

Poprawa efektywności wykorzystania przyłącza energetycznego elektrowni wiatrowych

Streszczenie. Sektor energetyki wiatrowej w Polsce, jako wiodącej części odnawialnych źródeł energii elektrycznej przeżywa w ostatnich kilkunastu miesiącach dynamiczny rozwój. W niniejszym artykule podjęto rozważania dotyczące poprawy efektywności wykorzystania przyłącza energetycznego na przykładzie elektrowni wiatrowej ENERCON o mocy nominalnej 500 kW. Istotą proponowanej koncepcji poprawy efektywności wykorzystania przyłącza energetycznego dla pojedynczej elektrowni jest budowa drugiej elektrowni w bliskiej odległości oraz ograniczenie mocy maksymalnej dla obu jednostek. Taka konfiguracja powoduje korzyści dla okresów o słabej wietrzności ale jednocześnie straty produkcji dla okresów o dużej wietrzności. W artykule dokonano szczegółowej analizy bilansu zysków i strat na podstawie danych historycznych z okresu kilkunastu miesięcy dostępnych w systemie SCADA online oraz opartego na transmisji danych z wykorzystaniem GPRS. Przeprowadzono obliczenia bilansu dla symetrycznego ograniczenia mocy obu jednostek oraz różnych warunków wietrzności. Dokonano również próby analizy wpływu proponowanej konfiguracji na inne aspekty eksploatacji elektrowni wiatrowych.

Abstract. Wind energy sector in Poland, as the leading part of the renewable energy sources is experiencing in the last months a dynamic growth. One of the many factors which adversely affect the growth of the renewable energy sector are limited possibilities of connection to the medium voltage electrical grid, which in many parts of the country have almost running out. The main aim of the paper is to answer the question how to improve the efficiency of a grid connection of a single ENERCON wind turbine with a nominal power of 500 kW. The taken issue becomes especially important in areas with lower wind conditions, on which the grid connection degree of utilization is relatively low. The proposed idea to improve the efficiency of a grid connection is based on increasing the amount of operating wind turbine units, while limiting the maximum power produced by each of them. This article presents a detailed analysis of the balance of gains and losses based on historical data during several months of using the available on-line SCADA system based on the GPRS data transmission. Balance calculations were carried out for a symmetric output power limit of both units and the different wind conditions. (**Improving the efficiency of a grid connection for a single wind turbine with 500 kW capacity**).

Słowa kluczowe: Elektrownia wiatrowa, efektywność przyłącza energetycznego, krzywa mocy.

Keywords: Wind turbine, efficiency of a grid connection, power curve.

doi:10.12915/pe.2014.03.48

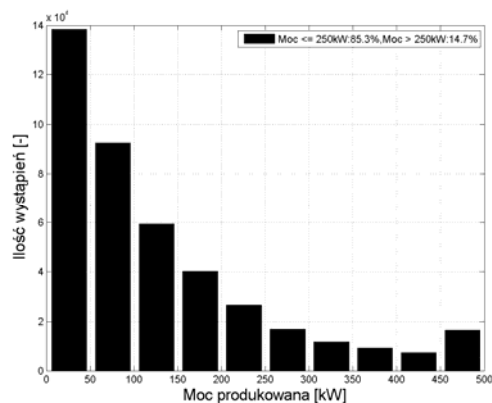
Wstęp

Dynamiczny rozwój energetyki wiatrowej w Polsce dotyczy zarówno małej, średniej jak również dużej energetyki wiatrowej, jednak problematyka podejmowana w tym artykule dotyczy głównie części małej i średniej a więc źródeł energii opartych na jednej lub kilku turbinach wiatrowych o mocy do 1 do 2 MW [1-3]. Jednym z wielu czynników wpływających niekorzystnie na rozwój tej części energetyki odnawialnej są ograniczone możliwości przyłączeniowe do sieci elektrycznej średniego napięcia, które w wielu częściach kraju uległy praktycznie wyczerpaniu. Podejmowana problematyka nabiera na znaczeniu szczególnie na obszarach o niższej wietrzności, na których stopień wykorzystania przyłącza energetycznego jest stosunkowo niski [4-6]. Proponowana idea poprawy efektywności przyłącza energetycznego polega na zwiększeniu ilości pracujących jednostek przy jednoczesnym ograniczeniu maksymalnej mocy produkowanej przez każdą z nich. Możliwość taką zapewnia automatyczny układ regulacji kąta nachylenia łopaty obecny w analizowanej elektrowni oraz możliwość lokalnej i zdalnej zmiany parametrów układu sterowania i regulacji, w tym przede wszystkim maksymalnej mocy turbiny dostarczanej do sieci elektrycznej. W artykule nie przeprowadzono kompleksowej analizy ekonomicznej proponowanego rozwiązania niezbędnej do jego obiektywnej oceny, ale skupiono się wyłącznie na analizie bilansu strat i korzyści powiązanych z ilością wyprodukowanej zielonej energii. Ograniczeniu maksymalnej mocy produkowanej dla elektrowni wiatrowej towarzyszą zawsze straty wynikające z niewyprodukowanej energii, jednak ich ilość zależy przede wszystkim od wietrzności w danej lokalizacji.

