

Vėjo elektrinių generuojamos galios svyravimų ir jų galimos įtakos Lietuvos elektros energetikos sistemos darbui įvertinimas

Romanas Andruškevičius

*Lietuvos energetikos instituto,
Sistemų valdymo ir automatizavimo
laboratorija,
Breslaujos g. 3,
LT-44403 Kaunas*

**Dalius Šulga,
Ramūnas Bikulčius**

*AB „Lietuvos energija“,
Žvejų g. 14,
LT-09310 Vilnius*

Išnagrinėtos vėjo elektrinių ir jų parkų modelių sudarymo ypatybės. Įvertinus vėjo elektrinių statybos ir išdėstymo Lietuvos teritorijoje galimybes, naudojant vėjo greičio matavimo duomenis ir vėjo elektrinių modelius, gautas jų generuojamos galios statistinių parametrų įvertinimas. Nustatytas reguliavimo galios rezervo, reikalingo vėjo elektrinių generuojamos galios kitimui kompensuoti, dydis ir jo sumažinimo galimybės.

Raktažodžiai: vėjo elektrinės, reguliavimo galios rezervas, modeliavimas, koreliacija

1. ĮVADAS

Šiuo metu elektros energijos generavimo galingumai visiškai tenkina Lietuvos vartotojų poreikius ir leidžia eksportuoti elektros energiją. Esant elektros galingumų pertekliui, Lietuvos išsipareigojimai beveik dvigubai padidinti elektros energijos gamybą, panaudojant atsinaujinančius energijos šaltinius, padidins elektros energijos gamybos savikainą, nes nebus galima panaudoti esamus galingumus. Naujų, sunkiai prognozuojamų, pertraukiamos generacijos didelio galingumo šaltinių, naudojančių vėjo energiją, integravimas į elektros energetikos sistemą (EES) neišvengiamai turės neigiamos įtakos darbo patikimumui ir saugumui. Elektros energijos perdavimo ir skirstomieji tinklai iš esmės tenkina dabartinius EES poreikius, tačiau trys ketvirtadaliai perdavimo ir skirstymo įrenginių yra senesni nei 20 metų, o ketvirtadalis įrenginių yra senesni kaip 30 metų. Todėl bus reikalingos investicijos, skirtos ne tik palaikyti esamą elektros tinklų lygį, bet ir pritaikyti juos naujų generavimo šaltinių integravimui į sistemą.

Europos Sąjungoje pripažįstama, kad dar trūksta įstatymų, nėra standartizuotų prijungimo, ryšio, valdymo ir kontrolės techninių priemonių, trūksta papildomų paslaugų (dažnumo ir įtampos valdymo),

geros strategijos įvairių įtampos lygių tinkluose. Toleesnė paskirstytos generacijos su atsinaujinančiais energijos šaltiniais plėtra verčia mastyti apie tinklus, atsisakant hierarchinės tinklų struktūros. Tačiau tam dar reikia išspręsti daugelį techninių problemų, trukdančių didelių galingumų atsinaujinančių energijos šaltinių su pertraukiama generacija (vėjo ir saulės energijos) integravimui į EES. Pirmiausia reikia išspręsti energijos kaupimo ir saugojimo įrenginių sukūrimo technologines problemas, kurios įgalintų išspręsti pertraukiamos generacijos keliamus klausimus [1].

Europoje yra sukaupta gana didelė vėjo elektrinių (VE) parkų eksploatacijos patirtis. Kaip rodo praktika, didėjant VE galingumams ir jų skaičiui kai kuriose vietovėse kito ir jų prijungimo bei valdymo metodai. Vieningos prijungimo schemas nėra, kiekvienu atveju pasirenkamas tai vietai tiek techniniu, tiek ekonominiu požiūriu tinkamiausias variantas, neretai itin apsunkinantis jų valdymo vieningoje sistemoje galimybes [2].

Pasinaudojant sukaupta patirtimi būtų tikslinga išsiaiškinti, kokį poveikį Lietuvos EES gali turėti didesnė VE plėtra ir numatyti priemones, kurios padėtų ateityje lengviau integruoti vėjo elektrines į EES, sumažintų papildomas išlaidas ir garantuotų stabilų, patikimą sistemos darbą.

