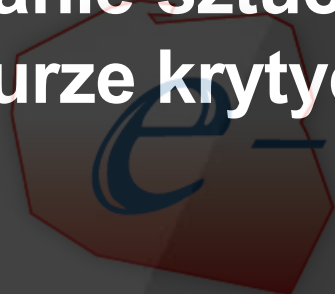


Wykorzystanie sztucznej inteligencji w infrastrukturze krytycznej na przykładzie energetyki



TRZYDZIESTE
FORUM
TELEINFORMATYKI®

redGrid



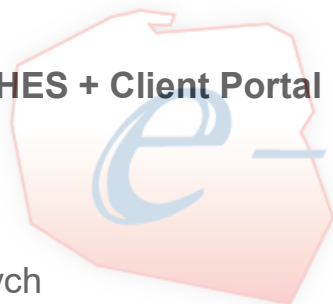
TRZYDZIESTE
FORUM
TELEINFORMATYKI®

Projekt AMI w Energa-Operator



Największe wdrożenie inteligentnego opomiarowania w Polsce – start w 2011

- oprogramowanie: **MDM + HES + Client Portal**
- bazuje na redGrid
- **2.7M** liczników zdalnych
- **50K** klientów przemysłowych
- **>3M** klientów komunalnych
- **>90%** codzienna kompletność danych



TRZYDZIESTE
FORUM
TELEINFORMATYKI®



Spoleczności energetyczne, a sztuczna inteligencja



TRZYDZIESTE
FORUM
TELEINFORMATYKI®



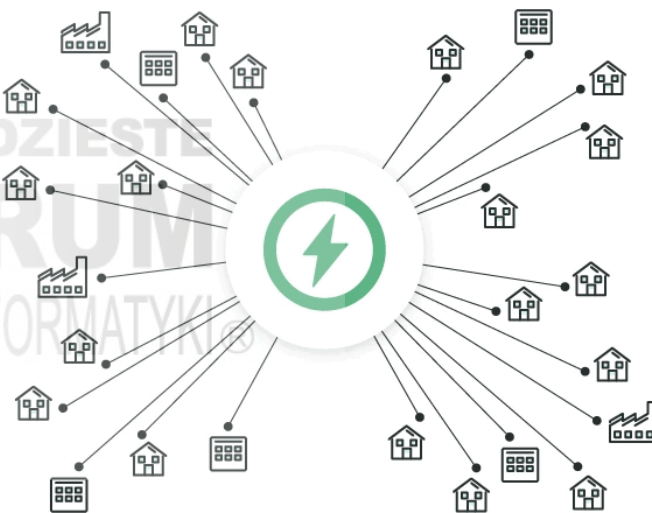
Społeczność energetyczna

Zbiór producentów i konsumentów energii na danym obszarze geograficznym np. gminy lub powiatu

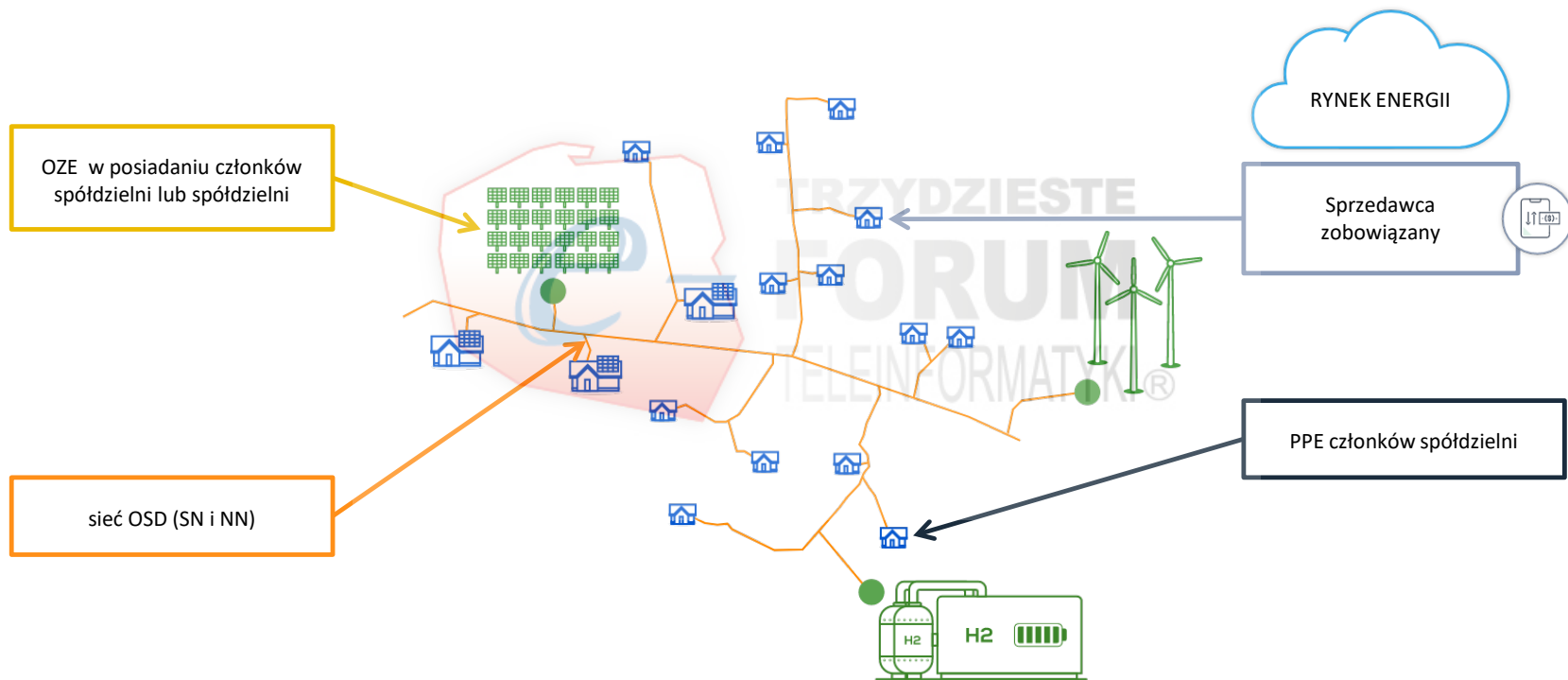
Producentami lub konsumentami energii mogą być osoby fizyczne, podmioty gospodarcze i jednostki samorządu terytorialnego

Dążenie do maksymalizacji wykorzystania lokalnych źródeł wtywórczych i uzyskania niezależności energetycznej

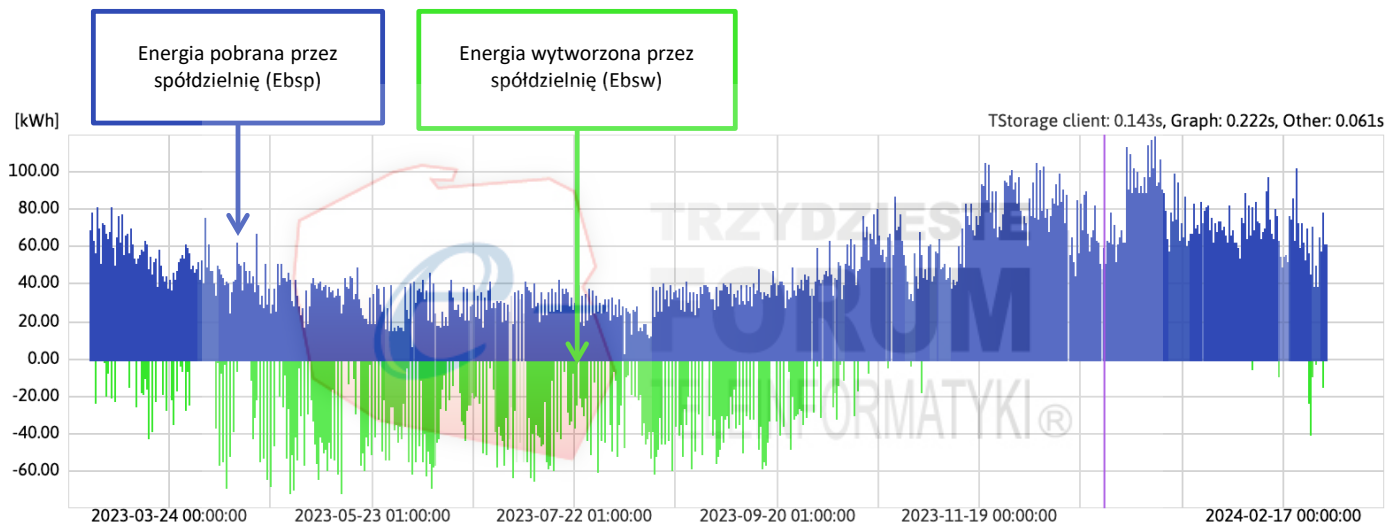
Społeczność **działa** w oparciu o istniejącą sieć energetyczną, a w szczególnych wypadkach w oparciu o własną sieć dystrybucyjną (mikrosieć)