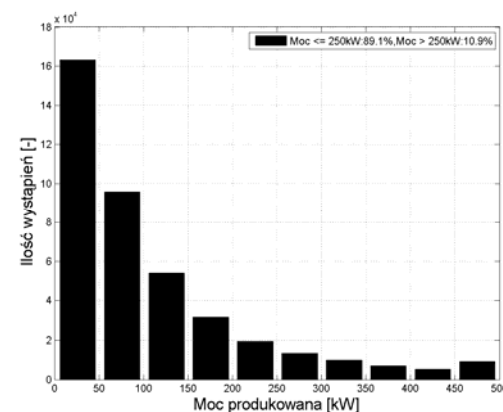
Eksperyment

Na potrzeby weryfikacji wysuniętej koncepcji poprawy efektywności wykorzystania przyłącza energetycznego dla elektrowni wiatrowej o mocy nominalnej 500 kW dokonano akwizycji niezbędnych danych pomiarowych z dwóch

oddzielnych lokalizacji. Lokalizacje te charakteryzowały się odmiennymi warunkami wietrzności dzięki czemu umożliwiły konfrontację wyników oraz pełniejszy obraz skutków wprowadzenia ograniczenia mocy maksymalnej elektrowni.



a)



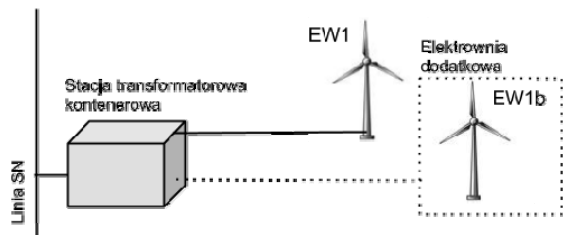
b)

Rys.1. Histogramy produkowanej mocy chwilowej elektrowni a) – dla elektrowni EW1 a) – dla elektrowni EW2

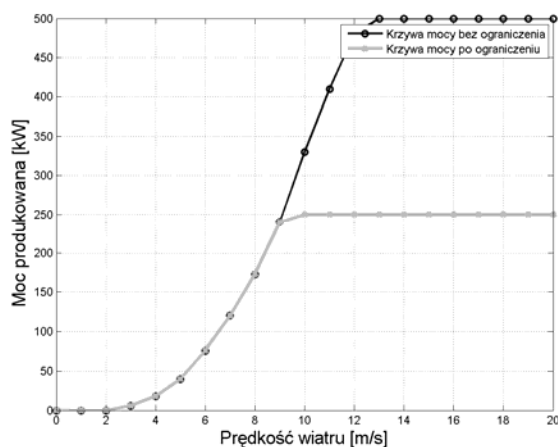
Źródłem analizowanych danych jest system monitoringu SCADA w wersji on-line umożliwiający swobodny eksport danych w postaci tekstowej [7-9]. Zebrane dane pochodzą z dwóch elektrowni Enercon E40 o bezprzekładniowej konstrukcji i mocy nominalnej 500 kW odległych od siebie o ok. 100 km.

