

Nowa metoda szacowania możliwości przyłączeniowych generacji wiatrowej w KSE z uwzględnieniem ograniczeń bilansowych

Streszczenie. Celem artykułu jest przedstawienie nowej metody szacowania możliwości przyłączeniowych generacji wiatrowej do Krajowego Systemu Elektroenergetycznego oraz zbadanie bilansowania KSE przy uwzględnieniu różnych wartości mocy zainstalowanej w farmach wiatrowych. Autorzy dokonali próby opracowania kryterium, według którego mogłaby być wyznaczana graniczna wartość dopuszczalnej mocy zainstalowanej w generacji wiatrowej i przyłączanej do KSE.

Abstract. The aim of the paper is to present a new method for assessing connection potential of wind power generation to the National Power System (NPS) and an analysis of power balancing in NPS taking into account varying values of the installed power in wind farms. The authors have attempted to develop a criterion to make a basis to determine a boundary value of allowed installed power in wind farms and connected to NPS (A new method for estimating connection potential of wind power into National Power System with power balancing constraints).

Słowa kluczowe: energetyka wiatrowa, bilansowanie KSE, szacowanie możliwości przyłączeniowych energetyki wiatrowej

Keywords: wind generation, power system balance, estimation interconnection capabilities of wind generation

doi:10.12915/pe.2014.03.08

Wstęp

Obecnie trudno realnie ocenić moc jednostek energetyki wiatrowej, która może pracować w polskim systemie elektroenergetycznym w latach 2020 – 2025. Obecnie moc ta osiągnęła 2500 MW. Przyszłe zainteresowanie inwestorów energetyką wiatrową może być regulowane przez rozwiązania prawne dotyczące systemów wsparcia jak też ograniczenia administracyjne wprowadzane przez operatorów sieci bądź na ich wniosek.

Z analizy dostępnych danych operatorów sieci, można stwierdzić, że pod koniec 2012 r. wydano warunki przyłączenia do sieci, dla farm o łącznej mocy 20 570 MW (w tym 9070 MW do sieci przesyłowej, 9700 MW do sieci 110 kV, 1800 MW do sieci SN). Do sieci przesyłowej przewiduje się przyłączenie farm morskich o mocy 2250 MW. Warto także zwrócić uwagę, że w 2010 roku wartość sumarycznej mocy farm wiatrowych posiadających wydane warunki przyłączenia wynosiła 12 100 MW, tak więc w ciągu trzech lat wartość ta wzrosła o 8 000 MW. Jak widać zatem, ani konieczność wpłacania zaliczek, ani konieczność wprowadzania zmian do planów zagospodarowania przestrzennego nie powstrzymały zainteresowania energetyką wiatrową. Z drugiej jednak strony, umowy o przyłączenie Operatorzy podpisali z podmiotami dla których moc farm wynosi 13 800 MW. Oznacza to, że dla obiektów o mocy prawie 7000 MW, pomimo wydania warunków przyłączenia trwają spory związane z treścią tych umów, a ich rozstrzygnięcie nie jest przesądzone. W rezultacie można stwierdzić, że brak jest jednoznacznej odpowiedzi na postawione niżej pytania:

Czy plany i możliwości inwestorów nielimitowane ograniczeniami bilansowymi doprowadziłyby do zbudowania w Polsce do 2025 roku farm o mocy ponad 20 000 MW oraz czy rzeczywiste ograniczenia o charakterze środowiskowym, społecznym, finansowym, sieciowym, infrastrukturalnym nie ograniczyłyby mocy wybudowanych farm do wartości 7000 – 8000 MW?