Spółdzielnia energetyczna – schemat



Spółdzielnia energetyczna – bilans roczny



Energia rozliczona spółdzielnia:

247 271.73 kWh

Energia rozliczona prosument:

249 144.36 kWh

Pokrycie zapotrzebowania:

37 %

$$E_r = E_{bsp} - 60\% E_{bsw}$$

Energia E_r rozliczana jest przez sprzedawcę proporcjonalnie do wynikowego zużycia członków spółdzielni

Program pilotażowy w Województwie Mazowieckim



TRZDZIESIESTE
FORUM
TELEINFORMATYKI®



Gminy w programie pilotażowym (1)

LP	Charakterystyka	Członkowie	Zapotrzebowanie [MWh]	Plany	Ograniczenia
1	Gmina wiejska, dostępne tereny dla uprawy roślin energetycznych	<ul style="list-style-type: none">JSTwszyscy mieszkańcy	572,6	<ul style="list-style-type: none">wszyscy mieszkańcy w spółdzielnibiogazownia rolniczaelektryfikacja ogrzewania	<ul style="list-style-type: none">brak działek dla wiatru
2	Gmina miejsko-wiejska, autostrada	<ul style="list-style-type: none">JST	2008,4	<ul style="list-style-type: none">w przyszłości mieszkańcy i przedsiębiorcy	<ul style="list-style-type: none">brak działek dla wiatrumało działek dla PV ze względu na CPKsegmentacja SN
3	Gmina wiejska blisko dużego miasta, autostrada	<ul style="list-style-type: none">JSTprzedsiębiorcymieszkańcy	2805,5	<ul style="list-style-type: none">produkcja pelletuprzetwórstwo drzewne,elektrociepłownia na zrębkisprzedaż ciepła	<ul style="list-style-type: none">brak działek dla wiatrumało działek dla PVsegmentacja SN
4	Gmina miejsko-wiejska	<ul style="list-style-type: none">JST	2319,0	<ul style="list-style-type: none">rozbudowa obiektów gminnych i większe zapotrzebowanie	<ul style="list-style-type: none">brak działek dla wiatrusegmentacja SN
5	Gmina wiejska, blisko koncernu paliwowego	<ul style="list-style-type: none">JST	635,5	<ul style="list-style-type: none">produkcja i użycie zielonego wodoru	<ul style="list-style-type: none">brak działek dla wiatrumało działek do PV

Gminy w programie pilotażowym (2)

LP	Charakterystyka	Członkowie	Zapotrzebowanie [MWh]	Plany	Ograniczenia
6	Gmina wiejska	<ul style="list-style-type: none"> JST 	508,2	<ul style="list-style-type: none"> zmniejszenie kosztów energii w przyszłości mieszkańcy i przedsiębiorcy 	<ul style="list-style-type: none"> brak działek dla wiatru
7	Gmina wiejska	<ul style="list-style-type: none"> JST 	197,8	<ul style="list-style-type: none"> produkcja zielonego wodoru dołączenie mieszkańców 	<ul style="list-style-type: none"> brak działek dla wiatru
8	Gmina miejsko-wiejska, przetwórstwo rolnicze, potencjalny. substrat	<ul style="list-style-type: none"> JST 	1331,7	<ul style="list-style-type: none"> biogazownia z użyciem biogazu z odpadów komunalnych i z przetwórstwa 	<ul style="list-style-type: none"> brak działek dla wiatru
9	Gmina miejsko-wiejska, dostępność źródeł geotermalnych, bliskość koncernu paliwowego	<ul style="list-style-type: none"> JST 	511,8	<ul style="list-style-type: none"> użycie źródeł geotermalnych produkcja zielonego wodoru 	<ul style="list-style-type: none"> brak działek dla wiatru MPZP
10	Gmina miejsko-wiejska, blisko dużego miasta, biogazownia komunalna	<ul style="list-style-type: none"> JST przedsiębiorcy 	5345,2	<ul style="list-style-type: none"> użycie energii z biogazowni 	<ul style="list-style-type: none"> brak działek dla wiatru brak działek dla PV wysoki koszt nieruchomości

Struktura Audytu

Charakterystyka energetyczna gminy

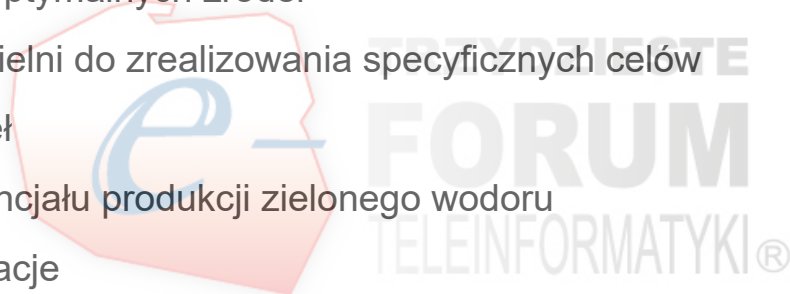
Określenie bilansu i dobór optymalnych źródeł