Elektrowniom tym przypisano identyfikatory EW1 oraz EW2 przy czym elektrownia EW1 charakteryzuje się lepszymi warunkami wietrzności a tym samym większą produkcję energii o ok. 15-20%. Bezpośredniego porównania produkcji obu lokalizacji dokonano na Rys. 1 za pomocą histogramów składających się z 10 klas o szerokości równej 50 kW. Dane obejmują okres niespełna 12 miesięcy (od stycznia 2012 r. do grudnia 2012) i zostały archiwizowane z częstotliwością 60 rekordów na godzinę co przekłada się na całkowitą ilość obrabianych danych wynoszącą blisko 500 000 pomiarów. Na każdy rekord danych składała się jednogodzinowa średnia arytmetyczna mocy elektrycznej produkowanej przez turbinę oraz wskaźnik poprawności danych pomiarowych umożliwiający odrzucenie danych podczas okresów prowadzonych na obiekcie prac serwisowych, dłuższych planowanych i nieplanowanych wyłączeń elektrowni oraz ewentualnych zaburzeń prawidłowej pracy systemu akwizycji i transmisji danych z komputera elektrowni. Wektor danych został poddany wstępnej obróbce poprzez odrzucenie wartości produkcji równej zero. Tym samym okresy bezwietrzne zostały całkowicie odrzucone ponieważ nie wnoszą żadnej istotnej informacji z punktu widzenia postawionego celu tej pracy jakim jest poprawa efektywności produkcji energii. Należy tutaj podkreślić, iż taka operacja zmienia kształt prezentowanych w tej pracy histogramów tej wielkości, najbardziej w ich początkowej części.

Uproszczony schemat ideowy proponowanej i analizowanej koncepcji został przedstawiony na Rys. 2.



Rys.2. Schemat poglądowy koncepcji poprawy efektywności wykorzystania przyłącza energetycznego dla pojedynczej elektrowni wiatrowej EW1 o mocy 500kW

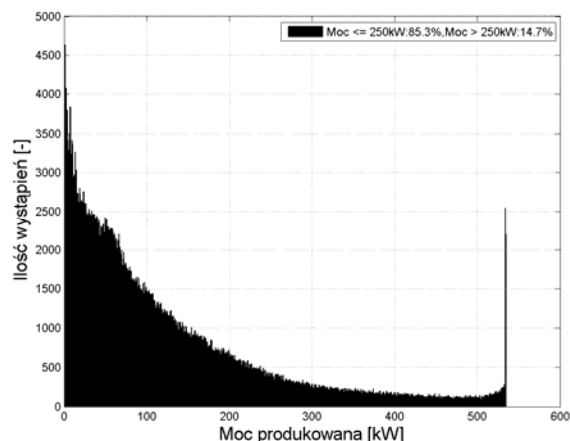


Rys.3. Krzywe mocy elektrowni wiatrowej o $P_n=500$ kW bez ograniczenia (krzywa nominalna) i po zastosowaniu ograniczenia produkcji

Propozycja polegająca na dodaniu drugiej jednostki o identycznych parametrach zakłada wykorzystanie istniejącej kontenerowej stacji transformatorowej w celu minimalizacji kosztów inwestycyjnych jednak na potrzeby artykułu nie podjęto próby dogłębnej analizy takiego rozwiązania z punktu widzenia technicznego i ekonomicznego. Istotną rolę odgrywać może tutaj aspekt związany z modernizacją stacji transformatorowej, której wyposażenie elektryczne najczęściej nie uwzględnia potrzeb związanych z przyłączeniem drugiej jednostki produkcyjnej. Kolejnym elementem koncepcji jest jednocześnie ograniczenie maksymalnej mocy każdej z elektrowni wiatrowych do 50% mocy nominalnej. Skutek zastosowanego ograniczenia na krzywą mocy elektrowni ilustruje Rys. 3. Pokazuje on zarówno krzywą mocy analizowanej elektrowni (bez ograniczenia mocy maksymalnej) oraz wynikową krzywą mocy elektrowni po zastosowaniu ograniczenia mocy produkowanej na poziomie 250 kW. Celem dalszej dyskusji jest sporządzenie bilansu elektrycznego takiego rozwiązania oraz ocena strat i korzyści w zakresie produkcji energii z jego wprowadzenia.

Dyskusja

Analizę bilansu produkcji energii dla proponowanej koncepcji przeprowadzono dwuetapowo. Etap I polegał na analizie statystycznej mocy produkowanej przez turbinę w badanym okresie. Etap II natomiast polegał na oszacowaniu ilości energii wyprodukowanej przez jednostkę pracującą w warunkach nominalnych oraz w warunkach ograniczonej mocy maksymalnej. Następnie dokonano konfrontacji uzyskanych wyników dla obu badanych jednostek – EW1 oraz EW2.



