



Konferencja
Naukowo-Techniczna
Miasto i Transport

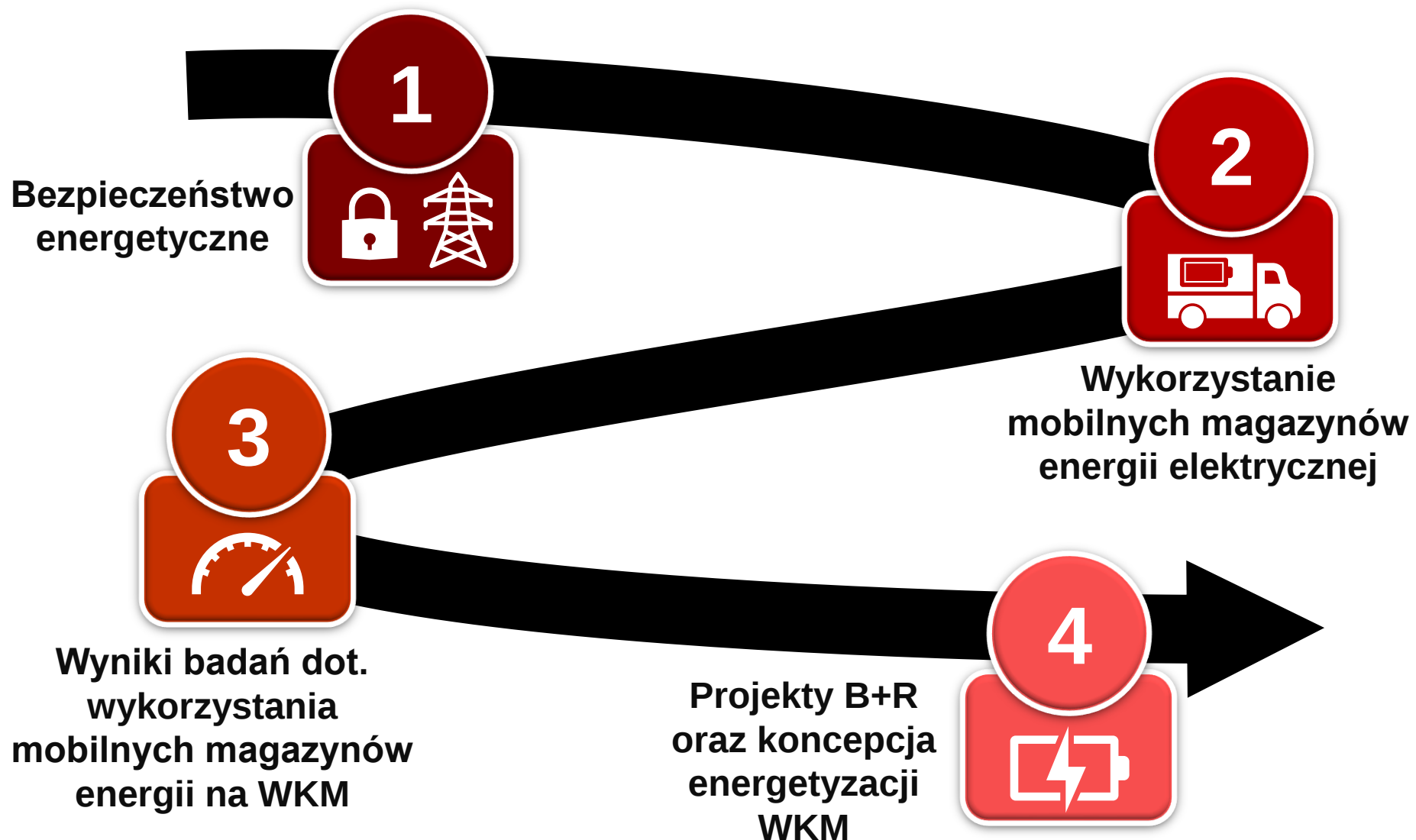
2025

Jak wzmocnić odporność infrastruktury drogowego transportu publicznego na przerwy w dostawach energii elektrycznej?