Propozycja struktury spółdzielni do zrealizowania specyficznych celów

Lokalizacja i struktura źródeł

Opcjonalne określenie potencjału produkcji zielonego wodoru

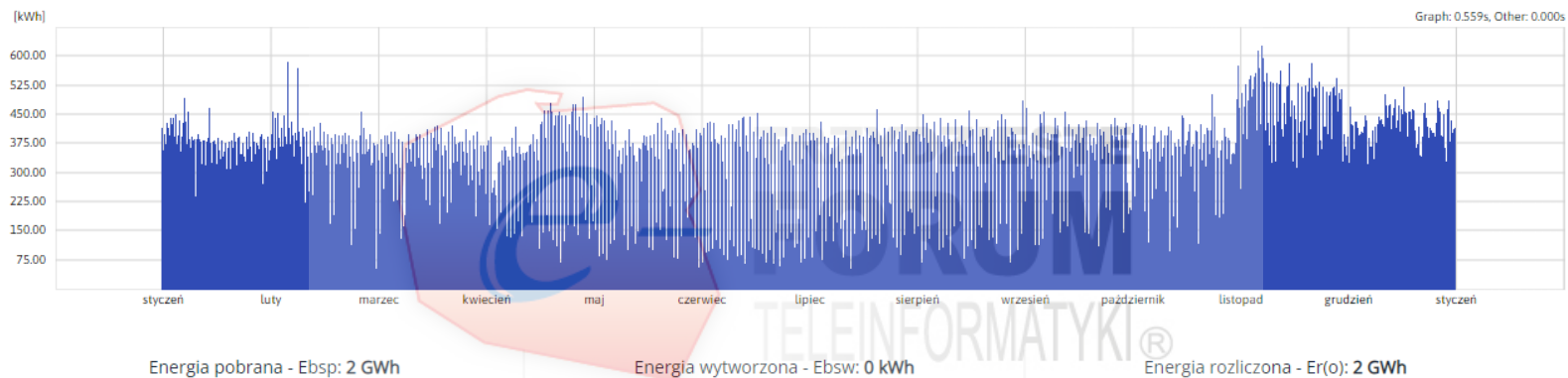
Podsumowanie i rekomendacje



Zapotrzebowanie na energię – przykładowa gmina

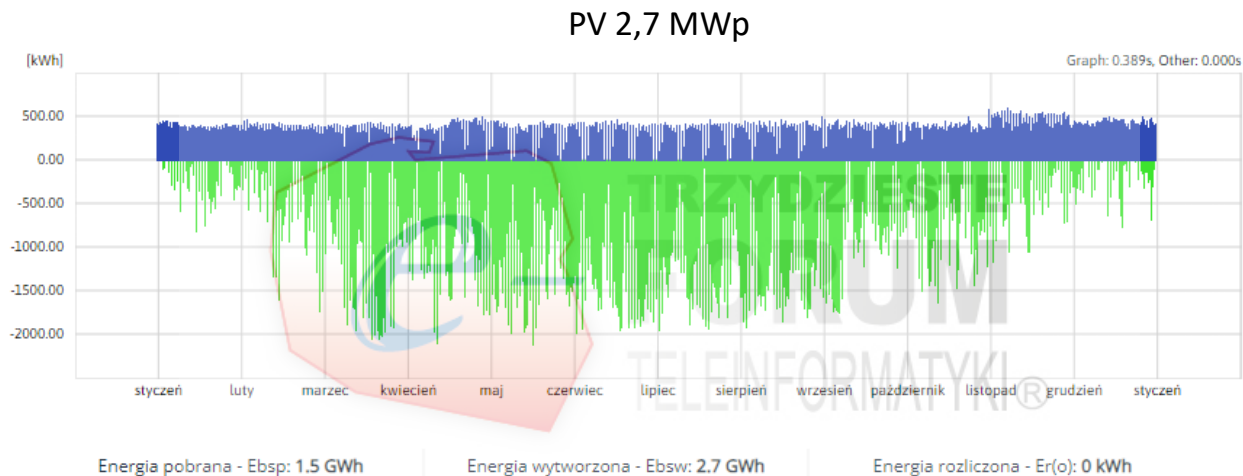
Obiekt gminny	Liczność	Zapotrzebowanie roczne, łączne [MWh]	Średnie roczne zapotrzebowanie [MWh]
Oświetlenie uliczne	129	747,484	5,794
Oczyszczalnia Ścieków	1	405,139	405,139
SUW Feliksów	1	212,241	212,241
Przepompownię wody	32	179,116	5,597
Szkoły	8	168,566	21,071
Przedszkole	1	59,398	59,398
Urząd Miasta i Gminy	1	54,686	54,686
Hydrofornia	1	45,479	45,479
OSP	10	43,276	4,328
ul. Plac Wolności 34	1	22,460	22,460
Budynek ośrodka zdrowia	1	16,041	16,041
Obiekty sportowe	3	15,803	5,268
Zaplecze socjalne i Wiata Targowiska Gminnego	1	10,703	10,703
Lokale	4	8,387	2,097
Świetlice	5	7,578	1,516
Młyn	4	2,791	0,698
Pozostałe	10	9,259	0,926
Razem	213	2008,407	

Bilans godzinowy (1)



Zapotrzebowanie [MWh]	Koszt energii zew. [PLN]	Amortyzacja źródeł [PLN]	Utrzymanie [PLN]	Łączny koszt energii [PLN]	Koszt MWh [PLN]
2 008,407	1 807 566	0	0	1 807 566	900

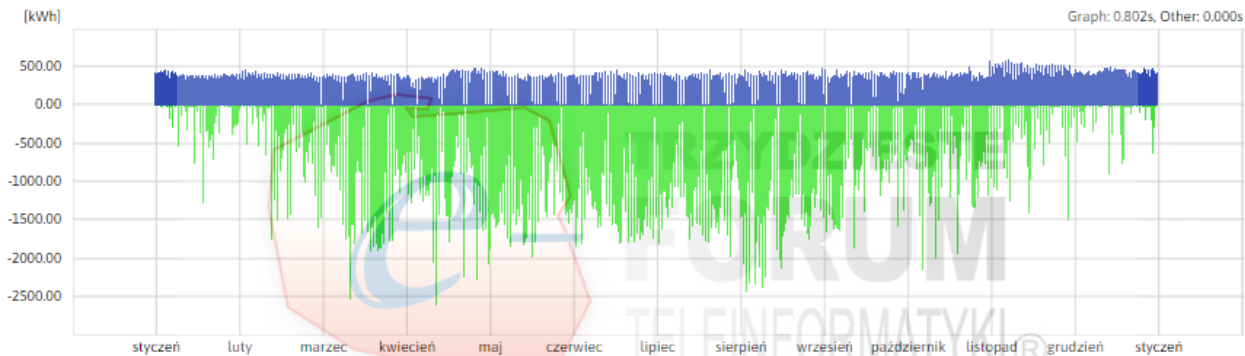
Bilans godzinowy (2)



Zapotrzebowanie [MWh]	Koszt energii zew. [PLN]	Amortyzacja źródeł [PLN]	Utrzymanie [PLN]	Łączny koszt energii [PLN]	Koszt MWh [PLN]	Redukcja
2 008,407	0	846 716	52 000	898 716	447	50,3%

Bilans godzinowy (3)

PV 2 MWp + PV 0,5 MWp + magazyn 0,6 MWh



Energia pobrana - Ebsp: 1,4 GWh

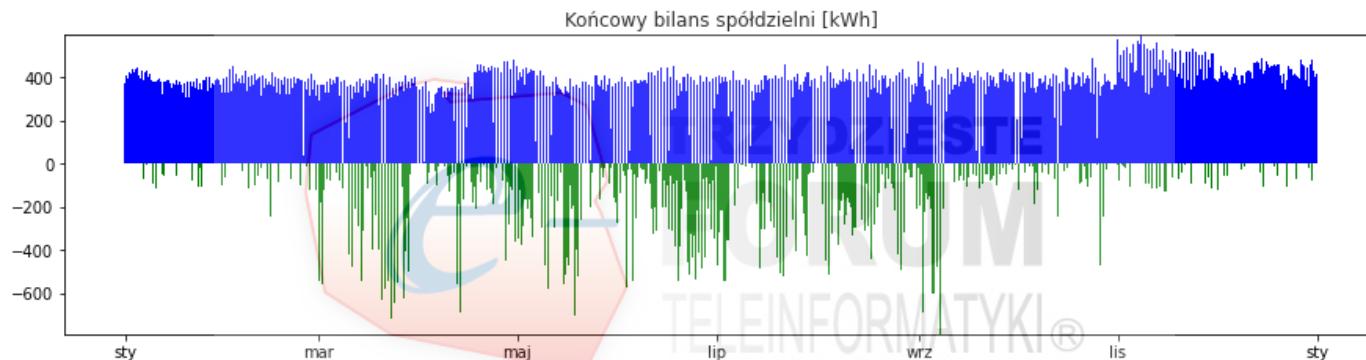
Energia wytworzona - Ebsw: 2,4 GWh

Energia rozliczona - Er(o): 0 kWh

Zapotrzebowanie [MWh]	Koszt energii zew. [PLN]	Amortyzacja źródeł [PLN]	Utrzymanie [PLN]	Łączny koszt energii [PLN]	Koszt MWh [PLN]	Redukcja
2 008,407	0	899 212	55 000	954 212	475	47,2%

