



**System
Elektroenergetyczny:
Bezpieczeństwo
Operacyjne i Rynkowe**

Aktywna sieć nn: sterowalne sprzęgła jako narzędzie stabilizacji i bilansowania lokalnego

Mariusz Kłos; ENSTORIA Sp. z o.o.

Przedstawione w artykule rozwiązanie technologiczne zostało opracowane, zweryfikowane i sfinansowane w ramach Działania 1.1 projektu B+R przedsiębiorstw, Poddziałania 1.1.1 „Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane przez przedsiębiorstwa”. Numer projektu: POIR.01.01.01-00-1114/18. Tytuł Projektu: Układy integrujące zasobnik energii z abonenckimi stacjami transformatorowymi SN/nn, umożliwiające usprawnienie funkcjonowania sieci dystrybucyjno-rozdziałczych.

Kazimierz Dolny, 17–19 marca 2026 r.

Zaawansowane technologicznie urządzenia energetyczne z obszaru generacji rozproszonej na sieci OSD



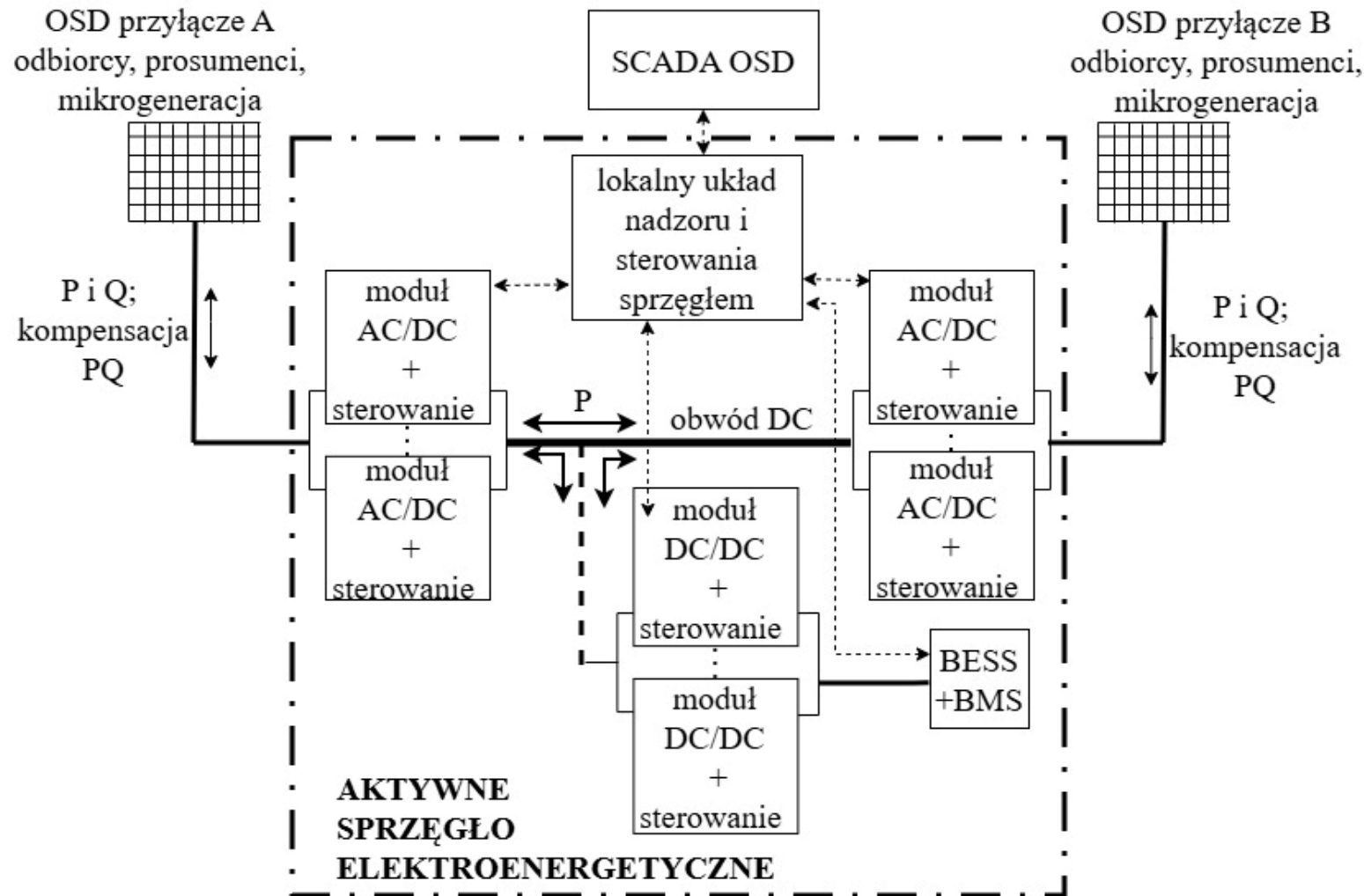
- Mikro i małe urządzenia wytwórcze, wykorzystujące technologie konwencjonalne, alternatywne i odnawialne (turbiny wodne, turbiny wiatrowe i panele fotowoltaiczne, gazowe układy kogeneracyjne, ogniwa paliwowe, agregaty Diesla zasilane biopaliwem),
- Przekształtniki energoelektroniczne AC/DC, DC/DC, DC/AC do współpracy z technologiami wytwórczymi,
- Urządzenia do kompensacji/regulacji mocy biernych,
- Układy do poprawy parametrów jakościowych energii elektrycznej,
- Układy do rekuperacji energii w różnych procesach technologicznych,
- Stacje ładowania pojazdów elektrycznych również typu V2G,
- Magazyny energii elektrycznej technologicznie dobierane do zapotrzebowania aplikacyjnego.

