
Kai kurios galimybės mažųjų vėjo elektrinių efektyvumui padidinti

**Vytautas Adomavičius,
Povilas Balčiūnas**

*Kauno technologijos universitetas,
Elektrotechnikos ir automatikos
fakultetas,
Atsinaujinančiųjų šaltinių energijos
technologijų centras,
Studentų g. 48-329,
LT-3031 Kaunas*

Šiame straipsnyje nagrinėjamos vėjo energetikos problemos ir kai kurios vėjo elektrinių efektyvumo didinimo galimybės: vėjo energetikos perspektyvumas, dabartinių tradicinių vėjo elektrinių savybės, perspektyvių ir efektyvių vėjo elektrinių su vertikalios ašies buriniais vėjaračiais savybės. Pateikta autorių pasiūlyta mažosios vėjo elektrinės, kuri galėtų būti gaminama Lietuvoje, koncepcija, panagrinėtos vėjo energetikos plėtros Lietuvoje galimybės.

Raktažodžiai: mažoji vėjo elektrinė, koncepcija, efektyvumas, burinis vėjaračis, konversija, elektrocheminiai energijos kaupikliai

1. ĮVADAS

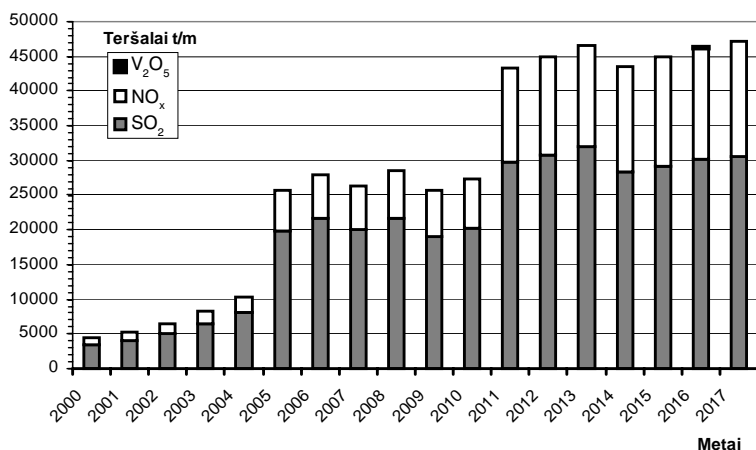
Lietuva yra svarbių pokyčių energetikos srityje išvokarėse. Energetikos sektoriaus restruktūrizavimas ir privatizavimas, Ignalinos atominės elektrinės uždarymas, būsimojo pagrindinio mūsų šalies elektros energijos šaltinio – Lietuvos elektrinės (LE) atnaujinimas, pasaulyje sparčiai plintančios atsinaujinančiųjų šaltinių energijos technologijos ir pirmaujančiose užsienio valstybėse jau šiuo metu įdiegiami elektrocheminiai generatoriai bei vandenilio energijos technologijos turės įtakos ne tik mūsų energetikai, bet ir ekonomikai, ekologijai, tam tikra dalimi ir studijoms, moksliniams tyrimams, švietimui bei kitoms sritims.

Uždarius Ignalinos atominę elektrinę mūsų šalyje ženkliai padidės atmosferos tarša, nes numatoma, kad LE Elektrėnuose nuo 2010 m pradės veikti visa galia. Tai bus vienas didžiausių oro teršalų šaltinių Lietuvoje. Apskaičiuojama, kad LE veikiant visa galia, kurią numatoma padidinti iki 2200 MW, jos pagrindinių į orą išskiriamų teršalų (SO_2 , NO_x , V_2O_5) kiekis padidės beveik dešimteriopai. Maždaug tiek pat kartų padaugės ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų – CO_2 bei kitų teršalų. Pagrindinių LE į orą išskiriamų teršalų prognozė pateikta 1 lentelėje ir 1 paveiksle (tariama, kad pirmasis atominės elektrinės blokas bus uždarytas iki 2005, o antrasis – 2010 m.). Tokios kasmetinės beveik po 50 tūkst. t ekologinės teršalų bombos, išmetamos iš ateityje didžiausios mūsų šalies elektrinės, ilgalaikėje perspektyvoje

yra labai nepageidautinos, todėl ir Lietuvoje pažangiausių užsienio šalių pavyzdžiu visokeriopai turėtų būti skatinami ekonomiškai efektyvūs ir ekologiškai švarūs arba bent jau kuo švaresni elektros bei šilumos energijos gamybos būdai, grindžiami atsinaujinančiųjų ir alternatyviųjų energijos šaltinių, tarp jų ir vėjo energijos naudojimu.

1 lentelė. Pagrindinių LE išskiriamų teršalų prognozė

| LE | Teršalai t/m. | | |
|-------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| | SO ₂ | NO _x | V ₂ O ₅ |
| Metai | | | |
| 2000 | 3383 | 974 | 6,9 |
| 2001 | 4131 | 1189 | 8,4 |
| 2002 | 4996 | 1438 | 10,1 |
| 2003 | 6464 | 1860 | 13,1 |
| 2004 | 8065 | 2321 | 16,4 |
| 2005 | 19898 | 5727 | 40,4 |
| 2006 | 21717 | 6250 | 44,1 |
| 2007 | 19996 | 6351 | 40,6 |
| 2008 | 21643 | 6874 | 43,9 |
| 2009 | 19007 | 6729 | 38,6 |
| 2010 | 20187 | 7147 | 41 |
| 2011 | 29732 | 13621 | 60,3 |
| 2012 | 30823 | 14121 | 62,5 |
| 2013 | 31915 | 14622 | 64,8 |
| 2014 | 28294 | 15171 | 57,4 |
| 2015 | 29233 | 15675 | 59,3 |
| 2016 | 30080 | 16129 | 61 |
| 2017 | 30660 | 16440 | 62,2 |



