

DCAD
Stermedia Sp. z o.o.
ul. Ostrowskiego 13
53-238 Wrocław
www.dcad.com.pl
www.stermedia.pl



Raport

Oszacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia średniorocznej produktywności w okresie trzech lat niższej o zadany próg procentowy „n”, np. n = 20%.

Przygotował
dr Marcin Zientara
mzientara@dcad.com.pl

Streszczenie

W prezentowanej analizie na podstawie symulacji stochastycznego procesu pracy uproszczonego modelu farmy wiatrowej zostały oszacowane poziomy niepewności produkcji dla różnych okresów czasu wynikające z losowego charakteru zmienności siły wiatru. Zostały wyznaczone również poziomy ryzyka wytworzenia mniejszej energii w zadanym okresie czasu niż deklarowane parametrem $P(50)$ oraz określono procentowe marginesy bezpieczeństwa pozwalające zredukować to ryzyko do pomijalnego poziomu dla okresów: 1 rok – $n \geq 20\%$, 3 lata – $n \geq 11\%$ i 6 lat – $n \geq 9\%$.

Cel analizy

Celem prezentowanej analizy jest oszacowanie zakresu niepewnościⁱ średniorocznej produktywności farmy wiatrowej, której źródłem jest losowa natura zmienności wiatru. Oszacowanie zostało przeprowadzone w oparciu o symulację procesu stochastycznego produkcji energii z wiatru związanego z losową zmiennością jego siły. Symulacja została wykonana na bazie rzeczywistych danych pomiarowych z obszaru farmy wiatrowej, dla pojedynczej, przykładowej, teoretycznej turbiny wiatrowej o mocy nominalnej 2,5 MWⁱⁱ. Wynikiem symulacji jest charakterystyka produktywności $P(XX)$ ⁱⁱⁱ.

Metodologia wyznaczenia charakterystyki $P(XX)$

Charakterystyka średniorocznej produktywności $P(XX)$ została oszacowana w oparciu o symulacje procesu stochastycznego jakim jest zmienność w czasie siły wiatru. Dla uproszczenia problemu, bez straty jednak dla ogólności wniosków, w symulacji uwzględniony został tylko wpływ zmienności wiatru na niepewność produkcji (jako podstawowego jej czynnika) i uwzględniono pracę tylko pojedynczej turbiny (lokalna, przestrzenna zmienności pola siły wiatru w obszarze farmy dla rozważanego problemu może zostać pominięta jako wtórna do zmienności czasowej siły wiatru)^{iv}. Symulacja została wykonana na bazie wieloskalowej, kaskadowej analizy w czasie zmienności siły wiatru. Jest ona stosowana do analizy i odtwarzania procesów o charakterze turbulentnym (taki charakter ma przepływ powietrza). Jej ideę można sobie wyobrazić jako szukanie rozwiązania problemu poprzez analizę go w coraz mniejszych, dokładniejszych skalach (jest to podobne do adresowania listu gdzie kraj adresata jest największą skalą, miasto trochę mniejszą a najdokładniejszą jest numer budynku lub mieszkania). Pełny opis metody wraz z przykładami zastosowań można znaleźć w literaturze naukowej⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾.

Aby wykonać symulacje zmienności siły wiatru i związanej z nią niepewności produktywności analizowane okres produkcji były dzielone na sekwencje odcinków czasu, którym przypisywano zdarzenia wiatrowe – ciąg wartości prędkości wiatru. W każdym kolejnym odcinku czasu (kroku symulacji) wyliczany był rozkład prawdopodobieństwa wyprodukowania danej ilości energii. Rozkłady te były obliczane na bazie danych opisujących zmienność wiatru uzyskanych z opisanej wyżej wieloskalowej analizy danych pomiarowych siły wiatru oraz krzywej mocy turbiny wiatrowej^v. Wynikami symulacji były rozkłady prawdopodobieństwa uzyskanie danej średniorocznej wielkości produkcji dla badanego okresu czasu oraz odpowiadające im rozkłady skumulowane, charakterystyki $P(XX)$.

