

METEOROLOGINIŲ DUOMENŲ RENGIMAS ATSINAUJINANČIOSIOS ENERGIJOS
INTEGRAVIMO PROCESUI SKATINTIVyngantas Žėkas¹, Vytautas Martinaitis², Giedrė Streckienė³*Vilniaus Gedimino technikos universitetas**El. paštas: ¹vyngantas.zekas@vgtu.lt; ²vytautas.martinaitis@vgtu.lt; ³giedre.streckiene@vgtu.lt*

Santrauka. Didėjant atsinaujinančiosios energijos išteklių (AEI) naudojimo mastui, auga poreikis turėti patikimus ir vis išsamesnius disponuojamo atsinaujinančiosios energijos šaltinio duomenis. Pristatomas pirminis meteorologinių duomenų, kaip pradinės AEI potencialą apibūdinančios informacijos, apdorojimo etapas. Apdorojant duomenis taikomas aprašomosios statistikos analizės metodas. Šios analizės taikymo privalumams iliustruoti buvo atliktas tyrimas – Civilinės inžinerijos mokslo centro Pastato energetinių ir mikroklimato sistemų laboratorijoje sukauptų meteorologinių duomenų analizė ir statistinis apdorojimas. Kaip parodė tyrimas, statistinės charakteristikos suteikia vertingos papildomos informacijos apie konkrečioje vietoje vyraujančius AEI srautus. Nustatyta, kad, skaičiuojant vidutines AEI srautų reikšmes, didelę įtaką daro chaotiška srautų kitimo prigimtis ir pasitaikančios reikšmių išskirtys. Turint AEI srautų kitimo reikšmių ribas ir pasiskirstymo svorinį centrą atmetus išskirtis, galima objektyviau išsirinkti AEI transformatorių, transformatorių derinį ar parinkti labiau vietos sąlygas atitinkančius įrenginio darbinis parametrus. Vietos meteorologinių sąlygų įvertinimas statistikos priemonėmis gali padėti tiek energijos vartotojui, tiek technologinio sprendinio kūrėjui prisidėti prie darniosios AEI plėtros.

Reikšminiai žodžiai: meteorologiniai duomenys, atsinaujinančioji energija, aprašomoji statistika.

Įvadas

Kaip skelbiama, 2012 m. bendra atsinaujinančiosios energijos išteklių (AEI) įrengtoji galia pasaulyje (be hidroenerginės) siekė 480 GW (REN 21 2013). Palyginti su 2010 m. rodikliu – 315 GW, naudojamos AEI dalis per pastaruosius dvejus metus yra išaugusi daugiau nei 50 %. Taigi akivaizdu, kad AEI naudojimo mastas didėja, tai skatina nuolatinį poreikį ieškoti naujų sprendimo būdų, kaip racionaliai tai planuoti ir valdyti, kaip objektyviai spręsti vis kompleksesnius hibridinių AEI transformavimo įrenginių modeliavimo ir technologinių sprendinių parinkimo uždavinius.

Žvelgiant plačiau suprantama, kad AEI naudojimo mastą turi skatinti ir skatina vykdoma šalies ar regiono politika bei tam tikslui taikomos priemonės (Cing-Hui *et al.* 2011). Vienos iš jų yra AEI naudojimo planavimas (Omar, Kankar 2012; Ranjeva, Kulkarnia 2012) ar pirminis paviršutiniškas AEI vertinimas (Nygaard *et al.* 2010). Kita vertus, plačiai naudojamos AEI plėtros ir hibridinių AEI transformatorių modeliavimo kompiuterinės programos bei algoritmai (Connolly *et al.* 2010; Pezzini *et al.* 2011; Erdinc, Uzunoglu 2012). R. Banos su bendraautoriais (Banos *et al.* 2011) savo darbe pateikė optimizavimo metodus sprendžiamų AEI klausimų ir atliktų optimizavimo darbų pavyzdžių. Paminėtina, kad viena iš pirminių ir svarbiausių sprendžiamų problemų yra AEI, kaip energijos šaltinio, nepastovumas. Tokiuose uždaviniuose

norint panaudoti anksčiau minėtas priemones ir algoritmus visais atvejais būtini įvesties duomenys. Kalbant apie AEI naudojimo planavimą, vieni iš pagrindinių įvesties duomenų yra meteorologiniai duomenys, dažniausiai – vėjo greitis, Saulės spinduliuotė, oro temperatūra. Tai iš esmės yra pirminė AEI inžinerinė išraiška. Straipsnyje pristatomas aprašomosios statistikos taikymas rengiant meteorologinių duomenų masyvą tolesniems AEI integracijos ir hibridinių įrenginių modeliavimo uždaviniams spręsti.