2. VĖJO ELEKTRINIŲ GENERUOJAMOS GALIOS KITIMO ĮVERTINIMAS

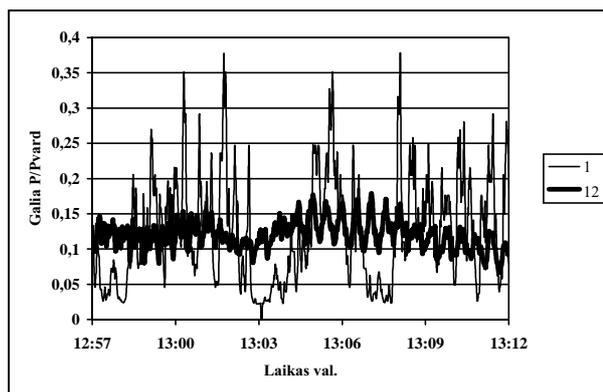
Lietuvoje, kaip ir kitose šalyse, numatoma pastatyti daug VE, kurių bendras galingumas sudarytų šimtus megavatų. Generuojamos galios kitimas visiškai priklauso nuo vėjo greičio kitimo ir negali būti valdomas taip, kaip įprastinių elektrinių. Geriausiu atveju jas galima išjungti, kai situacija energetikos sistemoje tampa sunkiai valdoma. Lietuvos EES yra jungtinės energetikos sistemos (JES) dalis ir sudaro atskirą valdomą rajoną, kuris turi užtikrinti generuojamos galios atitikimą sumai galių, suvartojamų valdomo rajono viduje ir eksportuojamų kiekvienu laiko momentu. Šios sąlygos nevykdymas trikdo kitų JES rajonų darbą ir gali sudaryti avarines situacijas dėl perdavimo linijų tarp atskirų rajonų perkrovimo ar didesnio JES dažnio nuokrypio.

VE generuojamos galios kitimą galima suprasti kaip nevaldomą apkrovos kitimą, tik su priešingu ženklu. VE ir apkrovos galios kitimai yra nekoreliuoti, todėl, kai prijungtų prie EES vėjo elektrinių suminė galia yra nedidelė, palyginti su sistemos apkrovos galia, jos turi mažai įtakos bendram galios pokyčiui. Ateityje numatoma pastatyti didelius VE parkus, sumine galia iki 200 MW, todėl gali prireikti panaudoti papildomas priemones, kad EES darbas būtų stabilus ir patikimas. Tinkamai pasiruošti numatomai vėjo elektrinių plėtrai galima, tik visiškai ištyrus VE įtaką Lietuvos EES darbui.

VE suminės generuojamos galios kitimo parametrai priklausys nuo VE išdėstymo Lietuvos teritorijoje, nuo vėjo greičio kitimo ir nuo to kitimo ir atskirų VE tarpusavio koreliacijos. Statybos ir eksploatacijos kaštai mažėja, kai VE išdėstomos netoli viena kitos, sudarydamos vėjo elektrinių parkus. Tokių parkų suminė generuojama galia ribojama tiek žemės išsigijimo galimybėmis, tiek esamo elektros tinklo pralaidumu. Dėl tinklo pralaidumo problemų atstumai tarp VE parkų gali būti gana dideli. Lietuvoje numatoma statyti VE parkus kuo arčiau pajūrio, stipresnių vėjų zonoje, kelių dešimčių kilometrų atstumu vienas nuo kito.

VE parko generuojamos galios kitimas priklauso nuo vėjo kitimo charakteristikų ir VE skaičiaus. Naudojantis vėjo kitimo matavimo duomenimis, gautais matuojant vėjo greitį 50 m aukštyje 1 Hz dažnumu, buvo sumodeliuotas 1 VE ir 12 VE parko, kai VE išdėstytos 170 m atstumis viena nuo kitos, generuojamos galios kitimas (1 pav.).