dr inż. Krzysztof Zagrajek

Instytut Elektroenergetyki
Wydział Elektryczny
Politechnika Warszawska

AGENDA



BEZPIECZEŃSTWO ENERGETYCZNE

- Bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej jest krytyczne z punktu widzenia funkcjonowania społeczeństwa
- Operator Systemu Przesyłowego musi posiadać rezerwę operacyjną $\geq 9\%$ zapotrzebowania na moc
- W ogólności można przyjąć, że czas, dla którego wystąpi brak dostatecznej rezerwy operacyjnej będzie w danym roku kalendarzowym równym wskaźnikowi LOLE (Loss of Load Expectation)

Standard bezpieczeństwa pracy systemu elektroenergetycznego: LOLE = 3 h

Tab. 5.1 Analiza wystarczalności systemu – LOLE i EENS – scenariusz bazowy

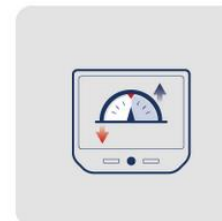
Rok	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
LOLE średnia godz./rok	7,6	40,8	50,2	33,3	20,5	9,6	6,6	14,3	15,0	14,4	10,9

PSE S.A: Ocena wystarczalności zasobów na poziomie krajowym 2025 – 2040, listopad 2024

