

Vėjo elektrinių galios prognozavimo galimybės Lietuvoje

Mantas Marčiukaitis

Lietuvos energetikos institutas,
Atsinaujinančių energijos
šaltinių laboratorija,
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas
El. paštas: mantas@mail.lei.lt

Daugelyje pasaulio šalių, tarp jų ir Lietuvoje, didėjant vėjo elektrinių daliai elektros sistemose, patikima vėjo prognozė tampa būtinybe. Šiame darbe apžvelgiami modeliai, pasaulyje naudojami vėjo elektrinių galios prognozei, bei jų pritaikymo Lietuvoje galimybės. Statistiniai ir duomenų sekos modeliai yra pagrįsti vėjo greičio ar vėjo elektrinių galios matavimo duomenų analize. Naudojant fizikinius modelius, vėjo prognozės duomenys imami iš globalinių ir regioninių atmosferos modelių ir perskaičiuojami konkrečiam vėjo jėgainių parkui atsižvelgiant į vietovės reljefą, žemės paviršiaus šiurkštumą ir atmosferos stabilumą. Duomenų sekos modeliai tiksliausiai VE galią prognozuoja trumpiems periodams (iki 3–5 val.), ilgesniam periodui naudojami statistiniai ir fizikiniai modeliai. Turint pakankamai duomenų, VE galios prognozavimo sistema Lietuvoje gali būti pritaikyta po metų.

Raktažodžiai: atsinaujinantys energijos ištekliai, vėjo energija, vėjo jėgainės

1. ĮVADAS

Pagal Europos Sąjungos 2001/77/EC direktyvą [1], Lietuva yra įsipareigojusi iki 2010 m. pasiekti, kad iš atsinaujinančių energijos išteklių pagamintos elektros energijos kiekis sudarytų 7% suvartojamos elektros energijos. Norint įvykdyti šiuos įsipareigojimus, numatyta pastatyti 200 MW bendros galios vėjo elektrinių (VE).

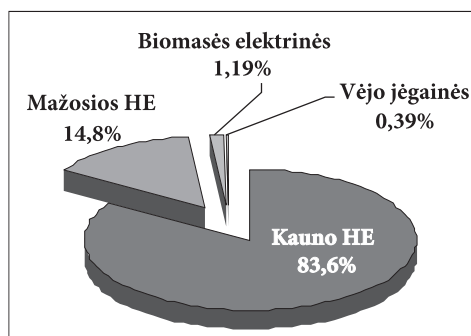
Daugelyje šalių bendroji vėjo elektrinių dalis elektros sistemose sparčiai didėja. Viena didžiausių techninių vėjo energetikos problemų, lyginant su tradiciniais elektros energijos gamybos būdais, yra VE galios priklausomybė nuo vėjo nepastovumo. Dėl to VE generuojama galia negali būti garantuota tam tikru laiko momentu, ir gali kilti problemų dėl elektros sistemos subalansavimo. Kaip rodo kitų šalių patirtis, vėjo elektrinių galios prognozė yra vienintelė priemonė, leidžianti išspręsti problemas, kylančias dėl vėjo elektrinių galios nuolatinės kaitos. Šio darbo tikslas – palyginti kitose šalyse naudojamų vėjo prognozavimo modelių ypatumus bei apžvelgti vėjo prognozavimo galimybes Lietuvoje.

2. VĖJO ENERGIJOS NAUDOJIMAS IR PLĖTRA LIETUVOJE

Vėjo energija nėra plačiai naudojama Lietuvoje. 2005 m. naudojant atsinaujinančius energijos išteklius buvo pagaminama apie 3,5% visos suvartojamos elektros energijos. Daugiausia elektros energijos pagaminta naudojant hidroenergijos išteklius (1 pav.).

2005 m. Lietuvoje veikė keturios nedidelės galios VE, kurių bendroji instaliuota galia sudarė beveik 1 MW. 2005 m. šios VE pagamino 1,775 GWh elektros energijos, daugiausia (beveik 90%) – Vydmantų elektrinė.

2006 m. pabaigoje bendroji veikiančių VE galia buvo 7 MW (lentelė), o šiuo metu Lietuvoje veikia 36 vėjo jėgainės, kurių bendra galia sudaro beveik 55 MW.