1 pav. Pagrindinių LE į orą išskiriamų teršalų prognozė

2. VĖJO ENERGETIKOS PERSPEKTYVUMAS

Per pastaruosius du dešimtmečius pasaulyje sparčiai buvo plėtojamos atsinaujinančiųjų ir alternatyviųjų šaltinių energijos technologijos. Labai svarbią vietą užima ir vėjo energetika. Daugelyje pasaulio valstybių, kuriose sąlygos vėjo energetikai plėtoti yra gana panašios kaip ir Lietuvoje, labai sparčiai daugėja tiek mažos, tiek didelės galios įrengtų vėjo elektrinių (VE). Sparčiai plėtojamas VE verslas. Veikiančių VE bendroji įrengtoji galia, panašiai kaip ir saulės elektrinių galia, pasaulyje kasmet padidėja apie 25–30% [3]. Pripažįstama, kad vėjo energetika – šiuo metu sparčiausiai besiplėtojanti pasaulio elektros energetikos šaka ir jai gali prilygti tik saulės energetika (padidėjimas taip pat apie 30% kasmet). Šią veržlią vėjo energetikos tendenciją patvirtina ir 2 lentelėje pateikti duomenys.

Vėjo energetiką numatoma sparčiai plėtoti. Europos vėjo energijos asociacija (EWEA) planuoja, kad Europoje 2010 m. veikiančių VE bendroji įreng-

| Metai | Pasaulyje veikiančių VE bendroji įrengtoji galia MW | Įrengtosios galios padidėjimas % |
|-------|---|----------------------------------|
| 1995 | 4 821 | – |
| 1996 | 6 105 | 26,63 |
| 1997 | 7 679 | 25,78 |
| 1998 | 10 153 | 32,22 |
| 1999 | 13 050* | 28,53 |
| 2000 | 17 000* | 30,27 |
| 2001 | 22 100* (prognozė) | 30 |

* – nustatyta pagal Amerikos vėjo energijos asociacijos (AWEA) pateiktus duomenis [1].

ta galia bus 60000 MW, o 2020 m. – 150000 MW [2]. Senkant ir brangstant iškastiniams energinių žaliavų ištekliams, vėjo, kaip ir kitų atsinaujinančiųjų bei alternatyviųjų šaltinių, energijos naudojimo mastai tik dar labiau didės. Sprendžiant pagal skelbiamas mokslines prognozes, vėjo energetika ateina ilgam. Šiuo metu vėjo energijos naudojimo srityje pirmaujančių šalių dešimtukas atrodo taip (skliausteliuose nurodyta iki 2000 m. pabaigos įrengta veikiančių VE galia megavatais): Vokietija (6113), JAV (2554), Danija (2300), Ispanija (2235), Indija (1167), Olandija (449), Italija (427), Jungtinė Karalystė (406), Kinija (265), Švedija (231) [1]. Pastaruoju metu sparčiausiai vėjo energetika plėtojama Ispanijoje, kurioje per penkerius metus veikiančių VE įrengtoji galia padidėjo net 16,8 karto (1995 m. – 133 MW).

3. ŠIUOLAIKINIŲ TRADICINIŲ VE SAVYBĖS

Šiuo metu labiausiai paplitusios horizontaliosios ašies vėjo jėgainės su dvi- ir trimenčiais vėjaračiais (trimenčiai vėjaračiai „pagauna“ apie 5% daugiau vėjo energijos, negu dvimenčiai).

Mažosios vėjo elektrinės ir mikroelektrinės (iki 10 kW galios) dažniausiai naudojamos kaip autonominės elektrinės individualaus namo ar ūkio buitiniams poreikiams tenkinti. Mažosiomis VE laikomos tokios elektros energiją generuojančios vėjo jėgainės, kurių galia ne didesnė kaip 100 kW, vidutinės galios VE – nuo 100 iki 600 kW. Vidutinės ir didžiosios (0,6–3 MW ir daugiau) VE skirtos pramonei elektros energijos gamybai. Jos beveik visuomet jungiamos į energetikos sistemos elektros tinklą. Jei yra galimybė ir ekonomiškai tikslinga, mažosios VE ir mikroelektrinės taip pat gali būti jungiamos į energetikos sistemos elektros tinklą. Tuomet joms nebūtinas energijos kaupiklis, tačiau nedidelės talpos energijos saugykla gali būti naudojama ir šiuo atveju, kai siekiama labai didelio energijos tiekimo patikimumo.

Didžiosios VE yra gana sudėtingos ir brangios. Tai aukštųjų technologijų gaminy. Tokios VE turi keletą automatinio valdymo sistemų: vėjaračio menčių pasukimo, vėjaračio orientavimo prieš vėją, vėjaračio stabdymo, kai vėjo greitis didesnis už leistiną, apsaugos nuo tuščiosios veikos ir kt. Didžiosios VE kontroliuojamos ir valdomos kompiuteriais, kurie tikrina apie 100 jėgainės parametrų. Dauguma šių VE turi asinchroninius elektros energijos generatorius. Užsienio šaltinių duomenimis, jų pagamintos elektros energijos savikaina – 0,03–0,04 JAV dol./kWh, atsipirkimo laikas – 5–8 me-

tai, o darbo laikas iki kapitalinio remonto – 20–25 metai.