Meteorologinių duomenų kaupimo ir apdorojimo būdai

Meteorologiniai duomenys, kaip AEI pirminė inžinerinė išraiška, yra fiksuojami matavimo įranga pasirinktu intervalu ir vėliau apdorojami. Vienas iš pagrindinių meteorologinių duomenų išskirtinumų yra tai, kad jie atspindi natūralias gamtines sąlygas, kurios įprastai sunkiai prognozuojamos, didelė esti jų reikšmių kitimo amplitudė, pasitaiko skaitinių išskirčių. Turint mintyje sprendžiamus AEI naudojimo klausimus, taikant anksčiau minėtus tyrimo būdus, priemones ir metodus pagal sprendžiamo klausimo specifiką, naudojami jau apdoroti meteorologiniai duomenys. Pagrindinis šių duomenų apdorojimo uždavinys – vidutinių parametro reikšmių identifikavimas. Sprendžiant planavimo uždavi-

nius, naudojamos ilgesnio laikotarpio, t. y. mėnesio ar metų, vidutinės reikšmės. Modeliuojant inžinerines sistemas, ypač minėtomis kompiuterinėmis priemonėmis (Connolly *et al.* 2010), yra reikmė naudoti minutės ar net sekundės (pvz., TRNSYS programa) intervalu kintančius meteorologinius duomenis. Vis labiau akcentuojamas poreikis modeliuoti procesus ar reiškinius mažesniu nei valandos laiko intervalu (Hoevenaars, Crawford 2012). Tam būtina turėti atitinkamo laiko intervalo pradinis duomenis.

Dažnai AEI integracijos uždaviniai sprendžiami konkrečios vietovės ar sklypo mastu, tačiau būtini išsamūs vietos gamtinės sąlygas apibūdinantys meteorologiniai duomenys retai yra kaupiami. Pirmiausia taip esti dėl riboto meteorologinių stočių skaičiaus miesto, valstybės ar regiono mastu. Plėtojantis technologijoms bei plečiantis dalijimosi duomenimis ir kaupimo tinklui, atsiranda duomenų bazių, kuriose nuotoliniu būdu galima rasti daugelio pasaulio vietų meteorologinius duomenis (Sorrentino *et al.* 2012). Plačiai taikomas interpoliacijos metodas. Šiuo metodu galima gauti apytikslius bet kurios pasaulio vietovės taško meteorologinius duomenis (Meteonorm 2013). Priklausomai nuo reljefo specifikos ir artimiausių stočių atstumo, sugeneruoti duomenys gali atitikti vietos sąlygų parametrus arba lemti klaidingą duomenų masyvą. Taip pat vis plačiau taikomas ir palydovinės informacijos apdorojimas generuojant bet kurios vietovės duomenis (Angelis-Dimakis *et al.* 2011). Kadangi palydovinė informacija apima viso Žemės paviršiaus plotą, taip pat nuodugniai ir patikimai galima generuoti reikiamus meteorologinius duomenis ir pagrįstai palyginti alternatyvius AEI naudojimo plėtos vietas ar sprendinius. Tokiu būdu gaunami nors ir vienodo patikimumo, tačiau netikslūs duomenys. Gamtinės sąlygos, kartu ir AEI vietos potencialas, priklauso nuo individualių vietos geografinių ypatumų. Palydovinė informacija šiuo atžvilgiu nepakankamai išsami, tad dažnai naudojami meteorologinių stočių kaupiami duomenys.

Kaupiami meteorologiniai duomenys atspindi gamtinių sąlygų kitimo istoriją. Gamta yra dinamiška sistema, ir metai iš metų vietos gamtinės sąlygos – kad ir nežymiai – kinta. Pvz., Lietuvos mastu vidutinė metinė temperatūra per pastaruosius 30 metų tik didėjo (LHMT 2013). Dauguma uždavinių sprendžiami turint perspektyvinius tikslus, siekiant patenkinti būsimą energijos vartojimo poreikį, todėl būsimi gamtinių sąlygų pokyčiai arba tai, kad jie tiksliai nežinomi, lemia poreikį taikyti tikimybinis parametru nustatymo metodus atsižvelgiant į praeityje sukauptus duomenis ir jų kitimo tendencijas. Lyginant vieną laikotarpį su kitu, pasitaiko ryškesnių išskirtinumų, todėl tikimybinis ateityje galimo gamtinių sąlygų kitimo vertinimas yra aktualus ir plačiai taikomas, ypač, kai naudojama vėjo energija (Foley *et al.* 2012).

Dėl nepastovumo meteorologiniai duomenys, naudojami sprendžiant AEI uždavinius, apima ne trumpesnę kaip dešimties pastarųjų metų laikotarpį. Taip siekiama, kad pradiniai duomenys atspindėtų vyraujančias gamtinės sąlygas. Beje, ilgamečius duomenis naudoti AEI uždaviniuose pasirinkus paros ar valandinį duomenų laiko intervalą yra sudėtinga. Į nuolatinį gamtinių sąlygų kitimą atsižvelgiama sudarant vadinamuosius testinius atskaitinius metus (angl. *Test Reference Years*), tipinius meteorologinius metus (angl. *Typical Meteorological Year*) ar klimatinis energijos įvertinimo metus (angl. *Weather Year for Energy Calculation*) (Lee *et al.* 2010), apimančius metų laikotarpį. Šie duomenys gaunami statistiškai apdorojant sukauptus meteorologinių matavimų rezultatus, kad atspindėtų gamtinių sąlygų visumą (Skeiker, Ghani 2009). Be interpoliacijos metodu gaunamų nukrypimų nuo faktinės vietovės situacijos, papildomai statistinio apdorojimo būdu natūralių gamtinių sąlygų svyravimai išlyginami, t. y. nustatomos vidutinės reikšmės.

