

Wpływ rozwoju rozproszonych źródeł energii na wybrane systemowe usługi regulacyjne

Jarosław Bogacz, Politechnika Śląska

XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna, Rynek Energii Elektrycznej

Kazimierz Dolny, 25 Kwietnia 2017 r.

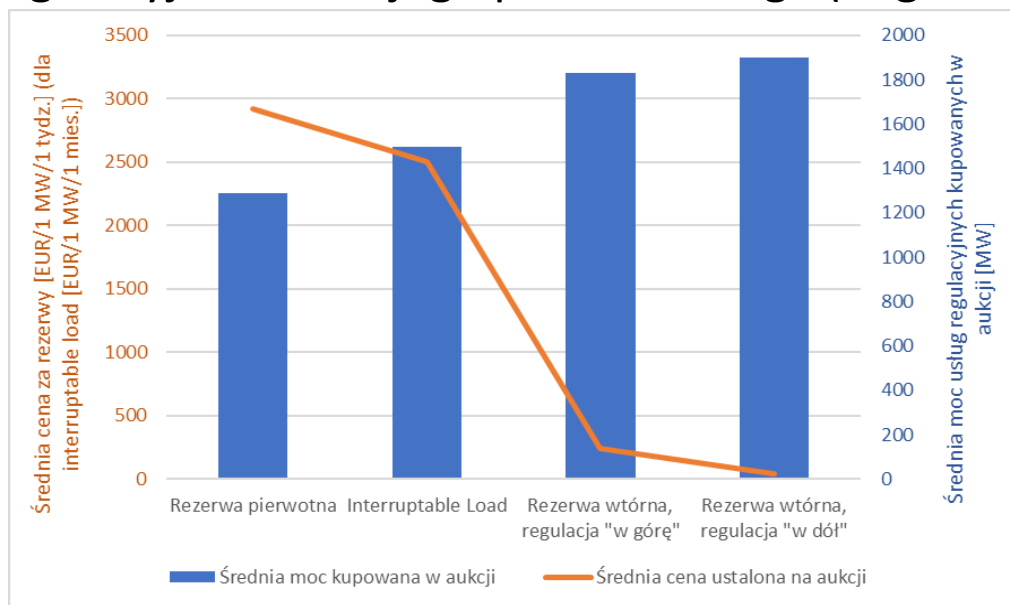
1. Regulacyjne Usługi Systemowe w obszarze europejskim
2. Skoordynowane przetargi na zakup usług regulacyjnych w wybranych krajach europejskich
3. Metody oceny wystarczalności podaży usług regulacyjnych
4. Analiza wpływu rozwoju niesterowalnych źródeł na zapotrzebowanie na regulacyjne usługi systemowe
5. Wnioski
6. Pytania recenzenta

Regulacyjne Usługi Systemowe w obszarze europejskim

- **Regulacje na poziomie europejskim** - ENTSO-E: Continental Europe Operation Handbook. 2009.
- **Regulacja pierwotna** w synchronicznie połączonych SE ENTSO-E – stabilizacja nagłych zmian mocy w bilansie podaży i popytu - do 3 GW. Udział poszczególnych państw proporcjonalny do udziału mocy
- **Regulacja wtórna** - przywrócenie częstotliwości oraz przywrócenie przepływów wymiany międzysystemowej; realizowana przez regulatory centralne każdego z OSP
- **Regulacja trójna** - zmiana punktów pracy jednostek wytwórczych w odpowiednim czasie lub uruchamianie bądź odstawianie jednostek wytwórczych, redystrybucja punktów pracy na pracujących jednostkach wytwórczych, zmianę przepływów na liniach wymiany międzysystemowej lub programy zarządzania popytem na energię elektryczną
- **Regulacyjne Usługi Systemowe w Polsce – stan obecny.** OSP korzysta z Regulacyjnych Usług Systemowych (RUS), usług rezerwy interwencyjnej, usług uruchomienia Jednostek Wytwórczych aktywnych (JW_a), usług dyspozycyjności jednostek wytwórczych (nie należących do JW_a) oraz usług odbudowy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE). Usługi regulacji pierwotnej i wtórnej są świadczone przez JW_a (przyłączone do obszaru Rynku Bilansującego (RB) i świadczące usługi systemowe), a wymagany zakres regulacji pierwotnej i wtórnej dla KSE wynosi odpowiednio ± 170 MW oraz ± 500 MW. Jednostki biorące udział w regulacji rezerwy wtórnej powinny mieć zdolność do podążania za wartością mocy podawaną przez regulator centralny (LFC) w zakresie $\pm 5\% \cdot P_n$ dla całego pasma regulacyjnego jednostki wytwórczej. Pełna aktywacja zakresu regulacji powinna być zrealizowana do 5 minut ze stałym gradientem $1\% \cdot P_n / 1$ min.

