



**PSE Innowacje sp. z o.o.**

## **Węzłowe i strefowe rozwiązania modelu rynku energii elektrycznej**

Maksymilian Przygodzki | Rafał Gwóźdź | Łukasz Wakuliński

[maksymilian.przygodzki@pse.pl](mailto:maksymilian.przygodzki@pse.pl)

XXV Konferencja Naukowo-Techniczna REE 2019

Kazimierz Dolny, | 7-9 października 2019 r.





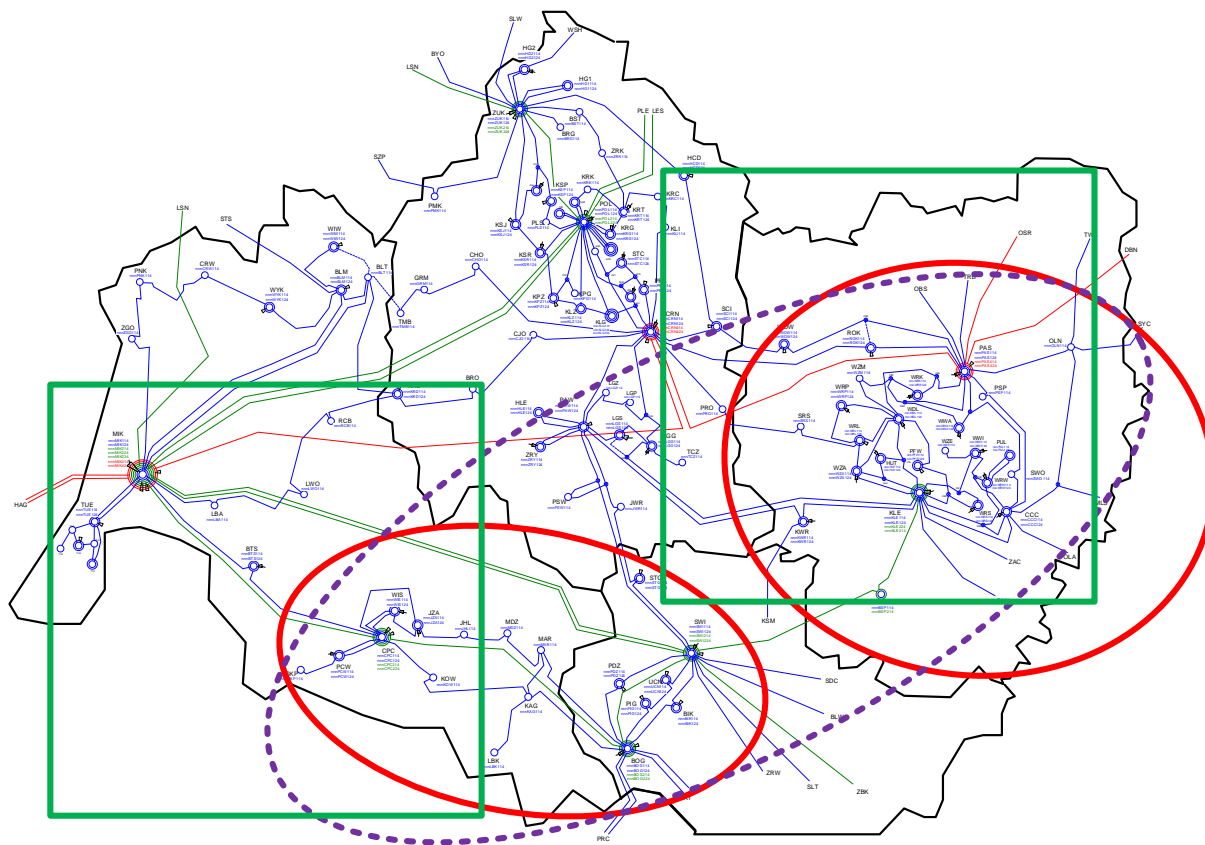
## Tło zagadnienia

- Odzworowanie sieci i procesów wiążących ze sobą ekonomikę systemu oraz elektrotechnikę wymaga poszukiwania modeli i rozwiązań, w których wynik będzie przydatny przez operatora w ocenie działania układów oraz będzie efektywny dla uczestników procesu;
- Efektywność może być również cechą samego procesu, w rozumieniu nakładu obliczeniowego versus dokładności odwzorowania. W tym zakresie od lat rozpatrywane są konkurencyjne rozwiązania modelu strefowego i węzłowego;