Iš pateiktų kreivių matyti, kad, didinant VE skaičių, daugiausiai sumažėja mažesnės trukmės galios pokyčiai, kurie tarp atskirų vėjo elektrinių yra mažiau koreliuoti. Kaip keičiasi VE generuojamos galios variacijos koeficientas (išreiškiamas galios stan-



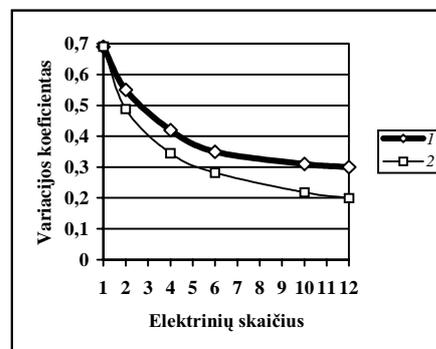
1 pav. 1 VE ir 12 VE parko, kai VE išdėstytos 170 m atstumis viena nuo kitos, generuojamos galios kitimai

dartinio nuokrypio ir jos vidutinės reikšmės santykiu σ/m) didinant elektrinių skaičių, parodyta 2 pav.

Didinant VE skaičių, didėja atstumas tarp atskirų VE ir jų generuojamų galių koreliacija. Todėl VE suminės generuojamos galios variacijos koeficientas mažėja. Ribiniu atveju, jei VE generuojamos galios būtų nekoreliuotos, mažėjimas būtų pastebimai didesnis.

Naudojantis vėjo elektrinių generuojamos galios matavimo duomenimis buvo nustatyta, kad galios pokyčių koreliuotumas greta esančių vėjo elektrinių priklauso nuo tų pokyčių trukmės [3]. Pasinaudojus turimais vėjo greičio kitimo matavimo duomenimis, gautais matuojant vėjo greitį 50 m aukštyje 1 Hz dažnumu, buvo pabandyta įvertinti greta esančių elektrinių (atstumas 170 m) koreliacijos koeficiento priklausomybę nuo galios pokyčių trukmės ir palyginti su kitų autorių paskelbtosiomis, kurioms nustatyti buvo naudojami veikiančių VE generuojamos galios matavimo duomenys [3].

Modeliuojant buvo daroma prielaida, kad 170 m atstumas bus įveikiamas per 24 s (vidutinis vėjo greitis 7 m/s), kai vėjo elektrinės išdėstytos išilgai vėjo krypties. Tokio dydžio laiko užvėlinimas buvo pa-



2 pav. Galios kitimo per valandą variacijos koeficiento (var_p) priklausomybė nuo elektrinių skaičiaus parke: 1 – koreliuotos, 2 – nekoreliuotos

naudotas modeliuojant gretimų vėjo elektrinių generuojamų galių kitimą. Kaip ir darbe [3], galios pokyčių trukmė įvertinta keičiant intervalą, kuriame buvo skaičiuojamos vidutinės galios vertės ir jų pokyčiai. Didinant vidurkinimo laiko intervalą mažinama trumpesnių už vidurkinimo intervalą galios pokyčių įtaka ir koreliacijos koeficiento priklausomybė nuo trumpesnių galios pokyčių. Koreliacijos koeficientui įvertinti panaudota išraiška [3]:

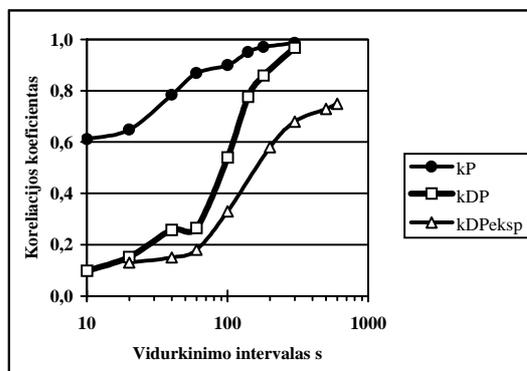
$$r_{12} = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta P_{1,i}) (\Delta P_{2,i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta P_{1,i})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta P_{2,i})^2}}; \quad (1)$$

čia $\Delta P_{1,i} = P_{1,i} - P_{1,i-1}$; $P_{1,i}$, $P_{2,i}$ – pirmos ir antros vėjo elektrinių galia i -ajame žingsnyje.

