



**XXI Konferencja Naukowo-Szkoleniowa
Rynek Energii Elektrycznej;
Kazimierz Dolny, 11-13 maja 2015 r.**



METODYKA OCENY EKONOMICZNEJ MAGAZYNOWANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Prof. dr hab. inż. Józef Paska, dr inż. Karol Pawlak, dr inż. Mariusz Kłos
Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki

Plan prezentacji

1. MAGAZYNOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ
2. KORZYŚCI JAKIE PŁYNĄ Z ZASTOSOWANIA ZASOBNIKÓW ENERGII W SEE
3. METODYKA SZACOWANIA KOSZTÓW BUDOWY I FUNKCJONOWANIA ZASOBNIKÓW ENERGII
4. METODYKA UPROSZCZONA OCENY KOSZTÓW BUDOWY I FUNKCJONOWANIA ZASOBNIKÓW ENERGII
5. WYBRANE ASPEKTY EKONOMICZNE ZASOBNIKÓW ENERGII DLA ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII I BILANSOWANIA SYSTEMU
6. WNIOSKI
7. PYTANIA RECENZENTA

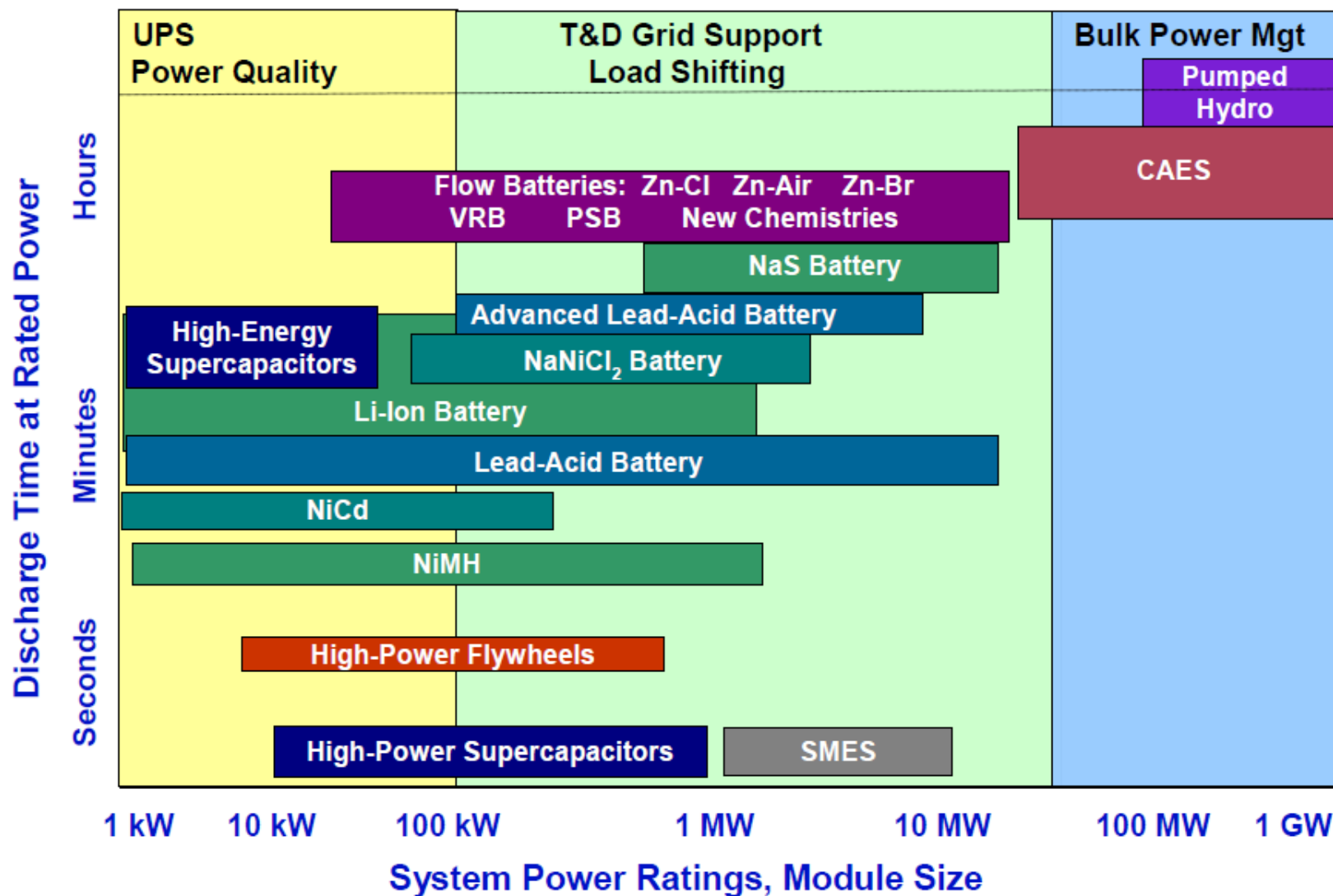
MAGAZYNOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Magazynowanie energii w ostatnich latach cieszy się coraz większym zainteresowaniem, zarówno ze strony operatorów sieci elektroenergetycznych, jak i samych wytwórców energii. Od dłuższego czasu trwają wytężone prace nad rozwiązaniem problemu gromadzenia znacznych ilości energii, i późniejszego jej wykorzystania w celu usprawnienia procesów zarządzania systemem elektroenergetycznym w ujęciu technicznym i ekonomicznym (uelastycznienia funkcjonowania rynku energii).

