

dr hab. inż. Dariusz Baczyński, dr inż. Krzysztof Kołodziejczyk, Globema

Prognozowanie

produkcji energii elektrycznej z OZE

Systematyczny wzrost wolumenu energii wytwarzanej w odnawialnych źródłach energii jest faktem. Ten kierunek rozwoju stał się dominującym nurtem w energetyce nie tylko w Europie, Ameryce Północnej, czy Australii, ale dołączyły do niego także Chiny i Indie. Obecnie niemal brak jest nowych europejskich inwestycji w konwencjonalne źródła energii.

wzrostem udziału energetyki odnawialnej w całkowitym bilansie energetycznym, coraz istotniejsze staje się prognozowanie jej produkcji w perspektywie krótkoterminowej i ultrakrótkoterminowej oraz możliwość optymalizacji produkcji w czasie rzeczywistym.

Obecnie większość operatorów farm wiatrowych i elektrowni fotowoltaicznych w Europie Zachodniej wykorzystuje oprogramowanie prognostyczne bazujące na modelach numerycznych wielkoskalowych warunków meteorologicznych korygowanych lokalnymi pomiarami. Brak takich pomiarów skutkuje niedoskonałą jakością prognoz, co ma kluczowy wpływ na jakość prognoz produkcji energii elektrycznej przez OZE. Dla przykładu błąd prognozy prędkości wiatru, na poziomie 1m/s, może skutkować błędem prognozy produkcji energii elektrycznej na poziomie aż 30%.

Cel dla Polski na koniec 2020 r., realizowany w ramach celów 20/20/20 w zakresie klimatu i energii, to 15% udział OZE w końcowym zużyciu energii brutto. Oznacza to, że udział zainstalowanej mocy OZE w całkowitej zainstalowanej mocy, będzie znacznie większy i może sięgnąć 30%, ze względu na średnie dobowe okna wykorzystania tych źródeł. Przełoży się w konsekwencji na wielkość wahań produkcji z OZE oraz na niezrównoważenie bilansu energetycznego całego systemu. Trafne prognozowanie ultrakrótkoterminowe i krótkoterminowe tej produkcji, stanie się więc w nie-

Fot. www.freeimages.com

■ Energia z OZE w systemie energetycznym

Obok inwestycji w przemysłowe OZE, następuje wzrost energetyki prosumenckiej, charakteryzującej się niewielkimi mocami jednostkowymi i bardzo dużym rozproszeniem. Produkcja energii z tych źródeł, szczególnie w przypadku turbin wiatrowych i ogniw fotowoltaicznych, w bardzo sil-

nym stopniu uzależniona jest od warunków pogodowych. Zmiany wielkości tej produkcji muszą być na bieżąco kompensowane poprzez źródła konwencjonalne z wykorzystywaniem rezerwy regulacyjnej lub w przyszłości poprzez zastosowanie zasobników energii. Szczególnie groźne dla systemu energetycznego mogą być krótkotrwałe zmiany wielkości produkcji energii z OZE spowodowane nagłymi zmianami pogody. Dlatego też, wraz ze

dalekim czasie bardzo ważnym elementem prowadzenia ruchu w sieci energetycznej. Warto przy tym zwrócić uwagę na fakt, iż standardowe prognozy pogody będą niewystarczające jako dane wejściowe.

■ Horyzonty prognozowania

Możliwości prognozowania produkcji energii elektrycznej z OZE są zasadniczo ograniczone przez zjawiska związane z samym aktem przekształcania dostępnej w danej chwili energii pierwotnej w energię elektryczną. Zasób energii pierwotnej w OZE, czyli szczególnie energii kinetycznej wiatru i energii promieniowania słońca podlega ciągłym fluktuacjom i najczęściej zmienia się w horyzoncie kilku-, kilkudziesięciu minut.

Prognozowanie produkcji energii elektrycznej z OZE można rozpatrywać w kilku różnych horyzontach:

- ultrakrótkoterminowym (od kilku minut do kilku godzin naprzód),
- krótkoterminowym (do kilkudziesięciu godzin naprzód),
- średnioterminowym (od kilku do kilkudziesięciu dni naprzód),
- długoterminowym (od kilku miesięcy do kilkunastu lat naprzód).