Stosując podejście i metody obliczeniowe stosowane we wcześniejszych pracach [1, 2] autorzy zbadali przy jakim poziomie mocy zainstalowanej w farmach wiatrowych (przy realnych założeniach odnośnie ich lokalizacji oraz warunków wietrzności) możliwa jest ich praca bez żadnych ograniczeń, a jak wzrost wartości mocy zainstalowanej wpływa na konieczność wprowadzanie ograniczeń generacyjnych i jaki jest ich poziom. W artykule

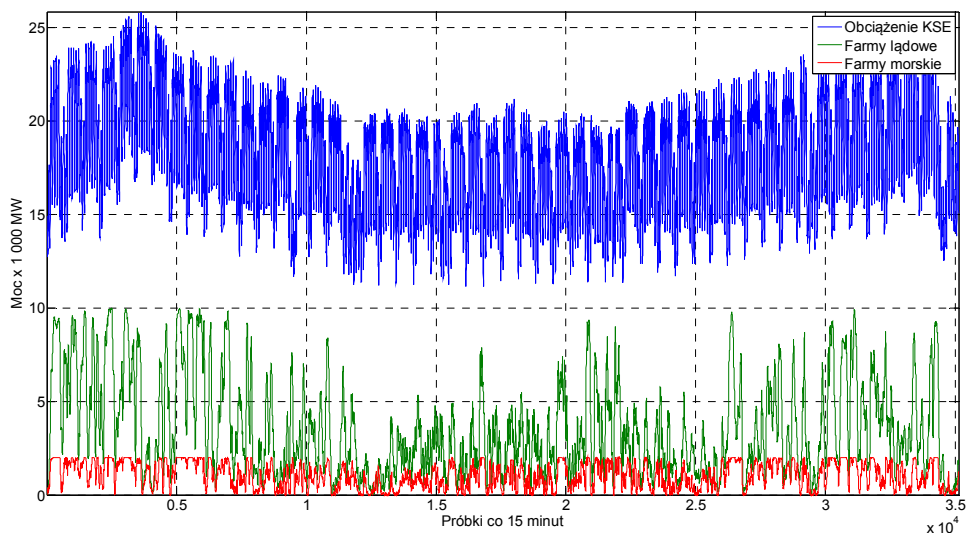
przedstawiono także skutki budowy farm morskich i ich wpływ na wartość mocy granicznej.

Wydaje się wątpliwe uzyskanie zgodny (formalnej i społecznej) na wybudowanie w Polsce zgrupowań wiatraków o mocy przekraczającej 150 - 250 MW (60 - 100 wież po 2,5 MW) jak również dla terenów o gęstej zabudowie i intensywnej gospodarce rolnej moce farm na poziomie 60 – 100 MW także wydają się zawyżone. Trudno realnie ocenić moc jednostek energetyki wiatrowej, która może pracować w polskim systemie elektroenergetycznym w latach 2020 – 2025 – 2030, ale warto zdać sobie sprawę z różnego rodzaju ograniczeń.

W związku z powyższymi problemami autorzy postawili sobie z zadanie określenie wpływu generacji wiatrowej na funkcjonowanie KSE przy założeniu przyłączenia farm o mocy zainstalowanej 12 000 MW do roku 2030. Oczywiście moc w farmach wiatrowych będzie stopniowo rosła, tak więc starano się określić poziom pewien „bezpieczny” poziom mocy na przestrzeni do roku 2030. Za „bezpieczny” poziom mocy zainstalowanej w farmach wiatrowych uznano poziom akceptowalny ze względu na możliwości bilansowe KSE. Możliwe są oczywiście także inne kryteria, ale kryterium bilansowe wydaje się najbardziej naturalne.