Siekiant nustatyti galimą vidutinių reikšmių įtaką galutiniam meteorologinių duomenų masyvui, šiame darbe pristatomas aprašomosios statistikos (Čekanavičius, Murauskas 2000) taikymas meteorologinių duomenų masyvui įvertinti. Kartu gauta papildomų rodiklių, kurie galėtų būti įtraukti į sprendžiamų AEI planavimo ir integracijos uždavinių įvesties duomenis.

Statistinis duomenų apdorojimo metodas

Vieni iš naujausių pavyzdžių rodo (Demirhan *et al.* 2013; Muratori *et al.* 2013), kad statistika, kaip metodas, yra plačiai taikoma. Didesniems duomenų masyvams vertinti ir duomenims palyginti paranki statistinė analizė ir pirmiausia – aprašomosios statistikos metodas. Šiame tyrime statistinis duomenų apdorojimas atliktas kompiuterine programa *STATISTICA*.

[vertintos šios statistinės charakteristikos:

- kintamųjų reikšmių dažniai;
- duomenų padėtis imtyje;
- duomenų sklaida.

Tyrimo meteorologinių duomenų masyvas

Tyrimo duomenims fiksuoti ir kausti Civilinės inžinerijos mokslo centro (CIMC) Pastato energetinių ir mikroklimato sistemų (PEMS) laboratorijoje sumontuota meteorologinė stotelė. Siekiant eliminuoti interpoliacijos (ar kito netiesinio) metodo faktinių reikšmių iškraipymą pasirinkta faktinių duomenų apdorojimas. Tiriamasis laikotarpis – nuo 2012-09-08 iki 2013-05-20 (šaltasis metų periodas). Duomenys sukaupti minutės intervalu ir

sudaryti iš 399 565 duomenų eilučių. Analizuotos šios charakteristikos:

- lauko oro temperatūra, °C;
- vėjo greitis, m/s;
- bendra Saulės spinduliuotė į horizontalų paviršių, W/m².

Didesniam metų laikotarpiui apimti ir turint didelį duomenų kiekį, minutės intervalu fiksuotos reikšmės buvo perskaičiuotos į aritmetinius paros vidurkius. Siekiant išsamiu pažinti dinamišką gamtos sąlygų prigimtį, statistinę analizę būtina atlikti valandos ar net minutės intervalu.

Perskaičiavus gautos 273 kintamųjų duomenų eilutės. Toks duomenų eilučių skaičius yra parankus duomenims apdoroti ir atvaizduoti kompiuterine programa *STATISTICA*.

Duomenų apdorojimo rezultatai

Toliau pateikiamos pagrindinės aprašomosios statistikos būdu nustatytos oro temperatūros, Saulės spinduliuotės ir vėjo greičio charakteristikos.

Duomenų dažnių analizė

Siekiant įvertinti dažniausiai pasikartojančius skaitinių reikšmių dydžius ir nustatyti svorinį oro temperatūros, vėjo ir saulės charakteristikų centrą, tyrimo metu atliekama dažnių analizė. 1–3 lentelėse pateikiami oro temperatūros, vėjo ir Saulės spinduliuotės reikšmių dažniai, 1–3 pav. – jų histogramos.

1 lentelė. Oro temperatūros reikšmių dažniai

Table 1. Frequencies of the values of weather temperature

Reikšmių ribos, °C	Dažnis, kartai	Procentinis dažnis
-20 < x < -15	2	0,79
-15 < x < -10	15	5,91
-10 < x < -5	36	14,17
-5 < x < -0	50	19,69
0 < x < 5	57	22,44
5 < x < 10	36	14,17
10 < x < 15	38	14,96
15 < x < 20	13	5,12
20 < x < 25	7	2,76

2 lentelė. Vėjo greičio reikšmių dažniai

Table 2. Frequencies of the values of wind speed

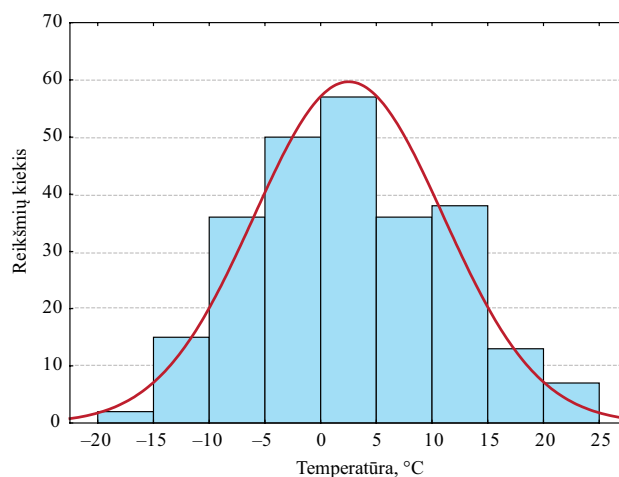
Reikšmių ribos, m/s	Dažnis, kartai	Procentinis dažnis
0,0 < x <= 1,0	29	11,42
1,0 < x <= 2,0	69	27,17
2,0 < x <= 3,0	76	29,92
3,0 < x <= 4,0	53	20,87
4,0 < x <= 5,0	22	8,66
5,0 < x <= 6,0	3	1,18
6,0 < x <= 7,0	2	0,79