Paminėtini šie tradicinių horizontalios ašies VE trūkumai:

• naudojamas brangus, didelių gabaritų ir svorio multiplikatorius (dažniausiai krumpliaratinė pavara, padidinanti vėjaračio sukimosi dažnį iki generatoriui tinkamo dydžio),

- nevysiškai išnaudojamos vėjo greičio kitimo ribos (nors mažo greičio vėjas nedaug turi energijos, bet jo pasirodymo tikimybė didelė, o didelio greičio vėjo energija blogai išnaudojama dėl menčių reguliavimo ir dėl vėjaračio sustabdymo viršijus leistiną vėjo greitį),

- vėjaračiai kelia žemo dažnio garsinį triukšmą (trimenčiai šiek tiek mažesni, negu dvimenčiai),

- žiemą vėjaračio mentės gali apledėti,

- staigūs vėjo gūsių kai kada sulaužo vėjaratį,

- VE sudėtingos ir brangios, sudėtinga ir brangi jų eksploatacija.

Dauguma šiuo metu įrengiamų tradicinių horizontalios ašies vėjo jėgainių yra elektromechaninės sistemos, turinčios mechaninę ir elektrinę posistemas. Savo energijos konversijos sistemose jos neturi galios elektronikos modulių. Šio tipo VE dažniausiai naudojami asinchroniniai arba sinchroniniai generatoriai, kurie, kaip žinia, yra įtampos sistemos elektros energijos šaltiniai. Kai šie generatoriai į energetikos sistemos elektros tinklą jungiami be tarpinių grandžių, tai turime dviejų įtampos sistemos šaltinių su kvazistabilia įtampa ($U \approx const$) ir kintamo dydžio srove ($I = var$) lygiagrečių darbą, nes tinklas taip pat yra įtampos sistemos elektros energijos šaltinis. Jų lygiagrečiaus darbo sąlygos ir charakteristikos yra gerai ištirtos ir aprašytos klasikinėje elektrotechnikos literatūroje. Tyrinėjant į elektros tinklą integruotų VE darbą, iš jų svarbiausi yra šie aspektai:

- keliami griežti reikalavimai generatoriaus sinchronizavimui su elektros tinklu: tinklo ir generatoriaus dažniai, efektinės įtampos ir pradinės fazės jų sujungimo momentu turi būti tiksliai suderintos, nes priešingu atveju gali būti didelių sistemos stabilumo problemų,

- stochastiškai kintant vėjo energijos parametrams, atitinkamai kinta ir generatoriaus gaminamos elektros energijos parametrai, o tai gali sukelti staigius ir ženklus į tinklą nukreipiamų aktyviųjų ir reaktyviųjų elektros energijos srautų persiskirstymus ir netgi elektros energijos tiekimo sutrikimus tam tikroje sistemos dalyje.

Siekiant išvengti didelių vėjo galios pokyčių neišvengiamos įtakos VE darbui, mechaninėmis priemonėmis stabilizuojamas vėjaračio sukimosi greitis. Tačiau dėl to vėjaratis pasidaro sudėtingesnis, brangesnis ir mažiau efektyvus, nes tuomet nevysiškai išnaudojama vėjo energija.

4. NAUJAUSIŲ VE SU VERTIKALIOS AŠIES VĖJARAČIAIS SAVYBĖS

Šiuo metu atsinaujinančiųjų šaltinių mažųjų elektrinių rinkoje vis didesnę paklausą įgauna perspektyvios VE su **vertikalios ašies** buriniu vėjaračiu. Jas sukūrė Risto Joutsiniemi Suomijoje 1979 m. Nuo 1982 m. jos nedideliais kiekiais pardavinėjamos visame pasaulyje. Kaip skelbiama internete [4], esant tiems patiems vėjo energijos ištekliams, **jos pagamina apie 50% daugiau elektros energijos**, negu geriausios VE su tokio paties šluojamo ploto horizontalios ašies vėjaračiu. Svarbiausi VE su vertikalių ašies buriniu vėjaračiu privalumai yra šie:

- natūralus burinio vėjaračio sukimosi greitis yra kur kas didesnis, negu horizontalios ašies vėjaračių, todėl parinkus lėtaeigį generatorių, išvengiama būtinybės naudoti brangų ir sunkų multiplikatorių,

- jos pradeda generuoti elektros energiją esant mažam vėjo greičiui (2–3 m/s, didesnės galios VE netgi esant 1 m/s vėjo greičiui),

- nėra reikalo mechaniškai stabilizuoti (pitch control) ar stabdyti vėjaračio esant dideliems vėjo greičiams (20–60 m/s) ir šis vėjo greičio intervalas taip pat naudojamas elektros energijos gamybai,

- dėl specifinės vėjaračio konstrukcijos nereikalinga jo orientavimo vėjo krypties atžvilgiu sistema,

- burinis vėjaratis gerai išnaudoja turbulencinius vėjo srautus,

- tokiam vėjaračiui nebūtinai labai didelis aukštis,

- VE vėjaratis nekelia garsinio triukšmo [4] (keliamas triukšmas neišsiskiria iš fonu),

- vėjaratis neapledėja,

- vėjaratis nekelia pavojaus paukščiams [4],

- yra galimybė visą vėjo jėgainės elektrinę dalį įrengti ant žemės,

- gerokai paprastesnė VE kinematinė schema, kur kas didesnis veikimo patikimumas,

- tinkamesnė urbanizuotoms vietovėms negu horizontalios ašies VE,

- paprastesnė ir pigesnė VE eksploatacija.

Paminėtini tokių VE trūkumai yra šie:

- kol kas didelė rinkoje jau esančių šio tipo VE kaina,

- naudojami labai brangūs elektros energijos generatoriai su pastoviais magnetais,

- reikalinga iš VE generatoriaus gaunamos energijos elektroninė konversijos sistema stabiliems standartiniams elektros energijos parametrams (įtampos ir dažnio) gauti.