- W modelu strefowym odwzorowany system elektroenergetyczny zostaje podzielony na strefy, wyróżnione na podstawie przyjętego kryterium. Dla celów rozliczeniowych, kryterium tym może być cena energii elektrycznej. Wówczas gradient wyznacza identyfikacja ograniczeń przesyłowych;
- Alternatywnym modelem jest model węzłowy, w którym szczegółowość rozwiązania jest wynikiem zawężenia zakresu strefy do węzła. Model taki jest bardzo detaliczny, potencjalnie bardziej dokładny, ale jednocześnie znacznie bardziej wymagający;
- Elementem krytycznym doboru modeli jest miara sygnałów płynących z rozwiązań, w szczególności dotyczących powstających ograniczeń sieciowych.








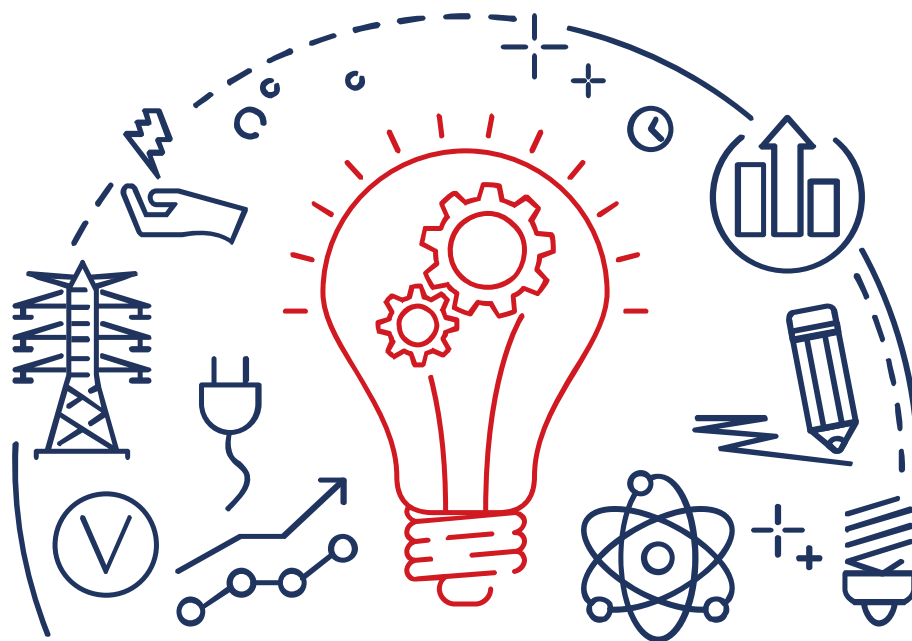
# Tło zagadnienia



## LEGENDA

-  - obszar w którym zidentyfikowano węzły o identycznej cenie węzłowej
-  - obszar w którym różnica cen w węzłach jest w granicach +/- 10 zł
-  - obszar w którym łączna moc zapotrzebowania nie przekraczającym 50MW