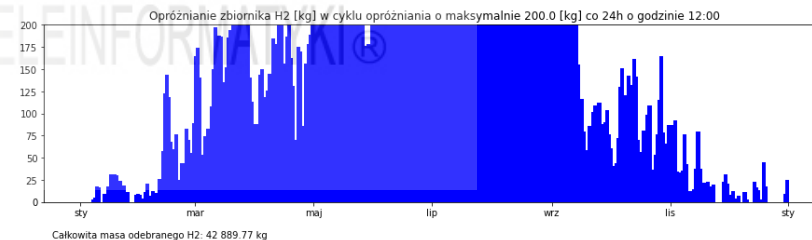
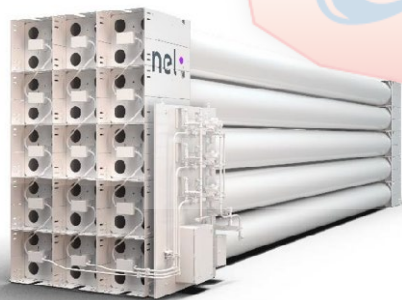
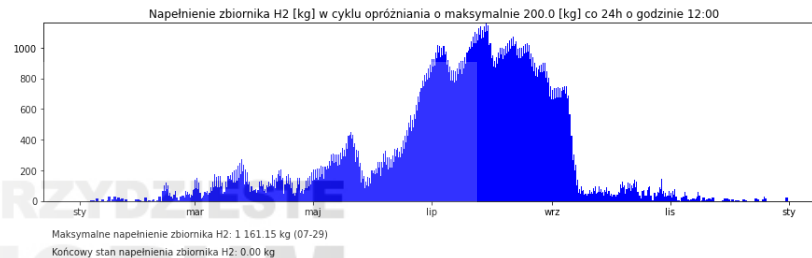
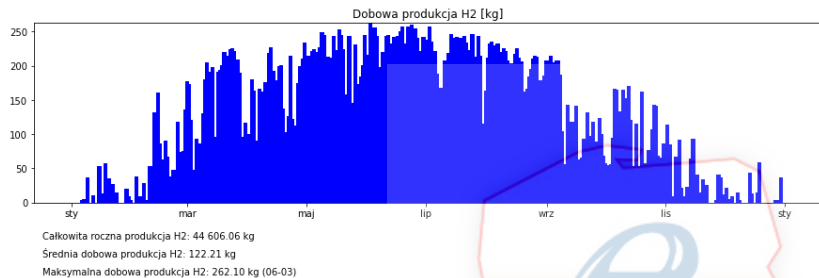
Zamiana nadwyżek energii na wodór

PV 2 MWp + PV 0,5 MWp + magazyn 0,6 MWh + elektrolizer PEM 1,25 MWp



Energia rozliczona [MWh]	Koszt energii rozliczonej [PLN]	Amortyzacja infrastruktury [PLN]	Utrzymanie [PLN]	Przychód za energię wodór [PLN]	Łączny koszt [PLN]	Koszt MWh [PLN]	Redukcja
1261,58	1 135 422	899 212	55 000	-1 067 871	1 021 736	509	43,50%

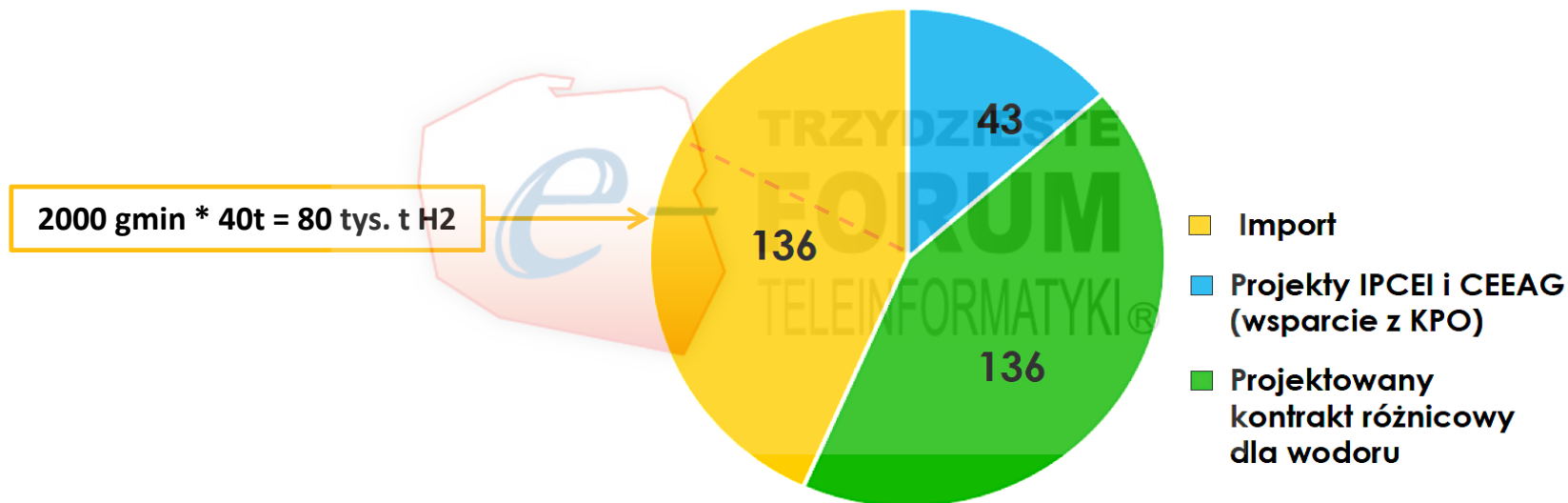
Produkcja wodoru – 44,6t rocznie (122kg dziennie)



Produkcja 44,6t wodoru rocznie, średnio 122 kg dziennie

Produkcja wodoru RFNBO (Renewable Fuel of Non-biological Origin)

Struktura pozyskania wodoru RFNBO w 2030 r. [tys. t. H₂]





besmart.energy



TRZYDZIESTE
FORUM
TELEINFORMATYKI®

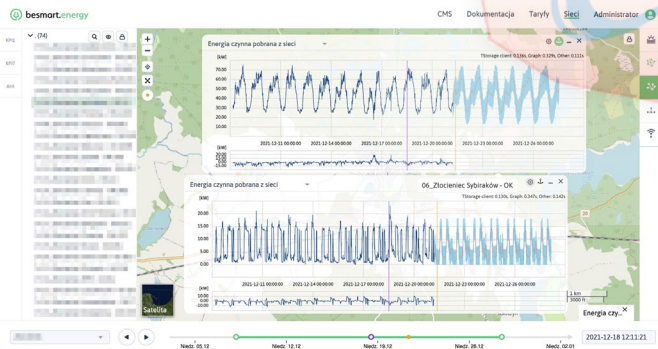
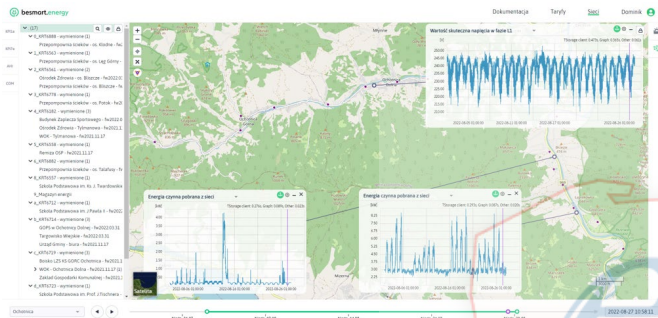
Project co-financed under the Smart Growth Operational Program on the basis of an agreement with the National Center for Research and Development No.POIR.01.02.00-00-340 / 16-00