W mieście Schwerin na północy Niemiec pracę rozpoczął w 2014 roku pierwszy europejski magazyn energii elektrycznej mający charakter komercyjny.



MAGAZYNOWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ



Zbiorcza charakterystyka zasobników energii elektrycznej

KORZYŚCI JAKIE PŁYNĄ Z ZASTOSOWANIA ZASOBNIKÓW ENERGII W SEE

Wsparcie odnawialnych źródeł energii - przechowywanie energii może ograniczyć wahania wprowadzania do systemu energii elektrycznej ze źródeł wiatrowych i fotowoltaicznych (PV) i umożliwia sprzedaż energii ze źródeł odnawialnych w okresach kiedy energia elektryczna jest najdroższa.

Poprawa parametrów jakościowych i niezawodnościowych (pewności zasilania) energii elektrycznej w KSE. Magazynowanie pozwoli również na utrzymanie zasilania w sytuacji braku dostępu do energii z tradycyjnych źródeł.

Wsparcie w procesach regulacji mocy czynnej i biernej w KSE, korekcja współczynnika mocy i sterowanie poziomem napięcia. Poprzez zastosowanie zaawansowanych przekształtników energoelektronicznych (sprzęgów systemowych) układy zasobników dają możliwość szybkiej zmiany mocy biernej oraz mocy czynnej.

Możliwość (przy znacznym rozproszeniu instalacji) wyrównywania obciążenia w KSE. Energia elektryczna jest pobierana przez zasobnik w okresach doliny obciążenia (zakup może być dokonywany z elektrowni pracujących w podstawie) i wprowadzana do sieci w okresach szczytów obciążenia. Korzyści polegają na poprawie współczynnika obciążenia, przesunięciu w czasie wprowadzania generacji, oraz zmniejszonym zakupie energii w godzinach szczytu z jednostek regulacyjnych.

KORZYŚCI JAKIE PŁYNĄ Z ZASTOSOWANIA ZASOBNIKÓW ENERGII W SEE

Możliwość inicjacji szybkiej zmiany obciążenia w czasie rzeczywistym.

Zasobniki energii umożliwiają szybką reakcję na zmiany obciążenia w systemie, zmniejszając tym samym w pewnym zakresie potrzebę śledzenia tych zmian i reagowania na nie przez regulacyjne jednostki wytwórcze.

Możliwość zarządzania mocą i energią wprowadzaną do sieci. Duże przepływy mocy ze źródeł niestabilnych mogą być opóźniane poprzez magazynowanie produkowanej w tych źródłach energii elektrycznej, aż do momentu wystąpienia zwiększonego zapotrzebowania w systemie.

Możliwość rezerwowania dostaw. Ze względu na zdolność do szybkiego wejścia do pracy zasobniki energii mogą działać jako gorąca rezerwa dla systemu zmniejszając stopień wykorzystania innych „bardziej kosztownych” źródeł energii.