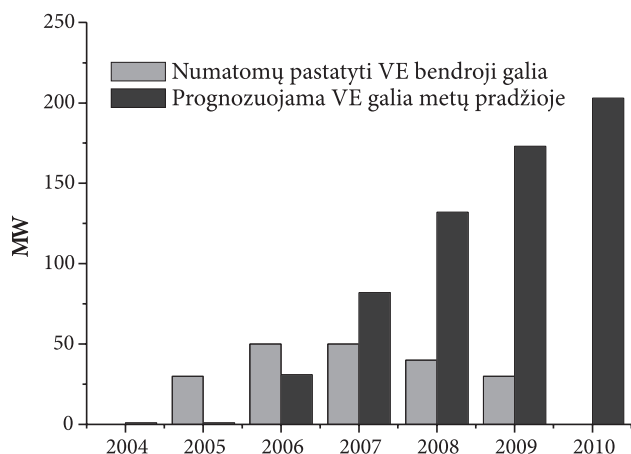
1 pav. Elektros energijos gamyba iš atsinaujinančių energijos šaltinių Lietuvoje 2005 m.

Lentelė. Lietuvoje 2006 m. veikusios vėjo elektrinės

Skirstomųjų tinklų regionas	Elektrinė	Įtampa kV	Galios kW
Kauno	UAB „Formula-Verner“ VE	0,4	55
Klaipėdos	Veršupio VE	0,4	160
Klaipėdos	Vydmantų VE	10	630
Klaipėdos	Anulyno VE	10	150
Klaipėdos	UAB „Vėjų spektras“ 3 VE	110	6000
Iš viso			6995

Lietuvos Vyriausybės priimtu nutarimu nustatyta atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo skatinimo tvarka [2], pagal kurią numatyta palaipsniui didinti bendrąją VE galią šalyje (2 pav.). Prognozuojama, kad iki 2010 m. Lietuvoje VE gamins apie 2,2% visos suvartojamos elektros energijos.

Nemažai techninių ir ekonominių kliūčių trukdo vėjo energetikai įgauti spartesnę vystymosi tempą, tačiau didžiausia techninė kliūtis – VE galios nepastovumas ir neprognozuojamumas. Įrengus 200 MW vėjo jėgainių, gali iškilti problemų dėl elektros sistemos balansavimo. Kaip rodo kitų šalių patirtis, šioms pro-



2 pav. Dabartinė ir numatoma vėjo elektrinių galia Lietuvoje iki 2010 m. [2]

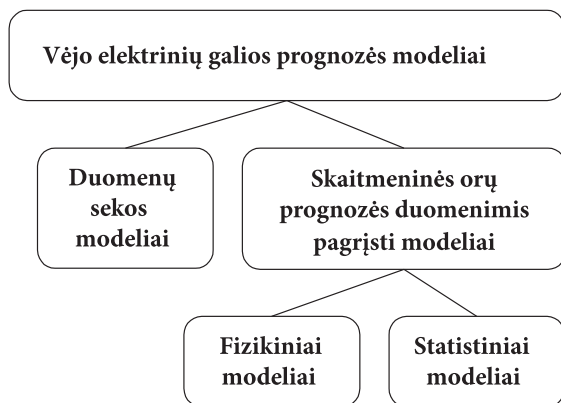
blemoms spręsti ir sėkmingai vėjo energetikos plėtrai būtina vėjo prognozė, nes jos dėka galima pakankamai tiksliai numatyti VE parkų galios kaitą. Taip pat, remiantis kitų šalių patirtimi, vėjo prognozė turi didelę įtaką elektros energijos kainai rinkoje ir leidžia konkuruoti vėjo energijai su tradiciniais energijos šaltiniais.

Kol kas manoma, kad vėjo prognozė Lietuvoje bus reikalinga tik VE statytojams, norintiems numatyti gaminamos elektros energijos kiekius, tačiau, atsiradus sistemos balansavimo problemoms dėl nuolatinių vėjo elektrinių galios svyravimų, prognozės reikšmė bus akivaizdi elektros sistemos operatoriui, t. y. AB „Lietuvos energija“.

