

# Vėjo mikroelektrinės su *Redox* tipo elektrocheminiu kaupikliu energijos konversijos procesų tyrimas

Povilas Balčiūnas,

Povilas Norkevičius

Kauno technologijos universitetas,  
Elektros ir valdymo inžinerijos  
fakultetas, Elektros sistemų katedra,  
Atsinaujinančiųjų šaltinių energijos  
technologijų centras,  
Studentų g. 48, LT-51367 Kaunas  
El. paštas: povilas.norkevicius@stud.ktu.lt

Straipsnyje nagrinėjama vertikalaus veleno su buriniu vėjaračiu ir *Redox* tipo elektrocheminiu elektros energijos kaupikliu inovacinės vėjo mikroelektrinės stacionarieji energijos konversijos procesai. Šio tipo vėjo mikroelektrinės gali panaudoti mažo intensyvumo vėjo energijos potencialą, kurio išteklių Lietuvoje gana dideli. *Redox* tipo elektrocheminio elektros energijos kaupiklio unikalios savybės ir charakteristikos teikia galimybę efektyviai sukaupti vėjo mikroelektrinės generuojamą stochastinio pobūdžio elektros energiją. Sukurta šios struktūros mikroelektrinės energijos konversijos procesų eksperimentinio ir analitinio tyrimo metodika leidžia atlikti įvairių galių tokio tipo mikroelektrinių efektyvaus panaudojimo analizę bei prognozuoti jų kūrimo ir praktinio panaudojimo galimybes Lietuvoje.

**Raktažodžiai:** vertikalus velenas su buriniu vėjaračiu, vėjo mikroelektrinė, *Redox*, elektros energijos kaupiklis, konversijos procesas

## 1. ĮVADAS

Vertikalaus veleno su buriniu vėjaračiu ir *Redox* tipo elektrocheminiu elektros energijos kaupikliu (REEEK) vėjo mikroelektrinės net globaliniu jų panaudojimo mastu yra inovacinės [1–3]. Daugelis šios naujos sistemos vėjo elektrinių savybių ir charakteristikų dar nėra ištirtos, o jų praktinis panaudojimas, kaip rodo teoriniai tyrimai [4] ir praktinio panaudojimo patirtis, turi plačias perspektyvas. Todėl šie tyrimai gali pateikti daug įdomios ir vertingos informacijos kaip efektyviau jas panaudoti praktiškai. Šios mikroelektrinės gali turėti palankias panaudojimo perspektyvas Lietuvoje. Čia yra nedaug panaudojamas mažo intensyvumo vėjo energijos potencialas, kurio išteklių gana dideli.

Ekspimentinių ir teorinių tyrimų tikslas – ištirti šios specifinio tipo mikroelektrinės su REEEK unikalias savybes ir charakteristikas, prognozuoti jų kūrimo ir panaudojimo galimybes Lietuvoje. Šiems tikslams realizuoti reikia sukurti tokios struktūros sistemos energijos konversijos procesų eksperimentinio ir analitinio tyrimo metodiką bei patikrinti ją praktiškai atliekant tokios sistemos prototipo eksperimentinį ir teorinį-analitinį tyrimą.

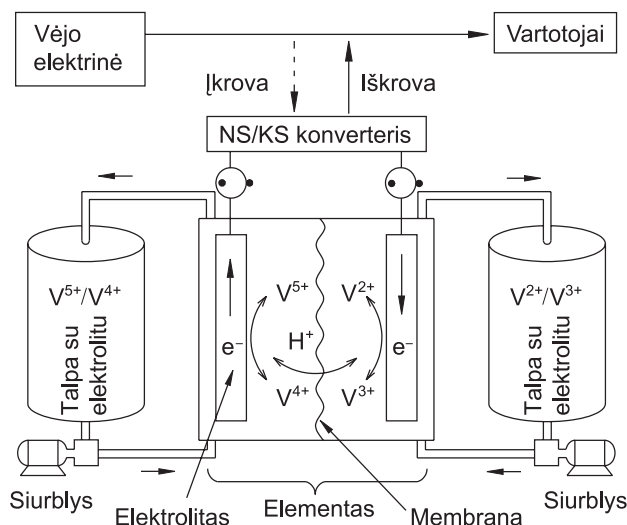
## 2. VĖJO ELEKTRINĖS SU BURINIU VĖJARAČIU SAVYBĖS IR PRAKTIŠKO PANAUDOJIMO GALIMYBĖS