## Projekty badawcze





## Market Design 2030

- Celem projektu ENTSO-E „Market Design 2030” jest przeprowadzenie symulacji i porównanie funkcjonowania rynku węzłowego i strefowego w Europie;
- Symulacje prowadzone w ramach projektu ENTSO-E „Market Design 2030” dotyczą kilku wybranych krajów europejskich, które tworzą tzw. „region core”;
- W projekcie przyjęto podejście optymalizacji rozdziału mocy wytwarzanych przy określonym zapotrzebowaniu kierując się minimalizacją łącznych kosztów systemu. Funkcję tą zrealizowano budując dwa modele:
  - Model strefowy – w którym przepływ mocy jest nieograniczony (bez ograniczeń przesyłowych) w ramach każdej BZ. W tym podejściu rozpatruje się jedynie zdolności przesyłowe pomiędzy strefami. Zdolności te są wyrażone jako tzw. NTC (net transfer capacity). Jest to maksymalna moc czynna przesyłana, wynikająca zwykle z obciążalności termicznej linii przesyłowej;
  - Model węzłowy – złożony z poszczególnych węzłów reprezentujących rozdzielnie (stacje) w systemie i połączonych liniami elektroenergetycznymi. Dla linii tych określa się maksymalną zdolność przesyłową.