3. VĖJO ENERGIJOS PROGNOZAVIMO MODELIAI

Pasaulyje vėjo prognozės modeliai naudojami ir tobulinami jau daugiau nei dešimt metų. Šiuo metu visame pasaulyje naudojama dešimtys įvairių modelių. Vėjo elektrinių savininkai ir elektros sistemos operatoriai naudoja VE galios prognozės modelius norėdami žinoti, kiek elektros energijos bus pagaminta po tam tikro laikotarpio. Vėjo prognozė padeda ne tik sėkmingiau planuoti VE darbą, bet ir balansuoti elektros sistemą.

VE galios prognozės modeliai pagal naudojamus pradinis duomenis skirstomi į du pagrindinius tipus: duomenų sekos (angl. *time series*) modelius ir modelius, naudojančius skaitmeninės orų prognozės (SOP) (angl. *numerical weather prediction*) rezultatus (3 pav.). Duomenų sekos modeliuose naudojami tie-



3 pav. Prognozės modelių tipai [3]

sioginiai vėjo greičio arba VE galios matavimo duomenys, kuriuos analizuojant duomenų sekos analizės metodais sudaromos VE galios prognozės kelioms valandoms į priekį. Ilgesnio periodo (dažniausiai iki 48 val.) prognozėms sudaryti naudojami SOP duomenis naudojantys modeliai. Šie modeliai yra pranašesni už duomenų sekos modelius ir pagal skaičiavimo metodą skirstomi į fizikinius bei statistinius modelius. Statistiniai modeliai skaičiuoja prognozuojamą VE galią tiesiogiai pagal SOP ir VE galios matavimo duomenis. Fizikiniuose modeliuose pagal SOP duomenis įvertinamas vietinis vėjo greitis VE parko teritorijoje ir perskaičiuojamas į prognozuojamą VE galią. Visi metodai turi ir pranašumų, ir trūkumų, todėl, norint gauti geriausią rezultatą, dažniausiai naudojamas visų trijų metodų derinys [3].

3.1. Duomenų sekos modeliai

Duomenų sekos modeliai yra paprasčiausi VE galios prognozės modeliai. Jiems užtenka pastarųjų kelių valandų vėjo greičio ar VE galios matavimo duomenų. Paprasčiausias šio tipo modelis žinomas kaip „išsilaikymo“ (angl. *persistence*) modelis. Pagal šį modelį prognozuojamo parametro (vėjo greičio arba VE galios) reikšmė yra lygi paskutinio matavimo reikšmei [4]:

$$X_{t+l} = X_t \quad (1)$$

čia X_t – parametro reikšmė laiko momentu t , l – laiko žingsnis (prognozės periodas). Nepaisant šio modelio paprastumo, jis gana tikslus. Trumpiems periodams (kelioms minutėms ar valandoms) prognozės paklaida yra pakankamai maža, nes atmosferoje procesai vyksta lėtai. Ilgesniems periodams paklaida sparčiai didėja, todėl visi fizikiniai ir dauguma statistinių modelių yra pranašesni už išsilaikymo modelį, tačiau pagal išsilaikymo modelio rezultatus vertinami kitų vėjo prognozės modelių rezultatai.

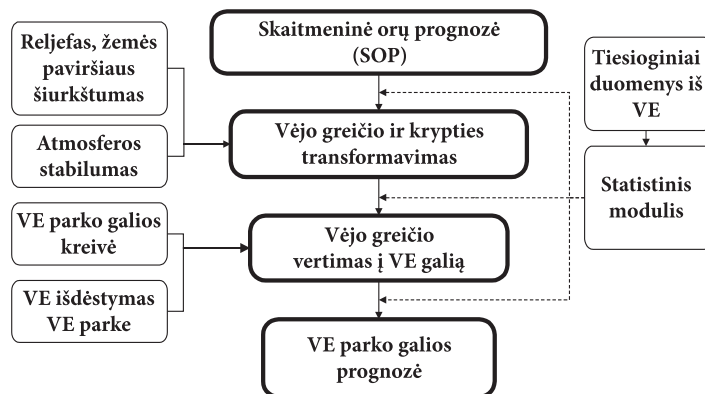
Sudėtingesni ir tikslesni duomenų sekos modeliai reikalauja daugiau duomenų ir trumpiems prognozės periodams gali sumažinti išsilaikymo modelio paklaidą 10–30% [5]. Šiuose modeliuose naudojamos duomenų sekos analizės metodikos (rekursiniai mažiausių kvadratų algoritmai, autoregresiniai metodai ir kt.), kuriomis surandami matavimo duomenų sekos svyravimo dėsningumai, ir pagal šiuos dėsningumus duomenys ekstrapolijojami kelioms valandoms į priekį. Duomenų sekos modeliai trumpiems periodams (iki 3–5 val.) dažniausiai yra tikslesni už fizikinius modelius.