Manoma, kad galima rasti būdų pirmiesiems dviems trūkumams eliminuoti arba ženkliai sumažinti, o trečiasis trūkumas yra kur kas mažesnis, negu visi išvardyti šio tipo VE privalumai. Be to, tokia elektroninė energijos konversijos sistema sudaro

ne tik papildomas išlaidas, bet ir, kaip bus aprašyta toliau, teikia tam tikrų privalumų, kurie išplečia VE funkcines galimybes ir pagerina jos darbo efektyvumą.

5. MAŽOSIOS VE PAGAL PATEIKIAMĄ KONCEPCIJĄ SANDARA

Mažosios vėjo elektrinės (MVE) pagal pateikiamą koncepciją sandara atsispindi blokinėje schemoje (2 pav). Panašios jėgainių struktūros gali būti naudojamos ne tik vėjo [5], bet ir mažosiose hidroelektrinėse [6]. Tokioje MVE būtų naudojami:

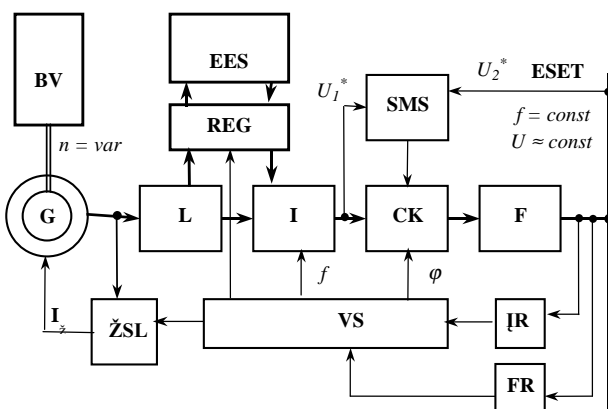
- pastovios geometrijos laisvos rotacijos vertikalių ašies burinis vėjaratis **BV**,
- ekonomiškai efektyvus, daugiapolis kintamosios srovės aukštesniojo dažnio generatorius **G**,
- generatoriaus išėjime gautos elektros energijos konversijos sistema, sudaryta iš energinės elektronikos modulių,
- elektrocheminė energijos saugykla **EES** su regeneratyviniu elektrocheminiu generatoriumi **REG** arba kitoks energijos kaupiklis (kaip minėta, jo gali ir nebūti arba jis gali būti naudojamas forsuotam energijos atidavimui į energetikos sistemos elektros tinklą **ESET** didžiausio energijos poreikio valandomis).

Aukštesniojo dažnio kintamosios srovės generatoriuje G nuolatinės srovės žadinimo apvija ir kintamosios srovės trifazės apvijos įrengtos statoriuje [7–9]. Čia trifazė elektrovaros jėgų sistema gaunama, kai statoriaus trifazės apvijas veria periodiškai pulsuojančią magnetinį srautą, periodiškai kintant magnetolaidžio laidumui dėl dantuoto rotoriaus sukimosi. Magnetinis srautas, sukantis rotorui, kinta tik statoriaus magnetolaidžio „dantukų“ zonoje. Rotorius ir mašinos korpusas gali būti masyvūs. Dėl to labai supaprastėja generatoriaus konstrukcija, sumažėja magnetiniai nuostoliai. Generatoriaus korpuse galima patalpinti daug polių porų palyginti nedide-

lio skersmens statoriuje, todėl galima gauti aukštesniojo dažnio trifazę kintamąją elektros srovę. Tokio generatoriaus gabaritai, svoris, kaina yra ženkliai mažesni, negu tradicinių generatorių, naudojamų vėjo energetikoje. KTU AŠETC turi darbo patirtį šių generatorių skaičiavimo ir projektavimo srityje.

Elektros energijos konversijos sistemos čia reikalingos dėl to, kad sistemose su laisva vėjaračio rotacija iš vėjo gaunama stochastiškai kintanti nestandartinių ir nestabilių parametrų elektros energija, o vartotojui paprastai reikia stabilių standartinių parametrų kintamosios srovės elektros energijos ir bet kuriuo paros metu. Tam šios sistemos ir skirtos – kad pastoviai būtų garantuotas kokybiškų parametrų elektros energijos tiekimas [10, 11]. Priklausomai nuo energijos konversijos sistemoje naudojamų elektros generatoriaus tipo ir VE darbo pobūdžio (autonominė ar įjungta į energetikos sistemos elektros tinklą), tokios sistemos struktūroje gali būti reikalingas vienoks ar kitoks šių modulių rinkinys (2 pav.): lygintuvas **L**, regeneratyvinis elektrocheminis generatorius **REG** arba vietoje jo standartinis akumuliatorių baterijos įkroviklis, elektrocheminė energijos saugykla **EES** arba akumuliatorių baterija, inverteris **I**, ciklokonverteris **CK**, įtampos reguliatorius **IR**, fazės reguliatorius **FR**, valdikliai **VS**, galios filtrai **F**. Jeigu MVE jungiama į energetikos sistemos elektros tinklą **ESET**, reikalinga sinchronizavimo ir matavimo sistema **SMS**. Jeigu generatorius **G** žadinamas nuolatine srove, reikalingas žadinimo srovės lygintuvas **ŽSL**.

