

Analiza wydajności energetycznej dwuwirnikowej turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu

Streszczenie. W pracy włączono się w powszechnie prowadzone rozważania dotyczące ekologicznych aspektów wytwarzania energii elektrycznej. Bardziej szczegółowo zajęto się wydajnością energetyczną turbin wiatrowych, przy czym skupiono się głównie na turbinach wiatrowych małej mocy o pionowej osi obrotu. Analizy przeprowadzono dla lokalizacji systemu w mieście Poznań. W końcowej części porównano własności użytkowe turbin o pionowej osi obrotu (VAWT) z powszechnie stosowanymi turbinami o poziomej osi obrotu (HAWT).

Abstract. The study joins the commonly conducted considerations regarding ecological aspects of electricity generation. The energy efficiency of wind turbines was analyzed in details, with a focus on low power wind turbines with a vertical axis of rotation. The analyzes were carried out for the system located in the city of Poznań. Finally, the performance characteristics of vertical rotation axis wind turbines (VAWT) were compared with commonly used horizontal axis wind turbines (HAWT). (Analysis of energy efficiency of a dual-rotor wind turbine with a vertical axis of rotation).

Słowa kluczowe: wydajność energetyczna turbin wiatrowych, turbiny o pionowej osi obrotu, ekologiczne wytwarzanie energii elektrycznej, rozkład Weibulla.

Keywords: energy efficiency of wind turbines, vertical axis wind turbines, ecological electricity generation, Weibull distribution.

Wstęp

Z działalnością człowieka wiązało się zawsze zapotrzebowanie na energię w różnych jej formach. Na przełomie wieków XX i XXI ma miejsce szczególnie dynamiczny rozwój techniczno-cywilizacyjny. W niesamowitym tempie rośnie zapotrzebowanie na energię elektryczną. Wiąże się z nim narastające problemy, do których należą z jednej strony kurczenie się paliw kopalnych, wykorzystywanych do produkcji energii, z drugiej zaś piętrzące się problemy ekologiczne (skażenie środowiska naturalnego, efekt cieplarniany itp.).

W dobie burzliwego rozwoju technicznego na świecie oraz związanych z nim i obecnie intensyfikowanych działań proekologicznych niezwykle ważnym zagadnieniem jest wytwarzanie energii w źródłach ekologicznych [1-16], nie wprowadzających niepożądanych substancji do środowiska. Przy generacji energii, jak niemal we wszystkich działaniach człowieka, dąży się do osiągnięcia celu w sposób z określonych względów najkorzystniejszy, czyli do optymalizacji. Wykorzystując różne metody deterministyczne, stochastyczne bądź empiryczne dąży się do uzyskania celu w najkrótszym czasie, przy najmniejszym zużyciu materiałów i surowców, minimalizując straty energetyczne [11,15,17,18]. Szczególnego znaczenia nabiera zatem efektywność wytwarzania energii w źródłach odnawialnych (ekologicznych) oraz ich upowszechnienie. Realizowane są na szeroką skalę badania naukowe zmierzające do wytworzenia i wdrożenia do eksploatacji coraz to nowszych rozwiązań proekologicznych źródeł energii [1-16]. Udoskonalane są technologie pozyskiwania energii z promieniowania słonecznego oraz z wiatru. Opracowywane i produkowane są ciągle doskonalsze rozwiązania modułów fotowoltaicznych, jak też realizowane prace zmierzające do ich najkorzystniejszego zagospodarowania [1-5,7-13,16]. Bardzo szeroko prowadzone są badania nad wykorzystaniem biomasy w procesach produkcji energii [6]. Unowocześniane i optymalizowane są konstrukcje turbin wiatrowych. Do użytku wprowadzone zostały konstrukcje turbin z poziomą i pionową osią obrotu, jak również systemy hybrydowe, w których wykorzystywane są turbiny wiatrowe, układy fotowoltaiczne oraz magazyny energii, stabilizujące ich funkcjonowanie [7,9-11,14,15].