3.2. Fizikiniai modeliai

Prognozuojant tam tikroje vietovėje vėjo greitį trumpam periodui (iki 3–5 val.), užtenka tos vietovės vėjo greičio ar VE galios matavimo duomenų statistinės analizės. Tačiau dažniausiai reikia ilgesnio periodo vėjo prognozės, todėl pasaulyje plačiausiai naudojami fizikiniai modeliai [5].

Paprastai VE galios prognozės modelis susideda iš kelių etapų (4 pav.).

Fizikiniuose vėjo prognozės modeliuose kaip pradiniai duomenys naudojami bendros atmosferos cirkuliacijos hidrostatiškos SOP modelių rezultatai. SOP – tai atmosferoje vykstančių procesų skaitmeninis modeliavimas siekiant aprašyti būsimą atmosferos būklę pagal pradinę būklę, kuri nustatoma matavimais, atliekamais meteorologijos stotyse, bei naudojant palydovų duomenis. Pradinių duomenų tikslumas sąlygoja modelio kokybę.



4 pav. Tipinė vėjo elektrinių galios prognozės modelio schema

SOP modeliai prognozuoja bendrąją atmosferos oro srautų judėjimą dideliame regionui. Daugumos šių modelių pagrindas – daugiasluoksnis skaitmeninis tinklėlis, kurio kiekvienam mazgui priskiriamos atmosferos būklę aprašančių kintamųjų (atmosferos slėgio, oro tankio, vėjo greičio, krypties ir kt.) reikšmės. Modelį sudaro netiesinių diferencialinių lygčių su dalinėmis išvestinėmis sistema, neturinti analitinių sprendinių, todėl remiantis matavimų duomenimis apskaičiuojami skaitmeniniai sprendiniai kiekviename tinklėlio mazge. Maksimalus galimas laiko žingsnis priklauso nuo atstumo tarp tinklėlio mazgų ir naudojamo SOP modelio savybių [6].

Dabartinių SOP modelių skiriamoji geba siekia iki 5 km, tačiau norint gauti pakankamai tikslią prognozę konkrečiam VE parkui tokia skiriamoji geba yra per maža, nes neįvertinami mažesnės apimties atmosferos reiškiniai – oro srautų tekėjimas slėniuose, virš kalvų, miškų, miestų, taip pat pajūrio oro srautų judėjimo ypatumai bei įvairių kliūčių aptekėjimas. Tam tikslui atliekamas fizikinis vėjo srautų modeliavimas – SOP duomenys transformuojami iki VE vėjaračio aukščio, įvertinant vietovės reljefą, kliūtis, žemės paviršiaus šiurkštumą bei atsižvelgiant į atmosferos stabilumą. Dažniausiai naudojami arčiausiai VE parko esančio SOP modelio tinklėlio mazgo duomenys. Vėjo greičio transformavimas atliekamas specialiomis programomis. Europoje šiam tikslui plačiai naudojama programa WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program), sukurta Risoe nacionalinėje laboratorijoje [7]. Taip pat naudojami didesnio tikslumo ir mažesnei teritorijai pritaikyti atmosferiniai (mezoskaliniai, angl. *mesoscale*) modeliai, pavyzdžiui, MM5, ForeWind ir kt., kurių skiriamoji geba gali siekti iki kelių metrų. Jei SOP modelio rezultatų tikslumas yra pakankamas, papildomo atmosferinio modelio naudoti nereikia.