Elektrocheminė energijos saugykla EES yra vienas moderniausių elektros energijos kaupiklių [12], kuriame elektros energija kaupiama potencinės cheminės energijos pavidalo. Naudojant **REG**, elektros energija pakeičiama į potencinę cheminę energiją elektrolite ir atvirkščiai. Kai energetikos sistemoje ar autonominėje elektros energijos tiekimo sistemoje atsiranda papildomas energijos poreikis, naudojant **REG**, potencinę cheminę energiją galima paversti nuolatinės srovės elektros energija, kuri keitikliais konvertuojama į standartinių parametrų kintamosios srovės elektros energiją, tiekiamą į energetikos sistemą arba į autonominį elektros tinklą. Panaudojant **REG**, galima įrengti galingas didelės talpos pramonines energijos saugyklas, kurių nominalioji galia gali būti dešimčių ir šimtų MW, o sukauptos energijos kiekiai skaičiuojami MWh ir GWh. Esant reikalui, tokie **REG** savo nominaliąją galią gali išvystyti per dešimtasias sekundės dalis. Energetikoje **REG** gali būti naudojami elektrocheminėse energijos saugyklose, kurios galėtų pakeisti kur kas didesnių gabaritų daug brangesnes hidroakumuliacines elektrines. Mažosiose energetikoje nedidelės talpos elektrocheminės energijos saugyklos labai tiktų atsinaujinančiųjų šaltinių mažosioms autonominėms



2 pav. Mažosios VE pagal pateikiamą koncepciją blokinė schema

elektrinems kaip energijos kaupiklis, tarp jų ir mažosioms VE.

VE, kurių sandaroje yra galios elektronikos modulių, naudojamų stabiliems standartiniams gaminamos elektros energijos parametrams palaikyti, galima vadinti *elektromechatronine*, nes joje yra elektrotechnikos, mechanikos ir galios elektronikos posistemės (analogiškai vis dažniau naudojamam terminui *mechatronika*, kuris taikomas sistemoms su mechanikos ir elektronikos posistemėmis). Elektromechatroninėje VE, kai vėjaratis sukasi mechaniškai nevaldomas, jo aprova gali būti valdoma elektriškai, keičiant generatoriaus srovę. Kai VE integruota į elektros tinklą, tokioje sistemoje lygiagrečiai dirba du šaltiniai: elektroninis inverteris-ciklokonverteris **I-CK** ir energetikos sistemos elektros tinklas **ESET**. Kaip parodė matematinio modeliavimo būdu atlikti šios sistemos tyrimai [5], kai **I-CK** yra srovės sistemos šaltinis, tokios elektromechatroninės VE lygiagretus darbas su įtampos sistemos energijos šaltiniu **ESET** turi kai kurių pranašumų, palyginti su anksčiau minėta elektromechaninė jėgaine. Tokiu atveju ši elektromechatroninė sistema kartu yra ir dualinė energetinė sistema, kurioje lygiagrečiai ir sinchroniškai dirba srovės ir įtampos sistemų energijos šaltiniai. Minėtame darbe [5] buvo iširtos tokios šios dualinės sistemos problemos:

- kvazistabilios srovės sistemos ($I \approx const$, $U = var$) šaltinio – **I-CK** ir kvazistabilios įtampos sistemos ($U \approx const$, $I = var$) šaltinio – **ESET** lygiagretaus sinchroninio darbo galimybė,
- dualinės elektros energijos sistemos lygiagretaus darbo parametų dėsniumai,
- aktyvinės ir reaktyvinės energijos srautų pasiskirstymo tokioje sistemoje dėsniumai.

Atlikus tokios elektromechatroninės VE matematinio modelio tyrimą, gauti rezultatai, kurie aiškiai parodo dualinės srovės (**I-CK**) ir įtampos (**ESET**) šaltinių energetinės sistemos pranašumą dinaminio stabilumo srityje prieš įtampos-įtampos sistemą [5]. Čia pateikiame tik pagrindines to tyrimo išvadas:

- kai VE energijos konversijos sistemos išėjime yra srovės šaltinis, dirbantis lygiagrečiai ir sinchroniškai su elektros tinklu, tai tokia dualinė energetinė sistema veikia kur kas stabiliau, negu įtampos-įtampos šaltinių sistema (inverterio srovės 5% pokytis sukelia taip pat apie 5% į tinklą atiduodamos aktyviosios galios ir srovės pokyčius, o įtampos-įtampos šaltinių sistemoje 5% generatoriaus įtampos pokytis sukelia apie 50% aktyviosios galios ir srovės pokyčius),

- dažnis ir fazė srovės sistemoje ($I \approx const$, $U = var$) yra stabilūs, todėl tokios sistemos sinchronizavimui su elektros tinklu būtina tik viena sąlyga – generatoriaus įtampa turi būti lygi tinklo įtampai, o ją galima techniškai nesunkiai įvykdyti netgi esant didelėms srovėms,

- gautų rezultatų analizė rodo, kad tokioje dualinėje sistemoje galimas „grubios“ sinchronizacijos lygiagrečiam darbui su elektros tinklu režimas.

Gauti elektromechatroninės VE matematinio modeliavimo rezultatai teikia vilčių, kad fizinis šios jėgainės modeliavimas bus taip pat sėkmingas. Kitame darbo etape bus tiriamos VE pagal pateikiamą koncepciją charakteristikos ir jos darbo efektyvumas natūraliomis sąlygomis, esant laisvai vėjaračio rotacijai.

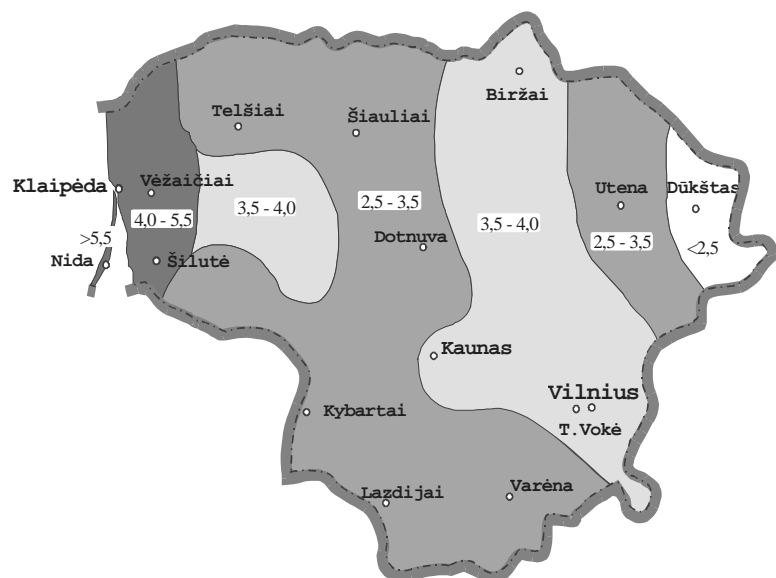
Tokia VE struktūra gali būti naudojama ir autonominių jėgainių atveju.