Naudojantis modeliavimo rezultatais buvo apskaičiuotos galios pokyčių ir galios kitimo koreliacijos koeficientų priklausomybės nuo vidurkinimo intervalo (3 pav.).

Iš pateiktų kreivių matyti, kad galios pokyčių koreliacijos koeficientas, gautas modeliuojant (kreivė kDP), didėja sparčiau už apskaičiuotąją, naudojant galios kitimo matavimo duomenis (kreivė kDP_{eksp}), tačiau priartėja prie ribinės reikšmės, esant vienodam vidurkinimo intervalui, apie 300 s. Esamus skirtumus galima paaiškinti tuo, kad modeliuojant nebuvo įvertinta keletas veiksnių, turinčių įtakos koreliacijos koeficiento dydžiui, pavyzdžiui, vėjo krypties kitimas, gretimų vėjo elektrinių įtaka vėjo turbulentiškumui.

Gretimų elektrinių generuojamos galios kitimų koreliacija (kreivė kP) yra kur kas didesnė už galios pokyčių koreliaciją (kreivė kDP), tačiau ir šiuo atveju koreliacijos koeficientas pasiekia maksimumą esant tam pačiam vidurkinimo intervalui (3 pav.).



3 pav. Dviejų elektrinių, nutolusių 170 m atstumu, koreliacijos koeficientų priklausomybė nuo vidurkinimo intervalo: kP – generuojamos galios kitimo; kDP – generuojamos galios pokyčių; kDPeksp. – generuojamos galios pokyčių pagal [3]

Neturint realių vėjo elektrinių generuojamos galios matavimo duomenų, jų galimą įtaką EES darbui galima įvertinti pasinaudojant vėjo elektrinių modeliais ir vėjo greičio matavimo duomenimis. Kai VE išdėstytos nedidelėje teritorijoje, viename parke, didinant VE skaičių, jų bendrame prijungimo taške mažėja generuojamos galios variacijos koeficientas. Panašų rezultatą galima gauti, kai vietoje VE parko modelio imamas vienos VE modelis, o jų generuojamos galios kitimas skaičiuojamas slenkančio vidurkio metodu, atitinkamai parenkant vidurkinimo intervalą. Kaip reiktų parinkti vidurkinimo intervalą, galima nustatyti, pasinaudojant standartinio nuokrypių įvertinimo išraiškomis, kai VE yra vieno tipo ir vienodų galių.

Visų vėjo elektrinių generuojamos galios standartinį nuokrypį galima išreikšti atskirų vėjo elektrinių generuojamos galios standartinį nuokrypių suma, įvertinant jų tarpusavio koreliacijos koeficientus [4]. Analizei patogiau naudotis variacijos koeficientu $var_{\Sigma P}$, kuris nepriklauso nuo VE galios. Kai VE vienodos, galima užrašyti

$$var_{\Sigma P} = \frac{\sigma_{\Sigma P}}{m_{\Sigma P}} = \text{var} \cdot \sqrt{\frac{1}{s^2} \cdot \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s r_{ij}}; \quad (2)$$

čia s – vėjo elektrinių skaičius, $\sigma_{\Sigma P}$ – suminis generuojamos galios standartinis nuokrypis, $m_{\Sigma P}$ – suminės generuojamos galios vidutinė reikšmė, var – vienos vėjo elektrinės generuojamos galios variacijos koeficientas, r_{ij} – vėjo elektrinių generuojamų galių tarpusavio koreliacijos koeficientai.

Turint slenkančio vidurkio reikšmes, nustatytame laiko intervale vienos vėjo elektrinės generuojamos galios variacijos koeficientą galima apskaičiuoti naudojantis išraiška, kurioje generuojamos galios i -oji vertė P_i pakeista vidutine pasirinktame laiko intervale P reikšme. Tuomet variacijos koeficientas

$$var_P = \frac{\sigma_P}{m_P} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i}{m_P} - 1 \right)^2}; \quad (3)$$

čia

$$P_i = \frac{1}{k} \cdot \sum_{l=0}^k P_{i+l}; \quad m_P = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n P_i;$$

n – matavimų skaičius stebimame laiko intervale;
 k – matavimų skaičius vidurkinimo laiko intervale.