We wszelkich działaniach związanych z wytwarzaniem, przesyłem, rozdziałem i przetwarzaniem (użytkowaniem)

energii elektrycznej niezwykle ważnymi zagadnieniami są jakość energii oraz wzajemne oddziaływania elektromagnetyczne, które powinny być uwzględniane we wszystkich układach, gdzie występują napięcia i płyną prądy [19-27]. Jakość energii wiąże się jednoznacznie z występowaniem i oddziaływaniem zaburzeń (czyli problematyką kompatybilności elektromagnetycznej). Analizy oddziaływań elektromagnetycznych należy przeprowadzać zarówno w obiektach wytwarzających energię elektryczną, jak również odbiorczych, których pobierane prądy wpływają na jakość energii w sieci zasilającej, prawidłowość pracy i żywotność urządzeń występujących w otoczeniu oraz na powstające straty energetyczne. Autorzy wielokrotnie zagadnienia te poruszali w swoich wcześniejszych artykułach, m.in. [19,20,26].

W pracy dokonano analizy parametrów elektrycznych dwuwirnikowej mikroinstalacji wiatrowej o pionowej osi obrotu (VAWT), dla warunków klimatycznych środkowej Polski. Z wykorzystaniem histogramu prędkości wiatru oraz na podstawie wyznaczonej charakterystyki mocy dokonano oszacowania potencjału produkcji energii elektrycznej. W tym celu wykorzystano rozkład funkcji prawdopodobieństwa Weibulla występowania wartości prędkości wiatru na danym obszarze, dostosowując jego parametry do uzyskanych wartości pomiarowych. Zwrócono uwagę na wady i zalety turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu w stosunku do powszechnie wykorzystywanych turbin z poziomą osią (HAWT).

Stanowisko badawcze

Analizowana hybrydowa turbina wiatrowa stanowi rozwiązanie wykorzystujące wirniki Darrieusa oraz Savoniusa zamknięte w jednej konstrukcji. Znamionowa moc elektryczna generatora turbiny wiatrowej wynosi 300 W, przy napięciu fazowym 12 V. Szczegółowe pozostałe parametry układu przedstawiono w tabeli 1.

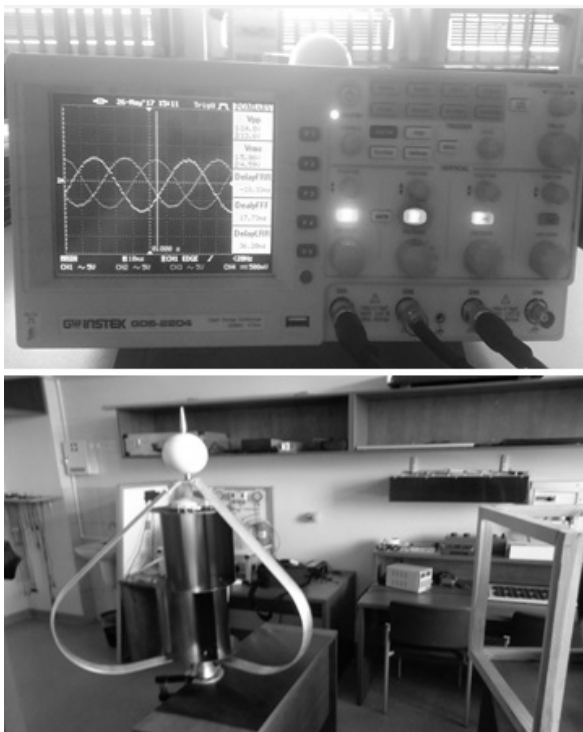
Badania wstępne polegały na porównaniu zbieżności uzyskanych wyników pomiarów laboratoryjnych z charakterystyką podaną przez producenta. Stwierdzono zadowalającą powtarzalność osiągniętych wyników. W przyszłości w układzie tym badany będzie wpływ zmiany obciążenia generatora turbiny wiatrowej (realizowanego przy użyciu odbiornika rezystancyjnego) na pracę jednostki w warunkach laboratoryjnych oraz rzeczywistych. Pomiar prędkości obrotowej wału turbiny wiatrowej oraz prędkości

liniowej wiatru przeprowadzono z wykorzystaniem tachometru DT 2236 oraz anemometru czasowego Windmaster 2. Symultaniczną zmianę obciążenia można realizować z wykorzystaniem trójfazowego rezystora suwakowego Contrex 332, 3 x 1000 Ω.