Symulacja możliwości generacji wiatrowej w Polsce i obciążenia KSE do roku 2030

Do realnych możliwości generacji wiatrowej w Polsce autorzy nawiązywali we wspomnianych pracach [1, 2]. Model symulacyjny zbudowano w oparciu o następujące założenia tj.: uwzględniono 217 lokalizacji farm wiatrowych (FW) posiadających aktualne warunki przyłączenia do sieci WN (110, 220 kV), moc do 12000 MW (10000 MW na lądzie, 2000 MW na morzu) oraz na ich podstawie dokonano symulacji warunków wiatrowych w/w lokalizacjach przy pomocy atlasu wiatru ANEMOS®. Przebiegi obciążeń KSE Przebieg obciążeń KSE na 2012 przeskalowywano do poziomu prognozowanego na rok 2020, 2025, 2030. Przykładowe przebiegi obciążenia KSE i generacji wiatrowej z uwzględnieniem rozdziału na farmy lądowe i morskie przedstawiono na rysunku 1. Analiza przebiegów sumarycznych mocy generacji wiatrowej lądowej i morskiej pokazuje, że farmy morskie charakteryzują się dużo stabilniejszą pracą i tym samym stabilniejszą generacją mocy, co jest niewątpliwą zaletą ze względu na planowanie pracy i bilansowanie KSE.

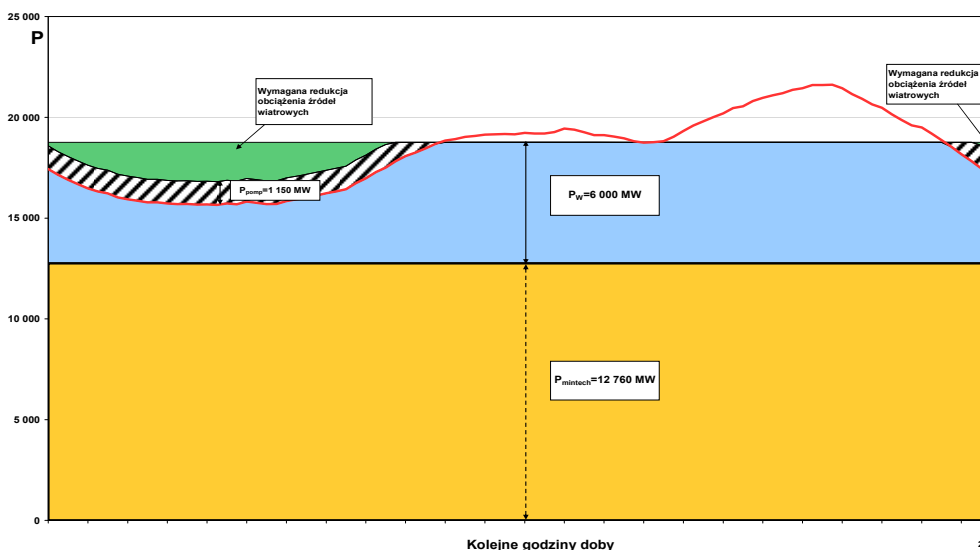


Rys. 1. Realne obciążenie KSE w 2012 r. oraz symulowana generacja farm na lądzie o moc zainstalowanej - 10000 MW i farm na morzu o mocy zainstalowanej 2000 MW

Praca i bilansowanie Krajowego Systemu Elektroenergetycznego z uwzględnieniem znacznej generacji wiatrowej do roku 2030

Powołując się na opracowania PSE S.A. można stwierdzić że podstawowy bilans mocy jest zachowany w KSE dla dnia roboczego z wysoką generacją źródeł wiatrowych na poziomie 6000 MW, gdzie wysoka generacja wiatrowa w czasie dolin zapotrzebowania na moc może być skompensowana poprzez pracę źródeł szczytowo-pompowych, których moc szacowana jest na około 1500 MW. Jeżeli jednak analizuje się bilans dobowy dni weekendowych lub dni świątecznych, PSE wykazuje

poważne problemy ze zbyt wysoką generacją wiatrową w systemie ponieważ elektrownie szczytowo-pompowe nie wystarczają do odebrania nadwyżki mocy pochodzącej z generacji wiatrowej. Przedstawiony przypadek został zilustrowany na rysunku 2. Obecne narzędzia i modele meteorologiczne pozwalają na dość dokładne prognozy warunków wiatrowych i tym samym dosyć dokładne oszacowanie dostępnych mocy z generacji wiatrowej. W przytoczonych analizach przyjęto stały poziom mocy generowanej przez okres całej doby, jednak autorzy podjęli próbę analizy bilansowania KSE przy założeniu naturalnej zmienności generacji wiatrowej.