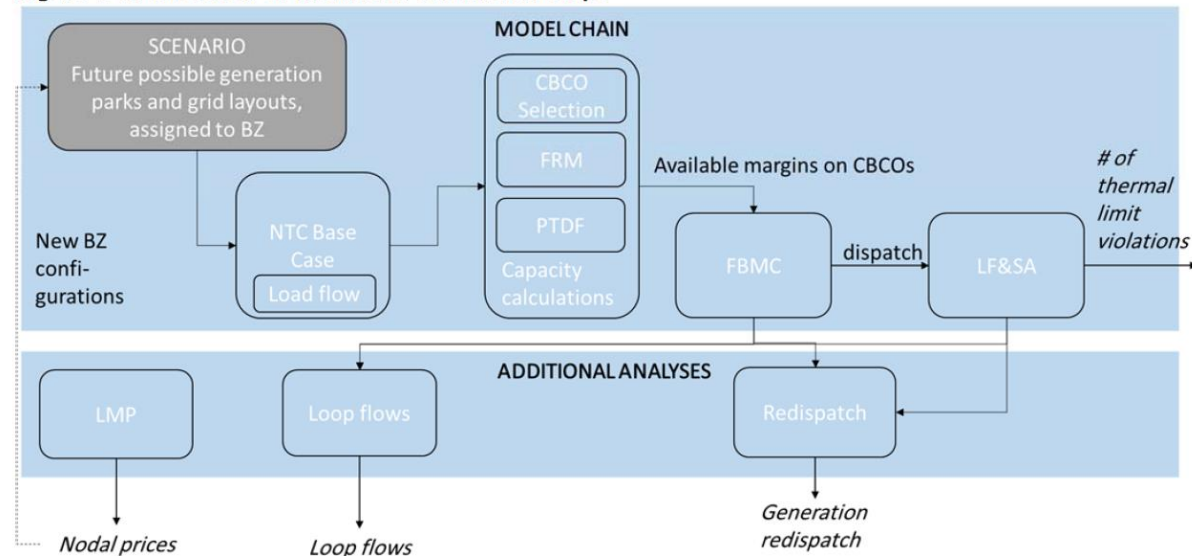


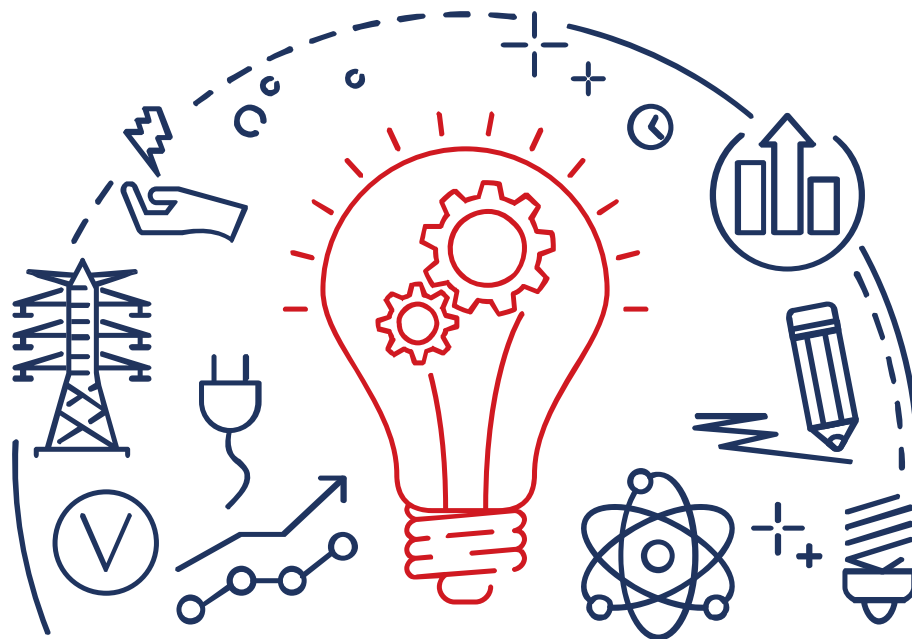


## Market Design 2030

- Dla porównywanych modeli strefowego i węzłowego przyjęto generację i zapotrzebowanie przypisane odpowiednio do stref (BZ) bądź węzłów. Obliczenia przeprowadzono stosując określony schemat działań.