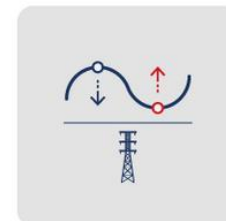
ŚRODKI, KTÓRYMI DYSPONUJE OPERATOR



Rynek mocy



Polecenie zwiększenia
lub zniżenia generacji



DSR – Demand
Side Response



Elektrownie
szczytowo-pompowe



Pomoc
międzyoperatorska



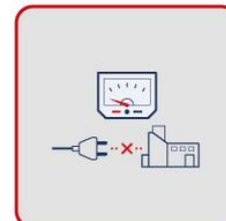
Rezerwa wirująca



Rezerwa zimna



Ograniczenia
w zasilaniu
odbiorców

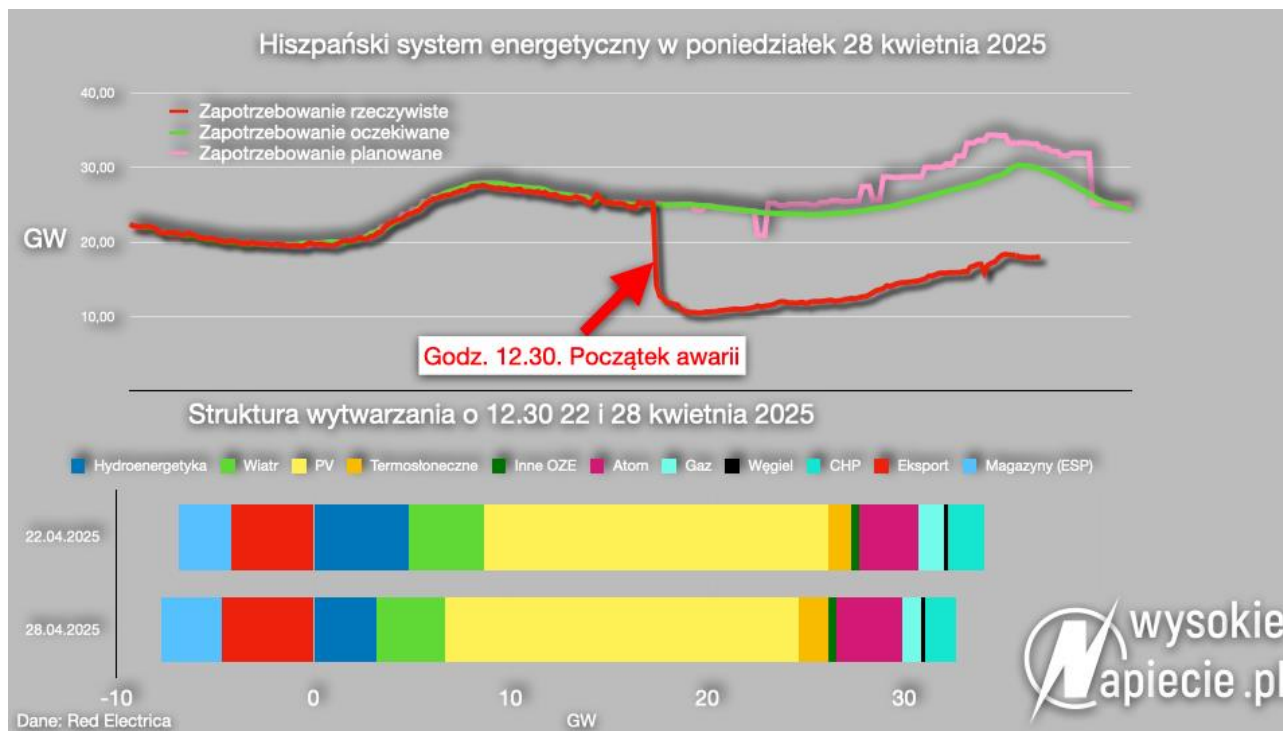


Ograniczenia w dostarczaniu
i poborze energii elektrycznej
(stopnie zasilania)

<https://www.pse.pl/jak-funkcjonuje-krajowy-system-elektroenergetyczny/bilansowanie-systemu>

BEZPIECZEŃSTWO ENERGETYCZNE

Blackout 2025 – Hiszpania/Portugalia



**JEST ZA WCZEŚNIE ABY JEDNOZNACZNIE
STWIERDZIĆ CO SPOWODOWAŁO BLACKOUT**



Powstanie raport ENTSO-E

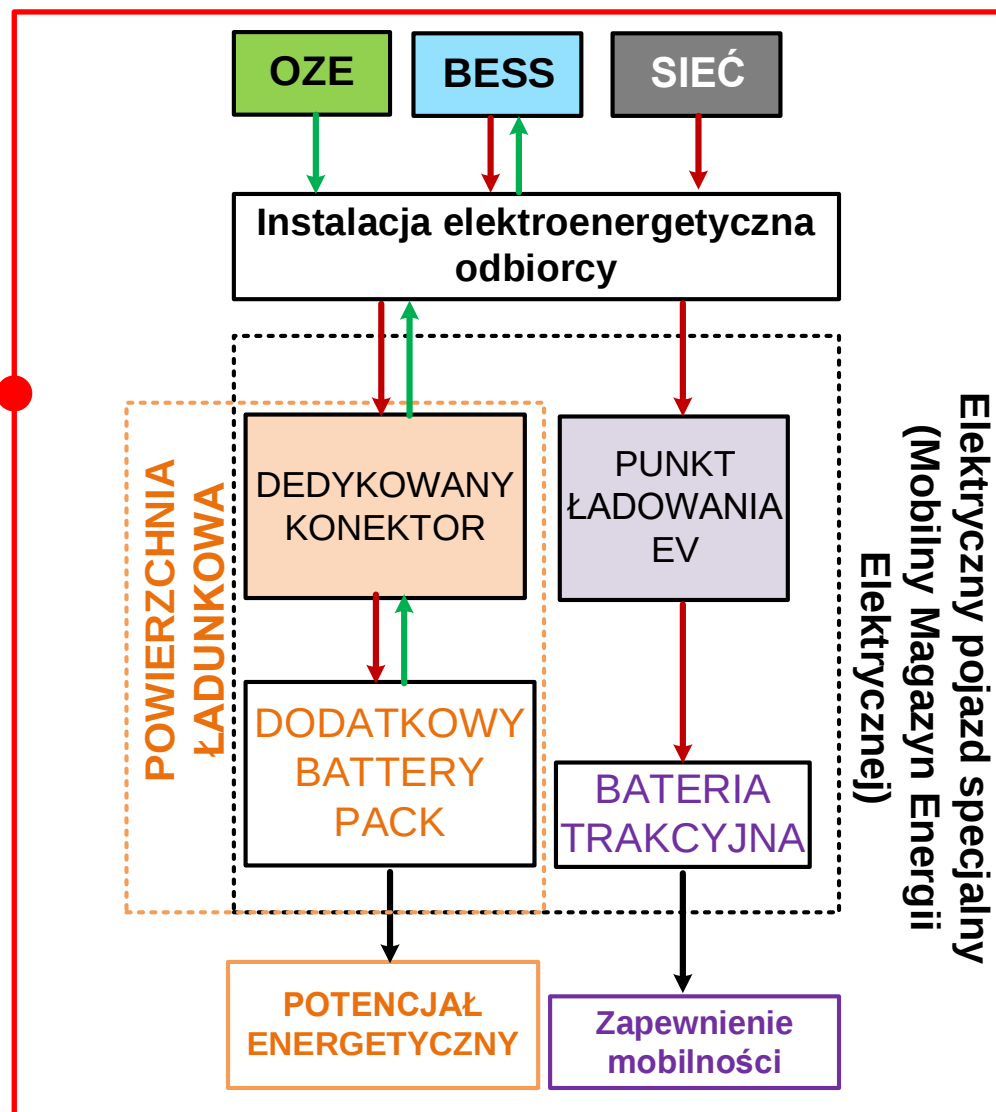
<https://wysokienapiecie.pl/109857-blackout-w-hiszpanii-zaatakowal-poteczny-apagon/>