Skoordynowane przetargi na zakup US w wybranych krajach europejskich

- Obecnie w ramach połączonej aukcji dla systemów: niemieckiego, belgijskiego, holenderskiego, austriackiego i szwajcarskiego kupowana jest wielkość 1 250 MW rezerwy pierwotnej od dostawców ze wszystkich ww. krajów, z zachowaniem maksymalnej wielkości eksportu rezerwy pierwotnej w wysokości 30% jej zapotrzebowania w danym kraju
- Dla rezerwy trójnej przedmiotem aukcji jest zakup regulacyjności „w górę” i „w dół” w sześciu czterogodzinnych blokach na dzień następny.
- Na platformie prowadzone są również miesięczne aukcje dla odbiorców mogących świadczyć usługi regulacyjności swojego poboru energii (ang. *interruptible loads*).



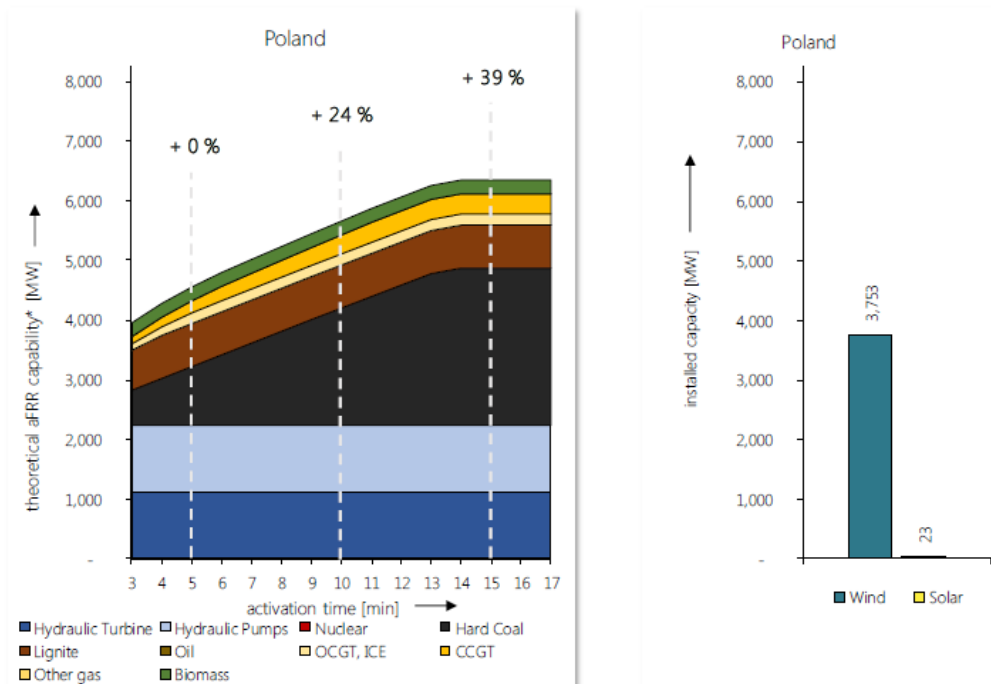
Wyniki skoordynowanych aukcji na zakup regulacyjnych rezerw mocy w styczniu i lutym 2017 r.

- Wprowadzenie reformy i skoordynowanego zakupu rezerw doprowadziły do zmniejszenia kosztów ich zakupu. Cena rezerwy trójnej kupowanej od początku roku do listopada 2006 r., w porównaniu z ceną obserwowaną od grudnia 2006 do końca 2010 r. zmniejszyła się o z ok. 95 EUR/MW/1 godz. do ok. 20 EUR/MW/1 godz. Obecnie w ramach skoordynowanych aukcji dokonywany jest zakup ok. 1 900 MW regulacyjności „w dół” i 1 257 MW regulacyjności „w górę”.