Figure 1-1: Overview of individual calculation steps



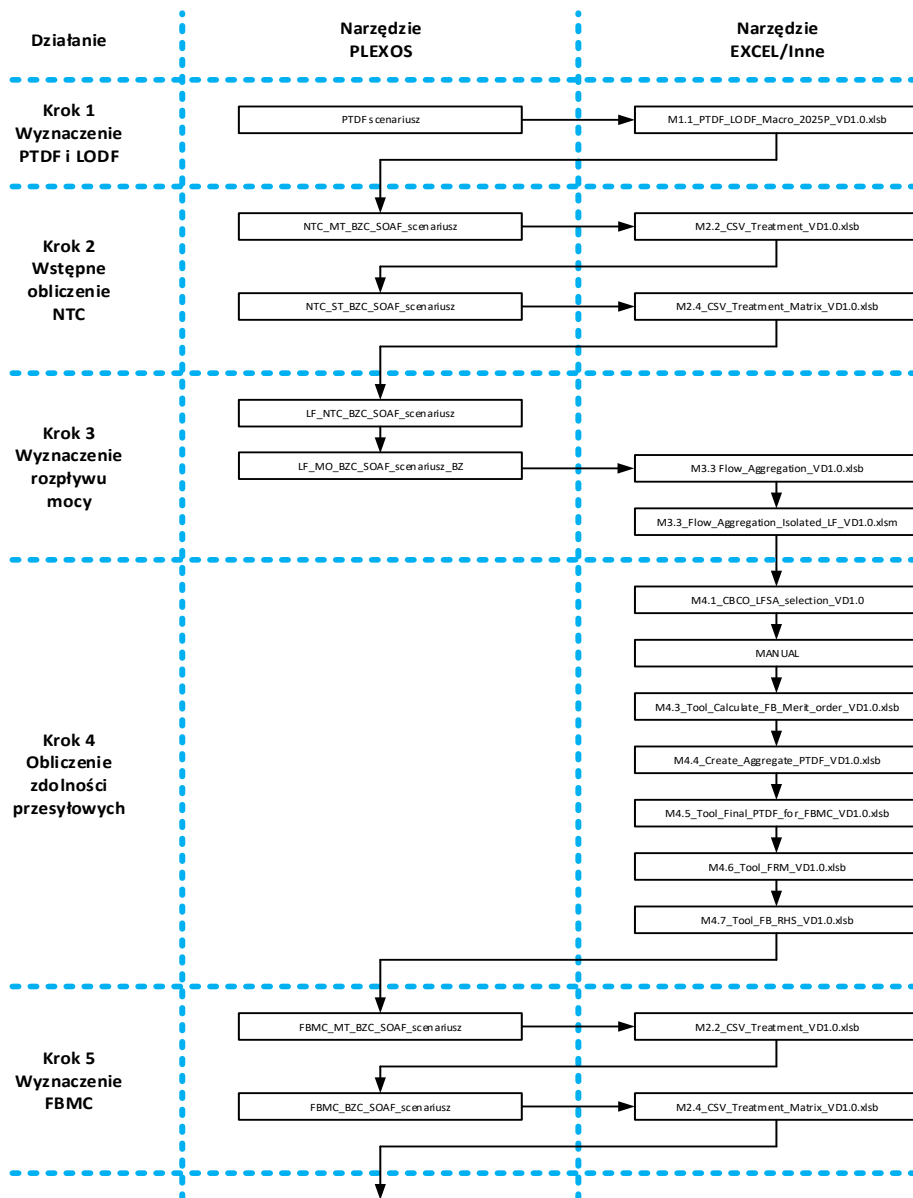


## Modele analityczne





## Podjęte działania

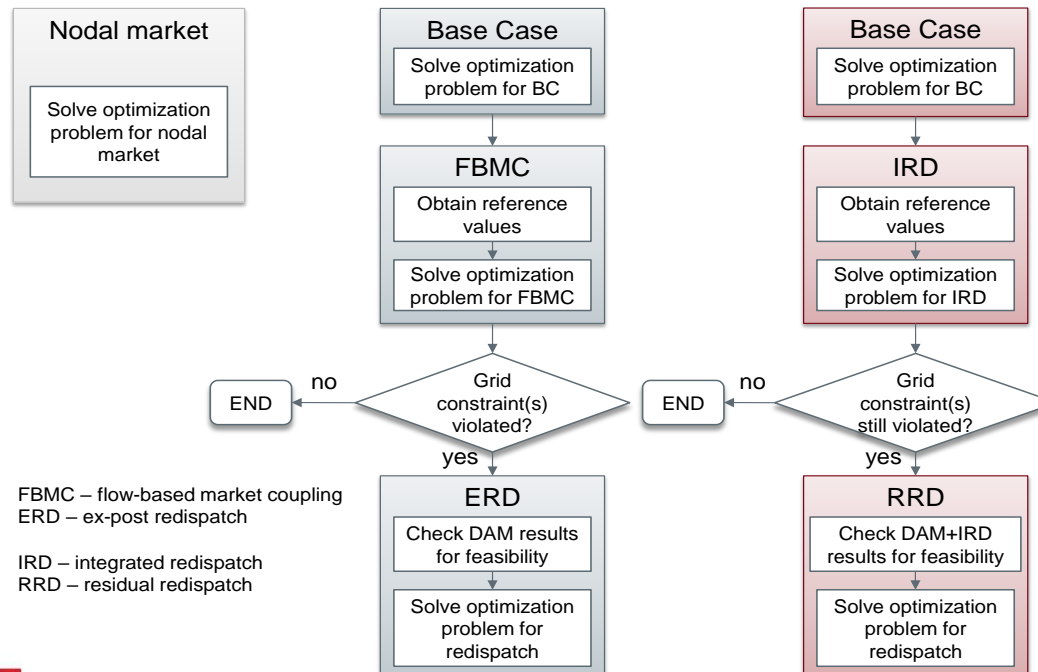


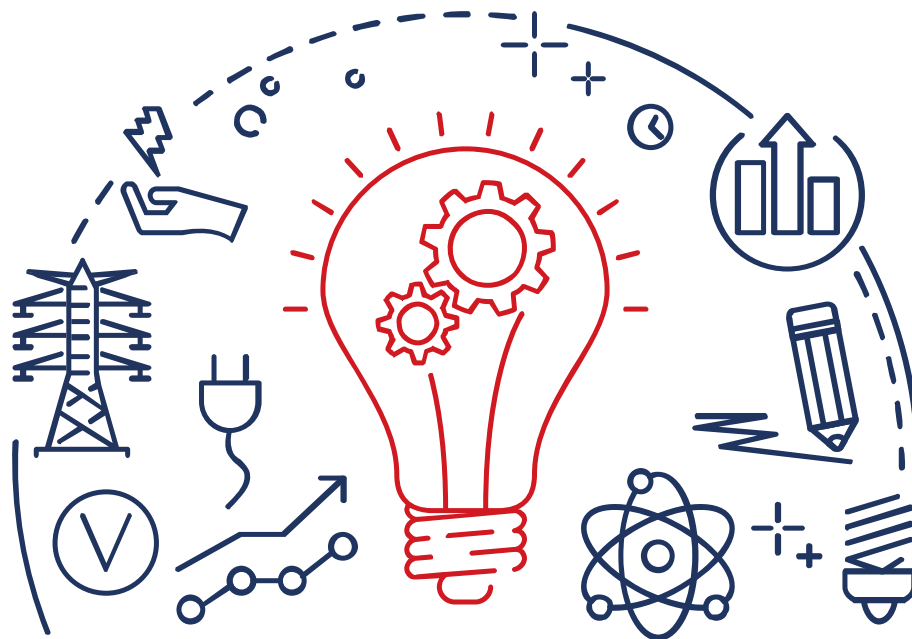




## Podjęte działania

- Stosując powyższe rozwiązania zapisane w postaci procesu analitycznego rozwiązano trzy modele rynkowe:
  - model węzłowy,
  - model strefowy (BAU), w którym pomijane są ograniczenia sieciowe wewnątrz strefy i stosowana jest zmiana punktu pracy (redispatch) generatorów o charakterze ex post,
  - model strefowy (ZWIR), w którym ograniczenia sieciowe są brane pod uwagę dla generatorów wykorzystywanych do zmiany punktu pracy (redispatch), przy „kooptymalizacji” z rynkiem DA.