Šiuo metu vis daugiau dėmesio skiriama vertikalaus veleno vėjo elektrinėms su buriniu vėjaračiu, kurių galia yra iki 50 kW. Jos generuoja elektros energiją esant mažesniems vėjo greičiams, nesukelia triukšmo, panaudoja bet kurios krypties mažo intensyvumo vėjo bei turbulentinių jo srovių energijos potencialą, nereikia aukšto bokšto, todėl jos gali būti sėkmingai panaudotos urbanizuotose vietovėse, pastatams papildomai suteikdamos inovacinį architektūrinį akcentą.

## 3. REDOX TIPO ELEKTROCHEMINIO ELEKTROS ENERGIJOS KAUPIKLIO VEIKIMAS, SAVYBĖS IR CHARAKTERISTIKOS

REEEK panaudojimas sudaro palankias galimybes sukaupti vėjo pagamintą stochastinio pobūdžio elektros energiją ir ją naudoti, kai vėjo nėra.

REEEK vykstant įkrovos procesams elektros energija paverčiama elektrochemine potencine energija ir išlaikoma praktiškai neribotą laiką, esant poreikiui ši energija paverčiama į elektros energiją. Kaip parodyta 1 pav., REEEK sudaro elementas, kuriame vyksta cheminės reakcijos bei cirkuliuoja siurblių pumpuojami elektrolitai. REEEK per NS / KS inverterį prijungiamas



1 pav. REEEK struktūra ir veikimo principas

1 lentelė. Elektros energijos kaupiklių charakteristikos

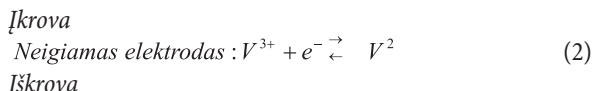
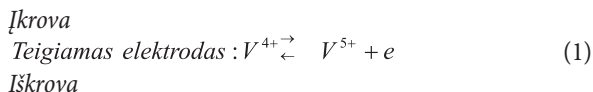
Elektros energijos kaupiklio tipas	Energijos tankis Wh/kg	Darbo temperatūra, °C	Naudingumo koeficientas %	Energijos nuostoliai / mėn. %	Kalendorinis amžius metais	Įkrovo- iškrovo ciklų skaičius	Kaina eksp. / serij. \$/kWh
Švino rūgštiniai	35	-10...+40	70-80	20-30	3-5	<1800	215
<b>Vanadžio Redox</b>	<b>28</b>	<b>0 iki +45</b>	<b>70-90</b>	<b>&lt;0,5</b>	<b>&gt;7</b>	<b>&gt;10000</b>	<b>175 / 190</b>
NiMH	75	-20 iki 50	60-65	15-25	2-5	<1000	300 / 400
Li-jonų	150	-30 iki 50	90-95	2	2-3	<3000	600 / 1000

2 lentelė. Vėjo mikroelektrinės struktūros būdingi duomenys

$P_{VE}$ W	$V_{VE}$ m/s	$U_V$ V	$I_V$ A	$E_V$ V	$S$ m <sup>2</sup>	$R_{OG}$ Ω	$R_{OA}$ Ω	$\eta_K$
120	15	12	10	14	0,3	0,2	0,1	0,95

Šioje lentelėje:  $P_{VE}$  – vardinė galia,  $V_{VE}$  – vėjo greičio vardinė reikšmė,  $U_V$  – vardinė įtampa,  $I_V$  – vardinė srovė,  $E_V$  – vardinė elektrovaros reikšmė (kai vėjo greitis  $V = 15$  m/s),  $S$  – besisukančio burinio vėjaračio užimamas erdvės plotas,  $R_{OG}$  – generatoriaus vidaus varža,  $\eta_K$  – NS / NS keitiklio naudingumo koeficientas.

prie kintamosios srovės elektros tinklo. Vanadžio jonams disocijuojant sieros rūgštyje išsiskiria elektronas. Keičiantis vanadžio jonų valentingumo skaičiui (vykstant oksidacijos ir redukcijos reakcijoms) REEEK gali sukaupti (įkrova) bei tiekti vartotojams (iškrova) elektros energiją. Čia pateikiamos supaprastintos reakcijų lygtys [5]:



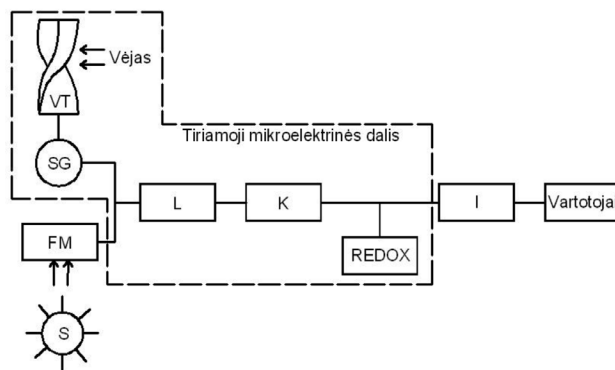
1 lentelėje pateikiamas REEEK su kitomis elektros energijos kaupiklių rūšimis palyginimas [6, 7].

1 lentelėje pateikti duomenys rodo, kad elektros energijos kaupimo sistema su REEEK turi šias savybes [6, 8]:

- gali stabiliai ir patikimai veikti palankiame aplinkos temperatūrų kitimo ruože;
  - pasižymi dideliu naudingumo koeficientu, nes mažiausi energijos nuostoliai;
  - turi perspektyvią ir palankią kainos dinamikos tendenciją;
  - pasižymi ženkliai didesniu įkrovo- iškrovo ciklų skaičiumi.
- REEEK papildomos specifinės savybės:
- sukaupiamas energijos kiekis priklauso tik nuo elektrolitų koncentracijos ir jų talpų tūrio bei mažai priklauso nuo REEEK galios;
  - nepavojingos perkrovo ir visiška elektrolito iškrova;
  - greitas įjungimas į sistemą. REEEK reakcijos laikas yra milisekundžių eilės dydis. Galima didesnę nei nominalų energijos kiekį iškrauti per keletą kartų ir per labai trumpą laikotarpį;
  - elementas ir elektrolitų talpos yra konstruktyviai nesusietos, galima lengviau pritaikyti pagal vietos ypatybes ir sukauptos energijos išteklius;
  - REEEK neturi žalingo poveikio aplinkai: neišmeta CO<sub>2</sub> ir elektrolitai yra visiškai perdirbami tolesniam naudojimui.

#### 4. TIRIAMOSIOS VĖJO MIKROELEKTRINĖS STRUKTŪRA IR TECHNINIAI DUOMENYS

Realios Kauno technologijos universiteto Atsinaujinančiųjų šaltinių energijos technologijų centre įrengtos hibridinės saulės-vėjo mikroelektrinės struktūra parodyta 2 pav., nuotrauka – 3 pav. Hi-



2 pav. Realios KTU AŠETC komplektuojamos hibridinės saulės-vėjo mikroelektrinės struktūra



3 pav. Realios KTU AŠETC komplektuojamos hibridinės saulės-vėjo mikroelektrinės nuotrauka

bridinė mikroelektrinė gali patikimai tiekti elektros energiją individualiam būstui ar sodybai [9]. Čia galima efektyviai panaudoti saulės ir vėjo energiją. Šiame straipsnyje pateikiama tik vienos dalies struktūros fragmento – vėjo mikroelektrinės su vertikalaus veleno buriniu vėjaračiu bei Redox tipo elektrocheminiu elektros energijos kaupikliu duomenys ir stacionariųjų energijos konversijos procesų matematinis modelis. Jame: VT – vėjo turbina, FM – fotomodulis, SG – sinchroninis generatorius, L – kintamosios trifazės srovės lygintuvas, K – nuolatinės srovės parametru derinimo keitiklis, REDOX – Redox tipo elektrocheminis elektros energijos kaupiklis ir I – inverteris nuolatinėi srovei pakeisti į konvencinių parametru kintamosios srovės energiją.

Vėjo mikroelektrinės struktūros būdingi duomenys pateikti 2 lentelėje.