3 lentelė. Saulės spinduliuotės reikšmių dažniai

Table 3. Frequencies of the values of solar radiation

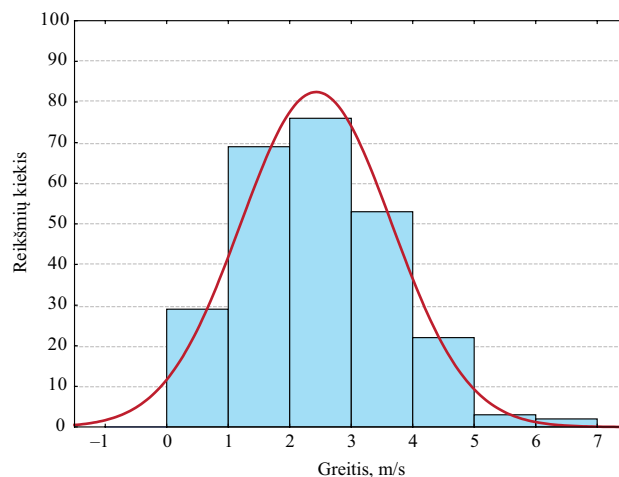
Reikšmių ribos, W/m ²	Dažnis, kartai	Procentinis dažnis
0 < x <= 50	139	54,72
50 < x <= 100	39	15,35
100 < x <= 150	25	9,84
150 < x <= 200	25	9,84
200 < x <= 250	13	5,12
250 < x <= 300	13	5,12

Kaip matyti iš gautų dažnių pasiskirstymo rezultatų, vyraujančių oro temperatūros reikšmių intervalas – -10–10 °C (daugiau nei 70 % atvejų); vėjo – 1–4 m/s (apie 80 % atvejų); Saulės spinduliuotės – nuo 0 iki 100 W/m² (daugiau nei 70 % atvejų). Saulės spinduliuotės reikšmių pasiskirstymui netinka normalusis skirstinys, nes nenustatoma dalis sklaidos charakteristikų.



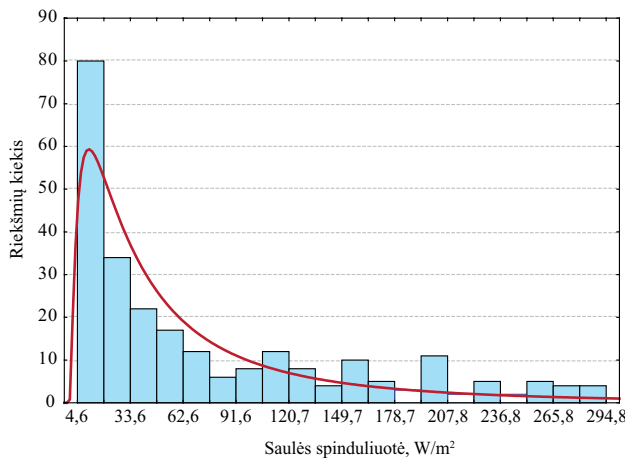
1 pav. Oro temperatūros reikšmių histograma

Fig. 1. Histogram of the values of weather temperature



2 pav. Vėjo greičio reikšmių histograma

Fig. 2. Histogram of the values of wind speed



3 pav. Saulės spinduliuotės reikšmių histograma
Fig. 3. Histogram of the values of solar radiation

Kadangi tiriamasis laikotarpis yra šaltasis metų laikotarpis, galima daryti išvadą, kad pagrindinis temperatūrų diapazonas, kuriam turėtų būti planuojama pagrindinės energetinių paslaugų įrangos apkrova, yra nuo -10 iki 10 °C. Atsižvelgiant į vyraujančių vėjo greičių diapazoną numatoma, kad galimybės įrengti vėjo jėgainę nebus, o Saulės energijos srautas tipiniam šilumos poreikiui padengti nereikšmingas. Pasitaikančios reikšmių išskirtys lemia prielaidą, kad įmanoma numatyti momentinį AEI transformatorių veikimą, tačiau, esant minėtiems vyraujančioms vėjo ir Saulės energijos srautams, numatyti nuolatinį energijos tiekimą galima tik kartu sprendžiant energijos akumuliacijos klausimą.

Duomenų padėties imtyje ir sklaidos charakteristikos

Vertinant tyrimo duomenų padėties imtyje ir sklaidos charakteristikas apskaičiuojami šie aprašomosios statistikos rodikliai:

- vidurkis, arba aritmetinis vidurkis (angl. *mean*), – tai populiariausias duomenų vidurio (centro) matas. Apskaičiuojama sudedant visas reikšmes ir padalijant iš reikšmių skaičiaus. Vidurkis, apskaičiuotas iš imties, yra empirinis ir žymimas \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i,$$

čia \bar{x} – imties vidurkis, n – imties kintamųjų skaičius, x – kintamasis.