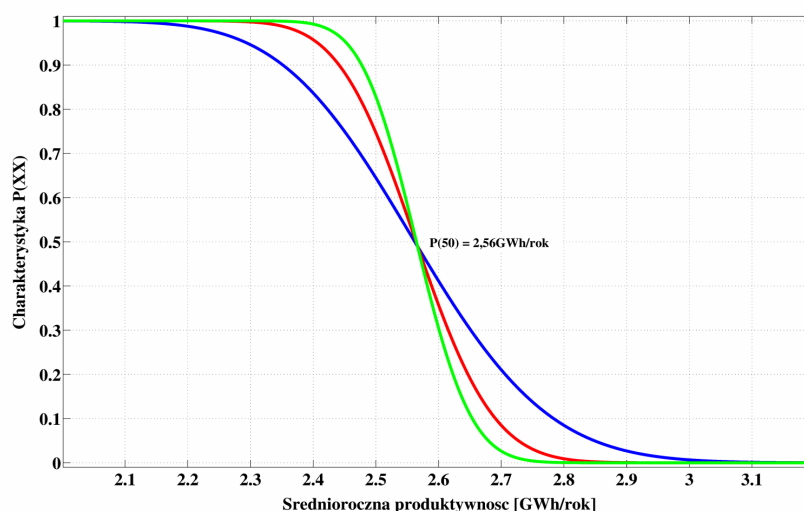
Należy podkreślić, że w zależności od parametrów zmienności i stabilności siły wiatru (dane pomiarowe z obszaru innej farmy wiatrowej) oraz kształtu krzywej mocy turbiny^{vi} wyniki symulacji w pewnym zakresie mogą się zmieniać.

Parametry symulacji

Symulacja została wykonana na bazie rzeczywistych danych pomiarowych siły wiatru z przedziału lat 2012 – 2013. Długości odcinków czasu, na które podzielono badane przedziały wynosiły 12h (przyjęto, że w takim przedziale czasu siła wiatru nie zmienia się znacząco). Symulacje wykonano dla trzech okresów czasu: 1 roku, 3 i 6 lat. Nominalna moc turbiny występującej w symulacji wynosiła 2,5MW^{vii}.

Wyniki symulacji

Wyniki przeprowadzonych symulacji w oparciu o metodę i parametry opisane wyżej są przedstawione na Wykresie 1. Zawiera on wykreślone charakterystyki P(XX) średniorocznej produktywności wyliczone dla trzech różnych okresów produkcji: 1 roku (niebieska linia), 3 lat (czerwona linia) i 6 lat (zielona linia).

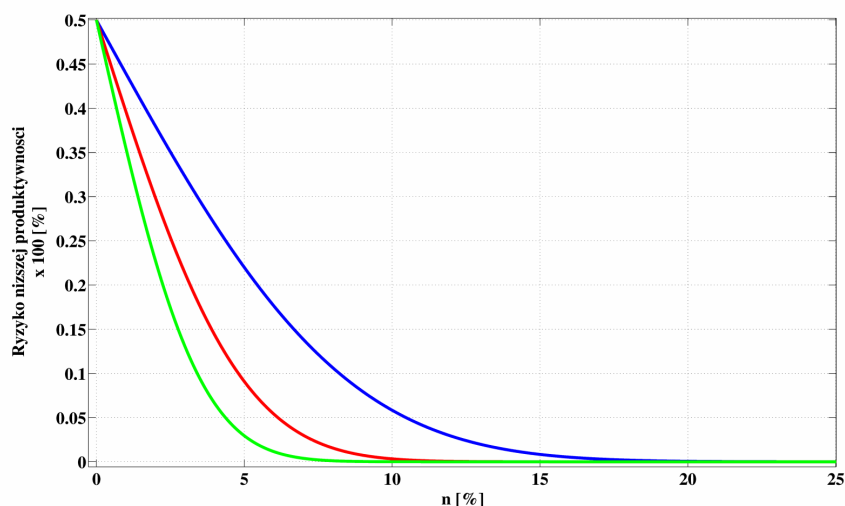


Wykres 1. Charakterystyki P(XX) liczone dla: niebieska - 1 roku, czerwona - 3 lat i zielona - 6lat.