Galutiniame etape, panaudojant VE parko galios kreivę ir atsižvelgiant į VE išsidėstymą parke, gautas prognozuojamas vėjo greitis vėjaračio aukštyje perskaičiuojamas į prognozuojamą VE parko galią.

Fizikiniuose modeliuose dėl skaitmeniškai sprendžiamų lygčių aproksimavimo, pradinių duomenų netikslumo, atmosferos stabilumo neįvertinimo ir kitų panašių priežasčių neišvengiamai atsiranda sisteminių paklaidų. Todėl, norint šias paklaidas sumažinti ir pagerinti prognozės kokybę, naudojami statistiniai moduliai (angl. *model output statistics, MOS*). Statistiniai moduliai gali būti naudojami bet kuriame modeliavimo etape, t. y. tiesioginiams SOP duomenims, perskaičiuotiems vėjo greičio prognozės duomenims arba VE parko galios prognozės duomenims. Giebel et al. [5] nurodo, kad geriausia statistinį modulį naudoti perskaičiuotiems vėjo greičiams.

Matematinė išraiška, leidžianti maksimaliai sumažinti paklaidas, laikui bėgant kinta, tačiau pakankamai geri rezultatai gaunami naudojant paprastą tiesinę priklausomybę:

$$U_{MOS} = a \cdot U + b; \quad (2)$$

čia U_{MOS} – perskaičiuotas vėjo greitis, U – perskaičiuojamas vėjo greitis, a ir b – statistiniai parametrai. Šie parametrai gali keistis priklausomai nuo metų laiko, SOP modelio patobulinimų ir kitų aplinkybių. Todėl tiksliausi VE galios prognozės modeliai naudoja tiesioginius matavimo duomenis iš VE parkų ir parametrus nuolat perskaičiuoja.

Vienas pirmųjų vėjo prognozės modelių, Prediktor, yra sukurta Risoe nacionalinėje laboratorijoje, Danijoje, ir plačiai naudojamas Europoje ir JAV. Pradiniai duomenys gaunami iš SOP modelio HIRLAM, kurio išsamus aprašymas pateiktas [8].

Daugelį metų buvo naudojami duomenys iš HIRLAM modelio sluoksnio, kuriame vėjo greitis laikomas geostrofiniu. Tai vėjo greitis tokia aukštyje, kuriame jis nebesikeičia kylant aukštyn. Pagal geostrofinį dėsnį apskaičiuojamas trinties greitis u_* (angl. *friction velocity*) [9]:

$$G = \frac{u_*}{\kappa} \sqrt{\left[\ln \left(\frac{u_*}{f z_0} \right) - A \right]^2 + B^2}, \quad (3)$$

o naudojant logaritminį vėjo profilio dėsnį nustatomas vėjo greitis norimame aukštyje virš žemės paviršiaus:

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right); \quad (4)$$

čia G – geostrofinio vėjo greitis, $f = 2\Omega \sin \phi$ – Koriolio parametras, Ω – Žemės kampinis sukimosi greitis, ϕ – platumas, u_* – trinties greitis, $\kappa = 0,4$ yra von Karmano konstanta, z – aukštis virš žemės paviršiaus, u – vėjo greitis aukštyje z , z_0 – paviršiaus šiurkštumo ilgis. A ir B yra empirinės konstantos, nustatomos eksperimentiniu būdu. Neutralioms atmosferos sąlygoms $A = 1,8$ ir $B = 4,5$.

Kampas tarp geostrofinio vėjo ir vėjo virš žemės paviršiaus krypčių apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\sin \alpha = \frac{-B}{\sqrt{\left[\ln \left(\frac{u_*}{f z_0} \right) \right]^2 + B^2}}. \quad (5)$$

Po paskutinio HIRLAM modelio patobulinimo nustatyta, jog tikslesnė prognozė gaunama pradinius duomenis imant iš 10 m ir 100 m aukščio sluoksnių ir tiesiogiai naudojant logaritmi-niame dėsnyje.

Vietovės, kurioje išdėstytas VE parkas, reljefas, kliūtys, žemės paviršiaus šiurkštumas bei VE išsidėstymo įtaka įvertinami programa WAsP. Pažymėtina, kad šis metodas taikomas neutralioms atmosferos sąlygoms.