Vidurkis turi du trūkumus – nenusako duomenų padėties, jei imtis yra bimodalinė, arba turi išskirčių (ekstremalių reikšmių), todėl nustatoma kita statistinė charakteristika – mediana;

- mediana (angl. *median*) – tai matavimų skalės taškas, kuris stebimas reikšmes padalija į dvi lygias

dalis. Mediana geriau nei vidurkis atskleidžia duomenų padėtį eilutėje, kurioje yra išskirčių. Medianai nustatyti visi imties kintamieji išdėstomi variacine eilute. Mediana yra vidurinė reikšmė. Ji nustatoma iš didėjimo tvarka surašytų skaičių išrinkus vidurinį. Esant lyginiam reikšmių skaičiui, dvi vidurinės reikšmės sudedamos ir dalijamos per pusę:

- kai narių skaičius variacinėje eilutėje yra lyginis –

$$Md = x_{(n+1)/2}, \quad (2)$$

- kai narių skaičius variacinėje eilutėje nelyginis –

$$Md = \frac{x_{n/2} + x_{n/2+1}}{2}; \quad (3)$$

- standartinis nuokrypis (SN, angl. *standard deviation*) – tai matuojamų dydžių sklaidos apie vidurkį matas. Apskaičiuojama traukiant kvadratinę šaknį iš dispersijos (s^2). Imties (empirinis) standartinis nuokrypis žymimas raide s , o populiacijos standartinis nuokrypis – raide σ . Jei duomenų skirstinys yra normalusis, tai į intervalą, gaunamą atidėjus į abi puses nuo vidurkio po standartinį nuokrypį $s(\bar{x} - s, \bar{x} + s)$, patenka apytiksliai 68 % visų duomenų. Į intervalą $(\bar{x} - 2s, \bar{x} + 2s)$ – apytiksliai 95,4 % visų duomenų, o į intervalą $(\bar{x} - 3s, \bar{x} + 3s)$ – beveik visi duomenys (tiksliau, 99,7 %). Standartinis nuokrypis nustatomas taip:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; \quad (4)$$

- dispersija (angl. *variance*) apskaičiuojama sudedant kiekvienos reikšmės atstumo (skirtumo) nuo vidurkio kvadratus ir gautą sumą padalijant iš visų reikšmių skaičiaus be vieneto ($n - 1$). Dispersija, kaip ir standartinis nuokrypis, – tai duomenų sklaida apie vidurkį. Kadangi dispersija apskaičiuojama keliant reikšmes kvadratu, tai ir dispersijos matavimo vienetai keliami kvadratu. Standartinis nuokrypis, kuris yra šaknis iš dispersijos, matuojamas tokiais pačiais matavimo vienetais kaip ir patys rodikliai, todėl standartinį nuokrypį lengviau suprasti ir interpretuoti. Dispersija apskaičiuojama taip:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2; \quad (5)$$

- 95 % vidurkio patikimumo intervalas (angl. *95 % confidence limits of mean*). Žinant vidurkio standartinį nuokrypį, arba standartinę klaidą, galima apskaičiuoti vidurkio patikimumo intervalą. Su 95,4 % tikimybe galima teigti, kad intervale, kurį

sudaro du vidurkio standartiniai nuokrypiai, atidėti į abi puses nuo imties vidurkio, bus populiacijos vidurkis. Atidėję ne po 2, o po 1,96 vidurkio standartinius nuokrypius, gausime tikslią 95 % tikimybę. Šis intervalas ir yra 95 % vidurkio patikimumo intervalas.

- Skaičiai, kurie suskirsto variacinę eilutę į 100 apytiksiai lygių dalių, yra *procentiliai*, o skaičiai, dalijantys variacinę eilutę į keturias maždaug lygias dalis, – *kvartiliai*. Dažniausiai kvartiliai žymimi raidėmis Q_1 , Q_2 , Q_3 . Pirmasis kvartilis Q_1 – tai toks taškas išmatuotų reikšmių skalėje, nuo kurio kairėje pusėje lieka 25 % reikšmių. Antrasis kvartilis Q_2 – tai taškas, kurio kairėje pusėje yra 50 % reikšmių. Antrasis kvartilis sutampa su mediana. Trečiojo kvartilio Q_3 kairėje pusėje yra 75 % reikšmių. Kaip viena iš galimų duomenų centro charakteristikų taikomas pirmojo ir trečiojo kvartilų vidurkis $(Q_1+Q_3)/2$.

Pagrindiniai tyrimo metu fiksuotų meteorologinių duomenų padėties imtyje ir sklaidos rodikliai pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. Duomenų padėties imtyje ir sklaidos charakteristikos
Table 4. Characteristics of data location and dispersion

Parametras	Kintamųjų skaičius	Vidurkis	Mediana	Standartinis nuokrypis
Temperatūra, °C	254	2,52	1,199	8,49
Vėjo greitis, m/s	254	2,43	2,34	1,23
Saulės spinduliuotė, W/m ²	254	76,40	40,14	–
Parametras	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Pirmasis kvartilis	Trečiasis kvartilis
Temperatūra, °C	-16,01	22,35	-3,96	9,08
Vėjo greitis, m/s	0	6,52	1,54	3,30
Saulės spinduliuotė, W/m ²	4,55	294,83	15,17	120,25