Problemy eksploatacyjne w sieciach OSD z dużym i rozproszonym nasyceniem układami energoelektronicznymi mocy

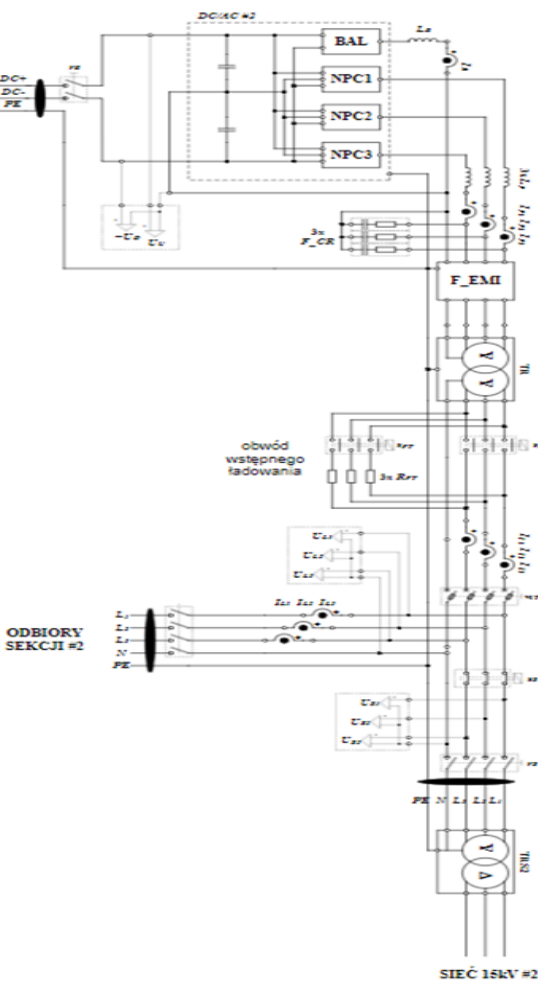
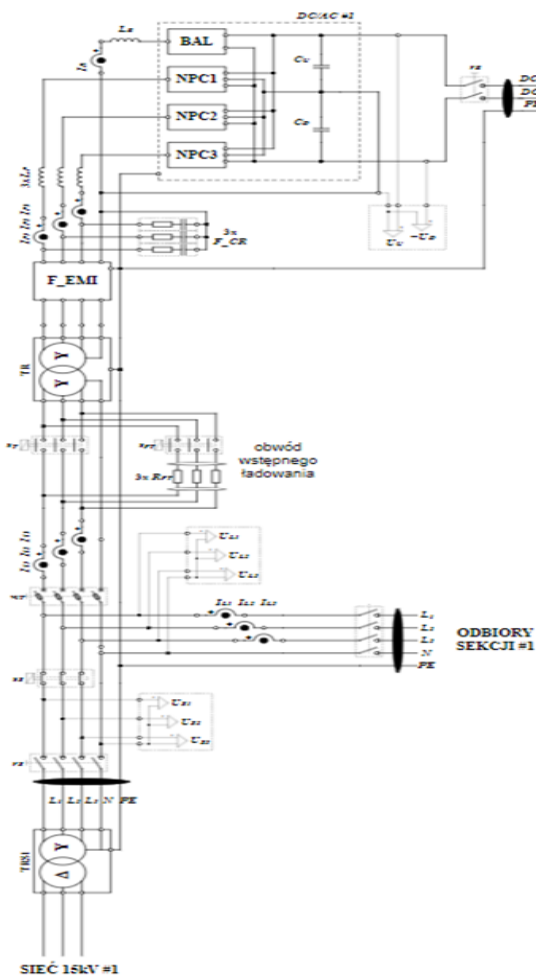


