribinę reikšmę apie 25 m/s, jėgainė automatiškai išjungiamas.

Vėjo jėgainės metinė elektros energijos gamyba priklauso nuo vėjo greičio tiesiškai (8 pav., b).



8 pav. VJ galios (a) ir energijos gamybos (b) priklausomybė nuo vėjo greičio

## 6. IŠVADOS

1. Pasaulyje įrengtų vėjo jėgainių galia yra 19000 MW.

2. Vėjo energetikos lyderiai yra Europos valstybės: Vokietija, Ispanija, Danija. Iki 2010 m. Europoje numatoma įrengti 60000 MW vėjo jėgainių.

3. Vėjo energetikos plėtros kryptis – didelės galios (iki 5 MW) vėjo jėgainės jūros šelfe bei pakrantėse.

4. Nuolat tobulinamų vėjo jėgainių konstrukcijų bei gamybos plėtimo dėka vėjo energijos kaina nuolat mažėja ir tampa konkurencinga iškastinio kuro energijai.

Gauta

2002 06 25

### Literatūra

1. Wagner A. Set for 21st century: Germany's New Renewable Energy Law // Renewable Energy World. March–April, 2000. P. 73–83.
2. <http://www.ewea.org/>
3. Hillman D. ABB's new Converter Generation for Megawatt Size Windturbines, Business Development Distributed Power. Switzerland, 2001.
4. The Secretariat of the European Wind Energy Association. European Best Practice Guidelines for Wind Energy Development.
5. Katinas V., Tumosa A. Vėjo energijos panaudojimo galimybės Lietuvoje. Vilnius, 1995.

**Antanas Markevičius, Vladislovas Katinas**

### WIND ENERGY DEVELOPMENT TRENDS

#### Summary

The demand for the use of Green Electricity technologies in Lithuania will arise after closing the Ignalina Nuclear Power Plant in 2009. One of these technologies can be wind energy. Most progressive wind energy technologies are used in Denmark. Lithuania can take profit from Denmark's experience.

19000 MW of wind power are produced worldwide and this number is rapidly increasing, overtaking all other

renewable electricity generation technologies. The EU target to increase wind energy by 2010 could result in around 60000 MW capacities. Leading countries in wind energy production are Germany, USA, Spain and Denmark. A 15% reduction in the price of energy is being achieved with every doubling of installed capacity. Most wind energy industries produce big machines for use in inshore or offshore applications. 2 MW turbines are in use. Enercon, Nordex are ready to produce 5 MW wind turbines. ABB have constructed variable speed wind turbines with a direct drive generator and high voltage direct current (HV DC) transmission line.

**Key words:** wind energy, tendencies, power station

**Антанас Маркявичюс, Владисловас Катинас**

### ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВЕТРО-ЭНЕРГЕТИКИ

#### Резюме

В Литве, после закрытия Игналинской атомной электростанции, планируемого на 2009 г., возрастёт потребность использования технологий возобновляемых источников энергии. Одной из таких технологий является ветроэнергетика, которая наиболее развита в Германии, Дании, Испании, США, и Литва может использовать их опыт.

В настоящее время в мире установлено ветровых электростанций (ВЭ) общей мощностью 19 000 МВт; их количество стремительно возрастает, тем самым замедляя применение других технологий. До 2010 г. Европейский Союз планирует увеличить мощность ветровой энергии до 60000 МВт.

С каждым удвоением установленной мощности цена электростанции снижается на 15%.

Индустрия производства ВЭ развивается по пути создания крупных (до 5 МВт) ветровых электростанций. Наиболее популярны в настоящее время ВЭ мощностью 2 МВт. Лидеры производства крупных ВЭ фирмы Enercon, Nordex, ABB. ABB сконструировала ВЭ переменной скорости вращения с генератором прямого вращения и высоковольтной конвертерной системой.

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, тенденции, электростанция