Lyginant tarpusavyje gautus duomenis pastebima, kad oro temperatūros ir Saulės spinduliuotės reikšmių sklaida didesnė nei vėjo greičio rodiklių. Oro temperatūros aritmetinis vidurkis yra 2,52 °C, kai mediana 1,119 °C, arba daugiau nei laipsnio skirtumas. Saulės spinduliuotės – aritmetinis vidurkis yra 76,40 W/m², o mediana 40,14 W/m². Galima daryti išvadą, kad, atsižvelgiant į medianą, kuri eliminuoja didelę išskirčių įtaką, svorinis oro temperatūros ir Saulės spinduliuotės reikšmių centras yra pasislinkęs į mažesniųjų reikšmių pusę. Aritmetinio vidurkio skaičiavimo metodu gautomos ne reiškinio centrą atspindinčios reikšmės. Parenkant

įrangą, orientuotą į nuolatinę apkrovą ar nuolatinį energijos poreikių tenkinimą, tikslinga būtų atsižvelgti į tikrąjį reikšmių centrą, išreikštą mediana. Įprastai AEI transformatoriai projektuojami ar modeliuojami taip, kad saugumo sumetimais, esant didesniems nei leistinieji veikimo rodikliams, įrenginiai išsijungia automatiškai. Todėl išskirtinai mažų ar didelių parametru procesai nėra naudojami.

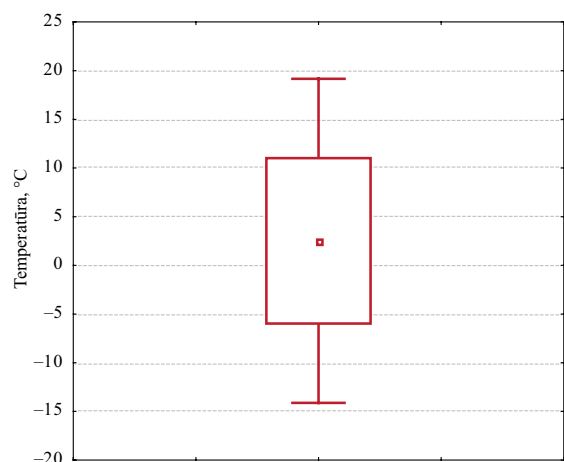
4 lentelėje pateikiami kvartilų rodikliai rodo galimas AEI transformatorių veikimo režimo ribas, kai žemiau pirmojo kvartilio lieka 25 % pasitaikančių vidurkio reikšmių ir tiek pat – virš trečiojo kvartilio. Todėl įrenginius, siekiant užtikrinti veikimo pastovumą, reikia numatyti tokius, kad jų efektyviausio veikimo parametrai išsidėstytų pirmojo ir trečiojo kvartilio ribojamoje reikšmių zonoje. Pvz., atsižvelgiant į Saulės spinduliuotės duomenis ir numatant šaltąjį metų periodą, įrenginys ilgiausiai veiktų, kai Saulės spinduliuotės reikšmės būtų 15,17–120,25 W/m².

Vidutinių reikšmių grafinė interpretacija pateikiama 4–6 paveiksluose. Stačiakampės diagramos atspindi pasikliautinąjį reikšmių intervalą (arba kitaip – 2σ ir $1,96\sigma$), kuriame reikšmių vidurkis nustatomas 95 (95,4 ir 95) % patikimumu.

Kaip matyti iš diagramos, oro temperatūros reikšmių vidurkis yra 2,52 °C. Į intervalą -5,97–11,01 patenka 68 %, o į intervalą -14,12–19,16 – 95 % visų tyrimo duomenų.

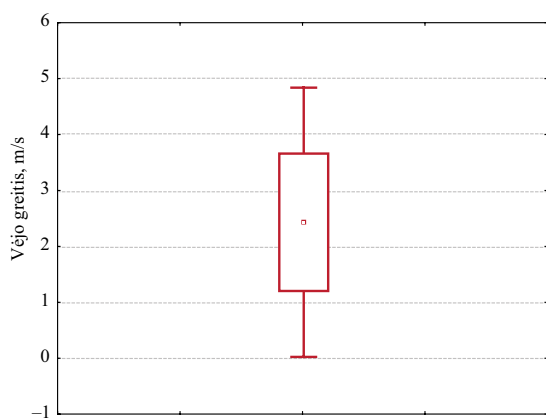
Atsižvelgiant į vėjo greičio reikšmių sklaidą, reikšmių vidurkis yra 2,42 m/s. Į intervalą 1,20–3,66 patenka 68 %, o į intervalą 0,022–4,84 – 95 % visų tyrimo duomenų.

Kadangi Saulės spinduliuotės reikšmių sklaidai apibūdinti normalinis skirstinys netinka, 6 pav. pateiktos mėnesio sklaidos charakteristikos.