European Union
European Regional
Development Fund

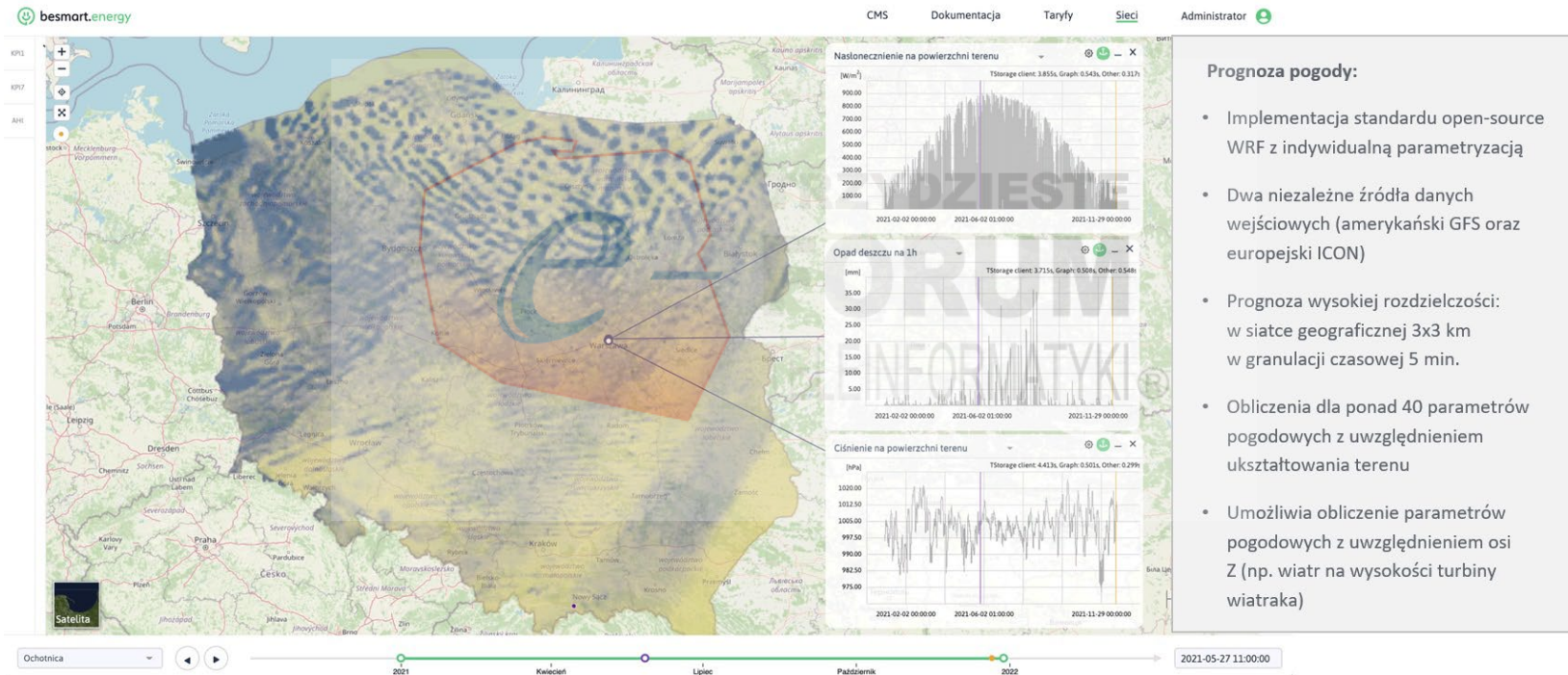


Na czym polega zarządzanie energią?



- Gromadzenie danych
- Przewidywanie zużycia, produkcji i cen
- Zakup i sprzedaż energii na rynku
- Generowanie dynamicznej taryfy i krzywej podaży
- Informowanie użytkowników
- Sterowanie odbiorami, źródłami i magazynami energii
- Rozliczanie przepływów pomiędzy członkami

Prognoza pogody wysokiej rozdzielczości



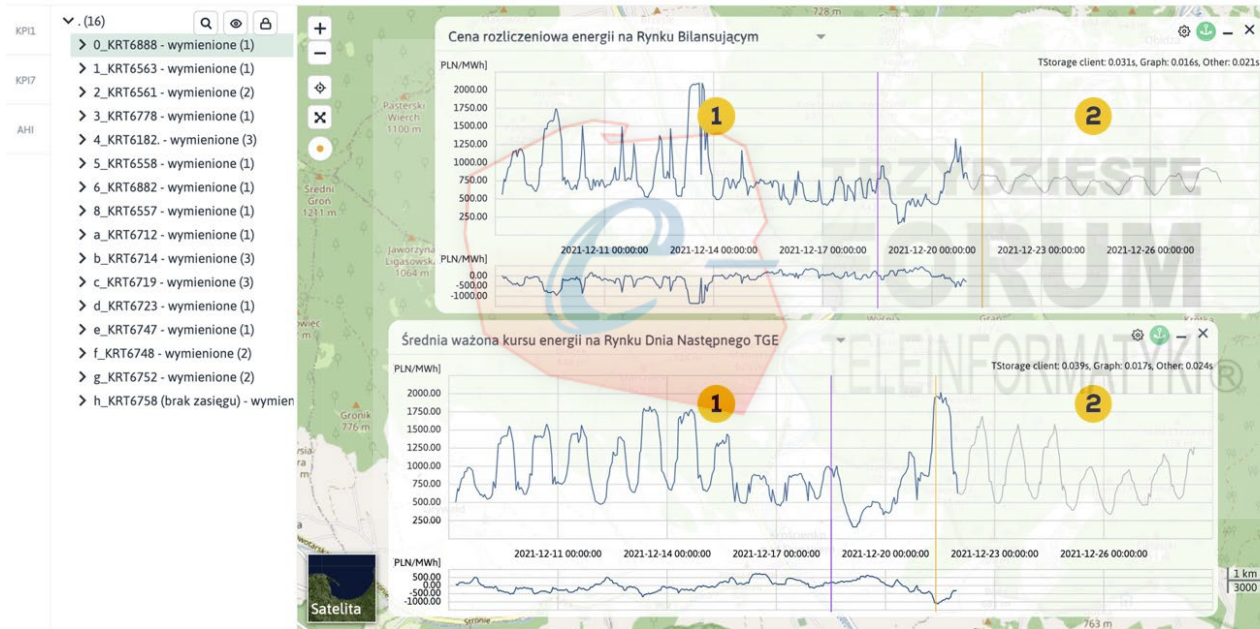
Prognoza pogody:

- Implementacja standardu open-source WRF z indywidualną parametryzacją
- Dwa niezależne źródła danych wejściowych (amerykański GFS oraz europejski ICON)
- Prognoza wysokiej rozdzielczości: w siatce geograficznej 3x3 km w granulacji czasowej 5 min.
- Obliczenia dla ponad 40 parametrów pogodowych z uwzględnieniem ukształtowania terenu
- Umożliwia obliczenie parametrów pogodowych z uwzględnieniem osi Z (np. wiatr na wysokości turbiny wiatraka)

Predykcja ceny



CMS Dokumentacja Taryfy Sieci Administrator



Predykcja cen:

- 1 Indywidualne predykcje cen na Rynku Bilansującym oraz TGE (Rynek Dnia Następnego)
- 2 Predykcja na 7 dni w przód