Sutvarkius gaunama:

$$var_P = \sqrt{\frac{1}{n \cdot k^2} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{l=0}^k \sum_{t=0}^k \left(\frac{P_{i+l}}{m_P} - 1 \right) \cdot \left(\frac{P_{i+t}}{m_P} - 1 \right)}. \quad (4)$$

Įvertinant tai, kad vidurkinimo intervalas yra gerokai trumpesnis už stebimą, t. y. $k \ll n$, galima daryti prielaidą, kad variacijos koeficientai $var_{\bar{t}} = \text{var}$,

t. y. jų reikšmėms neturės įtakos atskaitos taško vieta vidurkinimo intervale. Tai įvertinę, gausime

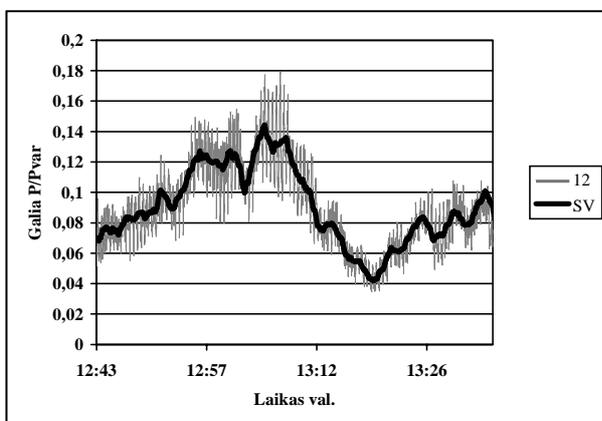
$$\text{var}_P = \text{var} \cdot \sqrt{\frac{1}{k^2} \cdot \sum_{l=1}^k \sum_{t=1}^k r_{lt}}. \quad (5)$$

Vienos VE generuojamos galios variacijos koeficientas yra pakeičiamas k vėjo elektrinių generuojamų galių sumos variacijos koeficientu. Kad kelių vienuodų vėjo elektrinių generuojamos galios sumos variacijos koeficientas būtų lygus vienos elektrinės generuojamos galios variacijos koeficientui, apskaičiuotajam naudojant vidutines galios reikšmes, reikia, kad iš (2) ir (5) lygčių $\text{var}_{\Sigma P} = \text{var}_P$:

$$\frac{1}{k^2} \cdot \sum_{l=1}^k \sum_{t=1}^k r_{lt} = \frac{1}{s^2} \cdot \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s r_{ij}. \quad (6)$$

Ši sąlyga gali būti tenkinama, kai $k = s$ ir vidurkinimo laiko intervale koreliacijos koeficientai būtų artimi realiems. Koreliacijos koeficientų atitikimo galima tikėtis, kai vidurkinimo laiko intervalas parenkamas artimas laikui, per kurį vėjo frontas įveiktų atstumą tarp kraštinių VE. Kai $k \gg s$, galima nedidelė paklaida dėl geresnio aukštesnių dažnių pulsacijų filtravimo. Tai galima matyti lyginant kreives, gautas modeliuojant 12 vėjo elektrinių ir vieną elektrinę, kurios galios kitimas vidurkinamas 5 min. intervaluose (4 pav.). Apskaičiuoti jų galios kitimo variacijos koeficientai yra artimi: atitinkamai 0,30 ir 0,27 (vienos elektrinės 0,68).