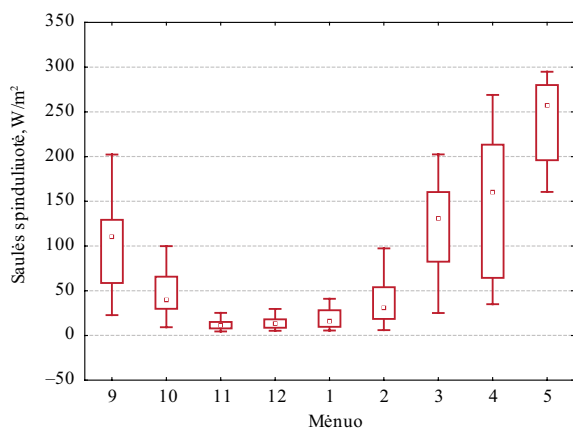
4 pav. Stačiakampė oro temperatūros reikšmių sklaidos diagrama su vidutinėmis reikšmėmis (vidurkis 2,52); vidurkis $\pm SN = (-5,97, 11,01)$; vidurkis $\pm 1,96*SN = (-14,12, 19,16)$

Fig. 4. Rectangular diagram of the dispersion of weather temperature values with average values (mean = 2.52; mean $\pm SN = (-5.97, 1.01)$; mean $\pm 1.96*SN = (-14.12, 19.16)$)



5 pav. Stačiakampė vėjo greičio reikšmių sklaidos diagrama su vidutinėmis reikšmėmis (vidurkis = 2,43; vidurkis \pm SN = (1,20, 3,66); vidurkis \pm 1,96*SN = (0,022, 4,84)

Fig. 5. Rectangular diagram of the dispersion of wind speed values with average values (mean = 2.43; mean \pm SN = (1.20, 3.66); mean \pm 1.96*SN = (0.022, 4.84)



6 pav. Stačiakampė Saulės spinduliuotės reikšmių sklaidos diagrama su vidutinėmis mėnesio reikšmėmis

Fig. 6. Rectangular diagram of the dispersion of solar radiation values with average values

Iš pateiktos Saulės spinduliuotės diagramos akivaizdu, kad lapkričio–sausio mėnesių laikotarpiu 50 % Saulės spinduliuotės fiksuotų reikšmių patenka iki 50 W/m². Tik gegužės mėnesį vyraujančios spinduliuotės reikšmės priartėja prie 300 W/m² spinduliuotės intensyvumo reikšmių.

Statistinės meteorologinių duomenų analizės išvados

Atlikus statistinę sukaupėtų duomenų analizę suformuluoti apibendrinimai:

1. Tiriamojo atvejo charakteristikų vyraujančių reikšmių kitimo ribos: oro temperatūros šaltuoju metų laiku – nuo –10 iki 10 °C; vėjo greičių – nuo 1 iki 4 m/s; Saulės spinduliuotės – nuo 0 iki 100 W/m² (į šiuos intervalus patenka 70–80 % pasitaikančių reikšmių).

2. Atmetus išskirčių įtaką vidutinėms reikšmėms, taikant medianą nustatyta, kad oro temperatūros atžvilgiu poslinkis nuo aritmetinio vidurkio yra 1,4 °C į žemesnių temperatūrų pusę; Saulės spinduliuotės – vietoje 76,40 W/m² aritmetinio vidurkio tikslinga naudoti 40,14 W/m² vidutinės Saulės spinduliuotės reikšmę.
3. Kvartiliais apibūdinami vyraujančių reikšmių diapazonai yra: oro temperatūros – nuo –3,96 iki 9,08 °C; vėjo greičių – nuo 1,54 iki 3,30 m/s, Saulės spinduliuotės – nuo 15,17 iki 120,25 W/m².
4. Su 68 % tikimybe vidutinės reikšmės patenka į šiuos intervalus: oro temperatūros – nuo –5,97 iki 11,01 °C; vėjo greičių – nuo 1,20 iki 3,66 m/s; Saulės spinduliuotės – nuo 0 iki 154,72 W/m².
5. Su 95 % tikimybe vidutinės reikšmės patenka į šiuos intervalus: oro temperatūros – nuo –14,12 iki 19,16 °C; vėjo greičių – nuo 0,02 iki 4,84 m/s; Saulės spinduliuotės – nuo 0 iki 229,91 W/m².

Iš analizės rezultatų galima daryti išvadas:

1. Statistinė analizė suteikia papildomų žinių modeliuojant AEI integracijos mastą, būdą ir priemones. Dažnai inžinerinėje praktikoje naudojamos aritmetinės vidutinės duomenų reikšmės dėl chaotiškos AEI prigimties nepakankamai atspindi svarinių vykstančių reiškinų parametrų reikšmių centrą. Atsižvelgiant į tikrąjį reikšmių centrą, tikslinga modeliuojant sprendinius numatyti įrenginių veikimą nuolatinės apkrovos režimu.
2. Įvertinant vyraujančių reikšmių intervalus, galima pasirinktinai numatyti skirtingą technologinių sprendinių tikslą: generuoti tolydųjį energijos srautą panaudojant labiausiai vyraujančius AEI reiškinus; generuoti ne nuosekliai pavienius energijos pikus, kurie, tikėtina, bus būtini energijai akumuliuoti, kai nebus galimybės ją panaudoti iš karto.
3. Siekiant didesnio sprendinių, susijusių su AEI transformatorių modeliavimu ir AEI naudojimo masto didinimu, patikimumo, meteorologinių duomenų apdorojimas statistinės analizės būdu yra būtinas.