Rys.4. Histogram liczebności produkowanej mocy chwilowej dla badanej elektrowni EW1 przy minimalnej szerokości klas wynoszącej 1 kW

Wektor danych pomiarowych dla elektrowni EW1, po zastosowaniu założeń wstępnej obróbki danych, został skrócony do ok. 418 tys. rekordów. Histogram produkowanej mocy chwilowej elektrowni EW1 dla wektora danych został sporządzony na Rys. 4. Należy tutaj podkreślić, iż dla obu przedstawianych elektrowni wiatrowych maksymalna moc, wynikająca z ustawień parametrów konfiguracyjnych układu sterowania, wynosi 530 kW (widoczne na Rys. 4 oraz Rys. 6). Zastosowanie minimalnej szerokości klas równej 1 kW umożliwiło dokładne określenie procentowej ilości punktów poniżej i powyżej wartości granicznej określonej na 250kW:

EW1.Moc <= 250 kW:	85,3 %,
EW1.Moc > 250 kW:	14,7 %.

W celu umożliwienia zestawienia obu lokalizacji dla wektora danych oznaczono również produkowaną moc średnią wynoszącą:

EW1.Moc średnia: 128,0 kW.

Przypisując każdej wartości mocy produkowanej w wektorze danych okres 1 minuty można wyznaczyć histogram wyprodukowanej energii - przeskalowany histogram mocy elektrowni EW1 (Rys. 5). Na jego podstawie wyznaczono następujące wskaźniki związane z ilością produkowanej energii:

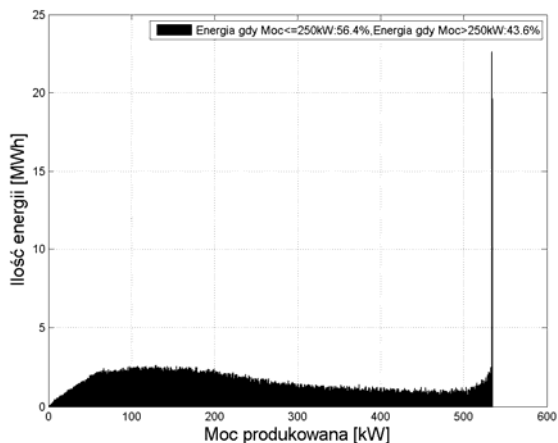
EW1.Energia gdy Moc <= 250kW: 56,4 %,
EW1.Energia gdy Moc > 250kW: 43,6 %.

Oszacowana częściowa i sumaryczna ilość wyprodukowanej energii dla EW1:

EW1.Energia gdy moc <= 250 kW: 503,8 MWh,
EW1.Energia gdy moc > 250 kW: 389,0 MWh,
EW1.Energia bez limitu (całkowita): 892,8 MWh.

Ostateczny bilans energii proponowanej koncepcji dla elektrowni EW1 wyniósł:

EW1.Szacunkowa energia z limitem: 760,6 MWh,
EW1.Szacunkowa utrata energii: 132,2 MWh,
EW1.Szacunkowa utrata energii: 14,8 %.



Rys.5. Histogram energii - przeskalowany histogram mocy elektrowni EW1

Wektor danych pomiarowych dla elektrowni EW2, po zastosowaniu założeń wstępnej obróbki, został skrócony do ok. 409 tys. rekordów. Histogram produkowanej mocy chwilowej elektrowni EW2 dla wektora danych został sporządzony na Rys. 6 i umożliwił określenie procentowej ilości punktów poniżej i powyżej wartości granicznej określonej na 250 kW:

EW2.Moc <= 250 kW: 89,0 %,
EW2.Moc > 250 kW: 10,9 %.

W celu zestawienia obu lokalizacji dla wektora danych oznaczono również moc średnią wynoszącą:

EW2.Moc średnia: 106,3 kW.

Przypisując każdej wartości mocy produkowanej w wektorze danych okres 1 minuty można wyznaczyć histogram wyprodukowanej energii - przeskalowany histogram mocy elektrowni EW2 (Rys. 7). Na jego podstawie wyznaczono następujące wskaźniki:

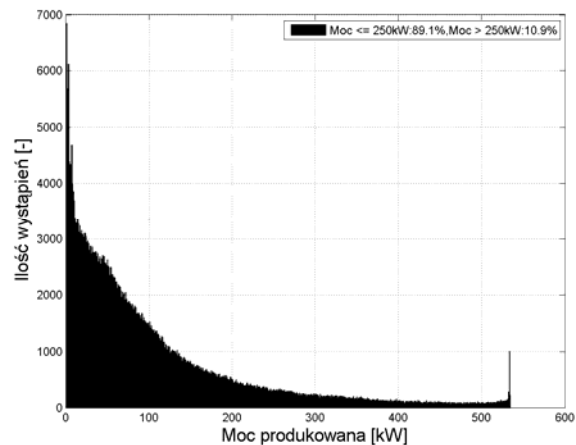
EW2.Energia gdy moc <= 250 kW: 62,5 %,
EW2.Energia gdy moc > 250 kW: 37,5 %.