Metody oceny wystarczalności podaży usług regulacyjnych

- Ocena wystarczalności podaży usług regulacyjnych (ang. *flexibility adequacy assessment*) – porównanie dla określonego horyzontu czasowego :

- ✓ zapotrzebowania na usługi regulacyjne = zapotrzebowanie netto (ang. *net load*), tj. zapotrzebowanie do pokrycia przez zasoby regulacyjne SE: różnica zapotrzebowania na moc odbiorców końcowych oraz produkcji mocy przez źródła niesterowalne (elektrownie wykorzystujące energię wiatru i słońca, elektrociepłownie, produkcja w jednostkach przemysłowych, itp.);
- ✓ podaży usług regulacyjnych gwarantujących dla SE właściwy poziom regulacyjności.



- Podaż jest określana przez sumaryczną krzywą prezentującą zależność mocy podaży usług regulacyjnych SE (od rezerwy pierwotnej do trójnej) w funkcji czasu ich dostępności. Zgodnie z ENTSO-E, KSE aktualnie dysponuje możliwością dostarczenia ok. 4 GW i 6,5 GW mocy regulacyjnej dostępnej odpowiednio do 3 minut i 15 minut od momentu aktywacji (z uwzgl. el. szczyt.-pomp.). Są to wielkości średnie dla pracujących zasobów regulacyjnych. Dla zasobów wytwórczych będących w postoi istotne są czasy przywołania do ruchu, koszty z tym związane, liczba możliwych do zrealizowania rozruchów w określonym czasie, czas wyłączenia.

Metody oceny wystarczalności podaży usług regulacyjnych

○ **Sposoby oceny wystarczalności podaży zasobów regulacyjnych:**

- ✓ **Metody proste** oparte na badaniu statycznego stanu, tj. formułowaniu krzywych podaży regulacyjności w określonych horyzontach czasu i badaniu możliwości zapewnienia regulacyjności dla kilku wybranych stanów pracy SE (z reguły minimum i maksimum obciążenia SE), z uwzględnieniem najbardziej niekorzystnych zmienności zapotrzebowania na energię elektryczną, wielkości produkcji elektrowni wiatrowych i fotowoltaicznych
- ✓ **Metody dokładne** uwzględniające w zadaniu UC i rozdziale obciążeń na jednostki wytwórcze zagadnienie zapewnienia odpowiedniej regulacyjności w SE. Metody te są predysponowane do dalszego rozwoju ze względu na losowy charakter awaryjność elektrowni oraz elementów sieciowych oraz zmienność produkcji energii ze źródeł niesterowalnych. Dodatkowo obszar niepewności jest tworzony przez błędy w prognozowaniu zapotrzebowania na energię elektryczną i produkcji energetyki wiatrowej i fotowoltaicznej, zależność możliwości zapewnienia odpowiednich zasobów regulacyjnych w danej chwili czasowej od pracy SE i wykorzystania regulacyjności w poprzednim horyzoncie czasowym.