Tabela 1. Parametry turbiny wiatrowej VAWT

Parametr	Wartość
Prędkość startowa	1 m/s
Znamionowa prędkość wiatru	12 m/s
Maksymalna prędkość wiatru	15 m/s
Prędkość przetrwania	65 m/s
Rodzaj generatora	3-fazowy z magnesami trwałymi, AC
Prąd wyjściowy	< 20 A
Odstawienie turbiny wiatrowej	Zwarcie przewodów fazowych
Materiał łopaty	Stop aluminium
Wysokość/średnica	120/80 cm

Na rysunku 1 przedstawiono widok laboratoryjnego stanowiska pomiarowego wraz z oscyloskopową rejestracją generowanego napięcia 3-fazowego.



Rys.1. Stanowisko pomiarowe wykorzystane w trakcie badania turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu

Analiza potencjału produkcji energii elektrycznej

Rozkład Weibulla jest terminem z zakresu statystyki w postaci ciągłego dwuparametrycznego rozkładu prawdopodobieństwa. Stosowany jest do modelowania czasu eksploatacji urządzeń technicznych, określania ich niezawodności oraz żywotności poprzez wyznaczenie prawdopodobieństwa awarii i uszkodzenia, a nawet do modelowania czasu istnienia przedsiębiorstw [5,28-30]. Po odpowiednim dopasowaniu parametrów rozkład ten, z uwzględnieniem charakterystyki mocy elektrycznej turbiny wiatrowej w funkcji prędkości wiatru, może zostać wykorzystany w energetyce wiatrowej do szacowania wydajności energetycznej turbin zarówno o poziomej, jak również pionowej osi obrotu. Szczególnym przypadkiem rozkładu Weibulla jest rozkład Rayleigh'a. Rozkład prawdopodobieństwa Weibulla zmiennej objaśniającej (prędkości wiatru) można opisać zależnością [28-30]:

$$(1) \quad f(v) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{v}{\lambda}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{\lambda}\right)^k\right]$$

gdzie: k – parametr kształtu rozkładu prawdopodobieństwa, λ – parametr skali, v – prędkość wiatru.

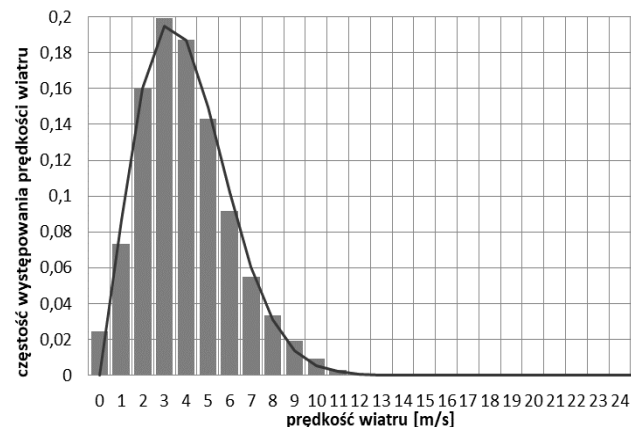
Rozkład Weibulla ma dystrybuantę w postaci [29]:

$$(2) \quad F(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{\lambda}\right)^k\right]$$

Parametr kształtu k charakteryzuje zmienność rejestrowanej prędkości wiatru w stosunku do uśrednionej wartości prędkości wiatru w ciągu badanego okresu czasu.

W celu określenia stopnia dopasowania parametrów rozkładu do danych pomiarowych, a tym samym jakości prognozy zmiennej losowej, można zastosować wybrane testy statystyczne takie jak Test Hollandera-Proschana (stosowany do danych kompletnych, uciętych i wielokrotnie uciętych), Test Manna-Scheuera-Fertiga i Test Andersona-Darlinga (dla próbek kompletnych o wielkościach pomiędzy 10 a 40).

Jako dane wejściowe do analizy wydajności energetycznej badanej turbiny wiatrowej wykorzystano historyczne dane prędkości wiatru dla miasta Poznań udostępniane przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej [31]. Próbkę pomiarową prędkości wiatru zostały zarejestrowane w 10-minutowych odstępach czasu na wysokości zawieszenia anemometru pomiarowego. Na rysunku 2 przedstawiono histogram częstości występowania poszczególnych prędkości wiatru dla analizowanego obszaru oraz krzywą rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej meteorologicznej.