## 5. MIKROELEKTRINĖS EKSPERIMENTINIO TYRIMO METODIKA IR REZULTATAI

Pirmiausia atliekamas vėjo elektrinės turbogeneratoriaus (TG) parengtinis tyrimas. Preliminariai apskaičiuojama apkrovos varžos  $R_V$  vardinė reikšmė:

$$R_V = \frac{U_V^2}{P_{VE}}. \quad (3)$$

Atliekant tyrimą TG turi būti sukamas nuo papildomai įrengtos reguliuojamo sukimosi dažnio pavaros. TG apkraunamas apskaičiuoto dydžio varža  $R_V$ . Būdingoms sukimosi dažnio  $n$  reikšmėms išmatuojamos elektrosvaros  $E_p$  įtampos  $U_i$  ir srovės  $I_i$  reikšmės. Atitinkamos vidaus varžų reikšmės apskaičiuojamos šia išraiška:

$$R_{OGi} = \frac{E_i - U_i}{I_i}. \quad (4)$$

Jei apskaičiuotos vidaus varžų reikšmės skiriasi  $\leq 5\%$ , tai tolesniam tyrimui atlikti galima priimti jos vidutinę vertę  $R_{OG}$  ( $m$  – matavimų skaičius):

$$R_{OG} = \frac{\sum_{i=1}^m R_{OGi}}{m}. \quad (5)$$

Jei išmatuotos ir apskaičiuotos  $R_{OG}$  reikšmės skiriasi  $\geq 5\%$ , tai tolesniam tyrimui atlikti reikia naudotis grafine priklausomybe  $R_{OG} = f(n)$ . Pagal gautus tyrimus sudaroma grafinė priklausomybė  $E_i = f(n_i)$ . Ši priklausomybė bus tiesinė, nes magnetinis srautas  $\Phi = \text{const}$ . Turbogeneratoriaus konstanta  $k_E$  apskaičiuojama šia išraiška:

$$k_E = \frac{E_i}{n_i} = \text{const}. \quad (6)$$

Toliau eksperimentinis tyrimas atliekamas natūralioje aplinkoje, kai turbogeneratorių suka vėjo turbina. Šiam eksperimentui atlikti panaudotas originalus bekontaktis vėjo sukimosi dažnio matavimo įtaisas ir standartinė vėjo greičio matavimo įranga [10]. Atliekant šį eksperimentinį tyrimą esant įvairiems vėjo greičiams  $V$  (3,5–18 m/s) išmatuoti vėjo turbos sukimosi dažniai  $n$ .

## 6. MIKROELEKTRINĖS ENERGIJOS KONVERSIJOS PROCESŲ MATEMATINIS MODELIS

Procesų veikimo matematiniam modeliui sudaryti eksperimentinėms grafinėms priklausomybėms suteikiamos analitinės išraiškos jas aproksimuojant daugianariais:

Grafinės priklausomybės  $n = f(V)$  analitinė išraiška [10]:

$$n(V) = k_{11} \cdot V^4 + k_{12} \cdot V^3 + k_{13} \cdot V^2 + k_{14} \cdot V + k_{15}. \quad (7)$$

Jos kintamojo dydžio  $V$  koeficientai pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė.  $V$  kintamojo dydžio koeficientai

$k_{11}$	$k_{12}$	$k_{13}$	$k_{14}$	$k_{15}$
-0,0202	0,7266	-8,055	43,55	-75,89

Įvertinus turbogeneratoriaus eksperimentinio tyrimo duomenis, jo naudingumo koeficiento  $\eta_G$  priklausomybės nuo apkrovos analitinė išraiška:

$$\eta_G(P_G) = k_{21} \cdot P_G^3 + k_{22} \cdot P_G^2 + k_{23} \cdot P_G + k_{24}. \quad (8)$$

Jo kintamojo dydžio  $P_G$  koeficientai pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė.  $P_G$  kintamojo dydžio koeficientai

$k_{21}$	$k_{22}$	$k_{23}$	$k_{24}$
0,0000002	-0,00007	0,0095	0,3162

Analitinių išraiškų (7), (8) kintamųjų  $V$  ir  $P_G$  koeficientams  $k_{1i}$  ir  $k_{2i}$  apskaičiuoti panaudota MATLAB programinė įranga.