Oczywiście przyjęta terminologia horyzontów prognoz szczególnie w odniesieniu do odnawialnych źródeł energii może się różnić w zależności od zastosowań prognozy lub ich wzajemnego uzupełniania się. I tak najczęściej prognozy ultrakrótkoterminowe są wykorzystywane do sterowania odbiorami, magazynami i źródłami energii w celu zbilansowania podsystemu energetycznego. Prognozy krótkoterminowe wykorzystywane są do planowania pracy źródeł i systemu elektroenergetycznego oraz do udziału w rynku energii. Planowanie prac eksploatacyjnych i remontowych w systemie elektroenergetycznym (np. w sensie wyłączeń remontowych) jest zwykle oparte na prognozach średnioterminowych. Natomiast prognozy długoterminowe są najczęściej podsta-

wą do planowania rozwoju sieci i systemów elektroenergetycznych.

Oprócz określonych horyzontów czasowych istotne są też wielkości, które podlegają prognozowaniu. Oczywiście prognozowana wielkość zależy od celu predykcji. W przypadku prognoz o krótkich horyzontach zwykle wykorzystuje się wartości średniej mocy w kwantach o długości od minuty do godziny. Dla prognoz o dłuższych horyzontach istotne mogą być moce szczytowe oraz skumulowane energie produkowane w dłuższym okresie.

■ Trafność prognoz

Jakość prognozy zależy bezsprzecznie od jej horyzontu. W przypadku prognoz produkcji z OZE wymienione horyzonty prognoz trzeba połączyć z dostępnymi danymi wejściowymi na podstawie których opracowywana jest prognoza. Jak już zostało wcześniej wskazane wielkość produkcji energii elektrycznej z OZE zależy silnie od warunków meteorologicznych. Dlatego też najbardziej precyzyjne prognozy produkcji energii z OZE są opracowywane na podstawie numerycznych prognoz pogody (*NWP - Numerical Weather Prediction*). Jednak aktualnie prognozy pogody o akceptowalnej, z praktycznego punktu widzenia, precyzji są dostępne dla horyzontów maksymalnie kilkudziesięciogodzinnych. Oznacza to, że mogą być one wykorzystywane jedynie na potrzeby prognoz krótkoterminowych i ultrakrótkoterminowych. Dodatkowo, ze względu na globalny sposób ich wyznaczania, są one obciążone pewnymi błędami ujawniającymi się w skali lokalnej. Ze względu na nieliniową zależność pomiędzy warunkami meteo, a produkcją energii - błędy końcowej prognozy produkcji energii są wielokrotnie większe od błędów prognoz NWP. Powoduje to konieczność opracowywania wyrafinowanych metod prognostycznych wykorzystujących oprócz danych NWP także dodatkowe dane, np. o lokalnych warun-

kach otoczenia, bieżącej produkcji, itp., do wprowadzania korekt w prognozowaniu.

Wspomniane ograniczenia w możliwościach prognozowania produkcji energii elektrycznej z OZE skutkują naturalnie występowaniem błędów prognozy. Pytanie, jak określać jakość prognozy jest bardzo często stawiane w kontekście OZE. Nie jest to trywialne zagadnienie, gdyż krzywą produkcji energii w OZE charakteryzuje bardzo duża zmienność z długimi okresami zerowej produkcji. Natomiast wskaźników jakości prognoz można wymienić kilkadziesiąt [1] [2]. Często porównywanie prognoz za pomocą kilku wskaźników także nie daje odpowiedzi na pytanie, która z prognoz jest najlepsza. Dzieje się tak dlatego, że gdy jedna z prognoz wygrywa w jednej kategorii zwykle jest słabsza w innych. Nie można wskazać jednej prostej formuły, z której należałoby korzystać porównując prognozy. Jest to spowodowane także tym, że jakość prognozy obliczonej przy pomocy różnych wzorów nie oddaje jej wpływu na proces biznesowy, który jest kluczowy dla funkcjonowania przedsiębiorstwa.