Krzysztof Zagrajek

ZABEZPIECZENIE DOSTAW EE

Rodzaj metody/urządzenia
rezerwowa, niezależna linia zasilająca z sieci elektroenergetycznej
agregat prądotwórczy
bateria akumulatorów
układ zasilania bezprzerwowego (UPS)
kompresyjny zasobnik energii

- Wykorzystanie dodatkowego akumulatora w części ładunkowej
- **Brak ograniczenia dostępnej pojemności w baterii trakcyjnej**
- Klasyczny przepływ energii elektrycznej, zamiast dedykowanej „technologii”



Źródło: Markiewicz H., Instalacje Elektryczne, PWN, 2018, Warszawa

MOBILNE MAGAZYNY ENERGII



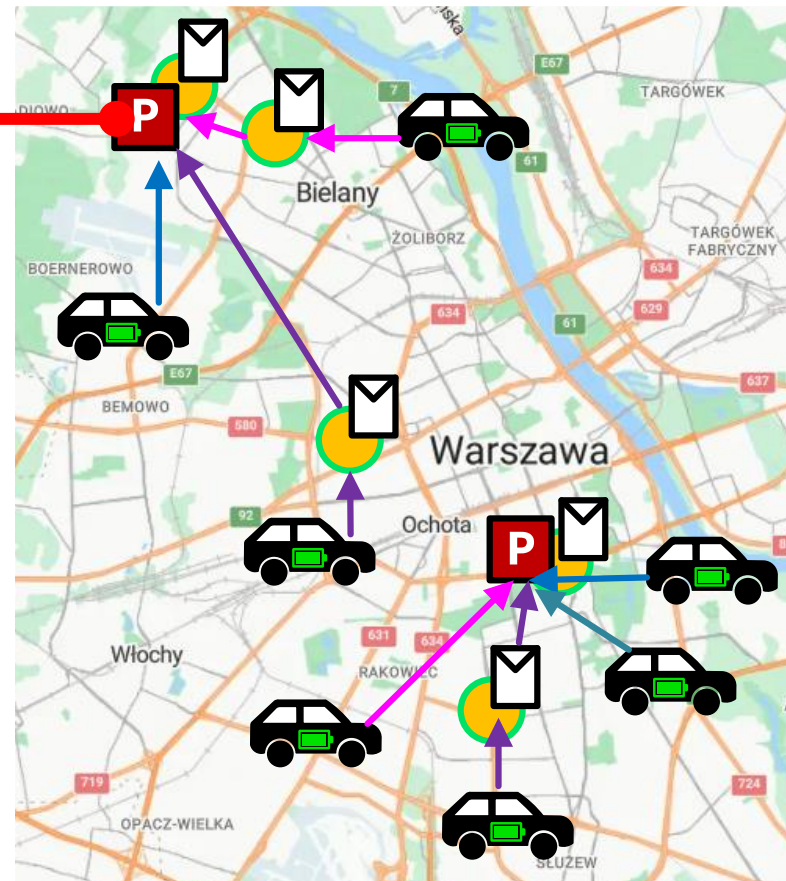
**Usługa Rezerwowego Zasilania
Odbiorcy Końcowego (RZOK)**