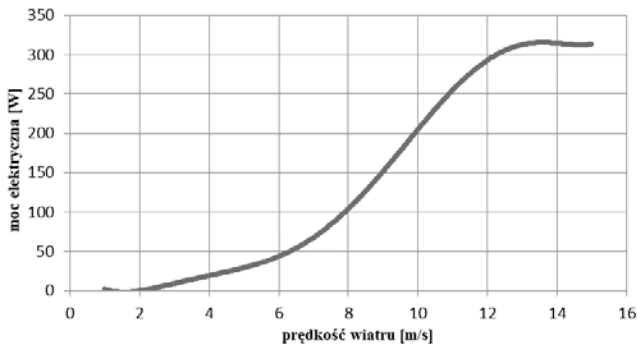
Rys.2. Histogram wartości prędkości wiatru dla miasta Poznań

Na podstawie uzyskanego wykresu częstości występowania poszczególnych prędkości wiatru dobrano wartości parametru kształtu i skali do analitycznej postaci funkcji prawdopodobieństwa Weibull'a odpowiednio $k = 2,11$ oraz $\lambda = 4,5$.

Wykorzystując charakterystykę mocy elektrycznej badanej turbiny wiatrowej VAWT (rys. 3) oraz informacje o prędkościach wiatru dokonano oszacowania prognozowanego uzysku energii elektrycznej w skali roku dla lokalizacji geograficznej miasta Poznań.

Porównując przedstawiony histogram wartości prędkości wiatru dla Poznania z charakterystyką mocy elektrycznej w funkcji prędkości wiatru turbiny VAWT zauważalna jest słaba korelacja tych wykresów w celu wytworzenia energii elektrycznej. Związane jest to z w ogóle mało korzystnymi warunkami produkcji energii na terenie Poznania przy wykorzystaniu turbin wiatrowych.

Wydajność energetyczną analizowanego układu w założonych warunkach oszacowano na 8,54%.



Rys.3. Charakterystyka mocy elektrycznej w funkcji prędkości liniowej wiatru turbiny VAWT o mocy znamionowej 300 W

Prognozowany roczny uzysk energii elektrycznej dla turbiny wiatrowej VAWT o mocy znamionowej 300 W jest na poziomie 220 kWh/rok. Uzyskane wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Prognozowana produkcja energii elektrycznej dla turbiny wiatrowej VAWT o mocy znamionowej 300 W

v [m/s]	P(v) [W]	Pn [%]	f(v)	f(v) · Pn [%]
0	0	0,00	0	0
1	1	0,33	0,084689142	0,027947417
2	5	1,67	0,159104244	0,265704088
3	8	2,67	0,195437824	0,521818991
4	12	4,00	0,188608628	0,754434513
5	29	9,67	0,151162686	1,461743174
6	52	17,33	0,103002959	1,785041287
7	72	24,00	0,060372789	1,448946928
8	100	33,33	0,03063162	1,020951892
9	155	51,67	0,013502114	0,697654222
10	198	66,00	0,005181324	0,341967365
11	255	85,00	0,001732996	0,147304633
12	302	100,67	0,000505519	0,050890618
13	310	103,33	0,000128638	0,013292153
14	312	104,00	2,85558E-05	0,002969804
15	315	105,00	5,529E-06	0,000580545
16	315	105,00	9,33493E-07	9,80167E-05
17	315	105,00	1,37385E-07	1,44254E-05
18	315	105,00	1,76181E-08	1,8499E-06
19	315	105,00	1,96782E-09	2,06621E-07
20	315	105,00	1,91347E-10	2,00915E-08
21	315	105,00	1,61908E-11	1,70003E-09
22	315	105,00	1,19155E-12	1,25113E-10
23	315	105,00	7,62348E-14	8,00465E-12
24	315	105,00	4,23816E-15	4,45007E-13
25	315	105,00	2,04635E-16	2,14867E-14
			Wydajność energetyczna [%]	8,54
			Roczny uzysk energii elektr. [kWh/rok]	219