Odroczenie konieczności budowy nowych zdolności przesyłowych.

Prawidłowo rozmieszczone w KSE zasobniki energii mogą być ładowane poza godzinami szczytu, powodując zmniejszenie szczytowego obciążenia linii przesyłowych i skuteczne zwiększenie zdolności przesyłowych.

KORZYŚCI JAKIE PŁYNĄ Z ZASTOSOWANIA ZASOBNIKÓW ENERGII W SEE

Odroczenie konieczności budowy nowych szczytowych źródeł wytwórczych - mniej jednostek jest potrzebnych do pokrycia zapotrzebowania szczytowego.

Wsparcie generacji rozproszonej. Magazynowanie energii pozwala lepsze wykorzystanie generacji rozproszonej, takiej jak mikroturbiny i ogniwa paliwowe, które mogą być eksploatowane przy stałej mocy w swojej najwyższej wydajności, co oznacza zmniejszenie zużycia paliwa i emisji spalin.

Zdolność do użycia w przypadku black-startu. Zasobniki energii mogą zostać użyte do uruchomienia bloków energetycznych bez dostawy energii od strony sieci (praca jako wzorzec napięcia).

Redukcja zużycia paliwa - użycie zasobników zmniejsza wykorzystanie szczytowych bloków energetycznych.

Korzyści dla środowiska - redukcja zużycia paliwa wpływa na zmniejszenie emisji do atmosfery szkodliwych związków, będących produktami spalania paliw konwencjonalnych.

METODYKA SZACOWANIA KOSZTÓW BUDOWY I FUNKCJONOWANIA ZASOBNIKÓW ENERGII

Pomimo powyższych zalet technicznych magazynowanie energii elektrycznej jest obecnie uważane za zbyt kosztowne by stosować je na dużą skalę. Należy jednak zauważyć, że koszty technologii magazynowania spadają i zastosowanie zasobników staje się coraz bardziej prawdopodobne.

Stosowanie zasobników energii elektrycznej wiąże się z dodatkowymi kosztami wynikającymi z **nakładów inwestycyjnych** niezbędnych do wybudowania magazynu energii oraz **kosztów związanych z pracą zasobników**, obejmujących **koszty energii elektrycznej potrzebnej do naładowania zasobnika** i **koszty potrzeb własnych**.

Aby określić nakłady inwestycyjne należy w pierwszej kolejności określić **pojemność zasobnika**, który ma współpracować z siecią elektroenergetyczną.

Dobór pojemności zasobnika zależy od przeznaczenia i warunków współpracy z KSE (wymagań systemowych). Musi być ona dokładnie określona z uwzględnieniem czasów rozładowania, głębokości rozładowania oraz sprawności cyklu konwersji energii dla wybranej technologii.

METODYKA SZACOWANIA KOSZTÓW BUDOWY I FUNKCJONOWANIA ZASOBNIKÓW ENERGII

Kolejnym krokiem jest **określenie nakładów inwestycyjnych**, które mogą być wyrażone w funkcji zdolności do magazynowania energii przez zasobnik i nominalnej mocy wyjściowej zasobnika. Równanie opisują dwa współczynniki definiowane dla każdej technologii, przy czym pierwszy c_e wyrażony jest w zł/kWh i związany jest z pojemnością a drugi c_{pr} wyrażony w zł/kW jest związany z mocą zasobnika.

Finalne równanie przedstawia **przyszłą wartość nakładów inwestycyjnych po n latach „życia” projektu inwestycyjnego**. Dodatkowym elementem, który został wprowadzony do formuły jest potencjalne wsparcie ze strony instytucji rządowych, np. związane z rozwojem OZE.

Kolejnym składnikiem kosztów jakie zostaną poniesione przez operatora magazynu energii jest **koszt zakupu energii do naładowania zasobnika**.

Ostatnim składnikiem kosztów związanych z eksploatacją zasobników w zakładanym okresie życia instalacji jest **koszt obsługi i serwisu**. Koszt ten można podzielić na **koszty stałe i zmienne**. **Koszty stałe** są związane z planowanymi **przeglądami i planowymi remontami** zasobnika. **Koszty zmienne** są związane ze **zużywaniem się zasobnika** wraz z liczbą cykli pracy i ewentualnymi potrzebami wymianami kluczowych elementów.