6. VĖJO ENERGETIKOS PLĖTOJIMO LIETUVOJE PERSPEKTYVOS

Vėjo energetikos plėtojimo Lietuvoje perspektyvumas priklauso nuo šių pagrindinių veiksnių:

- Lietuvos vėjo energijos išteklių,
- kitų alternatyvių vietinių energijos šaltinių arba energetinių žaliavų išteklių,
- elektros energijos kainos vietinėje rinkoje,
- VE pagaminamos elektros energijos kainos,
- šalies intelektualinio ir techninio potencialo.

Kaip žinoma, vietovės vėjo energijos išteklius sąlygoja tos vietovės vidutinis daugiamečių vėjo greitis ir vėjo greičio tikimybinis pasiskirstymas. Pasaulyje vyrauja 3 m/s vidutinis metinis vėjo greitis (matuo-



3 pav. Vidutinio metinio vėjo greičio (m/s) pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje 10 m aukštyje nuo žemės paviršiaus

jama 10 m aukštyje nuo žemės paviršiaus). Taria, kad sąlygos vėjo energetikai yra labai geros, jei vidutinis metinis vėjo greitis yra 5 m/s ir daugiau, geros – nuo 4 iki 5 m/s ir patenkinamos – bent 3–4 m/s.

Lietuvos vėjo energijos ištekliai matyti 3 paveikslė pateiktame mūsų šalies vidutinio metinio vėjo greičio pasiskirstymo žemėlapyje [13, 14]. Panašūs duomenys paskelbti ir kituose šaltiniuose, kuriuose pateikiamas šiek tiek kitoks (palankesnis) vėjo greičio pasiskirstymas ir kiek didesni vidutiniai metiniai vėjo greičiai. Iš šiame žemėlapyje pateiktų duomenų matyti, kad vėjo energijos ištekliai mūsų šalyje yra ne patys didžiausi pasaulyje, bet visiškai pakankami, kad būtų galima plėtoti elektros energijos gamybos verslą naudojant VE. Lietuvos pajūryje ir jūroje prie mūsų šalies krantų sąlygos tam yra labai geros (>5 m/s) arba geros (>4 m/s), o beveik visoje likusioje teritorijos dalyje – geros ir patenkinamos. Be to, reikia žinoti, kad vėjo atlasuose ir žinyuose pateikiami vidutiniai metiniai vėjo greičiai pagal matavimus, atliekamus hidrometeorologinėse stotyse, kuriose vėjo greičiai nebūtinai yra didžiausi toje apylinkėje. Aplinkinėse vietovėse dažniausiai visada galima rasti VE statybai tinkamesnių vietų, kuriose vidutiniai metiniai vėjo greičiai didesni. Vidutinio metinio vėjo greičio pasiskirstymo žemėlapiai rodo tik bendruosius dėsningumus. Pagal juos galima spręsti, kad Vakarų Lietuvoje yra perspektyvios vidutinės ir didelės galios VE, o mažosios VE ir mikroelektrinės gali būti naudojamos visoje šalies teritorijoje. Konkrečios vietos parinkimas VE statybai yra labai atsakingas uždavinys, nuo kurio teisingo išsprendimo ženkliai priklauso jėgainės darbo efektyvumas.

Lietuvos hidroenergijos ištekliai nėra tokie dideli, kad dėl jų būtų galima atsisakyti vėjo energijos. Be to, šiuo metu, JAV specialistų duomenimis, elektros energijos, gautos hidroelektrinėse, kaina yra dvigubai didesnė (įvertinant ir elektrinės statybos išlaidas), negu VE (atitinkamai 0,082 ir 0,04 JAV dol./kWh, prognozė 2010 m. – 0,082 ir 0,035 JAV dol./kWh) [15]. Šiuo metu visoje Europoje ir Lietuvoje atgaivinama mažoji hidroenergetika. Lietuvoje visų pirma stengiamasi išnaudoti esamus tvenkinius.

Lietuvoje saulės energija taip pat bus naudojama elektros energijos gamybai. Šiuo metu tai daryti ekonomiškai apsimoka tik išimtiniais atvejais, o statyti daug saulės elektrinių dar netikslinga dėl didelės fotoelektrinių modulių kainos. Prognozuojamas spartus jų kainos mažėjimas. Saulės elektrinėse pagamintos energijos kaina yra apie 0,16 JAV dol./kWh, prognozuojama kaina 2010 m. – 0,087 JAV dol./kWh, t. y. kainuos maždaug tiek pat, kaip elektros energija, gauta hidroelektrinėse [15].

Elektros energijos, kurios gamyba labai pagrįsta iškastinėmis energinėmis žaliavomis, kaina nuolat didėja ir didės, nes senkant naftos ir dujų ištekliais,

jų kainos ilgalaikėje perspektyvoje gali tik didėti, o tai sudaro palankesnes sąlygas atsinaujinančiųjų šaltinių energijos technologijoms, tarp jų ir vėjo, plėtotis. Galimi tik trumpalaikiai naftos ir dujų kainos sumažėjimai. Tuo tarpu VE pagamintos energijos kaina pastoviai mažėja ir, kaip rodo perspektyvų analizė bei mokslinės prognozės, mažės.