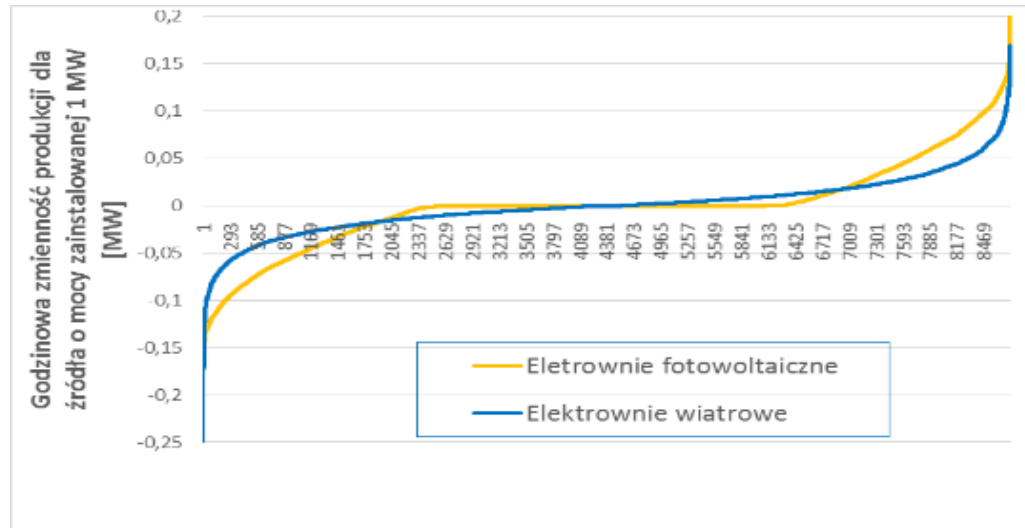
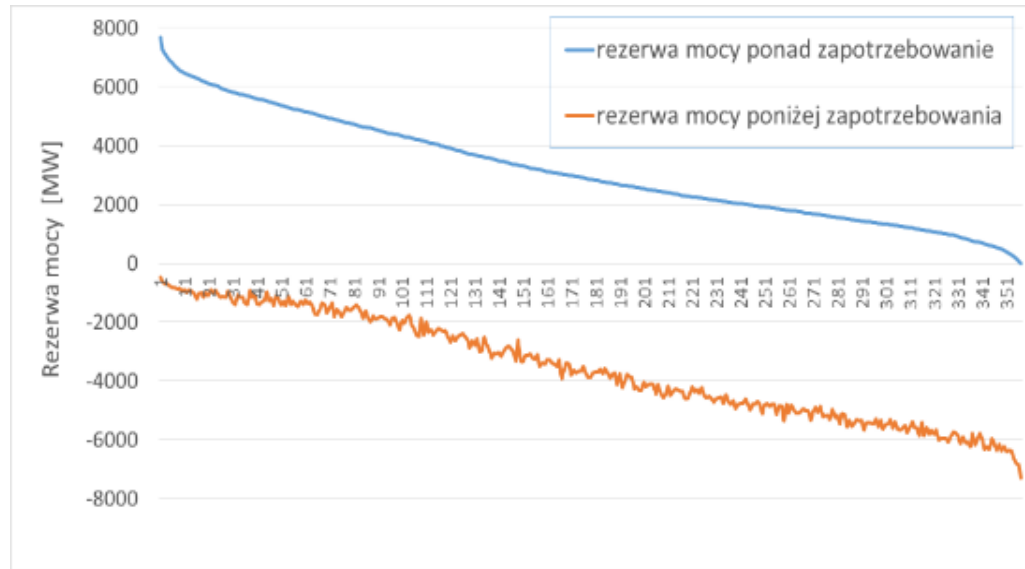
○ **Miary wystarczalności regulacyjności SE i prawdopodobieństwa jego zapewnienia:**

- **Insufficient Ramping Resource Expectation (IRRE)** - oczekiwane prawdopodobieństwo wystąpienia stanów, w których SE nie będzie miał zasobów do pokrycia przewidywanych zmian w zapotrzebowaniu netto oraz niepewności wynikających z błędów prognozowania (zapotrzebowanie na energię oraz produkcja źródeł niesterowalnych)
- **Probability of Flexibility Deficit (PFD)** oraz **Expected Unserved Ramping (EUR)** jako miary określające prawdopodobieństwo i wartość nie dostarczoną zasobów regulacyjnych w ciągu roku

Analiza wpływu rozwoju niesterowalnych źródeł na zapotrzebowanie na RUS (1)