METODYKA SZACOWANIA KOSZTÓW BUDOWY I FUNKCJONOWANIA ZASOBNIKÓW ENERGII

Ostatecznie, aby uzyskać **jednostkowy koszt energii, w zł/kWh, z zasobnika** należy całkowity koszt związany z budową i funkcjonowaniem instalacji podzielić przez całkowitą ilość oddawaną przez zasobnik energii elektrycznej.

$$c_{ss} = \frac{C_{ss}}{E_{load} \cdot \sum_{j=1}^n \left(\frac{(1+w)^j}{(1+i)^j} \right) \cdot (1+i)^n}$$

gdzie:

c_{ss} - jednostkowy koszt produkcji energii elektrycznej;

w - wskaźnik wzrostu cen energii elektrycznej.

METODYKA UPROSZCZONA OCENY KOSZTÓW BUDOWY I FUNKCJONOWANIA ZASOBNIKÓW ENERGII



Rys. 1. Główne elementy układu wytwórczego z zasobnikiem energii [7]

W tej metodzie nakłady inwestycyjne oblicza się jako sumę nakładu na układ do konwersji energii (C_{pcs}) i nakładu na budowę zasobnika ($C_{storage}$):

$$C_{total}(zł) = C_{pcs}(zł) + C_{storage}(zł)$$

Nakład związany z budową układu do konwersji (przetwornika) energii zależy od mocy zasobnika.

$$C_{pcs}(zł) = c_{pcs}(zł / kW) \cdot N_{ss}(kW)$$

METODYKA UPROSZCZONA OCENY KOSZTÓW BUDOWY I FUNKCJONOWANIA ZASOBNIKÓW ENERGII

Nakład na budowę zasobnika energii jest proporcjonalny do jego pojemności.

$$C_{storage}(zł) = c_{storage}(zł / kWh) \cdot (E_{ss}(kWh) / \eta)$$

gdzie: η - oznacza sprawność układu zasobnika.

W najprostszym przypadku możemy przyjąć, że E_{ss} jest to iloczyn mocy N_{ss} i czasu t rozładowania zasobnika.

Mając obliczone całkowite nakłady inwestycyjne i znając moc zasobnika w kW możemy określić jednostkowe nakłady inwestycyjne:

$$c_{system}(zł / kW) = C_{total}(zł) / N_{ss}(kW)$$

Kolejnym elementem analizy jest określenie kosztu cyklu życia zasobnika, który zawiera: nakłady kapitałowe, koszty obsługi i serwisu, koszty zakupu energii na potrzeby ładowania zasobnika i koszty utylizacji.

Ostatnim elementem jest obliczenie wskaźnika wartości bieżącej nakładów dla okresu eksploatacji (np. 10-letniego) zasobnika energii.

METODYKA UPROSZCZONA OCENY KOSZTÓW BUDOWY I FUNKCJONOWANIA ZASOBNIKÓW ENERGII

W tabeli 1 przedstawiono nakłady jednostkowe dla wybranych typów zasobników energii.

Tabela 1. Koszty wybranych technologii zasobników [7]

Technologia	Koszty układu zasobnika		Sprawność układu, %	Liczba cykli
	C_{pcs} , zł/kW	$C_{storage}$, zł/kWh		
Akumulatory kwasowo-ołowiowe	1520	1254	80	2000
Akumulatory sodowo-siarkowe	1330	1330	75	3000
Akumulatory kwasowo-ołowiowe z elektrodami „węglowymi”	1520	1254	75	20000
Akumulatory cynkowo-bromowe	1520	1520	70	3000
Baterie przepływowe typu REDOX	1520	2280	65	5000
Akumulatory litowo-jonowe	1520	2280	85	4000
Pneumatyczne ZE (CAES)	2660	19	70	25000
Elektrownie szczytowo-pompowe	4560	285	85	25000
Kinetyczne ZE	2280	6080	95	25000
Superkondensatory	1900	38000	95	25000

WYBRANE ASPEKTY EKONOMICZNE ZASOBNIKÓW ENERGII DLA ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII I BILANSOWANIA SYSTEMU