Panašiu principu, kaip Prediktor modelis, veikia Previento ir eWind prognozavimo sistemos. eWind sistemoje vietinės sąlygos įvertinamos mezoskaliniu modeliu ForeWind.

3.3. Statistiniai modeliai

Statistiniuose modeliuose pagal VE parkų galios matavimo duomenis ir atitinkamus SOP modelio prognozės duomenis apskaičiuojami statistiniai parametrai, nusakantys šių duomenų ryšį. Šie parametrai gali keistis laikui bėgant dėl besikeičiančių oro sąlygų, vėjo svyravimo sezoniškumo, VE charakteristikų kitimo, taip pat dėl besikeičiančios augalijos VE parko apylinkėse. Todėl statistiniai parametrai periodiškai perskaičiuojami įvertinant minėtus pokyčius [10]. Statistiniai modeliai turi vieną akivaizdų pranašumą prieš fizikinius modelius: reljefo, kliūčių, atmosferos stabilumo ir kitų veiksnių poveikio nereikia skaičiuoti, jis yra automatiškai įvertinamas. Tačiau statistinių modelių tikslumas yra mažesnis nei fizikinių, be to, norint prognozuoti naujai pastatyto VE parko galią bei pasiekti reikiamą prognozės tikslumą, būtina sukaupti tam tikrą kiekį matavimo duomenų, kad modelį būtų galima sureguliuoti ir pritaikyti VE parko sąlygoms. Tai užima nemažai laiko – nuo kelių mėnesių iki kelerių metų, priklausomai nuo naudojamo modelio.

Prie statistinių modelių taip pat priskiriamas neurotinklų (angl. *neural networks*) metodas, tačiau, nepaisant geresnių rezultatų už išsilaikymo modelį, šis metodas nėra plačiai naudojamas.

4. MODELIŲ PALYGINIMAS

Sudėtinga nustatyti, kuris vėjo prognozės modelis yra geriausias, nes jų darbo rezultatai priklauso nuo konkrečios vietovės, kurioje išdėstytas VE parkas, sąlygų. Prognozės modelių kokybę rodo jų rezultatų paklaida. Nustatyta, kad didžiausią įtaką fizikinių vėjo prognozės modelių tikslumui turi SOP modelio rezultatų tikslumas [5]. Paklaida priklauso ir nuo nagrinėjamos vietovės reljefo sudėtingumo bei prognozės periodo. Darbe [11] buvo lyginama 11 fizikinių modelių. Nustatyta, kad esant sudėtingam žemės paviršiui vidutinis kvadratinis nuokrypis siekė 35% 24 val. periodui, o esant lygiam paviršiui – mažiau nei 10% tam pačiam periodui. Abiem atvejais didėjant prognozės periodui, paklaida palaipsniui didėja.

Giebel et al. [5] teigia, kad tipinis VE galios prognozės modelių vidutinė absoliutinė paklaida siekia 10–15% instaliuotos galios 36 val. periodui. Prediktor modelio vidutinė paklaida 24 val. periodui lygi apie 10%, o 48 val. periodui – apie 15–20% instaliuotos galios. Paklaida priklauso ir nuo skaičiuojamo laikotarpio. Pavyzdžiui, viename didžiausių pasaulyje VE parkų veikiančios prognozavimo sistemos EWind paklaida per pirmąjį darbo mėnesį siekė 10,8 ir 11,7% atitinkamai 24 ir 48 val. periodams.

Apie modelių kokybę sprendžiama lyginant jų rezultatus su minėto išsilaikymo modelio rezultatais. Ilgesniems periodams nei 3–5 val. visi fizikiniai ir dauguma statistinių modelių yra pranašesni už išsilaikymo modelį [5]. Pavyzdžiui, eWind [12] bei Garrad Hassan [13] kompanijų naudojami fizikiniai VE galios prognozavimo modeliai 12 val. ir ilgesniam periodui pateikia 40–60% tikslesnes prognozes, lyginant su išsilaikymo modeliu.