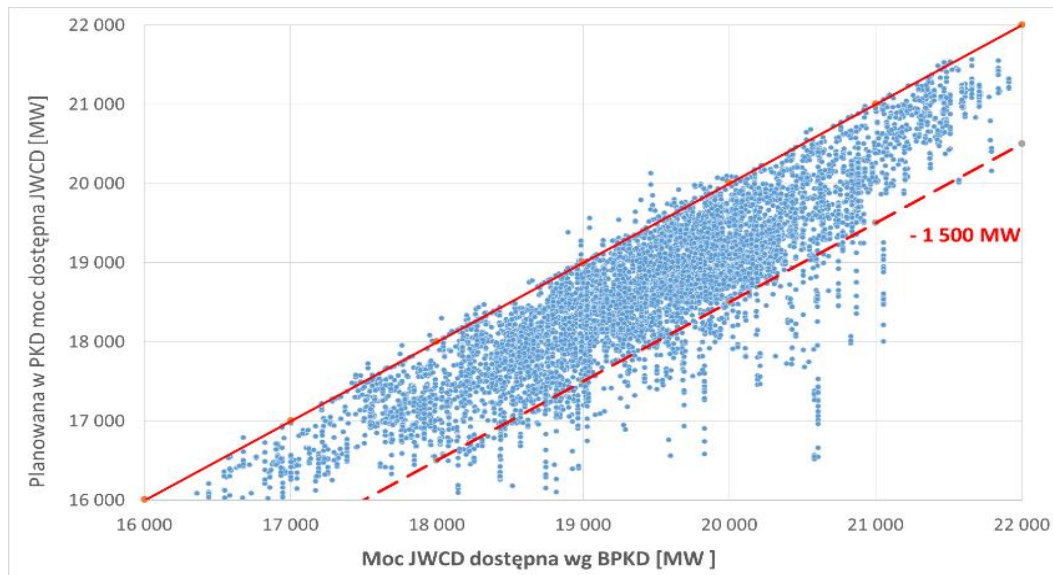
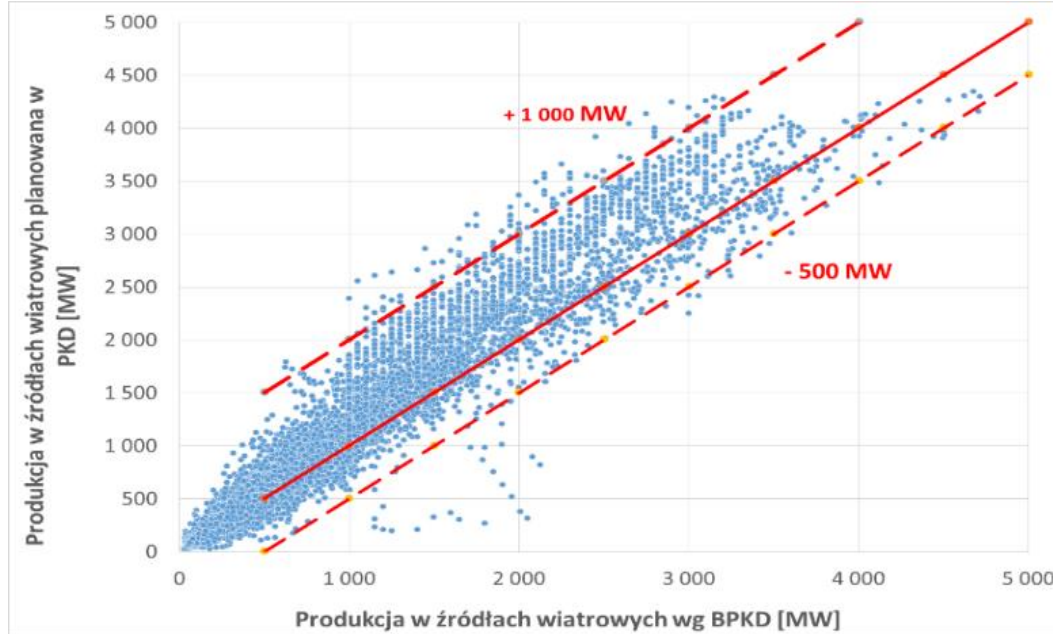
- Analizę zrealizowano budując model KSE na podstawie wielkości, które wystąpiły w 2015 r. (PKD i BPKD). Analizy i symulacje zostały przeprowadzone dla rozdzielczości godzinowej (rozdzielczość danych zawartych w ww. dokumentach), tym samym dotyczą one oceny wpływu rozwoju źródeł niesterowalnych na popyt na regulację trójną i rezerwę mocy w ujęciu rocznym (nie obejmują zagadnień regulacji pierwotnej i wtórnej). Na tej podstawie dokonano dla 2015 r. oceny:
 - ✓ podaży usług regulacyjnych KSE na podstawie wielkości: rezerwa mocy ponad zapotrzebowanie i rezerwa mocy poniżej zapotrzebowania prezentowanych w PKD i BPKD,
 - ✓ błędów prognoz zapotrzebowania na energię elektryczną określonych na podstawie różnic pomiędzy wielkościami prezentowanym w PKD i BPKD,
 - ✓ błędów prognoz produkcji energii ze źródeł wiatrowych (jw., porównując wielkości z PKD i BPKD),
 - ✓ wpływu awarii Jednostek Wytwórczych Centralnie Dysponowanych (JWCD) (porównanie wielkości z PKD i BPKD),
 - ✓ zmienności produkcji energii elektrycznej w źródłach wiatrowych,
 - ✓ zmienności zapotrzebowania na energię elektryczną.