Rys. 2. Podstawowy bilans mocy w KSE dla weekendu z wysoką generacją źródeł wiatrowych (okres jesienno-zimowy 2020) wg opracowań PSE S.A.

Analiza bilansowania KSE z uwzględnieniem znacznej generacji wiatrowej polegała na określeniu przebiegu w czasie bilansu mocy w KSE $\Delta P_{BIL}(t)$, które może zostać wyrażone następująco:

$$(1) \quad \Delta P_{BIL}(t) = P_{MINtech} + P_{FW}(t) - P_{KSE}(t)$$

gdzie: $\Delta P_{BIL}(t)$ – moc niezbilansowania KSE w czasie, $P_{MINtech}$ – minimum techniczne jednostek ciepłych, $P_{FW}(t)$ – moc energetyki wiatrowej, $P_{KSE}(t)$ – moc odbiorów.

Analizując równanie (1) łatwo zauważyć, że jeżeli tak określona moc $\Delta P_{BIL}(t)$ będzie wartością ujemną, to warunki bilansowania są spełnione i resztę zapotrzebowania na moc w KSE pokryją inne elektrownie klasyczne. Jeżeli natomiast wartość tak określonej mocy niezbilansowania $\Delta P_{BIL}(t)$ będzie wartością dodatnią, oznacza to że mocy z generacji wiatrowej jest za dużo w systemie i konieczna jest jej redukcja aby uniknąć wszystkich negatywnych skutków związanych z nadwyżką mocy w KSE łącznie z najbardziej niekorzystnymi przepływami transgranicznymi. Występujące

w równaniu (1) minimum techniczne jednostek konwencjonalnych $P_{MINtech}$ zostało przyjęte na poziomie 12 500 MW w okresie zimowym oraz 10500 w okresie letnim, natomiast obciążenie KSE oznaczone jako $P_{KSE}(t)$ zostało odpowiednio przeskalowane/prognozowane na kolejne lata od 2012 do roku 2030. Tabela 1 przedstawia charakterystyczne wartości wybranych rocznych przebiegów obciążenia KSE w wykonanych symulacjach i analizach.

Tabela 1 Prognozowane obciążenie KSE do roku 2030

Wariant/rok	2020	2025	2030
Szczyt ranny letni	24 183 MW	25 998 MW	27 813 MW
Dolina letnia	17 901 MW	19 246 MW	20 591 MW
Szczyt zimowy	31 406 MW	33 761 MW	36 116 MW

Wykorzystując przedstawione założenia, dokonano symulacji w celu uzyskania przebiegu $\Delta P_{BIL}(t)$. Symulacje przeprowadzono dla poszczególnych lat skalowanego obciążenia KSE przy zmiennym poziomie mocy zainstalowanej w farmach wiatrowych. Na podstawie uzyskanych przebiegów dokonano analiz i określono poziomy nadwyżek generacji wiatrowej w KSE, rocznej energii ograniczeń oraz sumarycznego czasu trwania ograniczeń.

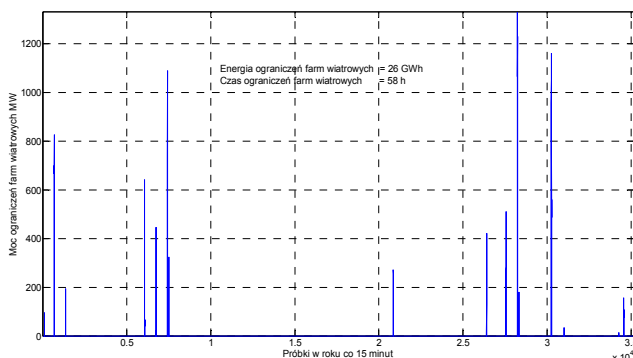
Ograniczenia w pracy farm wiatrowych

Sformułowany problem bilansowania KSE podczas wysokiej generacji wiatrowej występujący zazwyczaj czasie dolin obciążenia KSE określony równaniem (1) został przeanalizowany pod względem planowanego zwiększania się energochłonności na przestrzeni lat 2012 – 2030 z uwzględnieniem mocy potencjalnie zainstalowanych w farmach wiatrowych na terenie Polski. Autorzy skupili się na