- zmiana charakteru przepływów mocy,
- wzrost zmienności pracy systemu,
- lokalne przekroczenia dopuszczalnych poziomów napięcia,
- asymetria napięć w sieciach niskiego napięcia,
- wzrost poziomu harmoniczných,
- ograniczenia przyłączeniowe dla nowych instalacji OZE,
- przeciążenia transformatorów SN/nn.

Schemat ideowy aktywnego sprzęgła elektroenergetycznego



Struktura elektroenergetyczna układu



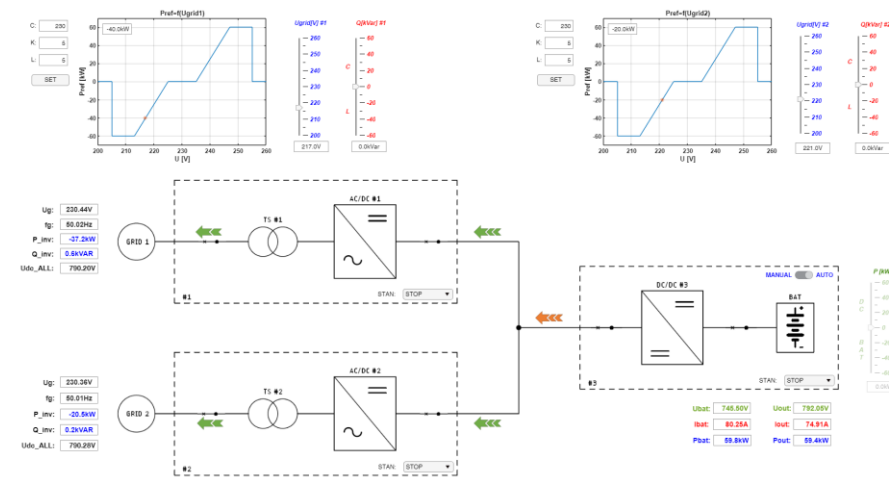
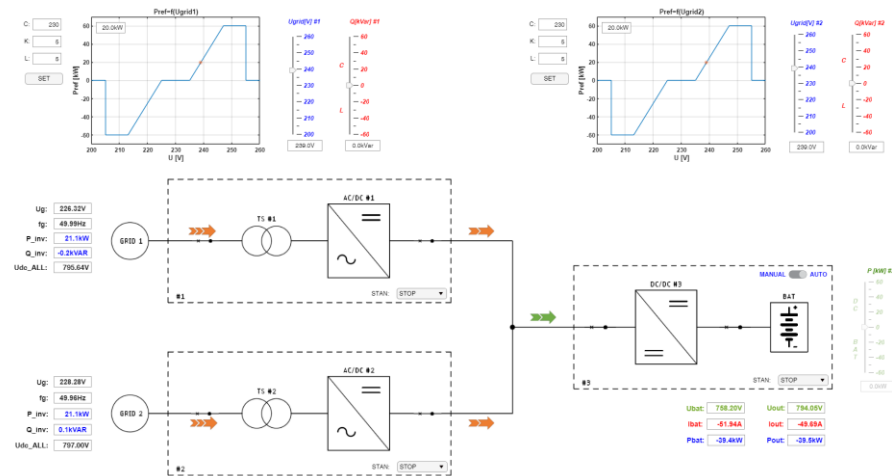
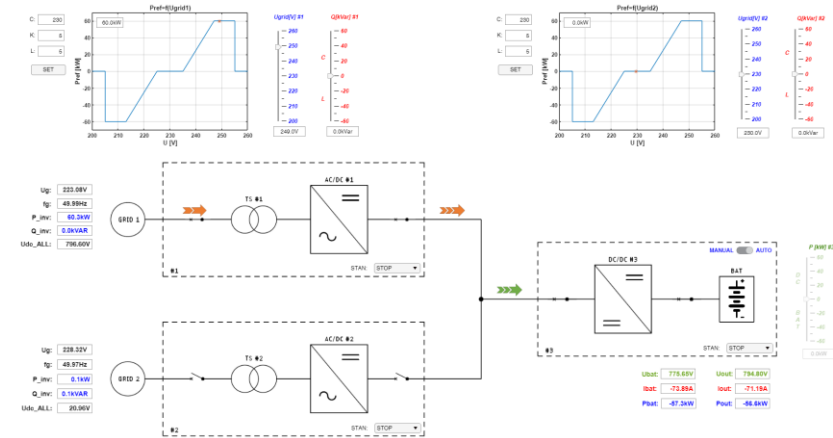
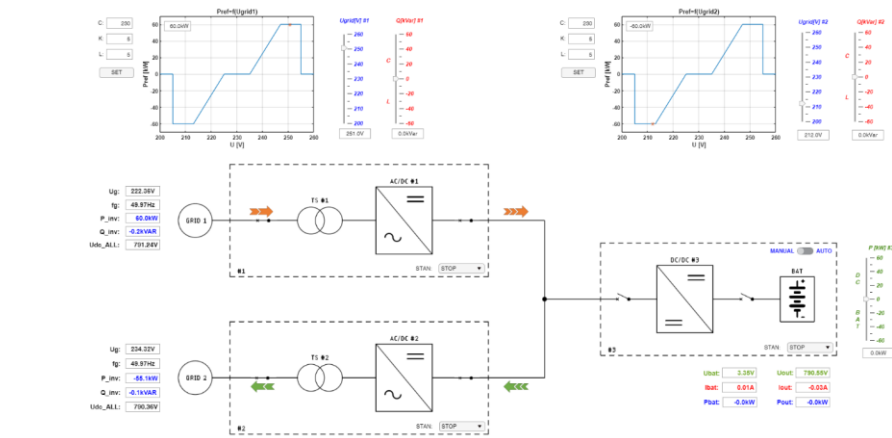
Demonstrator (TRL 8)



Architektura systemu umożliwia skalowanie mocy sprzęgła do poziomu 300 kVA poprzez pracę równoległą modułów mocy

- Parametry techniczne urządzenia:
- Moc (skalowalna): 100 kVA
- Napięcie AC: 400 V
- Napięcie DC: 800 V
- Rodzaj technologii magazynowania energii elektrycznej: bateryjna litowo-jonowa NMC
- Pojemność (skalowalna) magazynu: 70 kWh
- Moc zwarciova: $3 \times I_n$