Apibendrinus ir įprasminus pateiktą informaciją, galima teigti, kad vėjo energetika perspektyvi ir Lietuvoje. Mūsų šalies intelektualinis ir techninis potencialas yra visiškai pakankamas vystyti verslui mažųjų VE gamybos srityje plėtoti.

7. MAŽŪJŲ VE PAKLAUSOS RINKOJE PERSPEKTYVOS

Mažųjų VE (ir didesnės galios VE) rinkos plėtrą mūsų šalyje skatins šie veiksniai:

- didžiųjų gamintojų pagaminamos elektros energijos kainos nuolatinis didėjimas (ypač uždariusIGNALINOS AE),
- energetinių žaliavų kainų nuolatinis didėjimas iki visiško tų žaliavų komercinių išteklių išsekimo,
- taršos problemų ir globalinio atšilimo reiškinio sukeliama problemų aktualumas,
- užimtumo bei kitų su užimtumu susijusių problemų, tarp jų ir socialinių, svarba.

Ekonomiškai efektyvios mažosios VE ir mikroelektrinės, o pajūrio zonoje ir didžiosios bei vidutinės, Lietuvai būtų reikalingos jau dabar. Kas gi nenorėtų turėti tokį elektros energijos šaltinį, kuriam nereikia jokio kuro? Pavieniai entuziastai Lietuvoje jau vieną po kitos stato mažąsias VE. Deja, jų dauguma dėl nekompetencijos neišvengia klaidų, todėl tos jėgainės veikia neefektyviai arba iš viso neveikia. Šitai sukompromituojamos pažangios idėjos. Tai nėra vieno žmogaus ar kelių mėgėjų darbas. Sėkmingai įgyvendinti šią idėją galima tik investuotojų, mokslininkų, technikos specialistų bei verslininkų bendromis pastangomis.

Užsienyje pagamintos VE labai brangiai kainuoja. Prie to dar prisideda muitai ir atvežimo kaina. Lietuvoje jas būtų galima pagaminti daug pigiau. Be to, negalime stengtis viską pirkti iš užsienio. Kas yra ekonomiškai efektyvu gaminti Lietuvoje, galėtų būti gaminama mūsų šalyje vietos ir užsienio rinkai, kur paklausa daug didesnė. Šitai būtų galima efektyviai prisidėti prie daugelio mūsų šalies problemų sprendimo.

8. KONCEPCIJOS PRAKTIŠKŲ REALIZAVIMO ASPEKTAI

1. Dualinių elektros energijos sistemų tyrimas bus tęsiamas toliau pagal Kauno technologijos universiteto mokslo programą „Energinės sąnaudos mažinan-

tys elektros įrenginiai ir technologijos“. KTU Atsinaujinančiųjų šaltinių energijos technologijų centras formuos sukauptos patirties informacinį paketą („know how“) apie atsinaujinančiųjų šaltinių energijos elektrinės konversijos sistemų struktūras, atskirus tų struktūrų modulius bei jų optimalų suderinamumą.

2. Kauno technologijos universiteto Atsinaujinančiųjų šaltinių energijos technologijų centre paruoštas ir jau atliekamas laboratorinis darbas magistrantams „Mažosios vėjo jėgainės elektros energijos konversijos sistemos savybių ir charakteristikų tyrimas“, kuriame matematinio modeliavimo būdu atliekami į elektros tinklą integruotos elektromechatroninės VE dualinės energijos konversijos sistemos, sudarytos iš kvazistabilios srovės sistemos šaltinio ir elektros tinklo, tyrimai.

3. Mažosios elektromechatroninės VE demonstracinis fizinis modelis pagal pasiūlytą koncepciją praktiškai bus realizuojamas 2003 m. Kauno technologijos universiteto Atsinaujinančiųjų šaltinių energijos technologijų centre vykdant KTU mokslo programą „Energijos sąnaudas mažinantys elektros įrenginiai ir technologijos“.

4. Visi elektromechatroninių VE struktūros moduliai gali būti sukurti ir gaminami Lietuvoje, kur taip pat būtų galima surinkti, derinti ir techniškai aptarnauti šias jėgaines. Šitaip būtų galima prisidėti prie daugelio ekonominių, energetinių, socialinių ir ekologinių problemų sprendimo mūsų šalyje.

9. IŠVADOS

1. Vėjo energetika, kaip ir kitos atsinaujinančiųjų šaltinių energijos technologijos, labai sparčiai plėtojama ES šalyse, JAV, Indijoje, Kinijoje ir vertinama kaip viena prioritetinių energetikos sričių, prisidedančių ir prie ekonominių bei ekologinių problemų sprendimo.

2. Tobulinant šiuo metu dažniausiai naudojamas horizontaliosios ašies vėjo elektrines pasiekta gerų rezultatų: jų pagamintos elektros energijos kaina sumažėjo iki 0,03–0,04 JAV dol./kWh, o atsipirkimo laikas – iki 5–8 metų, todėl jau dabar šios jėgainės daugelyje vietovių gali sėkmingai konkuruoti elektros energijos gamybos priemonių rinkoje.

3. Pastaraisiais metais į rinką veržiasi dar efektyvesnės vėjo elektrinės su vertikalios ašies buriniais vėjaračiais, kurios, palyginti su horizontalios ašies vėjo elektrinėmis, turi daug pranašumų. Svarbiausia yra tai, kad šios jėgainės, kaip skelbiama internete [4], esant toms pačioms sąlygoms (esant tam pačiam vėjaračio „šluojamam“ plotui, toje pačioje vietoje ir tame pačiame aukštyje nuo žemės paviršiaus) elektros energijos pagamina apie 50% dau-

giau, nes išnaudoja praktiškai beveik visą vėjo greičio diapazoną.