Analizując problem miar jakości, należy pamiętać, że porównywaniu mogą podlegać te same miary jakości odnoszące się do prognozowania tego samego źródła w tym samym okresie. Dodatkowo okres porównywania prognoz powinien być stosunkowo długi i obejmować minimum kilka miesięcy. W tym czasie oprócz wyznaczania określonych miar jakości poszczególnych prognoz należy także przeprowadzić symulację wpływu poszczególnych prognoz na zasadniczy proces biznesowy. Na podstawie takich analiz można wysnuć wnioski co do wyboru konkretnych metod prognozowania i ewentualnych zmian w samym procesie. Z tego punktu widzenia najistotniejsze wydają się te miary, które obrazują bezwzględnie odchylenia w wielkościach produkcji energii w stosunku do prognoz, bo one mają bezpośredni wpływ na niezbilansowanie systemu.

■ 4RES - prognozowanie produkcji i sprzedaży energii z OZE

Poprawę trafności prognoz można osiągnąć za pomocą złożonych metod prognostycznych, wykorzystaniu dedykowanych prognoz pogody, nadążnemu korygowaniu wyników pomiarami lokalnymi oraz poprzez łączenie różnych rodzajów źródeł w tzw. elektrownie wirtualne. Wszystkie te elementy zostały wykorzystane przy tworzeniu systemu 4RES, który powstał w Centrum Badań i Rozwoju firmy Globema.

W systemie 4RES zastosowano podejście bazujące na najnowszych trendach w dziedzinie prognozowania, polegające na połączeniu kaskadowym równoległych modeli prognostycznych z integratorem prognoz. W podsystemie prognostycznym systemu 4RES można

zdefiniować szereg równoległych modeli prognostycznych:

- krzywa mocy; podstawowa charakterystyka produkcji energii elektrycznej zależna od jednej zmiennej (np. prędkości wiatru),
- formuła uzależniająca produkcję od wielu zmiennych,
- metoda statystyczna,
- sieć neuronowa.

Każdy model może korzystać z wielu łatwo definiowanych, automatycznie generowanych lub pobieranych danych wejściowych. Model typu sieć neuronowa lub metoda statystyczna podlega następnie automatycznej optymalizacji (uczeniu) na wybranym przez prognostę zakresie danych historycznych. Prognozy uzyskiwane przez poszczególne modele mogą być następnie łączone w różny sposób w „integratorze”, co pozwala na optymalizowanie założone-

go kryterium jakości. Należy wskazać tu na możliwość równoległego stosowania kilku modeli z tej samej klasy (np. sieci neuronowej). Pozwala to na tworzenie specjalizowanych modeli zoptymalizowanych pod kątem prognozowania w określonych warunkach. Niemniej istotnym elementem podsystemu prognostycznego jest możliwość zbierania danych historycznych różnego rodzaju (dane o produkcji energii, dane o procesie technologicznym, remontowe, kalendarzowe, itp.) i możliwość ich łatwej prezentacji i analizy. Kluczowym elementem jest tu wspomaganie prognosty w wykorzystaniu danych prognoz meteorologicznych oraz wykorzystanie bieżących danych do douczania modelu, przy czym należy podkreślić, że prognozy pogody przygotowywane są specjalnie dla każdej lokalizacji przez ICM. System pozwala również na budowanie elektrowni wirtualnych i obsługę jednostek graficznych złożonych w wielu źródłach. Łączenie źródeł o różnych charakterystykach i umieszczonych w różnych lokalizacjach pozwala na poprawienie trafności prognoz i zmniejszenie wahań sumarycznej produkcji. W przypadku włączenia także źródeł regulowanych lub zasobników energii, możliwe jest bilansowanie lokalne i minimalizowanie niepożądanego wpływu na sieci rozdzielcze i system przesyłowy. System jest licencjonowany lub udostępniany jako serwis dla zainteresowanych podmiotów. Dotychczasowe doświadczenia komercyjne wskazują, że uzyskiwane wyniki należą do czołówki najlepszych rozwiązań tego typu w Europie. □

[1] Hyndman, R.J., Koehler, A.B., *Another look at measures of forecast accuracy*, *International journal of forecasting*, 22.4, 2006, 679-688.

[2] Shaker, H.; Zareipour, H.; Wood, D., *On error measures in wind forecasting evaluations*, *Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 2013 26th Annual IEEE Canadian Conference on, vol., no., pp.1,6, 5-8 May 2013 doi: 10.1109/CCECE.2013.6567687