Kaip minėjome, Lietuvoje esamo 110 kV perdavimo tinklo ribotas pralaidumas ir didelių elektros energijos vartotojų išsidėstymas sąlyginai plačioje teritorijoje sąlygos gana didelį VE parkų išsibarstymą pajūrio zonoje. Todėl galima tikėtis ir mažesnių VE generuojamos galios pokyčių. Remiantis pateiktomis [3] VE generuojamos galios koreliacijos koeficiento priklausomybėmis nuo atstumo tarp elektrinių, kai jos yra nutolusios dešimtėmis kilometrų, galima teig-



4 pav. 12 VE parko generuojamos galios kitimas, gautas modeliuojant: 12 – 12 VE, SV – vieną VE, vidurkinant 5 min. intervaluose

ti, kad per valandą stebimi galios pokyčiai bus nekoreliuoti. Dėl šios priežasties, elektrines išdėsčius dideliais atstumais, jų suminės generuojamos galios variacijos koeficientas bus \sqrt{n} kartų mažesnis už vienos.

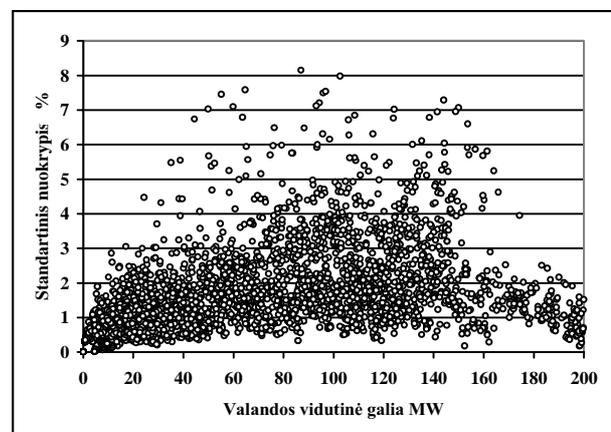
3. REGULIAVIMO GALIOS POREIKIO ĮVERTINIMAS, PRIJUNGUS DIDELIUS VE GALINGUMUS

Įvertinant tai, kokie yra VE statybos planai ir perdavimo tinklo pralaidumas numatytų statybų vietoje, galima prognozuoti, kad jos bus sujungiamos į parkus riboto dydžio teritorijose bendra galia apie 20 MW, o atstumai tarp atskirų parkų bus dešimčių kilometrų eilės. Numatoma visų elektrinių suminė galia artimiausią dešimtmetį būtų ne didesnė kaip 200 MW. Panaši padėtis yra Anglijoje. Visoje teritorijoje yra apie 30 VE parkų, kurių galia kinta nuo 3 iki 16 MW.

Reguliavimo galios poreikis tiesiogiai priklausys nuo generuojamos galios kitimo diapazono. Turimų vėjo greičio 50 m aukštyje matavimo duomenų bazėje, pakeitę VE parko modelį vienos VE modeliu, atitinkamai parenkant generuojamos galios vidurkinimo intervalą, buvo apskaičiuotas galimas galios kitimo per valandą standartinis nuokrypis.

Kaip matyti iš 5 paveikslė pavaizduoto standartinio nuokrypio, išreikšto procentais nuo suminės vardinės vėjo elektrinių galios, pasiskirstymo, standartinis nuokrypis yra ne didesnis kaip 8,2%.

Palyginimui galima pasakyti, kad Airijoje Bessy Bell vėjo elektrinių parko generuojamos galios standartinis nuokrypis – 11,8%, o visų VE Danijoje (vardinė galia 1860 MW) – 3%. Šie rezultatai buvo gauti naudojant VE generuojamos galios matavimo duomenis [5]. Įvertinant tai, kad Lietuvoje vėjo turbulentiškumas yra panašus kaip Danijoje, o progno-



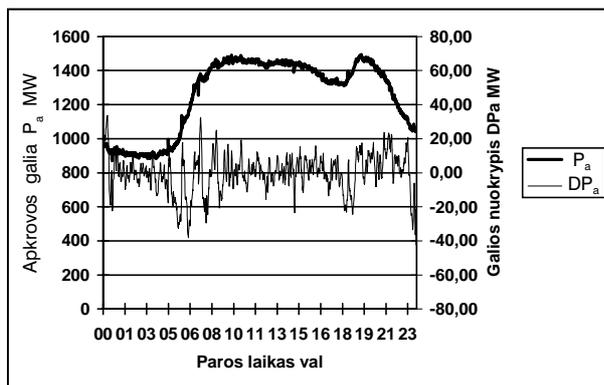
5 pav. Standartinio nuokrypio (% nuo suminės vardinės VE galios) pasiskirstymas priklausomai nuo vidutinės valandinės galios

zuojamas VE parkų skaičius gerokai mažesnis, realus standartinis nuokrypis neturėtų būti didesnis už apskaičiuotąjį.