Oszacowana częściowa i sumaryczna ilość wyprodukowanej energii dla EW2:

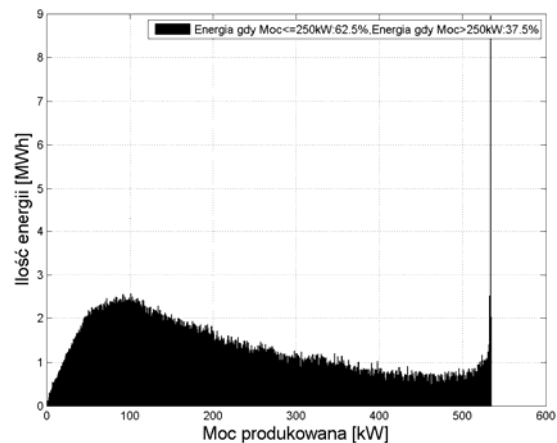
EW2.Energia gdy moc <= 250kW: 452,7 MWh,
EW2.Energia gdy moc > 250kW: 271,7 MWh,
EW2.Energia bez limitu (całkowita): 724,4 MWh.

Ostateczny bilans energii proponowanej koncepcji dla EW2 wyniósł:

EW2.Szacunkowa energia z limitem: 639,0 MWh,
EW2.Szacunkowa utrata energii: 85,4 MWh,
EW2.Szacunkowa utrata energii: 11,8 %.



Rys.6. Histogram liczebności produkowanej mocy chwilowej dla badanej elektrowni EW2 przy minimalnej szerokości klas wynoszącej 1 kW



Rys.7. Histogram energii - przeskalowany histogram mocy elektrowni EW2

Tabela 1. Porównanie bilansu energii przed i po zastosowaniu ograniczenia produkowanej mocy dla lokalizacji EW1 i EW2.

Wielkość	EW1	EW2
Energia bez limitu (całkowita)	892,8 MWh	724,4 MWh
Szacunkowa energia z limitem mocy	760,6 MWh	639,0 MWh
Strata energii wynikająca z limitu mocy	132,2 MWh 14,8 %	85,4 MWh 11,8 %
Energia dwóch ograniczonych elektrowni	1521,2 MWh 170%	1278 MWh 176%

Liczbowe podsumowanie proponowanej koncepcji poprawy efektywności wykorzystania przyłącza energetycznego dla

pojedynczej elektrowni wiatrowej o mocy 500 kW zawiera Tab.1. Tabela zawiera porównanie bilansu produkcji energii elektrycznej przed i po zastosowaniu ograniczenia produkowanej mocy dla lokalizacji EW1 i EW2. Energia bez limitu stanowi całkowitą i rzeczywistą ilość energii wyprodukowaną przez daną jednostkę w danej lokalizacji, w analizowanym okresie czasu oraz przy określonych warunkach wietrzności. Szacunkowa energia z limitem mocy stanowi oszacowaną w tym artykule ilość energii wyprodukowaną przez daną elektrownię wiatrową po zastosowaniu ograniczenia maksymalnej mocy produkowanej na poziomie połowy mocy nominalnej. Strata energii wynikająca z limitu mocy dotyczy pojedynczej elektrowni oraz skutków ograniczenia jej mocy maksymalnej dla okresów o dużej prędkości wiatru, dla której elektrownia powinna produkować powyżej 250 kW mocy. Energia dwóch ograniczonych elektrowni dotyczy konfiguracji z Rys. 2 tzn. równoległej pracy dwóch identycznych elektrowni. Dla lokalizacji EW1 całkowity bilans energii wyniósł 170% w stosunku do pojedynczej elektrowni pracującej w warunkach nominalnych. Dla lokalizacji EW2 efektywność proponowanej koncepcji jest większa i wynosi 176%.