Padėka

Tyrimą finansavo Lietuvos mokslo taryba (sutarties Nr. ATE-03/2012). Autoriai dėkoja už pagalbą VGTU Civilinės inžinerijos mokslo centro Pastato energetikos ir mikroklimato sistemų laboratorijai.

Literatūra

- Angelis-Dimakis, A., *et al.* 2011. Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(2): 1182–1200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.049>

- Banos, R., *et al.* 2011. Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(4): 1753–1766. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.12.008>
- Cing-Hui, L., *et al.* 2011. A challenging approach for Renewable Energy market development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(1): 787–793. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.047>
- Connolly, D., *et al.* 2010. A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems, *Applied Energy* 87(4): 1059–1082. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.09.026>
- Čekanavičius, V.; Murauskas, G. 2000. *Statistika ir jos taikymas*. I tomas. Vilnius: leidykla TEV. 239 p. ISBN 9986-546-93-1.
- Demirhan, H.; Mentis, T.; Atilla, M. 2013. Statistical comparison of global solar radiation estimation models over Turkey, *Energy Conversion and Management* 68: 141–148. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.01.004>
- Erdinc, O.; Uzunoglu, M. 2012. Optimum design of hybrid renewable energy systems: Overview of different approaches, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(3): 1412–1425. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.011>
- Foley, A. M.; Leahy, P. G.; Marvuglia, A.; McKeogh, E. J. 2012. Current methods and advances in forecasting of wind power generation, *Renewable Energy* 37(1): 1–8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2011.05.033>
- Hoevenaars, E. J.; Crawford, C. A. 2012. Implications of temporal resolution for modeling renewables-based power systems, *Renewable Energy* 41: 285–293. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2011.11.013>
- Lee, K.; Yoo, H.; Levermore, G. J. 2010. Generation of typical weather data using the ISO Test Reference Year (TRY) method for major cities of South Korea, *Building and Environment* 45(4): 956–963. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.10.002>
- Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos (LHMT). Klimato kaitos apžvalga*, 2013 [interaktyvus], [žiūrėta 2013 m. liepos 10 d.]. Prieiga per internetą: http://meteo.lt/klim_kaita.php
- Meteorotest*. Meteoronorm version 7.0.20 – handbook, 2013 [interaktyvus], [žiūrėta 2013 m. liepos 4 d.]. Prieiga per internetą: www.meteoronorm.com.
- Muratori, M., *et al.* 2013. A highly resolved modeling technique to simulate residential power demand, *Applied Energy* 107: 465–473. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.02.057>
- Nygaard, I., *et al.* 2010. Using modelling, satellite images and existing global datasets for rapid preliminary assessments of renewable energy resources: The case of Mali, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(8): 2359–2371. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.04.001>
- Omar, H.; Kankar, B. 2012. Optimal planning and design of a renewable energy based supply system for microgrids, *Renewable Energy* 45: 7–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.087>
- Pezzini, P.; Gomis-Bellmunt, O.; Sudria-Andreu, A. 2011. Optimization techniques to improve energy efficiency in power systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(4): 2028–2041. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.009>
- Ranjevaa, M.; Kulkarnia, A. K. 2012. Design optimization of a hybrid, small, decentralized power plant for remote/rural areas, *Energy Procedia* 20: 258–270. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2012.03.026>
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Renewables (REN 21). *Global status report*. 2013 [interaktyvus], [žiūrėta 2013 m. rugpjūčio 1 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx>
- Skeiker, K.; Ghani, B. A. 2009. A software tool for the creation of a typical meteorological year, *Renewable Energy* 34(3): 544–554. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.046>
- Sorrentino, G.; Scaccianoce, G.; Morale, M.; Franzitta, V. 2012. The importance of reliable climatic data in the energy evaluation, *Energy* 48(1): 74–79. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.04.015>

PREPARATION OF METEOROLOGICAL DATA FOR INCREASING RENEWABLE ENERGY INTEGRATION

V. Žėkas, V. Martinaitis, G. Streckienė

Abstract

Along with a growth in the spread of renewable energy (RE) use, the demand of reliable and more detailed data about the disposable RE source is increasing. The paper presents the initial stage of processing meteorological data as baseline information for describing the RE potential. The analysis method of descriptive statistics has been applied for data processing. Research was performed to illustrate the benefit of the applied analysis. Using meteorological data collected in the Laboratory of Building Energy and Microclimate Systems of Civil Engineering Research Centre, the analysis of received findings and statistical processing was performed. The research showed that statistical characteristics gave additional valuable information about dominant RE streams in a particular location. It was determined that the chaotic nature of stream variation and occurred outliers of values influence the values of RE streams greatly when average magnitudes are calculated. Having the limits of values to RE stream variation and the weighted centre of distribution without outliers creates a possibility of selecting a RE transformer or their combination more objectively and choosing equipment operation parameters to use local conditions better. The evaluation of local meteorological conditions applying statistical methods may help both the energy user and the creator of a technological solution to developing sustainable RE expansion.

Keywords: meteorological data, renewable energy, descriptive statistics.