Do istotnych zalet badanej hybrydowej turbiny wiatrowej VAWT należy zaliczyć:

- możliwość generacji energii elektrycznej przy niskiej wartości prędkości wiatru,
- stabilną pracę niezależnie od kierunku wiatru,
- brak konieczności stosowania mechanizmów naprowadzania wirnika turbiny do kierunku wiatru, co upraszcza jej konstrukcję, a zatem wpływa na aspekty ekonomiczne tego rozwiązania,
- możliwość instalacji turbiny wiatrowej na niższej wysokości bez stosowania wysokich masztów,
- ze względu na konstrukcję wirnika turbiny wiatrowej umożliwienie jej pracy przy znacznie wyższej prędkości wiatru w porównaniu do turbin o poziomej osi obrotu,
- wysoką wartość prędkości wiatru przetrwania,
- możliwość lepszego wykorzystania energii wiatru, zwiększenia współczynnika wykorzystania mocy oraz łatwiejszy rozruch turbiny ze względu na stosowanie turbin dwuwirnikowych.

Uwagi końcowe i wnioski

Na podstawie danych opublikowanych przez europejskie stowarzyszenie WindEurope w 2017 roku do systemu energetycznego z generacji wiatrowej przyłączono moc o wolumenie 16,8 GW (15,7 GW na terenie UE), zwiększając potencjał turbin wiatrowych w Europie do 169 GW [32]. Wielkość mocy zainstalowanej dotychczas w polskim sektorze energetycznym, pochodzącej z tej technologii, przekracza 5,85 GW (wartość raportowana przez Urząd Regulacji Energetyki na koniec III kwartału 2017 roku).

Wydajność produkcji energii elektrycznej przez turbiny wiatrowe jest obecnie znacznie niższa w porównaniu do powszechnie wykorzystywanych konwencjonalnych metod przetwarzania energii pierwotnych zawartych w paliwach kopalnych. Wzrost zainteresowania odnawialnymi źródłami energii, wymuszony narastającym zapotrzebowaniem na energię w dobie cywilizacyjnego rozwoju ludzkości, a także chęcią ograniczenia emisji szkodliwych związków jak SO_x, CO₂, NO_x i pyłów do otoczenia, wymusza intensyfikację prac nad niekonwencjonalnymi sposobami generacji energii elektrycznej, między innymi wykorzystującymi energię wiatru lub promieniowania słonecznego. Dodatkowym uzasadnieniem potrzeby stosowania i upowszechniania technologii OZE mogą być postanowienia – w zakresie przyszłości polityki energetycznej poszczególnych państw – zorganizowanej 3 grudnia 2018 roku globalnej konferencji klimatycznej ONZ - COP24 w Katowicach, jak również znaczne zmniejszenie przez Unię Europejską praw do emisji dwutlenku węgla przez państwa członkowskie.

Jednym ze sposobów prowadzących do lokalnego obniżenia zapotrzebowania na energię konwencjonalną jest produkcja energii elektrycznej z wykorzystaniem mikroturbin wiatrowych o pionowej osi obrotu, przystosowanych do instalacji w miejscach o ograniczonej wietrzności, w pobliżu zabudowy mieszkalnej lub na elementach jej infrastruktury, a tym samym obszarach bezpośredniego jej wykorzystania, co prowadzi do ograniczenia strat przy jej przesyłce na znaczne odległości.

Wykorzystanie histogramu prędkości wiatru (opisującego częstość występowania poszczególnych prędkości wiatru dla określonej lokalizacji geograficznej), charakterystyki mocy elektrycznej turbiny wiatrowej oraz zagadnienia statystycznego w postaci rozkładu prawdopodobieństwa Weibull'a umożliwia oszacowanie wartości rocznej produkcji energii elektrycznej dla rozpatrywanego obszaru klimatycznego. Dla rozważanej instalacji w mieście Poznań oszacowano roczny uzysk energii na poziomie niespełna 220 kWh. Należy zwrócić uwagę, że niska wartość obliczeniowa wynika z faktu, iż pomiar prędkości wiatru był realizowany w punkcie

pomiarowym różnym od miejsca właściwej instalacji turbiny wiatrowej, co daje podstawy do przypuszczania, że rzeczywista produkcja energii elektrycznej może osiągać wyższe wartości. Ponadto zaznaczyć należy, że miasto Poznań i jego okolice mają mało korzystne warunki do produkcji energii przy wykorzystaniu turbin wiatrowych.