Przykładowe tryby pracy



Funkcjonalności techniczne sprzęgła elektroenergetycznego



- Łącznik aktywny z kontrolą kierunku przepływu i poziomu mocy czynnej i biernej pomiędzy punktami sieci nn z rozchyleniem kątowym (struktury pierścieniowe w sieci niskiego napięcia)
- Filtr aktywny
- Aktywny kompensator mocy biernej
- Aktywny kompensator asymetrii napięć w sieci
- Optymalizacja pracy OZE
- Zasobnik energii o oddziaływaniu obszarowym z funkcją aktywnego kompensatora mocy biernej w czterech kwadrantach 4Q
- Praca wyspowa
- Optymalizacja potencjału przyłączeniowego fragmentu sieci pozostającej w bezpośrednim oddziaływaniu urządzenia
- Optymalizacja pracy sieci w ujęciu lokalnym i obszarowym zwiększenie niezawodności pracy sieci, ograniczenie strat
- Dostępny LINK DC do współpracy z technologiami magazynowania energii elektrycznej, technologiami wytwórczymi, urządzeń potrzeb własnych EV
- Praca modułowa

Korzyści dla OSD, OSDn, operatorów sieci zakładowych i odbiorcy końcowego



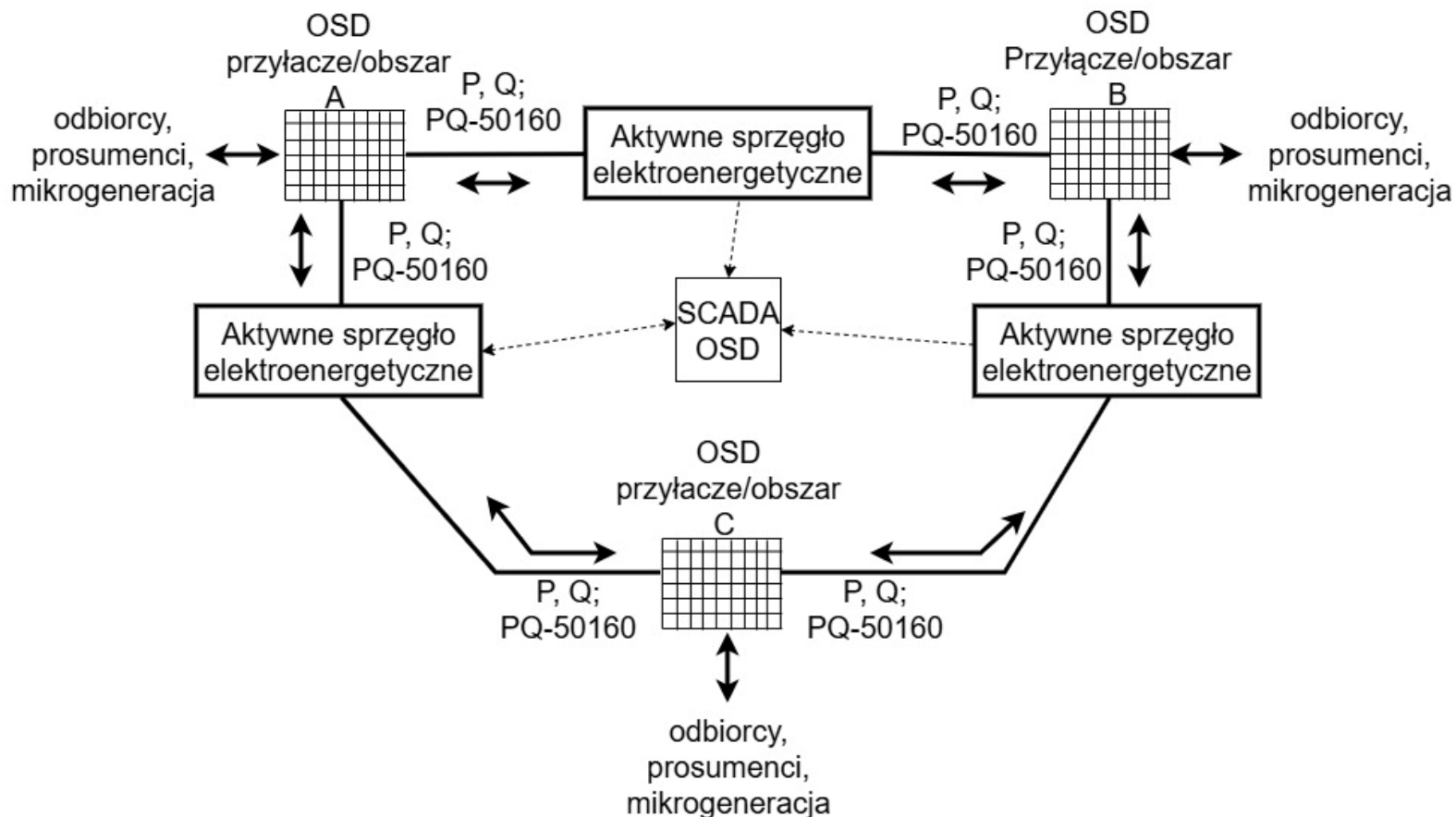
- Odciążanie sieci elektroenergetycznej umożliwiające ograniczenie inwestycji w określonych punktach sieci dystrybucyjnej i przesunięcie środków na inne zadania inwestycyjne,
- Optymalizacja techniczna istniejącej infrastruktury elektroenergetycznej po stronie OSD i odbiorców końcowych,
- Możliwość świadczenia usług elastyczności dla OSD – w tym zmniejszenie strat technicznych w sieci OSD czy kompensację mocy biernej,
- Poprawa paramentów jakościowych energii elektrycznej i pewności zasilania budynków, w szczególności na obszarach o słabo rozwiniętej klasycznej infrastrukturze elektroenergetycznej,
- Zwiększenie możliwości przyłączeniowych źródeł niestabilnych do infrastruktury elektroenergetycznej budynków,
- Optymalizacja pracy OZE i możliwość gospodarowania lokalnym potencjałem energetycznym – niezależność energetyczna,
- Lokalne bilansowanie zapotrzebowania na energię elektryczną,
- Poprawa pewności zasilania - praca wyspowa mikrosieci – odporność na zakłócenia zewnętrzne związane z awariami zewnętrznych linii zasilających,
- Możliwości dalszej rozbudowy w przyszłości.