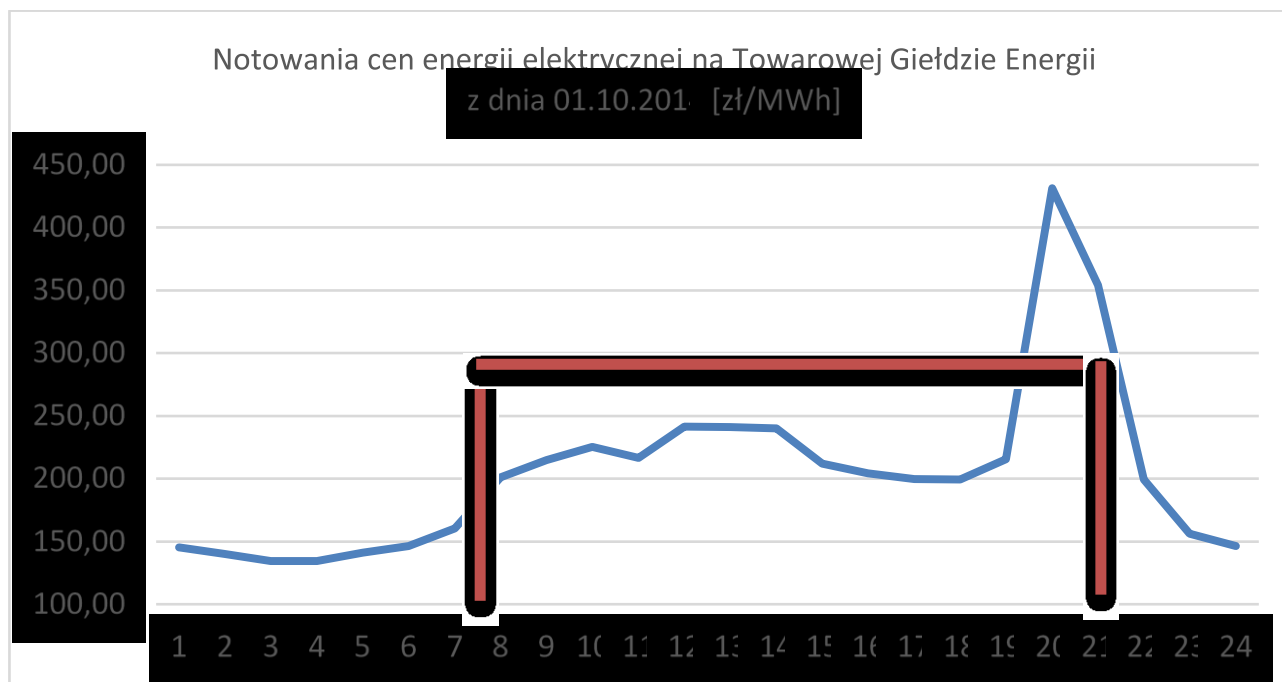
Oceniając efektywność ekonomiczną komercyjnego zastosowania zasobników energii należy brać pod uwagę szereg aspektów, które z punktu widzenia inwestora mogą mieć wpływ na podjęcie decyzji o wyposażeniu w zasobniki planowanej inwestycji.

Podstawowymi zagadnieniami, które należy rozważyć są:

1. Możliwość uzyskania warunków przyłączenia w zakładanej lokalizacji;
2. Sytuacja sieciowa determinująca stabilność wyprowadzenia mocy z planowanej elektrowni;
3. Możliwości ekonomiczne umieszczenia wyprodukowanej energii na rynku przy zakładanej stopie zwrotu z inwestycji;
4. Dodatkowe przychody z tytułu realizacji usług systemowych.