Wprowadzanie prostych i tanich konstrukcji turbin wiatrowych (hybrydowych o pionowej osi obrotu) w przestrzeniach o mało korzystnych warunkach klimatycznych pozwoliłoby osiągnąć uzasadnienie techniczne i ekonomiczne do ich powszechnego wykorzystywania na terenie całego kraju. Zwiększanie skali produkcji tych urządzeń (dzięki upowszechnieniu) wpływałoby dodatkowo na obniżenie kosztów ich wytwarzania, a w rezultacie obniżenie ceny zakupu i dalszy wzrost opłacalności ich stosowania. Dzięki temu można byłoby ograniczać wytwarzanie energii w obiektach, których funkcjonowanie niekorzystnie wpływa na warunki środowiskowe (czyli w elektrowniach konwencjonalnych).

Wszystkie działania proekologiczne związane z produkcją energii elektrycznej poprzez odnawialne źródła są godne podchwycenia i skupienia na nich dużej uwagi. Nowatorskie pomysły w tym zakresie powinny być wspierane oraz w miarę możliwości rozwijane. Udoskonalanie konstrukcji wszelkich obiektów technicznych powinno w rezultacie wpływać na osiąganie poprawy gospodarowania energią i surowcami, przy jednocześnie korzystnym oddziaływaniu na środowisko człowieka. Obecnie obiecującą inwestycją w skali kraju jest projekt budowy morskiej farmy wiatrowej o mocy 1200 MW.

Autorzy: dr inż. Artur Bugała, dr inż. Karol Bednarek, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: Artur.Bugała@put.poznan.pl; Karol.Bednarek@put.poznan.pl.