4. Straipsnyje pateikta mažosios elektromechatroninės vėjo jėgainės, kurią siūloma gaminti Lietuvoje, koncepcija. Tokioje vėjo elektrinėje būtų naudojami jos funkcijai atlikti geriausiai tinkantys mazgai ir moduliai: burinis vėjaratis, ekonomiškai efektyvus kintamos srovės aukštesniojo dažnio generatorius, elektroninė energijos konversijos sistema ir elektrocheminė energijos saugykla (ji būtina tik autonominės elektrinės atveju, bet gali būti naudojama ir į elektros tinklą integruotoje jėgainėje, norint turėti labai didelį elektros energijos tiekimo patikimumą). Į elektros tinklą integruotos elektromechatroninės vėjo elektrinės dinaminis stabilumas ištyrinėtas straipsnyje [5].

5. Vėjo energetikos plėtros sąlygų analizė rodo, kad perspektyvos šiam verslui Lietuvoje yra gana geros: vėjo energijos išteklių pakanka, kitų efektyvesnių alternatyvių vietinių energijos šaltinių kol kas nerandama, elektros energija nuolat brangsta, šalies intelektualinis ir techninis potencialas yra aukšto lygio. Šios sąlygos dar labiau pagerės Lietuvai įstojus į Europos Sąjungą ir uždarius Ignalinos atominę elektrinę, nes ES direktyviniai dokumentai (Baltoji knyga) tam yra labai palankūs. Todėl tam jau dabar reikia ruoštis ir mūsų šalyje.

Gauta
2002 06 05

Literatūra

1. <http://www.awea.org/>.
2. <http://www.ewea.org/>.
3. Fridleifsson I. B. Geothermal energy for benefit of the people // Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier (Oxford), (2001, in press). 11 p.
4. <http://www.windside.com>.
5. Balčiūnas P., Adomavičius V. The concept of small-scale wind turbine's electric energy conversion // Perspective Sustainable Technological Processes in Agricultural Engineering. Proceedings of the International Conference. Raudondvaris: Lithuanian Institute of Agricultural Engineering, 2001. P. 161–168.
6. Balčiūnas P., Adomavičius V. The concept of electric energy conversion in micro-hydro electric power plant // Proceedings of the International Conference on Small Hydropower LITHUANIAN HYDROPOWER-100. Kaunas: Akademija, 2001. P. 2–24, 2–31.
7. Алексеева М. М. Машинные генераторы повышенной частоты. Ленинград: Энергия, 1967. 342 с.
8. Бертинова А. И. (ред.). Специальные электрические машины. Москва: Энергоиздат, 1982.
9. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины. Москва: Энергия, 1980.

10. Balčiūnas P. Aukšto dažnio įtampos–srovės galios keitiklių teorijos sintezė (monografija). Kaunas: Technologija, 1994. 272 p.
11. Balchjūnas et al. Beleuchtungssystem. Bundesrepublik Deutschland Patent De 3152093 C2. 1990.
12. Davidson B., Calver T., Price A., Simchock D. Large-scale storage solution? Regenesys™ regenerative fuel cell // Renewable Energy World. January 2000. Vol. 3. No. 1. P. 85–91.
13. Katinas V., Tumosa A. Vėjo energijos panaudojimo galimybės Lietuvoje. Vilnius: VĮ „Energetikos agentūra“, 1995. 37 p.
14. Katinas V., Tumosa A. Vėjo energijos ištekliai ir stebėjimo postų kūrimas Lietuvoje // Energetika. 2001. Nr. 2. P. 45–50.
15. <http://nrelinfo.nrel.gov/research/studies/projects/ceed/ceed.html>.

Vytautas Adomavičius, Povilas Balčiūnas

SOME POSSIBILITIES TO INCREASE THE EFFICIENCY OF SMALL-SCALE WIND TURBINES

S u m m a r y

The concept of small-scale wind turbine (WT) is presented in this paper. In accordance with this concept, the so-called electro-mechatronic wind turbine includes a freely rotating wind rotor of vertical axis, which is based on sailing engineering [4], cost-effective alternating current generator of higher frequency, electric energy conversion system of power electronic modules and electrochemical energy storage unit with regenerative fuel cell for stand-alone version. The main advantages and disadvantages of this WT are discussed in comparison with traditional WT of horizontal axis. Natural conditions, possibilities of wind energy employment and small-scale WT production in Lithuania are also discussed. A demonstrative model of electro-mechatronic (electrical, mechanical and electronic system) small-scale WT is going to be realized practically in

the Center of Renewable Energy Technologies at Kaunas University of Technology.

Key words: small-scale wind turbine, concept, effectiveness, energy conversion, electrochemical energy storage

Витаутас Адомавичюс, Повилас Бальчюнас

НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛЫХ ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Р е з ю м е

В статье представлена концепция электромехатронной ветровой электростанции (ВЭ) малой мощности. Такая ВЭ состоит из свободно вращающейся ветровой турбины парусовидной конструкции с вертикальной осью вращения и без механических средств стабилизации скорости вращения [4]; генератора переменного тока повышенной частоты; системы конверсии электрической энергии, состоящей из модулей силовой электроники; накопителя электрической энергии (для автономного варианта станции), в качестве которого предлагается электрохимический накопитель с регенеративным электрохимическим генератором. Сопоставляются основные преимущества и недостатки этой ВЭ и традиционных станций, на которых используются ветровые турбины с горизонтальной осью вращения и изменяемой геометрией лопастей. Анализируются природные условия, возможности развития в Литве ветроэнергетики и, в частности, производства ВЭ малой мощности. Практическая реализация электромехатронной ВЭ малой мощности намечается в Центре энергетических технологий возобновляемых источников Каунасского технологического университета.

Ключевые слова: ветровая электростанция малой мощности, концепция, эффективность, конверсия энергии, электрохимический накопитель энергии