Dėl įvairių šalių elektros sistemų bei rinkų skirtumo reikalingi skirtingi VE galios prognozės periodai – nuo kelių valandų iki kelių dienų. Skiriamosios gebos reikalavimai taip pat skiriasi, pavyzdžiui, Danijoje ir Vokietijoje vėjo jėgainės išsibarsčiusios po visą šalį, todėl VE galia prognozuojama didelėms teritorijoms. JAV ir Ispanijoje VE galia yra koncentruotesnė didesniuose VE parkuose, todėl prognozės modelių skiriamoji geba pritaikoma konkrečioms VE parkams [14].

Tipiškas prognozės modelių rezultatų pavidalas – tai VE parko ar jų grupės prognozuojamos galios duomenų seka artimiausioms 48 valandoms. Šie duomenys gali būti pateikiami vartotojui internetu ir kitais būdais.

Vėjo prognozės modeliai nuolat tobulinami, ir ateityje, didėjant kompiuterių galiai bei skaitmeninių metodų efektyvumui, modelių kokybė ir skiriamoji geba didės.

5. VĖJO ELEKTRINIŲ GALIOS PROGNOZAVIMO GALIMYBĖS LIETUVOJE

VE galios prognozė Lietuvoje iki šiol nebuvo atliekama, nes nebuvo veikiančių vėjo elektrinių parkų, o šiuo metu veikiančios nedidelės galios elektrinės nesukelia didelių problemų. Tačiau ateityje, siekiant įvykdyti įsipareigojimus Europos Sąjungai, vėjo energijos dalis elektros sistemoje didės, ir VE galios prognozės poreikis bus žymus. VE parkų galios prognozavimo galimybių Lietuvoje analizė atliekama Lietuvos energetikos instituto (LEI) Atsinaujinančių energijos šaltinių laboratorijoje. Prognozės modelių pritaikymo sėkmingumas priklauso nuo prieinamų duomenų kiekio. Duomenų sekos ir statistiniams modeliams reikalingi bent kelių mėnesių VE galios ir vėjo greičio matavimo duomenys, suvidurkinti 10 min. intervalais.

Lietuvos VE parkų galios prognozavimui numatoma sukurti modelį minėto Prediktor modelio pagrindu. Šiam modeliui būtini duomenys iš SOP modelio, dengiančio Lietuvos teritoriją. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyboje nuo 2007 m. pavasario kaupiami skaitmeninės prognozės modelio HIRLAM duomenys. Šiuo metu kuriamas perskaičiavimo algoritmas, leisiantis panaudoti šiuos duomenis VE galios prognozavimui. Vietinės reljefo sąlygos, kliūčių įtaka, atmosferos stabilumas ir VE išsidėstymo poveikis bus įvertinami programa WAsP. Šiam tikslui bus naudojama Lietuvos kosminio vaizdo žemėlapis 1 : 50000 skaitmeninių duomenų bazė LTDBK50000.

LEI įvairūs skaičiavimo ir modeliavimo darbai atliekami FLUENT programa, kuri taip pat gali būti naudojama vėjo srautams modeliuoti. Artimiausioje ateityje LEI Atsinaujinančių energijos šaltinių laboratorijoje numatomi detalesni tyrimai VE galios prognozavimo srityje. Turint pakankamai duomenų, VE galios prognozavimo sistema Lietuvoje gali būti sukurta po metų, tačiau tam reikalingas LEI, kitų mokslo institucijų ir VE savininkų bendradarbiavimas.

IŠVADOS

1. Didėjant bendrajai vėjo elektrinių galiai Lietuvoje ateityje gali iškilti elektros sistemos reguliavimo problemos dėl nuolatinių vėjo elektrinių galios svyravimų, todėl Lietuvoje reikalinga vėjo prognozė, padėsianti spręsti šias problemas.

2. VE galios prognozės modelių apžvalga parodė, kad trumpam prognozės periodui (iki 3–5 val.) užtenka duomenų sekos analizės, o ilgesniam periodui tikslesnė prognozė gaunama naudojant statistinius ir fizikinius modelius.

3. Tipinis VE galios prognozės modelių vidutinis kvadratinis nuokrypis siekia 10–15% instaliuotos VE galios 36 val. periodui.

4. Turint pakankamai duomenų bei bendradarbiaujant su VE parkų savininkais VE galios prognozavimo sistema Lietuvoje gali būti pritaikyta po metų.