**Wyniki analiz**





## Wyniki analiz

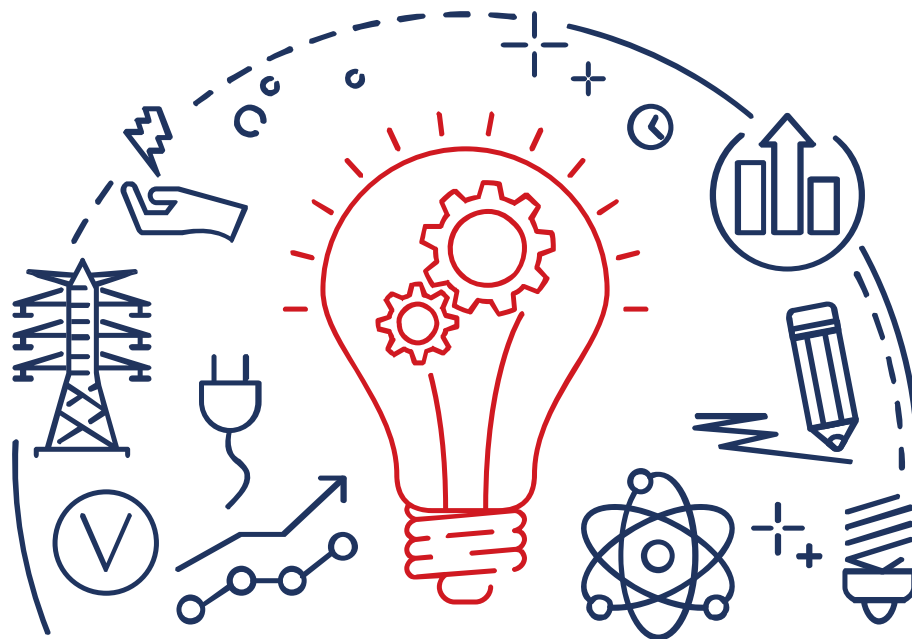
### Zestawione wyniki dla obszarów w modelu strefowym

Nazwa	Generation [MW]			Net Interchange [MW]			Generation Cost [zł]			Price [zł/MWh]			Cost to Load [zł]			Generator Pool Revenue [zł]			Settlement Surplus [tyś. zł]		
	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
Obszar A	200,0	200,0	200,0	0,0	0,0	0,0	40,0	40,0	40,0	200,0	200,0	200,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	0,0	0,0	0,0
Obszar B	0,0	0,0	0,0	-	-	-	0,0	0,0	0,0	200,0	250,0	250,0	40,0	50,0	50,0	0,0	0,0	0,0	40,0	50,0	50,0
Obszar C	600,0	600,0	600,0	200,0	200,0	200,0	65,0	65,0	65,0	200,0	200,0	200,0	80,0	80,0	80,0	120,0	120,0	120,0	-40,0	-40,0	-40,0