LITERATURA

- [1] Bugała A., Bednarek K., The use of computer simulations and measurements in determining the energy efficiency of photovoltaic installations, *ITM Web of Conferences*, **19** (2018), 01021
- [2] Bugała A., Jastrzębska G., Janczak D., Dach J., Boniecki P., The influence of the wavelength and intensity of solar radiation on the power characteristics generated by the photovoltaic modules in tracking system, 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016, 2 – 5 November 2016, Vienna, Austria, 337 – 344
- [3] Bugała A., Frydrychowicz-Jastrzębska G., Zbytek Z., Dach J., Janczak D., Long – term performance evaluation of a fixed and solar follow – up systems with modified astronomical positioning in Polish conditions, International Conference on Frontiers of Sensors Technologies (ICFST 2016), *MATEC Web of Conferences*, 12 - 14 March 2016, Hong Kong, China, Article Number: UNSP 03004, **59** (2016)
- [4] Bugała A., Frydrychowicz-Jastrzębska G., Janczak D., Czekala W., Dach J., Zaborowicz M., Mathematical modelling of solar radiation for photovoltaic conversion, *ICEE International Conference on Energy and Environment*, 18 - 19 June 2015, Guimarães, Portugal, 721 – 727 (2015)
- [5] Bugała A., Bednarek K., Kasprzyk L., Tomczewski A., Statistical analysis of the electric energy production from photovoltaic conversion using mobile and fixed constructions, *EEMS 2017, E3S Web of Conferences*, **19** (2017), 01002, 1-6
- [6] Czekala W., Bartnikowska S., Dach J., et al., The energy value and economic efficiency of solid biofuels produced from digestate and sawdust, *Energy*, **159** (2018), 1118-1122
- [7] Gluchy D., Jarmuda T., Tomczewski A., Comparison of different configurations of the solar and wind power supply system with energy storage using Matlab, *ZKWE'2018, ITM Web of Conferences*, **19** (2018), UNSP 01023
- [8] Gluchy, D., Kurz, D., Trzmiel, G., Studying the impact of orientation and roof pitch on the operation of photovoltaic roof tiles, *Przegląd Elektrotechniczny*, **89** (2013), n.6, 281-283
- [9] Jurasz J., Piasecki A., Wdowikowski M., Assessing temporal complementarity of solar, wind and hydrokinetic energy, *EDP Sciences, E3S Web of Conferences*, **10** (2016), 00032
- [10] Jurasz J., Beluco A., Canales, F. A., The impact of complementarity on power supply reliability of small scale hybrid energy systems, *Energy*, **161** (2018), 737-743
- [11] Kasprzyk L., Tomczewski A., Bednarek K., Bugała A., Minimisation of the LCOE for the hybrid power supply system with the lead-acid battery, *EEMS'2017, E3S Web of Conferences*, **19** (2017), n.01030, 1-6
- [12] Korzeniewska E., Drzymala A., Szczesny A., et al., Photovoltaic power plants – legal, economic and ecological aspects, *Przegląd Elektrotechniczny*, **95** (2019), n.1, 69-72
- [13] Pawlak R., Kawczyński R., Korzeniewska E., Lebiada M., Rosowski A., Rymaszcwski J., Sibiński M., Tomczyk M., Walczak M., Ogniwa fotowoltaiczne o niekonwencjonalnych kształtach, *Przegląd Elektrotechniczny*, **89** (2013), nr7, 288-292
- [14] Tomczewski A., The use of kinetic power storages with a view to improving the conditions of cooperation of a wind turbine and an electric power system, *Przegląd Elektrotechniczny*, **86** (2010), n.6, 224-227
- [15] Tomczewski A., Kasprzyk L., Optimisation of the structure of a wind farm-kinetic energy storage for improving the reliability of electricity supplies, *APPLIED SCIENCES-BASE*, **8** (2018), 1439
- [16] Trzmiel G., Determination of a mathematical model of the thin-film photovoltaic panel (CIS) based on measurement data, *Maintenance and Reliability*, **19** (2017), n. 4, 516–521
- [17] Bednarek K., Jajczyk J., Effectiveness of optimization methods in heavy-current equipment designing, *Przegląd Elektrotechniczny*, **85** (2009), nr 12, 29-32
- [18] Knypiński L., Adaptation of the penalty function method to genetic algorithm in electromagnetic devices designing, *COMPEL*, **38** (2019) 1285-1294
- [19] Bednarek K., Electromagnetic action of heavy-current equipment operating with power frequency, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)*, **16** (2010), n. 3, 357-368
- [20] Bednarek K., Kasprzyk L., Suppression of higher harmonic components introduction to the networks and improvement of the conditions of electric supply of electrical equipment, *Przegląd Elektrotechniczny*, **88** (2012), nr 12b, 236-239
- [21] Jajczyk J., Dobrzycki A., Filipiak M., Kurz D., Analysis of power and energy losses in power systems of electric bus battery charging stations, *E3S Web of Conferences*, **19** (2017), 01027
- [22] Kasprzyk L., Pietracho R., Bednarek K., Analysis of the impact of electric vehicles on the power grid, *EKO-DOK 2018, E3S Web of Conferences* **44** (2018), 00065, 1-8
- [23] Piątek Z., Kusiak D., Szczegielniak T., Magnetic field of the shielded conductor, *Przegląd Elektrotechniczny*, **85** (2009), n.5, 92-95
- [24] Putz Ł., Kurzawa M., Two-Step Power Supply Application to Reduce THDi Ratio in LED Light Sources with Integrated Driver, *IEEE Xplore*, 10.1109/CPEE.2016.7738743
- [25] Putz Ł., Typańska D., Analysis of the light and energy performance inside a lobby with an illumination made in LED technology, *Przegląd Elektrotechniczny*, **90** (2014), nr 3, 111-114
- [26] Typańska D., Bednarek K., Bugała A., Kasprzyk L., Specificity of energetic functioning of economic activity objects, *EKO-DOK 2018, E3S Web of Conferences*, **44** (2018), 00010, 1-8
- [27] Wiczynski G., Voltage variability as a part of assessing the power quality, *Przegląd Elektrotechniczny*, **86** (2010), n.9, 47-50
- [28] Maddala G.S., Ekonometria, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014
- [29] Sobczyk M., Statystyka, wyd. 5, PWN, Warszawa 2016
- [30] Zeliaś A., *Metody statystyczne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa (2000)
- [31] www.imgw.pl
- [32] [www. http://www.ptmew.pl](http://www.ptmew.pl)