Z prostej analizy wykresie widać, że niezależnie od symulowanej długości okresu produkcji charakterystyczna wartość $P(50)^{\text{viii}}$ we wszystkich przypadkach jest taka sama i wynosi $P(50) = 2,56 \text{ GWh/rok}$ (tzn. w każdym przypadku jest 50% prawdopodobieństwo, że średnio w ciągu roku turbina wyprodukuje nie mniej energii niż 2,56 GWh lub patrząc na problem z drugiej strony istnieje 50 % prawdopodobieństwo, że turbina wyprodukuje mniej energii niż wartość $P(50)$). Z długością okresu związana jest natomiast zmiana zakresu niepewności uzyskania danej wielkości produkcji, która graficznie przedstawiona jest jako pochylenie krzywej P(XX). Im to pochylenie jest większe (wykres jest bardziej stromy) tym zakres niepewności jest mniejszy. Jako miarę tej niepewności można przyjąć procentową, najmniejszą możliwą różnicę między energią generowaną z 50% prawdopodobieństwem $P(50)$ a 100% $P(100)$ wyliczoną wg wzoru $\delta_{\min} = (P(50) - P(100)) / P(50)$. Wyliczając te różnice dla poszczególnych okresów symulacji otrzymamy odpowiednio dla: 1 roku $\delta_{\min} = 20\%$, 3 lat $\delta_{\min} = 11\%$ i 6 lat $\delta_{\min} = 9\%$.

Ponieważ wyliczone różnice wyrażają dystans pomiędzy produktywnością roczną z 50% szansą wykonania a produktywnością 100%, nieobarczoną ryzykiem można uznać je jako dolne wartości marginesów bezpieczeństwa między deklarowaną 50% produktywnością a produktywnością pewną. Zmiany ryzyka wyprodukowania mniejszej ilości energii o wartość $n * P(50)$ wyliczone na podstawie otrzymanych z symulacji charakterystyk P(XX) prezentuje Wykres 2. Pokazuje on, że wartości δ_{\min} są dolnymi oszacowaniami przedziałów progów n dla których ryzyka produktywności spadają do zerowego poziomu tzn dla: 1 roku $n \geq 20\%$, 3 lat $n \geq 11\%$ i 6 lat $n \geq 9\%$.

Prezentowane wykresy pokazują również, że wraz z wydłużaniem się okresu produkcji wartości δ_{\min} oraz zakresy niepewności produktywności maleją ale nie znikają oraz im okresy są dłuższe tym dynamika zmian tych wielkości jest mniejsza. W granicy, gdy długość okresu kalkulacji produktywności dążyłaby do nieskończoności te wielkości dążyłyby do zero, a wykresy P(XX) stawałyby się coraz bardziej strome (skokowy).



Wykres 2. Ryzyko produktywności niższej niż P(50) w funkcji odchylenia od tej wartości oszacowane dla: niebieska - 1 roku, czerwona - 3 lat i zielona - 6lat.

Wnioski

Losowa zmienność siły wiatru mająca podstawowy wpływ na zmienny charakter produkcji energii elektrycznej przez farmy wiatrowe powoduje istnienie nieredukowalnego zakresu niepewności w charakterystyce produktywności $P(XX)$ niezależnie od przyjętej długości okresu szacowania. Wyraża się ona stopniem pochylenia charakterystyki $P(XX)$ i istnieniem skończonego przedziału możliwych do wyprodukowania ilości energii z przypisanym mu rozkładem prawdopodobieństwa. Wydłużanie okresu szacowania powoduje jedynie tylko zmniejszanie się tego przedziału niepewności.