Analiza wpływu rozwoju niesterowalnych źródeł na zapotrzebowanie na RUS (2)



- Łączna wartość godzinowej rezerwy mocy dostępna w JWCD wyniosła w 2015 r. średnio 6,7 GW. Wielkości dostępnych rezerw i wielkości podaży RUS, powinny pokryć zmienności zapotrzebowania netto pojawiające się w ciągu poszczególnych godzin roku
- Godzinowa zmienność produkcji dla źródeł wiatrowych wyniosła dla KSE w 2015 r. od +0,17 MW/1 godz. do -0,26 MW/1 godz. na każdy 1 MW mocy zainstalowanej. W przypadku elektrowni fotowoltaicznych - godzinowa zmiana produkcji energii elektrycznej może osiągać od +0,21 MW/1 godz. do -0,25 MW/1 godz. na każdy 1 MW mocy zainstalowanej.
- Co istotne, suma zapotrzebowania na regulacyjność godzinową pokrywającą zmienność produkcji dla elektrowni fotowoltaicznych jest o 30% większa niż dla źródeł wiatrowych.

Analiza wpływu rozwoju niesterowalnych źródeł na zapotrzebowanie na RUS (3)



Metoda prosta – pełna korelacja występowania najwyższych wielkości spadku produkcji elektrowni wiatrowych w KSE z maksymalnymi wielkościami wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną:

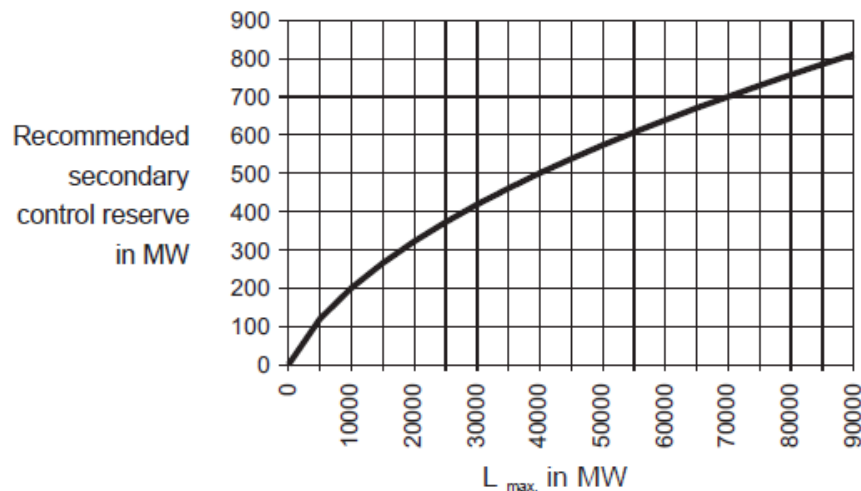
- **JWCD powinny zapewnić godzinową regulacyjność „w górę” w wysokości 4 GW/1 godz.** zmiany zapotrzebowania netto (3 GW/1 godz. i 1 GW/1 godz. odpowiednio wynikające ze wzrostu zapotrzebowania na energię i zmniejszenia produkcji elektrowni wiatrowych) oraz **regulacyjność „w dół” na poziomie 2,6 GW/1 godz.**
- Dla skrajnego przypadku można założyć, że podczas godzin z najwyższą zmiennością zapotrzebowania netto może nastąpić awaria JWCD (rys. 6), co przy każdym ubytku mocy o wartości 1 GW może oznaczać zmniejszenie zasobów regulacyjnych o 0,4 GW
- Zapotrzebowanie na regulacyjność w ujęciu dnia następnego kreują również wielkości błędów prognoz zapotrzebowania na energię i produkcji źródeł niesterowalnych.