Standartinis nuokrypis yra didžiausias esant mažesniai vėjo greičiui, kai generuojama galia sudaro 50% vardinės galios. Tai, kad standartinis nuokrypis mažėja esant didžiausioms ir mažiausioms generuojamos galios vidutinėms reikšmėms, galima paaiškinti tuo, kad galios kitimas vienu atveju ribojamas iš apačios $P = 0$, o kitu iš viršaus $P = P_{vard}$.

Kadangi visada yra 99% tikimybė, kad nuokrypis bus mažesnis už $\Delta P = 3 \cdot \sigma = 24\% P_{vard}$, tai patikimam nuokrypio kompensavimui reikėtų turėti ne mažesnę kaip ± 48 MW reguliavimo galios rezervą.

Be VE galios kitimo, EES kinta ir apkrova. Tai priklauso nuo elektros energijos vartotojų skaičiaus ar jų suvartojamos galios kitimo. Atlikti Lietuvos EES apkrovos kitimo tyrimai parodė, kad per valandą šie pokyčiai yra palyginti nedideli, o jų dydis priklauso nuo paros laiko (6 pav.).



6 pav. Apkrovos kitimo per parą (P_a) ir nuokrypio nuo vidutinės valandinės apkrovos (DP_a) kreivės

Kadangi galimas apkrovos standartinis nuokrypis $\sigma_a = 20$ MW, o VE generuojamos galios standartinis nuokrypis $\sigma_{VE} = 16$ MW ir jie tarpusavyje yra nekoreliuoti, todėl galimas suminis galios nuokrypis su 99% tikimybe

$$\Delta P_{\Sigma} = 3 \cdot \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_{VE}^2} = 3 \cdot \sqrt{20^2 + 16^2} = \pm 77 \text{ MW}.$$

Toks 154 MW galios kitimų diapazonas gautas darant prielaidą, kad turime tikslią vėjo greičio vidutinės vertės valandinę prognozę. Jeigu prognozė yra netiksli, reikės papildomo reguliavimo galios rezervo, kuris turėtų būti artimas galimos paklaidos dydžiui.

Nenaudojant vėjo greičio prognozės reguliavimo galios rezerve reikėtų turėti 200 MW VE generuojamos galios ir 60 MW apkrovos nuokrypiams kompensuoti. Įvertinant atsitiktinį šių kitimų pobūdį ir

mažą jų koreliuotumą, suminis reguliavimo galios rezervas galėtų būti mažesnis:

$$\Delta P_{\Sigma} = 3 \cdot \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_{VE}^2} = 3 \cdot \sqrt{20^2 + 33^2} = \pm 116 \text{ MW}.$$

Iš pateiktų skaičiavimų galima daryti išvadą, kad tikslios vėjo prognozės panaudojimas įgalintų sumažinti rezervo poreikį iki 34%.

Pagal galiojančius lygiagretaus darbo su kitomis energetikos sistemomis susitarimus, Lietuvos energetikos sistemos, dirbančios sinchroniškai su didele Rusijos IPS sistema, Baltijos šalių ir Baltarusijos energetikos sistemomis, PSO privalo palaikyti tam tikrą galios reguliavimo diapazoną energijos balanso netolygumams kompensuoti. Šis diapazonas sudaro 3% nuo didžiausio Respublikos suvartojamos energijos kiekio per valandą. Pirminiais prognozuojamais Lietuvos energijos balanso duomenimis 2012 metams, tai atitinka 71 MW žiemą ir 51 MW vasarą. Šis reguliavimo žemyn ir aukštyn diapazonas yra griežtai reglamentuotas Baltijos elektros energetikos sistemos bendro darbo dokumentuose.