Turbogeneratoriaus elektrosvaros priklausomybė nuo vėjo greičio  $V$ :

$$E(V) = C_E \cdot \Phi \cdot n(V) = k_E \cdot n(V). \quad (9)$$

Įvertinus turbogeneratoriaus eksperimentinio tyrimo duomenis, jo generuojamos galios  $P_G$  priklausomybė nuo vėjo greičio  $V$ :

$$P_G = \frac{0,16}{R_{OG}} \cdot (E(V))^2. \quad (10)$$

Vėjo turbos galios  $P_{VT}$  priklausomybė nuo vėjo greičio  $V$ :

$$P_{VT} = \frac{P_G}{\eta_G(V)}. \quad (11)$$

Vėjo elektrinės energijos potencialo priklausomybė:

$$P_V = \rho \cdot \frac{V^3 \cdot S}{2}. \quad (12)$$

Vėjo turbos galios koeficientas:

$$\eta_V = \frac{P_{VT}}{P_V}. \quad (13)$$

Elektrinės struktūroje naudojamas nuolatinės srovės parametru derinimo keitiklis, kuris sudaro palankias galimybes maksimaliai panaudoti skirtingų vėjo greičių energijos potencialą. Per šį keitiklį įkraunamas REEEK. Energijos kaupiklio srovės  $I_A$  išraiška:

$$I_A = \frac{-U_A + \sqrt{U_A^2 + 4 \cdot R_{0A} \cdot P_G \cdot \eta_K}}{2 \cdot R_{0A}}. \quad (14)$$

Mažiau tiksliam įvertinimui galima panaudoti supaprastintą išraišką, kai  $U_A \approx U_A$ ;  $R_{0A} \approx 0$ :

$$I_A^* \approx \frac{P_G \cdot \eta_K}{U_A}; \quad (15)$$

čia  $U_A$  – REEEK vardinė įtampa,  $R_{0A}$  – jo vidaus varža,  $\eta_K$  – nuolatinės srovės parametrų derinimo keitiklio naudingumo koeficientas,  $U_A^*$  – REEEK įkrovos įtampa.

REEEK įkrovos įtampa  $U_A^*$ :

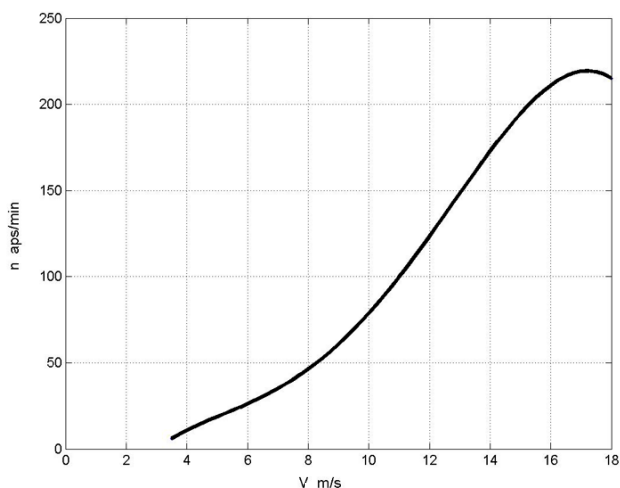
$$U_A^* = U_A + R_{0A} \cdot I_A^*. \quad (16)$$

Vėjo elektrinės naudingumo koeficientas:

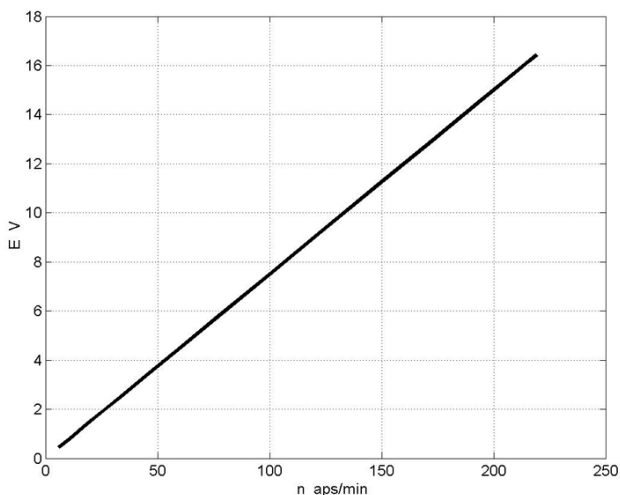
$$\eta_E = \frac{I_A^* \cdot U_A^*}{P_V}. \quad (17)$$