### Zestawione wyniki dla obszarów w modelu węzłowym

Nazwa	Generation [MW]			Net Interchange [MW]			Generation Cost [zł]			Price [zł/MWh]			Cost to Load [zł]			Generator Pool Revenue [zł]			Settlement Surplus [tyś. zł]		
	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
Obszar A	200,0	120,2	76,2	0,0	-79,8	-	40,0	24,0	15,2	200,0	200,0	200,0	40,0	40,0	40,0	40,0	24,0	15,2	0,0	16,0	24,8
Obszar B	0,0	79,8	276,2	-	-	76,2	0,0	20,0	69,0	200,0	250,0	250,0	40,0	50,0	50,0	0,0	20,0	69,0	40,0	30,0	-19,0
Obszar C	600,0	600,0	447,7	200,0	200,0	47,7	65,0	65,0	49,8	200,0	225,2	229,3	80,0	90,1	91,7	120,0	132,6	69,8	-40,0	-42,6	22,0





## Podsumowanie





## Podsumowanie

- W przykładzie obliczeniowym wykorzystane zostały trzy podejścia do problemu modelowania rynkowego, mianowicie modele węzłowy, BAU oraz ZWIR.
- Model węzłowy pozwolił na wyznaczenie przypadku referencyjnego, który stanowi bazę do obliczeń w dwóch pozostałych przypadkach. Jako przypadek referencyjny przyjęto tzw. wariant W1, opisujący sytuację optymalnej generacji, będącej źródłem rozprywu w sieci bez dodatkowych ograniczeń gałęziowych (w rzeczywistości limity gałęziowe określono na poziomie 150 MW). Zdefiniowana w tym modelu funkcja celu pozwala na znalezienie optymalnej generacji. Pozwala również na uwzględnienie ograniczeń termicznych na wybranych liniach, jak to zostało przeanalizowane w wariantach W2 i W3. Koszt produkcji uzyskiwany poprzez wyliczenie wartości funkcji celu, wzrasta przy aktywnych ograniczeniach sieciowych, osiągając największą wartość dla wariantu W3, czyli ograniczeń sieciowych na dwóch wybranych liniach (międzyobszarowej i wewnątrzobszarowej).
- Wyniki otrzymane dla przypadku referencyjnego stanowiły punkt odniesienia dla obliczeń w modelu BAU. Funkcja celu jest w tym modelu taka sama, jak poprzednio, jednakże pojawiające się ograniczenia dotyczą zdefiniowanych w sieci stref. W podejście BAU zmieniają się przepływy na gałęziach krytycznych.
- W modelu ZWIR wszystkie generatory podlegają rozdziałowi obciążeń IRD, dlatego też na korekty przepływów gałęziowych wpływ mają wyłącznie współczynniki węzłowe PTDF. Model ZWIR łączy w sobie cechy modelu węzłowego, a jednocześnie uwzględnia pewne mechanizmy związane z istnieniem stref rynkowych. Pierwszy udział poprzez węzłowe współczynniki PTDF wpływa na przepływy gałęziowe, natomiast drugi – poprzez strefowe PTDF. W analizowanym przypadku procedura IRD wystarcza do tego, żeby ograniczenia termiczne nie były przekroczone i nie jest konieczne wykonanie dodatkowego rozdziału RD ex post.





**PSE Innowacje sp. z o.o.**

## **Węzłowe i strefowe rozwiązania modelu rynku energii elektrycznej**

Maksymilian Przygodzki | Rafał Gwóźdź | Łukasz Wakuliński  
maksymilian.przygodzki@pse.pl  
tel. (32) 257 8571 | PSE Innowacje Sp. z o.o.