Należy podkreślić, że uzyskane wyniki bazują jedynie na pojedynczym przypadku. Aby uzyskać zakres niepewności i odpowiadający jej zakres progów n (dla których ryzyko generacji jest pomijalne), które są miarodajne dla szerszego spektrum warunków wietrznych w Polsce należy przeprowadzić bardziej systematyczne badania i analizy oparte na danych wietrzny pochodzących z farm wiatrowych ulokowanych w różnych obszarach kraju.

Warto także pamiętać, że przedstawione powyżej rozważania, ograniczające się jedynie do wpływu losowej zmienności siły wiatru na zakres niepewności produktywności w zadanych okresach czasu pozwalają jedynie oszacować jej minimalne rozmiary. Uwzględnienie każdego innego czynnika o charakterze losowym oraz zmniejszającego efektywność pracy farmy wiatrowej będzie powiększało ten zakres.

Bibliografia

1. A.P. Nawroth, J. Peinke, Physics Letters A, 360 (2006) 234 - 237
2. R. Friedrich, J. Peinke, Phys.Rev.Lett, 78 (1997) 863
3. M. Tuktun, L. Mydlarski, New J. Phys., 6 (2006)
4. A.P. Nawroth, R. Friedrich, J. Peinke, New J. Phys., 12 (2010)
5. F. Strozzi, J-M. Zaldivar, J.P. Zbilut, Physica A, 312 (2002) 520 - 538

Przypisy

- i Dla ustalenia uwagi, przez niepewność należy rozumieć zakres możliwych do uzyskania wartości produkcji energii w zadanym okresie czasu, którym przypisane są prawdopodobieństwa ich uzyskania.
- ii Ponieważ dla oceny i analizy wyników symulacji nie ma znaczenia nominalna moc turbiny wiatrowej a jedynie kształt krzywej mocy turbiny (zależność między mocą generowaną przez turbinę a siłą wiatru) w symulacji użyto matematycznego modelu turbiny o mocy nominalnej 2,5MW. Poprzez przemnożenie wyników symulacji poprzez odpowiedni współczynnik związany np. z powierzchnią czynną rotora turbiny uzyskane wyniki mogą być przeskalowane dla turbiny o dowolnej mocy nominalnej.
- iii Charakterystyka ta informuje o prawdopodobieństwie XX [%] wyprodukowania energii w ilości nie mniejsze niż P(XX) np. oznaczenie $P(75) = 20\text{MWh}$ mówi, że z 75 % prawdopodobieństwem zostanie wyprodukowane nie mniej energii niż 20 MWh. Charakterystyczną wartością krzywej P(XX) jest wartość P(50). Jest ona podawana jako standardowa miara produktywności farmy. Wskazuje ona wielkość produktywności dla której istnieją 50% prawdopodobieństwa zarówno wyprodukowania większej jak i mniejszej ilości energii.
- iv Uwzględnienie innych czynników wpływałoby na wzrost zakresu niepewności poziomu produkcji. Uwzględnienie w symulacji wszystkich czynników mających wpływ na funkcjonowanie rzeczywistej farmy wiatrowej znacznie by ją skomplikowało nie wnosząc w zamian dodatkowej informacji. Uwzględnienie tylko czynnika wiatru pozwala oszacować minimalną zakres niepewności, każdy inny czynnik dodany może tylko go powiększać .
- v Funkcja opisująca zależność generowanej mocy przez turbinę od aktualnej prędkości wiatru.
- vi W zależności od optymalizacji efektywności turbin wiatrowych dla różnych zakresów prędkości wiatru kształty krzywych mocy różnią się między sobą.
- vii Patrz przypis (ii)
- viii Patrz przypis (iii)