Ochotnica



Niedz. 05.12

Niedz. 12.12

Niedz. 19.12

Niedz. 26.12

Niedz. 02.01

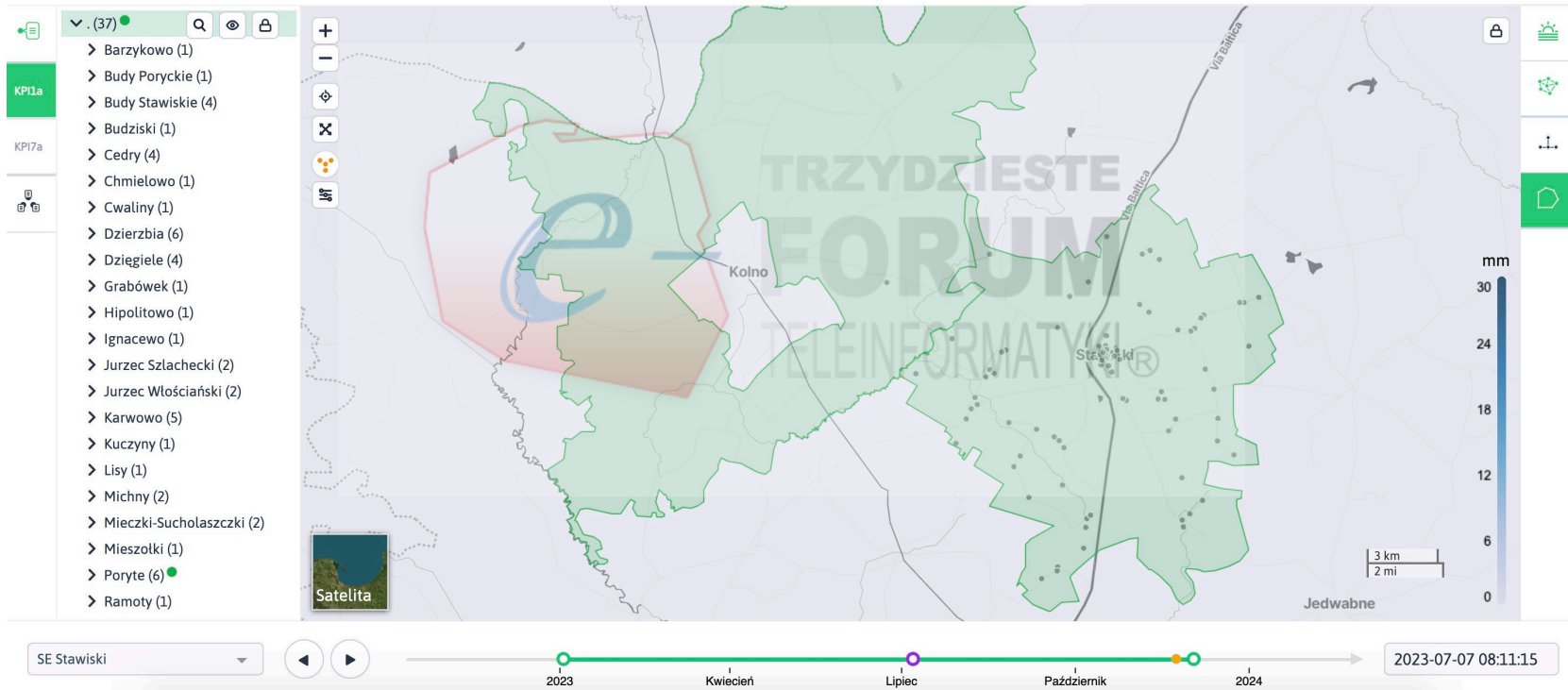
2021-12-18 12:11:21

SE Stawiski – PPE



besmart.energy

CMS Dokumentacja Taryfy Sieci Pawet

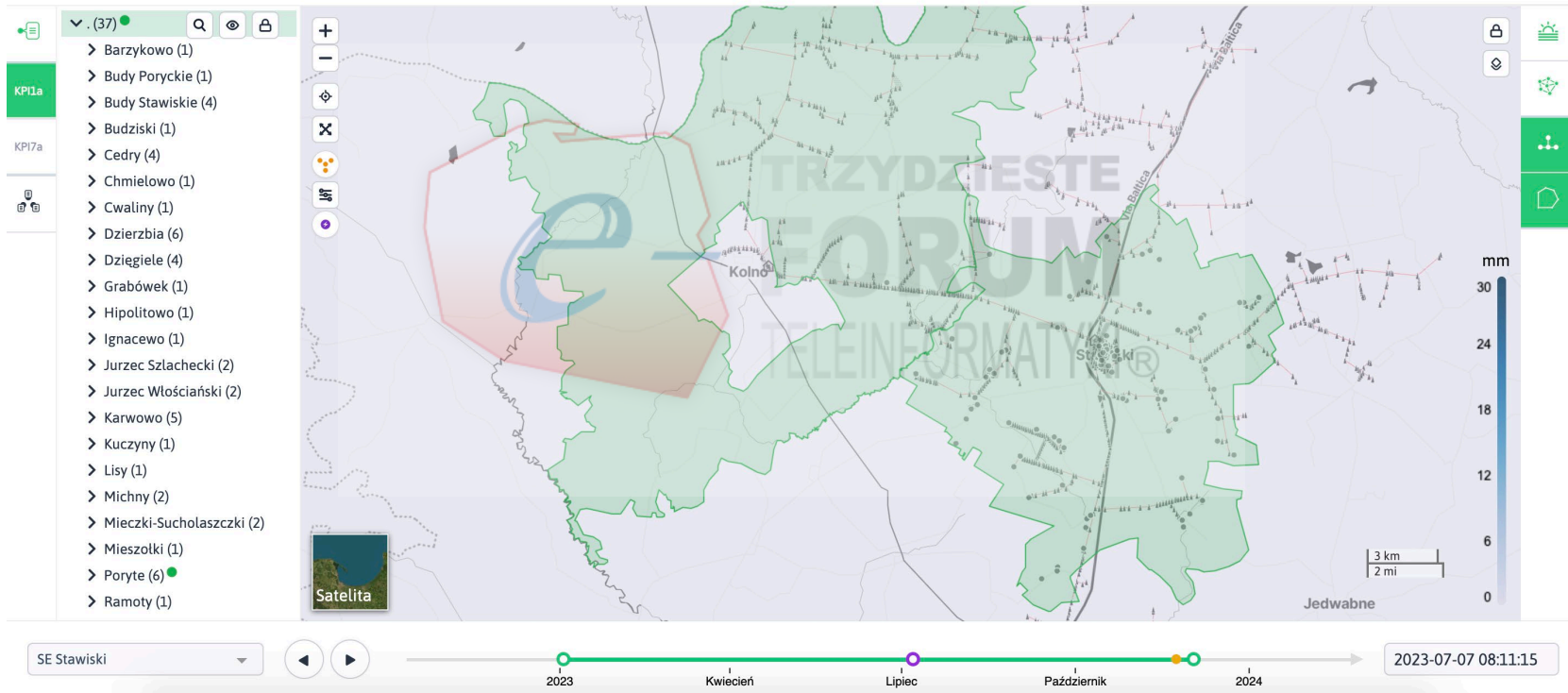


SE Stawiski – sieć SN



besmart.energy

CMS Dokumentacja Taryfy Sieci Pawet



SE Stawiski - opomiarowanie

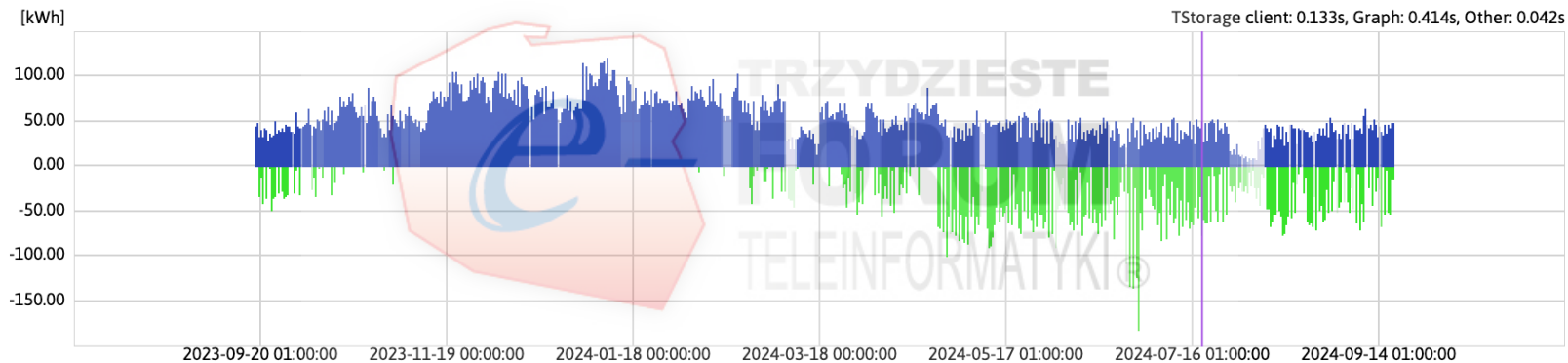


- Instalacja liczników w dodatkowych szafkach
- Licznik bezpośrednio i półpośrednie
- Odczyt parametrów energii w czasie rzeczywistym
- Integracja z aplikacją besmart.energy
- **Możliwość monitorowania działania spółdzielni**
- **Możliwość prowadzenia zaawansowanych analiz**
- **Możliwość zarządzania energią**