Usługa Harmonogramowana



Usługa Interwencyjna



Miejsce rozładowanie MMEE



Instalacje OZE z nadwyżkami

WYNIKI BADAŃ (WSTĘPNE)

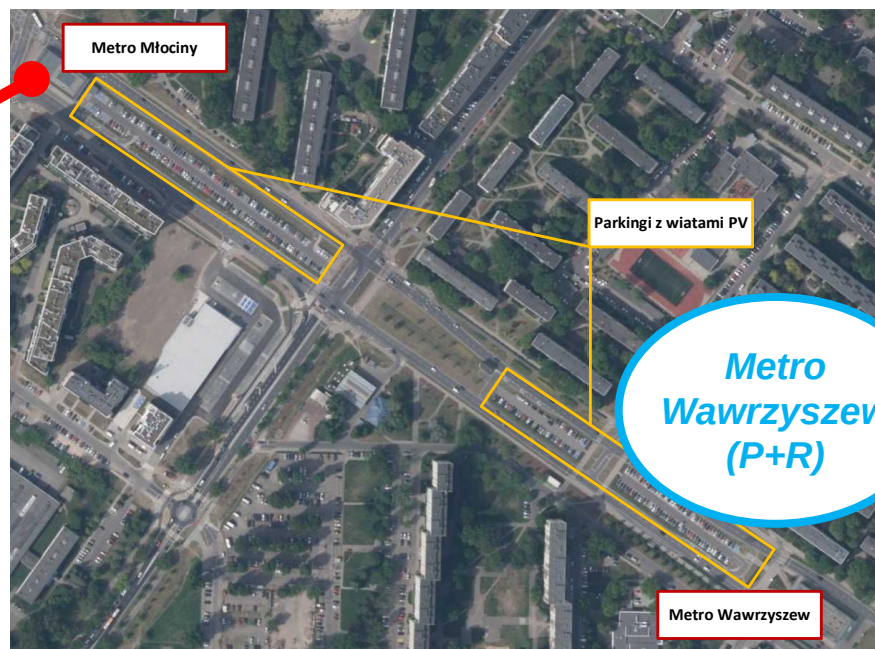
Parameter		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Integration level of power output and power electronics with MESF					
Nominal capacity of MESF [kWh]	Cat. I	96	72	48	24
	Cat. II	192	168	144	120
Maximal discharging/charging power of MESF [kW]	Cat. I	40			
	Cat. II	80			
No. of battery strings	Cat. I	2	1	1	1
	Cat. II	3	3	2	2
Nominal voltage [V]	Cat. I	518*	777	518*	259*
	Cat. II	690.67	604.33	777	647.50
No. of cells per floor	Cat. I	70			
	Cat. II	70			
No. of battery floors	Cat. I	4	3	2	1
	Cat. II	8	7	6	5
Weight of the battery pack [kg]	Cat. I	397.60	298.20	198.80	99.40
	Cat. II	795.20	695.80	596.40	497.00
Weight of power electronic components and auxiliaries [kg]	Cat. I	80	130	230	330
	Cat. II				
Total weight of MESF [kg]	Cat. I	477.60	428.20	428.80	429.40
	Cat. II	875.20	825.80	826.40	827