REEEK įkrovos galia:

$$P_A^* \approx U_A^* \cdot I_A^*; \quad (18)$$



4 pav. Vėjaračio sukimosi dažnio  $n$  priklausomybė nuo vėjo greičio  $V$ ,  $n = f(V)$



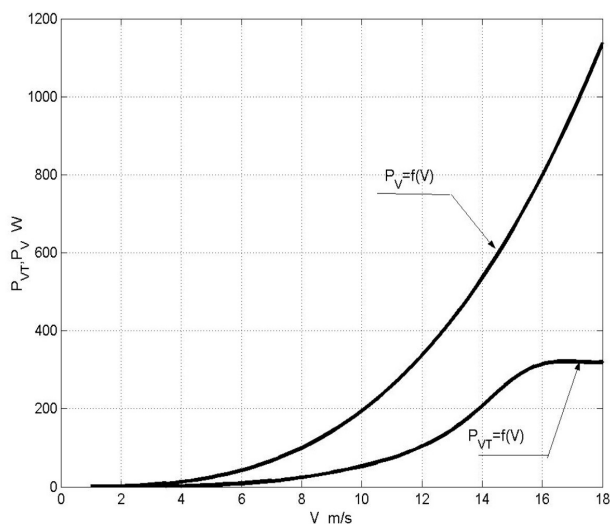
5 pav. Vėjo elektrinės turbogeneratoriaus elektrovaros  $E$  priklausomybė nuo sukimosi dažnio  $n$ ,  $E = f(n)$

$$P_A^* \approx U_A^* \cdot I_A^* + R_{0A} \cdot I_A^{*2}. \quad (19)$$

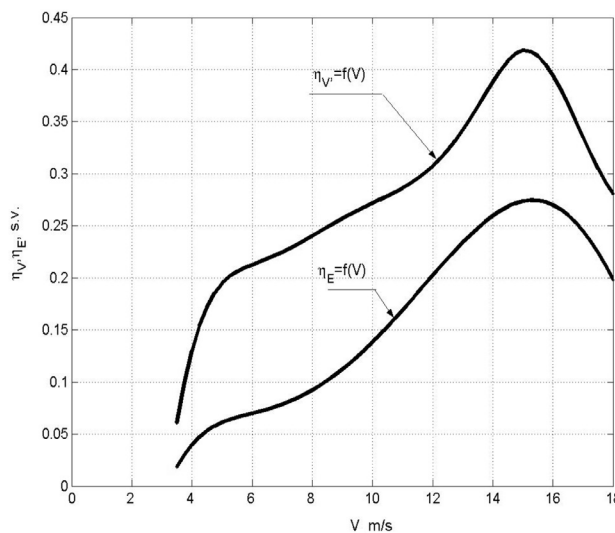
## 7. KONVERSIJOS PROCESŲ MATEMATINIO MODELIAVIMO REZULTATAI

Modeliavimas atliktas MATLAB programine įranga. Pagal eksperimentinio ir analitinio tyrimo duomenis sudarytos  $n = f(V)$ ,  $E = f(n)$  būdingos priklausomybės, kurios parodytos 4 ir 5 pav. Šie eksperimento duomenys panaudoti energijos konversijos stacionariųjų procesų matematiniam modeliui sudaryti. Atlikus stacionariųjų procesų modeliavimą, sudarytos  $P_{VT}$ ,  $P_V = f(V)$ ,  $\eta_E$ ,  $\eta_V = f(V)$ ,  $I_A^* = f(V)$  priklausomybės parodytos 6–8 pav.

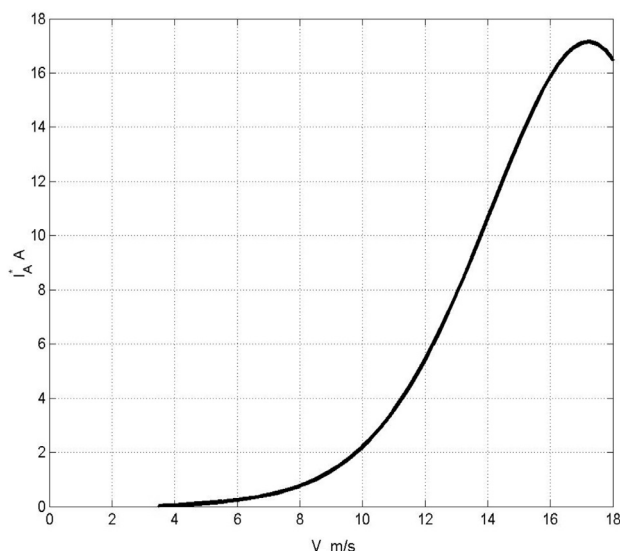
4 pav. matyti, kad vėjo elektrinės turbogeneratoriaus sukimosi dažnis netiesiškai kinta ir priklauso nuo vėjo greičio. Šios priklausomybės pobūdis priklauso nuo vėjo turbinos konstrukcijos ir jos vėjaračio aerodinaminių savybių. Pagal gautus tyrimus sudaryta  $E = f(n)$  priklausomybė yra tiesinė, nes mag-