SE Stawiski – bilans roczny

☰ Bilans energii czynnej



Energia rozliczona spółdzielnia:

249 831.72 kWh

Energia rozliczona prosument:

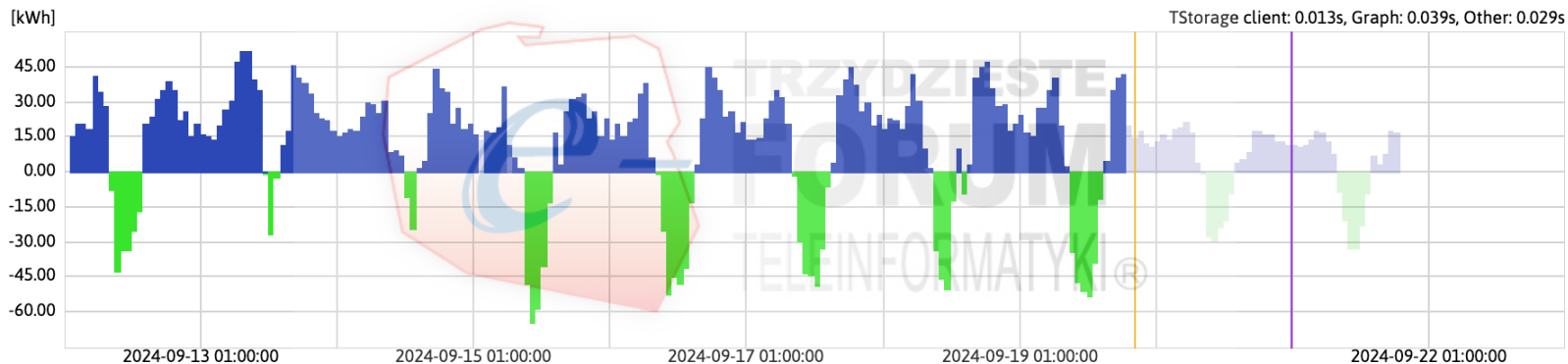
252 143.33 kWh

Pokrycie zapotrzebowania:

38 %

SE Stawiski – predykcja godzinowa bilansu z użyciem AI

☰ Bilans energii czynnej



Energia rozliczona spółdzielnia:

3 055.53 kWh

Energia rozliczona prosument:

3 241.25 kWh

Pokrycie zapotrzebowania:

69 %

Inteligentny licznik energii => asystent energetyczny

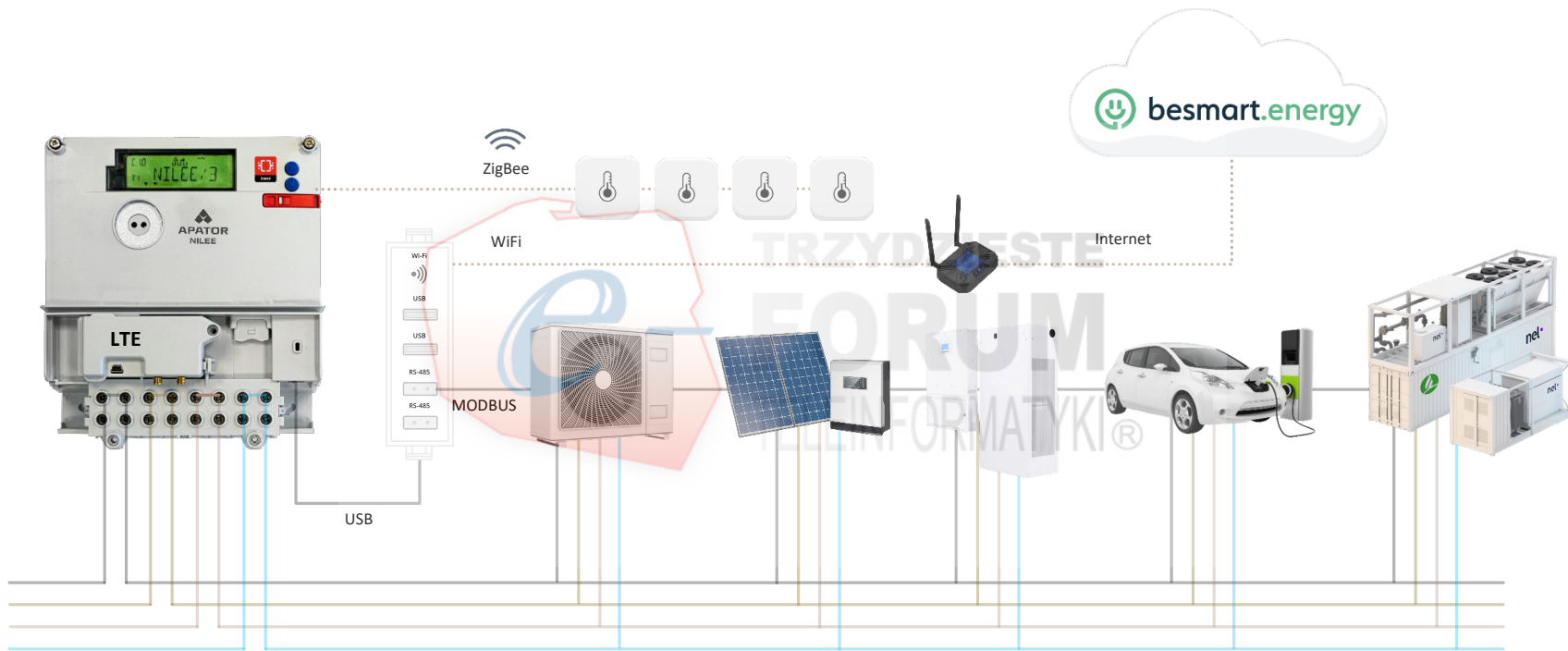


Do zarządzania energią konieczne są liczniki energii podłączone do sieci i przekazujące dane pomiarowe w czasie rzeczywistym

Licznik energii komunikuje się z urządzeniami takimi jak źródła, magazyny i odbiory i realizuje strategię zarządzania energią (zgodnie z wytycznymi systemu zarządzania)

Licznik ma wymienne fragmenty oprogramowania w celu zarządzania różnymi urządzeniami i może **używać sztucznej inteligencji**

Licznik energii => asystent energetyczny



PLC (PRIME, G3-PLC)

Aparator NILEE - GUI

The screenshot displays the Aparator NILEE GUI interface. At the top left, the word "Aplikacje" is written in a sans-serif font. At the top right, the APATOR NILEE logo is visible, consisting of a stylized triangle above the text "APATOR" and "NILEE".

The main area contains six application tiles arranged in a 2x3 grid. Each tile has a white icon on the left, a title in the middle, and a right-pointing arrow on the right. The tiles are:

- Licznik**: Meter icon.
- Sklep**: Shopping bag icon.
- Ustawienia**: Gear icon.
- Asystent besmart.energy**: Plug icon.
- Pompa ciepła**: Heat pump icon, with "Panasonic AQUAREA T-CAP" written below it.
- Temperatura**: Thermometer icon.

Below the application tiles is a system status bar. It is divided into several sections:

- System:** 4,5%
- Użytkownik:** 8,5%
- Nieaktywne:** 87%
- Obciążenie CPU:** A line graph showing CPU load over time.
- Wątki:** 215
- Procesy:** 21

On the far right of the status bar, it says "Phoenix-RTOS based" next to the Phoenix-RTOS logo.