Pagal pateiktus Danijos pasiūlymus (Dvynių projektas) papildomas reguliavimas, atsirandantis sistemoje dėl vėjo elektrinių instaliavimo sistemoje, yra 50% nuo jų įrengtos galios. Nagrinėjamu atveju tai sudarytų 100 MW. Suminis reguliavimo diapazonas, įvertinant apkrovos kitimą, būtų 171 MW žiemą ir 151 MW vasarą. Šios reikšmės yra artimos reguliavimo galios įvertinimui, gautame šiame darbe, kai naudojami vėjo kitimo duomenys ir vėjo elektrinių modeliai. Pažymėtina, kad toks reguliavimo galios rezervo įvertinimas buvo gautas darant prielaidą, jog yra naudojama patikima vėjo greičio prognozavimo sistema. Kitu atveju, pasirenkant rezervo dydį, reikėtų įvertinti prognozės paklaidų dydį ir jų tikimybę.

4. IŠVADOS

1. Parodyta galimybė vėjo elektrinių parko modelį pakeisti vienos vėjo elektrinės modeliu, vidurkinant nustatyto dydžio intervaluose apskaičiuotas generuojamos galios vertes.

2. Vėjo elektrinių generuojamos galios standartinis nuokrypis yra didžiausias, kai generuojama galia yra artima 50% vardinės elektrinių galios. Toliau didėjant vėjo greičiui generuojama galia yra apribojama iš viršaus, o tai mažina generuojamos galios standartinį nuokrypį, tačiau didėja vėjo elektrinės priverstinio stabdymo dėl leistino vėjo greičio viršijimo tikimybė.

3. Patikimos vėjo greičio prognozės panaudojimas įgalintų sumažinti reguliavimo rezervo poreikį iki 34%.

Literatūra

1. Integration of Renewable Energy Sources and Distributed Generation in Energy Supply Systems // <http://europa.eu.int.comm/research/>.
2. Wind Turbine Grid Connection and Interaction. 2001 // http://europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/doc/wind_energy/maxibrochure_final_version.pdf.
3. Ernst B. Short-Term Power Fluctuations of Wind Turbines from the Ancillary Services Viewpoint//<http://www.iset.uni-kassel.de>.
4. Вентцель Е. Теория вероятностей. Москва, 1958. С. 464.
5. Milborrow D. Penalties for intermittent sources of energy // <http://www.cabinetoffice.gov.uk/innovation/2002/energy/report/working%20papers/Milborrow.pdf>.

**Romanas Andruškevičius, Dalius Šulga,
Ramūnas Bikulčius**

ESTIMATION OF VARIATION OF WIND POWER GENERATION AND ITS IMPACT ON PERFORMANCE OF THE LITHUANIAN POWER SYSTEM

S u m m a r y

The paper analyzes the modeling of specific features of wind power plants and wind parks. Using those models and basing on measurements of wind velocities, statistical parameters of wind power generation parameters have been estimated with regard to the available deployment of wind power capacities on Lithuanian territory. The

amount of regulating reserve capacities for compensation of intermittent wind power generation has been determined as well as the possibilities to reduce this amount have been outlined.

Key words: wind power plants, reserves of regulating capacities, correlation

**Романас Андрушкявичюс, Далиус Шулга,
Рамунас Бикюльчюс**

ОЦЕНКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕНЕНИЯ СУММАРНОЙ ГЕНЕРИРУЕМОЙ МОЩНОСТИ ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОГО ИХ ВЛИЯНИЯ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Р е з ю м е

Анализируются особенности построения моделей ветровых электростанций. С учетом возможностей строительства и размещения ветровых электростанций на территории Литвы получена оценка статистических параметров изменения суммарной генерируемой мощности ветровых электростанций. Определены величина резерва регулирующей мощности, необходимой для компенсации этих изменений, а также возможности уменьшения объема необходимой регулирующей мощности.

Ключевые слова: ветровые электростанции, резерв регулирующей мощности, моделирование, корреляция