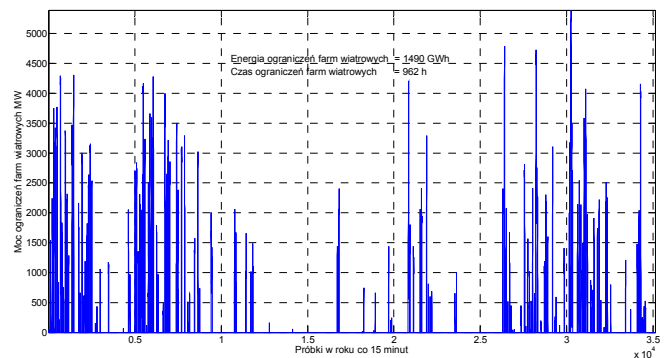
nadwyżkach mocy w systemie, ponieważ ograniczanie mocy pochodzących z farm wiatrowych jest obecnie dość problematyczne.

W związku z powyższym dokonano symulacji pracy KSE tj. zmiennego obciążenia w czasie całego roku wyznaczając przebieg potencjalnych ograniczeń mocy przewidzianych dla farm wiatrowych oraz energii ograniczeń co może pozwolić na oszacowanie kosztów związanych z bilansowaniem KSE. Rysunki 2 i 3 przedstawiają przebieg nadwyżek generacji wiatrowej podczas analizy roku 2012 przy założeniu różnych poziomów mocy zainstalowanej w farmach wiatrowych odpowiednio 2500 MW oraz 7000 MW. Łatwo zauważyć, że w przypadku pierwszym dość sporadycznie mogłyby się pojawiać ograniczenia mające charakter bilansowy. Obliczenia wykazują sumaryczny czas ograniczeń farm wiatrowych na poziomie 58 godzin w roku oraz energię „straconą” na poziomie 26 GWh. Jeżeli jednak spojrzeć na prawie potrojonej moc zainstalowaną w farmach wiatrowych to obliczenia wykazują sumaryczny czas ograniczeń farm wiatrowych na poziomie już prawie 1000 godzin w roku oraz energię ograniczeń na poziomie 1490 GWh.

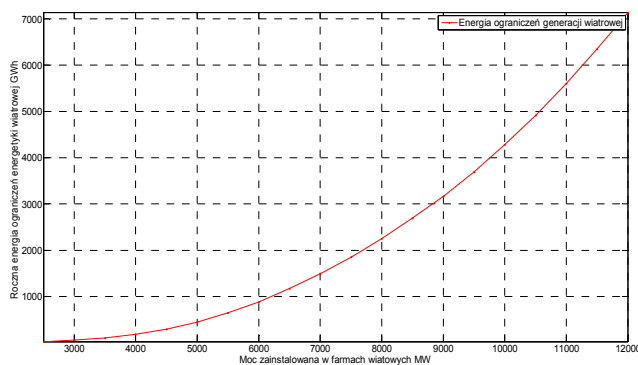
Z kolei rysunki 5 i 6 przedstawiają analizę energii ograniczeń w generacji wiatrowej oraz czas występowania tychże ograniczeń ze względu tylko na charakter bilansowania, bez uwzględniania innych uwarunkowań technicznych funkcjonowania KSE w funkcji mocy zainstalowanych w farmach wiatrowych. Z przebiegów na rysunkach 5 i 6 wynika, że gdyby w roku 2012 poziom zainstalowanej mocy w farmach wiatrowych w Polsce osiągnął by poziom 5000 MW, roczna energia ograniczeń generacji wiatrowej wahałaby się w zakresie 400 – 500 GWh a czas tych ograniczeń stanowiłby około 500 godzin rocznie co dawałoby 5,7% całego czasu w roku kalendarzowym.