Wnioski

Przeprowadzona analiza mocy i energii dla dwóch lokalizacji elektrowni pozwoliła na sformułowanie szeregu wniosków w zakresie korzyści proponowanej koncepcji poprawy efektywności wykorzystania przyłącza energetycznego dla pojedynczej elektrowni wiatrowej. Obliczenia przeprowadzono dla dwóch elektrowni o mocy nominalnej 500kW, jednak uzyskane wyniki można z powodzeniem odnieść również do jednostek o mniejszych i większych mocach generatora. Wyznaczone wartości mocy średnich dla wektorów danych potwierdzają występowanie lepszych warunków wiatrowych dla lokalizacji EW1. Ma to również swoje odzwierciedlenie w wartościach oszacowanej całkowitej energii wyprodukowanej dla obu lokalizacji. Najważniejszym wskaźnikiem jest szacunkowa strata energii wynikająca z ograniczenia mocy maksymalnej turbiny do połowy mocy nominalnej. Procentowa strata energii dla elektrowni EW1 wyniosła 14,8 % a dla EW2 jedynie 11,8 %. Można szacować, że straty te w zależności od wietrzności w danej lokalizacji mogą wynosić od kilku do kilkunastu procent. Należy tutaj podkreślić, że im gorsze warunki wietrzności tym straty spowodowane ograniczeniem mocy będą mniejsze. Straty te dotyczą pojedynczej elektrowni, jednak całkowita ilość energii wyprodukowana przez dwie identyczne jednostki w lokalizacji EW2 wyniesie 176 % energii dla jednej elektrowni pracującej bez ograniczeń, co pozwala pozytywnie ocenić opłacalność takiego przedsięwzięcia i uzasadnia dalsze prace związane z modelem rozwoju małej energetyki wiatrowej w Polsce. Na szczególną uwagę zasługuje również aspekt redundancji produkcji dla układu dwóch

elektrowni, w którym każda z nich może przejąć całkowitą produkcję w przypadku przestoju jednej z nich spowodowanej awariami i pracami serwisowymi. Właściwość ta stanowi dodatkowy atut proponowanej koncepcji poprawy efektywności wykorzystania przyłącza energetycznego.

LITERATURA

- [1] Boczar T., Energetyka wiatrowa. Aktualne możliwości wykorzystania, *Wyd. Pomiar Automatyka Kontrola*, Gliwice, (2007)
- [2] Paska J., Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa (2010)
- [3] Szmechta M., Zmarzły M., Adamkiewicz N., Analiza statystyczna parametrów pracy elektrowni wiatrowej o mocy nominalnej 1,2 MW, *Pomiary Automatyka Robotyka*, 12 (2010), 65-68
- [4] Dragomir D., Golovanov N., Postolache P., Toader C., The connection to the grid of wind turbines, *PowerTech, 2009 IEEE Bucharest*, June 28 2009-July 2 2009, (2009), 1-8
- [5] Robak, S. Rasolomampionona, D. Kacejko, P. Sobierajski, M., Assessment of power system ability to connect new energy sources: Part I – Requirements and assumptions, *Rynek Energii*, 1 (2012), 11-16
- [6] Robak, S. Rasolomampionona, D. Kacejko, P. Sobierajski, M., Assessment of power system ability to connect new energy sources: Part II – Linear optimization of wind generation, *Rynek Energii*, 2 (2012), 55-63
- [7] Szmechta M., Aksamit P., Modeling packet delay distributions in an industrial telemetry system, *5th International Symposium on Computational Intelligence and Intelligent Informatics ISCIII 2011*, September 15-17, Floriana, Malta, (2011), 71-74
- [8] Boczar T., Szmechta M., Szczyrba T., System monitorowania elektrowni wiatrowych z wykorzystaniem technologii webowych, *Electrical Engineering, Poznan University of Technology Academic Journals*, 74 (2013), 211-218
- [9] Szmechta M., Boczar T., Szczyrba T., Analiza porównawcza możliwości systemów SCADA w wersji off-line i on-line na przykładzie turbiny wiatrowej Tacke TW600, *Electrical Engineering, Poznan University of Technology Academic Journals*, 74 (2013), 219-226

Autorzy: dr inż. Marek Szmechta, Politechnika Opolska, Instytut Elektroenergetyki i Energii Odnawialnej, ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole, E-mail: m.szmechta@po.opole.pl;
dr inż. Paweł Aksamit, Politechnika Opolska, Instytut Elektroenergetyki i Energii Odnawialnej, ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole, E-mail: pawel.aksamit@gmail.com.