WYBRANE ASPEKTY EKONOMICZNE ZASOBNIKÓW ENERGII DLA ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII I BILANSOWANIA SYSTEMU

Współpraca zasobników energii z odnawialnymi źródłami energii daje możliwość zmniejszenia kosztów wynikających z uczestnictwa w rynku bilansującym, ale daje także **możliwość zarządzania sprzedażą energii elektrycznej poprzez profilowanie produkcji** i dysponowanie paletą produktów dostosowanych do sytuacji rynkowej. Korzystanie ze wzrostu cen w trakcie zapotrzebowania szczytowego jest najważniejszym aspektem funkcjonowania nowoczesnego źródła OZE. Przykład takiej sprzedaży przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Ceny energii elektrycznej na TGE z zaznaczonym obszarem profilu sprzedaży

WYBRANE ASPEKTY EKONOMICZNE ZASOBNIKÓW ENERGII DLA ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII I BILANSOWANIA SYSTEMU



Rys. 3. Ceny energii elektrycznej na Rynku Bilansującym w 2014 roku [1]

Możliwość regulacji wielkości energii elektrycznej wprowadzanej do Krajowego Systemu Elektroenergetycznego stanowi znakomite uzupełnienie dotychczasowej praktyki wykorzystywania do tego celu elektrowni systemowych.

Ceny na rynku bilansującym są ściśle skorelowane z możliwością bieżącego pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną i **dysponent rezerw mocy w zasobnikach mógłby aktywnie uczestniczyć w procesie bilansowania systemu odnosząc z tego znaczne korzyści finansowe. Wysokość cen na rynku bilansującym została przedstawiona na rysunku 3.**

WNIOSKI

Zasobniki energii mają wiele zalet technicznych, ale na obecną chwilę stosunkowo wysokie nakłady inwestycyjne powodują ich ograniczony zakres stosowania.

Magazynowanie energii w ostatnich latach cieszy się coraz większym zainteresowaniem, zarówno ze strony operatorów sieci elektroenergetycznych, jak i samych wytwórców energii. Od dłuższego czasu trwają wyłożone prace nad rozwiązaniem problemu gromadzenia znacznych ilości energii, które mogłyby zmienić sposób zarządzania systemem elektroenergetycznym, funkcjonowania rynku energii oraz sterowania pracą tzw. niestabilnych odnawialnych źródeł energii.

Metodyka oceny ekonomicznej stosowania zasobników polega na określeniu wysokości nakładów inwestycyjnych i kosztów funkcjonowania układów zasobnikowych.

Oceniając efektywność ekonomiczną zastosowania komercyjnego zasobników energii należy brać pod uwagę szereg aspektów, które z punktu widzenia inwestora mogą mieć wpływ na podjęcie decyzji o wyposażeniu w zasobniki planowanej inwestycji, tj. możliwość uzyskania warunków przyłączenia w zakładanej lokalizacji, sytuację sieciową determinującą stabilność wyprowadzenia mocy z planowanej elektrowni, możliwości ekonomiczne umieszczenia wyprodukowanej energii na rynku przy zakładanej stopie zwrotu z inwestycji, dodatkowe przychody z tytułu realizacji usług bilansujących, regulacyjnych i systemowych.

Pytania Recenzenta

1. Dokonany przegląd literaturowy zyskałby przez odwołania do „Białych Ksiąg” nt. EES (np. ESC-2002, Good Co.Ass.-2008, IEC-2015).

Literatura dotycząca magazynowania energii elektrycznej jest bogata. Jej obszerniejsze zestawienia znalazły się w naszych innych opracowaniach, tutaj ograniczono się do pozycji bezpośrednio związanych z tematyką artykułu.

2. Do katalogu technologii można dołączyć samochody elektryczne (BEV).

Traktujemy samochody elektryczne raczej jako „**nosicieli**” baterii akumulatorów a nie odrębną technologię magazynowania energii elektrycznej. Oczywiście koncepcja wykorzystania „floty” samochodów elektrycznych jako rozproszonego zasobnika energii dla SEE (EV2G – Electrical Vehicles to Grid) jest interesująca.



XXI Konferencja Naukowo-Techniczna Rynek Energii Elektrycznej; Kazimierz Dolny, 11-13 maja 2015 r.



谢谢您
Merci de votre attention
Thank You for Attention
Aap ke dh-air-ye ke liye dhanyawād
Obrigado pela atencao
감사합니다
Děkujeme Vám za pozornost
Dziękuję za uwagę
Спасибо за внимание
Köszönöm a figyelmét
感谢您的关注
ΣΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ
Merci de votre attention
Thank you for your attention
Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Jozef.Paska@ien.pw.edu.pl