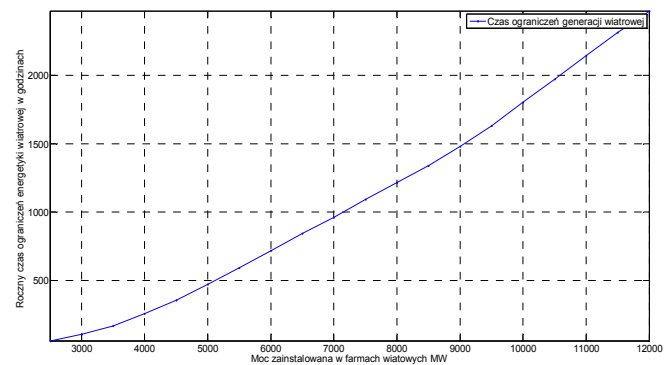
Rys. 3. Przebieg ograniczeń dla wariantu - obciążenie KSE z 2012 roku, moc zainstalowana w farmach wiatrowych 2500 MW



Rys. 4. Przebieg ograniczeń dla wariantu - obciążenie KSE z 2012 roku, moc zainstalowana w farmach wiatrowych 7000 MW

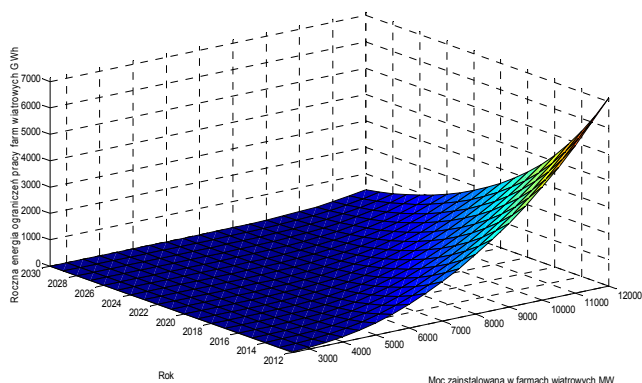


Rys. 5. Energia tracona na ograniczeniach generacji wiatrowej analiza dla roku 2012 (symulowana moc FW do 12 000 MW)

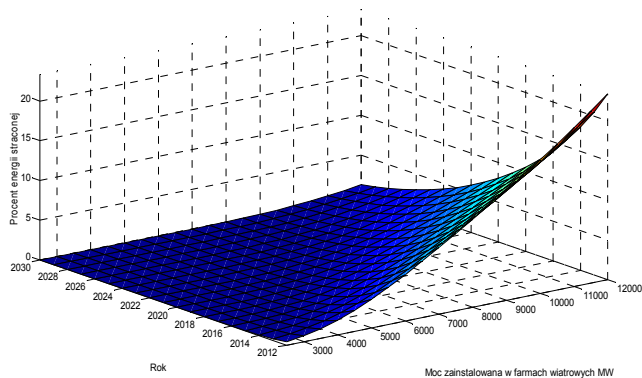


Rys. 6. Roczny czas ograniczeń generacji wiatrowej analiza dla roku 2012 (symulowana moc FW do 12 000 MW)

Wyniki pełnej analizy przeprowadzonej na przestrzeni lat 2012 – 2030 i zmiennym poziomie mocy zainstalowanych w farmach wiatrowych przedstawiają rysunki od 7 i 8, gdzie przedstawiono energię ograniczeń w farmach wiatrowych na przestrzeni całego danego roku. Analizując wyniki badań przedstawione na rysunkach 7 i 8 można stwierdzić, że przy poziomie mocy zainstalowanych