6 pav. Vėjo elektrinės vėjo turbinos galios  $P_{VT}$  bei vėjo energijos potencialo  $P_V$  priklausomybė nuo vėjo greičio  $V$ ,  $P_{VT}$ ,  $P_V = f(V)$



7 pav. Vėjo elektrinės naudingumo koeficiento  $\eta_E$  bei vėjo turbinos galios koeficiento  $\eta_V$  priklausomybės nuo vėjo greičio  $\eta_E$ ,  $\eta_V = f(V)$



8 pav. Energijos kaupiklio įkrovos srovės priklausomybė nuo vėjo greičio

netinis srautas  $\Phi = \text{const}$ . (generatoriaus žadinimo sistema su pastoviais magnetais).

Tirtoje tipinėje vėjo mikroelektrinėje aktyvioji elektros energijos generavimo zona yra nuo 13 iki 18 m/s, todėl vėjo energijos potencialas čia gaunamas nuo 450 iki 1100 W/m<sup>2</sup>. Inovacinės vėjo elektrinės aktyvioji elektros energijos generavimo zona yra nuo 6 iki 18 m/s vėjo greičio, o panaudojamas vėjo energijos potencialas nuo 20 iki 1100 W/m<sup>2</sup>. Efektyviausiai vėjo elektrinė su REEEK gali veikti esant vėjo greičiams nuo 12 iki 18 m/s.

8 pav. pavaizduota energijos kaupiklio įkrovos srovės priklausomybė nuo vėjo greičio.  $I_A^* = f(V)$  priklausomybė rodo, kad keičiantis vėjo greičiui, mikroelektrinės generuojama srovė kinta plačiose ribose nuo 0A iki 17A. Ši priklausomybė yra svarbi siekiant įvertinti REEEK įkrovos proceso būseną (*IPB*), keičiantis vėjo greičiui. Įkrovos proceso būseną įvertinama šia išraiška:

$$IPB(t) = \frac{E_{SE}(t)}{E_P} = \frac{I_A^* \cdot t}{E_P}; \quad (20)$$

$E_{SE}$  – REEEK energinė talpa esamu momentu,  $E_P$  – REEEK pilnoji energinė talpa,  $t$  – laikas.

Ši būsena apibūdina sukauptos energijos, kuri panaudojama stochastinio pobūdžio inovacinės vėjo elektrinės generuojamos elektros energijos grafiko išlyginimui, kiekį.

## 8. IŠVADOS

1. Tyrimas parodė, kad vėjo mikroelektrinės vėjaračio sukimosi dažnis  $n$  yra netiesinė vėjo greičio  $V$  funkcija:  $n = f(V)$ . Generuojama elektrovara  $E$  yra tiesinė sukimosi dažnio  $n$  funkcija:  $E = f(n)$ . Šių priklausomybių pobūdis priklauso nuo konkrečios vėjo turbinos konstrukcijos ir jos vėjaračio aerodinaminių savybių.

2. Inovacinės vėjo mikroelektrinės aktyvioji elektros energijos generavimo bei vėjo energijos panaudojimo potencialo zona yra žymiai platesnė nei tipinės struktūros vėjo elektrinėse, todėl galima ženkliai efektyviau panaudoti ilgesnio metų laikotarpio vyraujančių mažesnių vėjo greičių energijos potencialą Lietuvoje.

3. Sukurtoji analitinio tyrimo metodika sudaro galimybes iširti šio specifinio tipo vėjo mikroelektrinių unikalias savybes ir charakteristikas, prognozuoti jų kūrimo ir praktinio panaudojimo perspektyvas Lietuvoje.