	Scenariusz 1	Scenariusz bazowy	Scenariusz 2	Scenariusz 3	Scenariusz 4
	Moc źródeł odnawialnych niesterowalnych zainstalowana w KSE w GW				
Elektrownie wiatrowe	0	3,8 – 5,0	8,8 – 10,0	3,8 – 5,0	3,8 – 5,0
Elektrownie fotowoltaiczne	0	0	0	5,0	10,0
Wartości ekstremalne godzinowego zapotrzebowania netto (zapotrzebowanie na energię elektryczną skorygowane o produkcję w źródłach niesterowanych i pozostałych źródłach nie będących JWCD) w horyzoncie rocznym					
Wartość maksymalna	19 118	18 874	18 747	18 448	18 448
Wartość minimalna	6 319	3 076	-177	3 040	524
Wartości ekstremalne godzinowego zapotrzebowania netto dla horyzontu doby					
Wartość maksymalna	9 855	12 447	15 393	12 447	12 447
Wartość minimalna	3 241	3 234	3 300	3 333	3 433
Wartości ekstremalne zapotrzebowania na usługi regulacyjności godzinowej wynikające z różnicy zapotrzebowania netto w godz. h i godz. h-1					
Wartość maksymalna regulacyjności "w górę"	3 040	3 235	3 524	3 235	3 235
Wartość maksymalna regulacyjności "w dół"	-1 969	-2 107	-2 596	-2 107	-2 347

Wnioski:

1. W ramach integrujących się rynków bilansujących w Europie, coraz bardziej popularna staje się idea wprowadzania mechanizmów rynkowych służących zapewnieniu wymaganych rezerw systemowych
2. Struktura rozwoju mocy niesterowalnych ma wpływ na poziom rezerw mocy i zapotrzebowania na usługi regulacyjne. Na podstawie analizy otrzymanych wyników potwierdzono, że metoda prosta przeszacowuje zapotrzebowanie na maksymalne rezerwy godzinowe o ok. 20% w stosunku do metody pośredniej.
3. Z przeprowadzonych symulacji wynika, że zwiększanie mocy fotowoltaicznych do 5 GW dla analizowanego przypadku nie spowodowało powiększenia ekstremalnych wartości badanych rezerw mocy
4. Pełna ocena wymaganego poziomu rezerw regulacyjnych jest możliwa na podstawie dokładnych metod, uwzględniających w zadaniu UC i rozdziale obciążeń na jednostki wytwórcze zagadnienia zapewnienia odpowiedniego poziomu regulacyjności SE

1. Nie zostało podane źródło, z którego zaczerpnięto zależność (1). Proszę o komentarz dotyczący empirycznych parametrów a i b wykorzystywanych we wzorze.



- Minimalna wielkość regulacji wtórnej określonej na podstawie zależności deterministycznej (Continental Europe Operation Handbook. 2009, Policy 1: Load-Frequency Control and Performance, s. 14)

$$R = \sqrt{a \cdot L_{max} + b^2} - b \quad (1)$$

gdzie:

L_{max} – maksymalne zapotrzebowanie na moc odbiorców końcowych występujące w SE,
 a i b – empirycznie wyznaczone parametry w wysokości: $a=10$ MW i $b=150$ MW.

- ✓ Dla wartości maksymalnego zapotrzebowania występującego w Polsce w wysokości 26 GW, minimalny poziom podaży regulacji wtórnej wyznaczony na podstawie ww. zależności wynosi ok. 360 MW
 - ✓ Wymienia się również probabilistyczną metodę określenia wielkości łącznej rezerwy wtórnej i trójnej (rezerwa zapewniająca wystarczającą regulacyjność dla 99,9 % godzin w roku)
2. Autor w swoich scenariuszach zakładał różny przyrost mocy w elektrowniach fotowoltaicznych przy niezmiennym przyroście mocy w elektrowniach wiatrowych (stan na koniec 2015 r.). Tymczasem wg danych URE przyrost mocy w źródłach wiatrowych występuje i na koniec 2016 roku wynosił 5807,42 MW.
 Jaki wobec tego wpływ na poziom rezerw mocy i zapotrzebowania na usługi regulacyjne miałby przyrost mocy, zarówno w źródłach fotowoltaicznych jak i wiatrowych, i jaki powinien być graniczny przyrost tych mocy, aby zapewnić stabilną pracę SE?