Koncepcja energetyzacji WKM

Planowane zamierzenie inwestycyjne:

Budowa kompleksu instalacji fotowoltaicznych PV zintegrowanych z magazynami energii elektrycznej oraz punktami ładowania pojazdów elektrycznych i towarzyszącą im infrastrukturą elektroenergetyczną, a także przystosowanych do integracji z **Mobilnymi Magazynami Energii Elektrycznej**, na terenie Dzielnicy Bielany m.st. Warszawy (Koncepcja Młociny)

Zamawiający: Biuro Infrastruktury Urzędu m.st. Warszawy oraz Zarząd Transportu Miejskiego



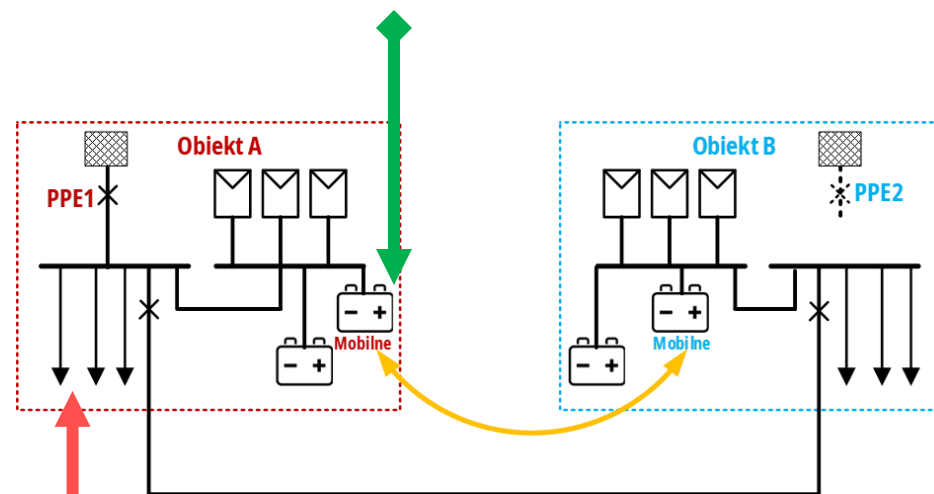
Koncepcja energetyzacji WKM

Koncepcja Młociny

CELE INWESTYCJI:

- produkcja energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii (OZE),
- obniżenie kosztów funkcjonowania obiektów m.st. Warszawy w zakresie zużycia energii elektrycznej,
- efektywne wykorzystanie wyprodukowanej i zmagazynowanej energii elektrycznej poprzez maksymalizację współczynnika autokonsumpcji,
- rozwój infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych,
- poprawa poziomu bezpieczeństwa energetycznego miejskiej infrastruktury krytycznej,**
- ograniczenie strat finansowych wynikających z konieczności wyłączania instalacji OZE w ramach nierynkowego redysponowania jednostkami wytwórczymi.

- Wsparcie SCB
- Wsparcie ewakuacji pasażerów z Metra – dodatkowe źródło zasilania



- Stacje ładowania autobusów elektrycznych
- Stacje ładowania EV
- Centrum Zarządzania Parkingami

PODSUMOWANIE

- Bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej do odbiorców końcowych jest krytyczne z punktu widzenia funkcjonowania społeczeństwa**
- Katastrofalne skutki gospodarcze i społeczne w czasie wystąpienia przerwy w zasilaniu energią elektryczną
- Długotrwałe przerwy w zasilaniu infrastruktury drogowego transportu publicznego (i prywatnego) będą powodowały paraliż komunikacyjny
- Rozwiązaniem wspierającym znane już układy rezerwowania zasilania mogą być mobilne magazyny energii elektrycznej**
- Mobilne magazyny energii elektrycznej będą wymagać niewielkich rozmiarów przyłącza, nie zaś trudnych do realizacji (prawnie, środowiskowo, architektonicznie) rozwiązań stacjonarnych (np. kontenery)
- MMEE mogą pełnić również inne funkcje w czasie normalnej pracy systemu elektroenergetycznego