4. Šiame straipsnyje pateikti tik preliminarūs tyrimo rezultatai virtualioje ir realioje aplinkose (imitaciniai ir supaprastinti matematiniai modeliai, eksperimentinis tyrimas laboratorinėje aplinkoje).

5. Sistemos prototipams parengti, bandymui realiomis eksploatacijos sąlygomis atlikti numatoma išspręsti šio tipo mikroelektrinių energijos konversijos sistemos struktūrinės analizės ir sintezės problemas, sukurti inžinerinio projektavimo metodiką.

Gauta 2008 10 27

Priimta 2009 01 05

## Literatūra

1. Paatero J., Lund P. Effect of energy storage on variations in wind power // *Journal of Wind Energy*. 2005. Vol. 8. P. 421–441.
2. Balčiūnas P. Aukšto dažnio įtampos–srovės galios keitiklių teorijos sintezė. Kaunas: Technologija, 1994. 272 p.
3. Korpaas M., Holen A., Hildrum R. Operation and sizing of energy storage for wind power plants in a market system // *Journal of Electrical Power Systems*. 2003. Vol. 25. P. 599–606.
4. Abbey C., Chahwan J., Gattrell M., Joos G. *Transient Modelling and Simulation of Wind Turbine Generator and Storage Systems*. Paris, 1995.
5. Shigematsu T., Kumamoto T., Deguchi H., Hara T. Applications of Vanadium Redox-flow Battery to Maintain Power Quality. IEEE, 2002.
6. VRB Power Systems – Energy Storage and Power Quality Solutions. [www.vrbpower.com](http://www.vrbpower.com)
7. Electricity Storage Association – Energy Storage – Power Quality, Power Supply. [www.electricitystorage.org](http://www.electricitystorage.org)
8. Elektrocheminių generatorių bandomųjų pavyzdžių sukūrimas ir tyrimas. Galimybių studijos mokslo programai KTU-BMP-0140-05. Kaunas, 2006. 4 p.
9. Balčiūnas P., Norkevičius P., Linkevičius Ž. Autonomous renewable source micropower plants-reliable energy source for residential house // *Journal of Applied Research of Lithuanian Applied Sciences Academy*. 2007. N 4. P. 7–11.
10. Belanoška A. Regeneracinių elektrocheminių keitiklių panaudojimo galimybės sutaptintose saulės–vėjo elektrinėse Lietuvoje. Magistro baigiamasis darbas. Kaunas, 2007. P. 31–44.

Povilas Balčiūnas, Povilas Norkevičius

#### WIND MICROPOWER PLANT WITH REDOX FLOW BATTERY CONVERSION PROCESSES

##### *Summary*

Stationary energy conversion processes at innovative wind micropower plants with vertical shaft and sail wing type and *Redox* flow battery are described. Such type of wind power plants can operate at a low-intensity wind energy potential whose resources are fairly high. The *Redox* flow battery has unique features and characteristics which allow to store effectively the stochastic electric power generated by a wind micropower plant. The experimental and analytical research methodology of such micropower plants has been elaborated, which allows performing micropower plant effective usage analysis and forecasting their practical application potential in Lithuania.

**Key words:** vertical shaft with sail wing type wheel, wind micropower plant, *Redox*, electric energy accumulation, conversion process

Повилас Бальчюнас, Повилас Норкявичюс

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНВЕРСИИ ЭНЕРГИИ ВЕТРЯНОЙ МИКРОЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ С ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ НАКОПИТЕЛЕМ ТИПА REDOX

##### *Резюме*

Приводятся результаты предварительного исследования стационарных процессов преобразования энергии ветряной микроэлектростанции с вертикального вала ветродвигателем парусного типа. Такие установки способны эффективно использовать низкопотенциальную ветряную энергию, ресурсы которой в Литве весьма значительны. Применяемый накопитель электроэнергии типа *Redox* создает благоприятную возможность накопления стохастической генерируемой электроэнергии. Создана методика экспериментально-аналитического исследования процессов конверсии энергии такой установки. По результатам исследования можно определить эффективность практического применения указанных микроэлектростанций и прогнозировать перспективность их более широкого применения в Литве.

**Ключевые слова:** вертикальный вал, ветряная микроэлектростанция, *Redox*, накопитель электроэнергии, процесс конверсии