Rys. 7 Wyniki badań – roczna energia ograniczeń FW



Rys. 9 Wyniki badań – roczna energia ograniczeń FW

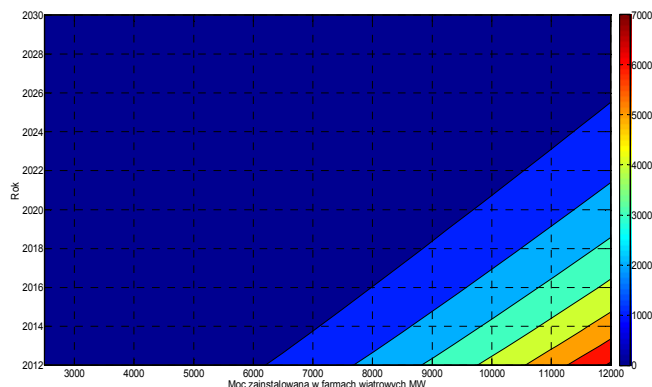
Wnioski

Występowanie ograniczeń bilansowych farm wiatrowych w Polsce będzie zależało od mocy zainstalowanej w farmach oraz zmienności zapotrzebowania na moc obserwowanej w systemie. Przy osiągnięciu w 2030 r. mocy szczytowej 35 000 MW, nawet dla mocy FW na poziomie 12 000 MW poziom ograniczeń będzie nieznaczny. Dla zapotrzebowania szczytowego na poziomie 26 000 MW (jak dla 2012 r.) już przy 8000 MW mocy FW poziom ograniczeń będzie znaczny (powyżej 2000 GWh, ok. 10 - 12 %). Przyjęcie rozsądnych regulacji prawnych określających warunki stosowania ograniczeń, zapewni możliwość przyłączenia FW o większej wartości mocy znamionowej.

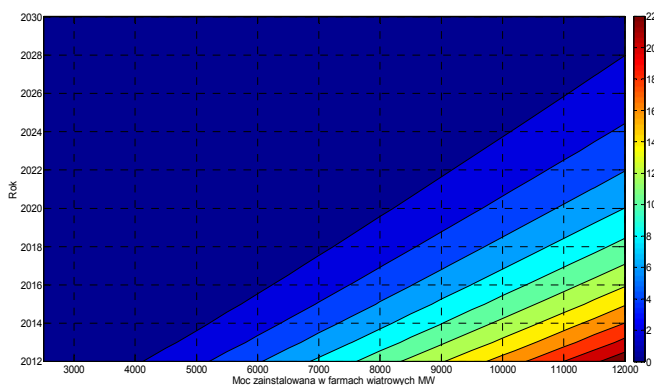
LITERATURA

- [1] Kacejko P., Wydra M., Energetyka wiatrowa w Polsce – realna ocena możliwości wytwórczych, *Rynek Energii*, 91 (2010), nr.6, 100-104

w farmach wiatrowych wynoszących 6000 MW ograniczenia w pracy dochodziłyby do 1000 GWh rocznie. Wraz ze wzrostem zapotrzebowania na moc w KSE wspomniane ograniczenia będą ulegały zmniejszeniu. Rysunki 9 i 10 przedstawiają procent energii ograniczonej w stosunku do całkowitej rocznej generacji w farmach wiatrowych.



Rys. 8 Wyniki badań – roczna energia ograniczeń bilansowych FW



Rys. 10 Wyniki badań – roczna energia ograniczeń bilansowych FW

- [2] Kacejko P., Wydra M., Energetyka wiatrowa w Polsce – analiza potencjalnych ograniczeń bilansowych i oddziaływania na warunki pracy jednostek konwencjonalnych, *Rynek Energii*, 93 (2011), nr.2, 25-30
- [3] Soliński I., Soliński B., Solińska M., Rola i znaczenie energetyki wiatrowej w sektorze energetyki odnawialnej, *Polityka Energetyczna*, Tom 11 (2008), zeszyt 1.

Autorzy: prof. dr hab. inż. Piotr Kacejko, Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: p.kacejko@pollub.pl;
dr inż. Michał Wydra, Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: m.wydra@pollub.pl.