Tytuł projektu: *Koncepcja utworzenia pojazdu specjalnego będącego mobilnym magazynem energii elektrycznej, zawierająca wytyczne w zakresie konstrukcyjnym i tworzenia oprogramowania do synergii odnawialnych źródeł energii i odbiorców w ramach procesu energetyzacji aglomeracji miejskich*

Jednostka organizacyjna: Instytut Elektroenergetyki PW

Kierownik projektu: dr inż. Krzysztof Zagrajek

Partnerzy projektu:

- Stoen Operator
- Urząd m.st. Warszawa
- Hitachi Energy Polska

**STOEN
OPERATOR**
powered by **e-on**



Zarząd
Transportu Miejskiego
w Warszawie

**Politechnika
Warszawska**

**UCZELNIA
BADAWCZA**
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

Hitachi Energy



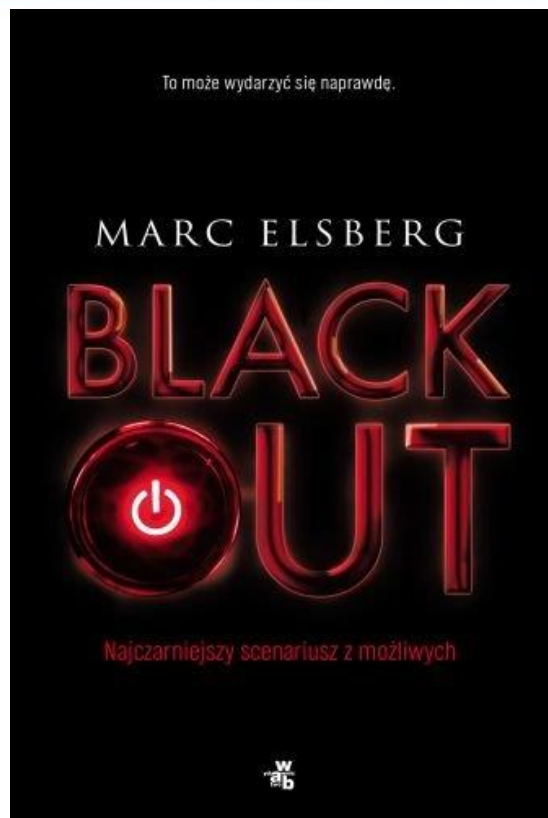
Danfoss

Celem projektu jest zatem utworzenie projektów koncepcyjnych takiego pojazdu specjalnego, mobilnego magazynu energii elektrycznej oraz przyłącza elektroenergetycznego, dzięki któremu będzie możliwe przyłączenie takiego pojazdu do instalacji elektroenergetycznej odbiorcy końcowego. W ramach projektu zostaną opracowane wytyczne konstrukcyjne dot. takiego pojazdu (w szczególności dot. jego podwozia i nadwozia, wielkości MMEE, sposobu montażu MMEE i standardu przesyłu energii elektrycznej z pojazdu do instalacji odbiorcy), jak również w zakresie tworzenia oprogramowania do integracji takich rozwiązań z istniejącymi urządzeniami infrastruktury elektroenergetycznej. Planowane jest zaprojektowanie algorytmów zarządzania energią elektryczną w takim MMEE, w taki sposób aby ładować lub rozładowywać go w sposób optymalny, uwzględniając profil odbiorcy końcowego energii elektrycznej i profil wytwarzania energii elektrycznej w OZE



Konferencja
Naukowo-Techniczna
Miasto i Transport

2025



Dziękuję za uwagę

dr inż. Krzysztof Zagrajek

Instytut Elektroenergetyki
Wydział Elektryczny
Politechnika Warszawska