Podsumowanie



- Pomimo rosnącego znaczenia technologii energoelektronicznych ich wdrażanie w sieciach dystrybucyjnych napotyka na szereg barier. Do najważniejszych należą ograniczenia regulacyjne dotyczące funkcjonowania mikrosieci oraz konserwatywna filozofia prowadzenia ruchu sieci elektroenergetycznych na poziomie OSD.
- Prezentowane rozwiązanie pracuje w środowisku sieciowym od ponad roku, co umożliwiło przeprowadzenie długookresowej oceny funkcjonalności regulacyjnych oraz weryfikację przyjętych algorytmów sterowania w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych.
- Uzyskane doświadczenia eksploatacyjne potwierdziły możliwość wykorzystania aktywnego sprzęgła elektroenergetycznego jako narzędzia wspierającego zarządzanie przepływami mocy oraz poprawę parametrów jakości energii w sieciach dystrybucyjnych.
- Opracowane rozwiązanie znajduje się obecnie w procesie ochrony patentowej – złożono wnioski patentowe obejmujące kluczowe elementy architektury systemu, funkcjonalności oraz zastosowane algorytmy sterowania.

Aktywna struktura pierścieniowa poprzez kontrolowane sprzęganie min 3 fragmentów/punktów systemu elektroenergetycznego, zasilanych niezależnie z różnych kierunków



SCADA:

Technologie teleinformatyczne ICT umożliwiające budowę zaawansowanych systemów diagnostyczno sterujących w ujęciu lokalnym odpowiadające za pomiar wielkości elektrycznych i nieelektrycznych, analizę danych, diagnostykę predykcyjną, prognozowanie zużycia energii i produkcji z OZE oraz generowanie sygnałów sterujących.



Dziękuję za uwagę

Dr hab. inż. Mariusz Kłos
mariusz.klos@enstoria.pl