Gauta 2007 01 08

Priimta 2007 07 11

Literatūra

1. Directive 2001/77/EC of the European Parliament and the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market // Official Journal of the European Communities. 27.10.2001, L283/33–L283/40.
2. Elektros energijos, kuriai gaminti naudojami atsinaujinantys ir atliekiniai energijos ištekliai, gamybos ir pirkimo skatinimo tvarka. Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2005 m. birželio 8 d. nutarimo Nr. 627 redakcija.
3. Boone A. Simulation of Short-term Wind Speed Forecast Errors using a Multi-variate ARMA(1,1) Time-series Model. Master Thesis. Royal Institute of Technology (KTH), Sweden, 2005.
4. Burton T., Sharpe D., Jenkins N., Bossanyi E. A. Wind Energy Handbook. John Wiley & Sons Inc., USA, 2003.
5. Giebel G. Brownsword R., Kariniotakis G. The State-Of-The-Art in Short-Term Prediction of Wind Power: A Literature Overview. Anemos Report v.1.1, EU FP5 Contract ENK5-CT-2002-00665, 2003.
6. Giebel G. On the Benefits of Distributed Generation of Wind Energy in Europe. PhD thesis from the Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. VDI-Verlag, Schriftenreihe Energietechnik, 2001.
7. Mortensen N. G., Landberg L., Troen I., Petersen E. L. Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP), User's Guide, Risoe-I-666-(EN)(v. 2). Risoe National Laboratory, Roskilde, 1993.
8. Machenhauer B. The HIRLAM Final Report. Danish Meteorological Institute, Copenhagen, Denmark, 1989.
9. Landberg L. A Mathematical Look at a Physical Power Prediction Model. Wind Energy 1. 1998. P. 23–28.
10. Nielsen T. L., Madsen H. Experiences with statistical methods for wind power prediction // Proceedings of the European Wind Energy Conference. 1999. P. 1066–1069.
11. Kariniotakis G., Marti I. et al. What performance can be expected by short-term wind power prediction models depending on site characteristics? // CD-Rom Proceedings of the European Wind Energy Conference EWEC 2004. London, UK, 22–25 Nov. 2004.
12. <http://www.awstruewind.com/inner/services/windforecasting/ewind/eWind.htm>
13. <http://www.garradhassan.com/services/ghforecaster/whyforecast.php>
14. Ackermann T. Wind Power in Power Systems. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. John Wiley & Sons, Ltd. 2005. 742 p.

Mantas Marčiukaitis

WIND POWER PREDICTION POSSIBILITIES IN LITHUANIA

Summary

In many countries, including Lithuania, reliable wind power prediction is becoming necessary because of increasing wind power penetration. In this paper, a short review of wind power prediction models used in other countries is presented and possibilities of their application in Lithuania are discussed. Statistical and time-series models are based on wind speed or wind power measurements. Physical models take the output from numerical weather prediction models and downscale it to the wind farm's hub-height accounting for local terrain, roughness and atmospheric stability. Time-series models are accurate enough for the prediction period of 3–5 hours. For longer periods, physical and statistical models give better results. With a sufficient amount of data, the wind power prediction system in Lithuania can be implemented within a year.

Key words: renewable energy sources, wind energy, wind turbines

Мантас Марчюкайтис

ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СИЛЫ ВЕТРА В ЛИТВЕ

Резюме

Во многих странах, в т. ч. и в Литве, при увеличении доли ветровой энергии в электрических системах становится необходимым надёжный прогноз силы ветра. В статье представлены обзор моделей прогноза силы ветра и возможности их применения в Литве. Статистические модели и модели ряда данных основаны на измерениях скорости ветра или мощности ветровых турбин. Физические модели используют результаты численных моделей прогноза погоды и пересчитывают их для определённого парка ветровых турбин, учитывая влияние местного рельефа, шероховатость земной поверхности и стабильность атмосферы. Для краткого периода (до 3–5 ч.) прогнозы модели ряда данных достаточно точны, а для более длинных периодов более эффективны физические и статистические модели. При достаточном количестве данных система прогноза ветра в Литве может быть применена через год.

Ключевые слова: возобновляемые энергоресурсы, энергия ветра, ветровые турбины