Spółeczności energetyczne - wnioski

- **Bez sztucznej inteligencji społeczności energetyczne nie będą działać optymalnie => sztuczna inteligencja powinna pełnić funkcje lokalnej dyspozycji mocy**
- Bez sztucznej inteligencji nie jest możliwe wykorzystanie optymalne zielonej energii
- **Bez sztucznej inteligencji nie jest możliwa produkcja zielonego wodoru z nadwyżek energii**



TRZYDZIESTE
FORUM
TELEINFORMATYKI®

Bilansowanie – wyzwanie inteligentnego opomiarowania



TRZYDZIESIĄTE
FORUM
TELEINFORMATYKI®



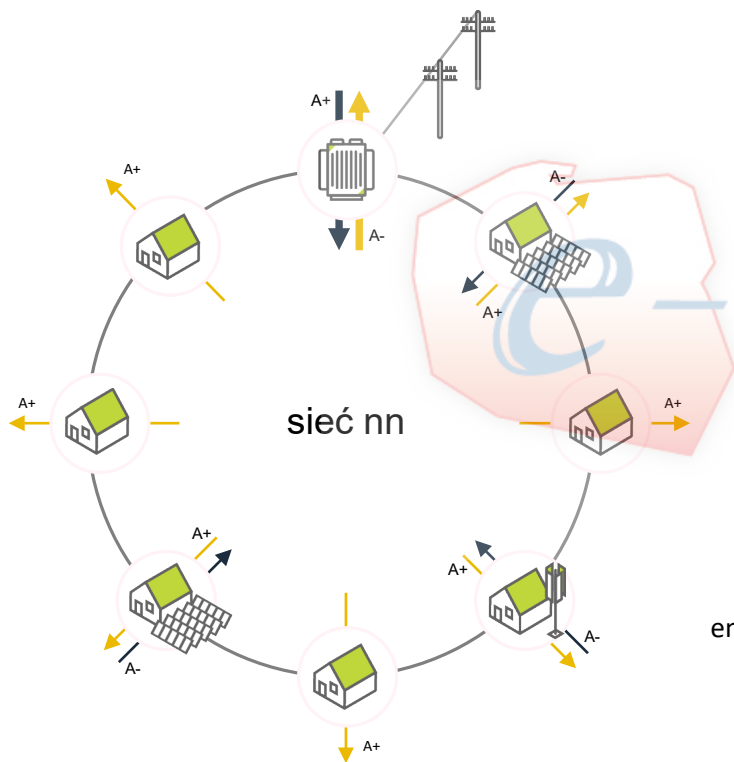
Na czym polega bilansowanie?

- **Bilansowanie sieci nn to sprawdzenie w funkcji czasu, czy suma energii, która wpływa do sieci nn na danej stacji jest równa energii, która z niej wypływa**
- Warunkiem koniecznym dla wyznaczenia różnicy bilansowej jest poprawna topologia i stan sieci nn na danej stacji
- Warunkiem koniecznym dla bilansowania jest odczyt danych profilowych z wszystkich liczników na stacji
- Warunkiem koniecznym dla bilansowania jest poprawna synchronizacja zegarów urządzeń pomiarowych



ZKB instalowany na stacjach SN/nN
w sieci Energa-Operator

Sposób obliczania różnicy bilansowej



TRZYDZIESTE
FORUM
TELEINFORMATYKI®

Różnica bilansowa

$$(\sum A^- + A^+) - (\sum A^+ + A^-)$$

energia, która wpłynęła do sieci
„wptyw”

energia, która wypłynęła z sieci
„wptyw”

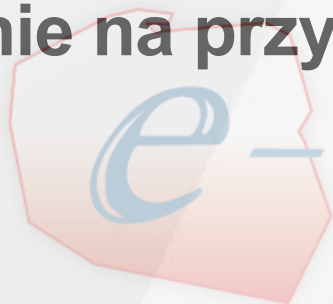
Po co bilansowanie?

- Pozwala na ustalenie stanu obecnego sieci nn - ustalenie nie jest możliwe w drodze proceduralnej
- Jest konieczne dla detekcji nielegalnego poboru
- Jest konieczne do określenia krzywej strat
- **Jest konieczne dla spełnienia pozostałych wymagań AMI**



ZKB instalowany na stacjach SN/nN
w sieci Energia-Operator

Bilansowanie na przykładzie pilota w Płocku

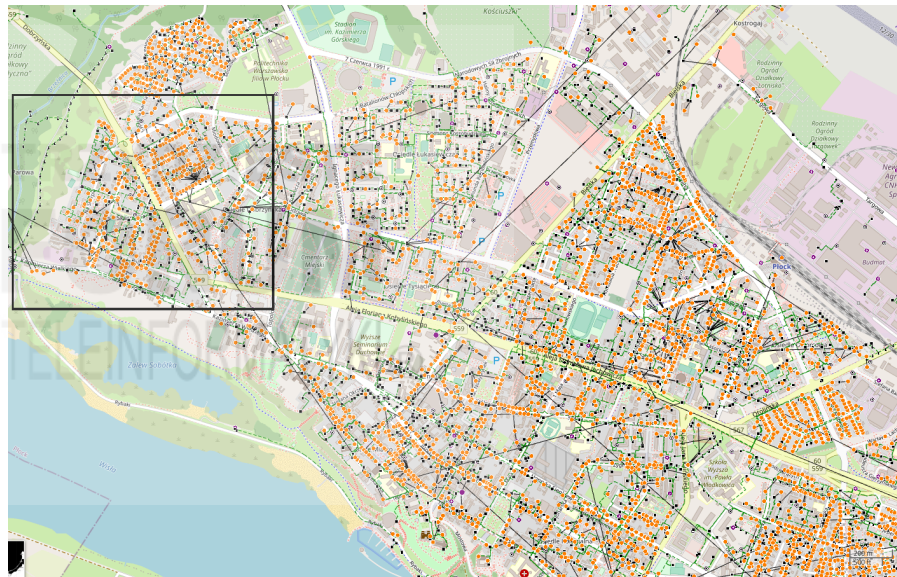


TRZYDZIESTE
FORUM
TELEINFORMATYKI®



Zagadnienie bilansowania (Płock)

- Próba zbilansowania jednej stacji pociąga za sobą konieczność analizy dużego fragmentu sieci
- Pojedyncza stacja powiązana jest z kilkunastoma stacjami transformatorowymi SN
- Topologia składa się ze złączy podziałowych i szafek przyłączeniowych
- Istotną są złącza, które mogą być konfigurowane (zmieniany ich stan)



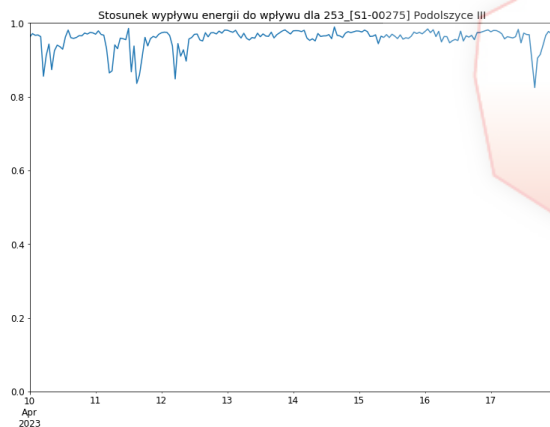
Analizowana grupa stacji SN/nn

Nazwa stacji	Odbiorcy	Charakterystyka
[S1-00275] Podolszyce III	37	Stacja mieszana – lokale usługowe, domy
[S1-01413] Liściasta	16	Osiedle domów jednorodzinnych
[S1-00048] Otołńska SOZ	5	Parking, Straż Miejsca, Centrum aktywności seniora
[S1-01224] Przemysłowa MPK	6	Komunikacja Miejska Płock
[S1-01414] Spółdz. Mieszkaniowa Komunalnik	52	Spółdzielnia Mieszkaniowa - 1 blok
[S1-00094] Rolna	2	Gospodarstwo rolne
[T710207] Mickiewicza	189	1 blok mieszkalny i 4 domy
[T711548] Kleeberga	142	Osiedle - 2 bloki mieszkalne
[S1-01439] Wańkowicza oś. Tarasowe	98	Osiedle - 6 bloków mieszkalnych

Współczynnik zbilansowania (I)

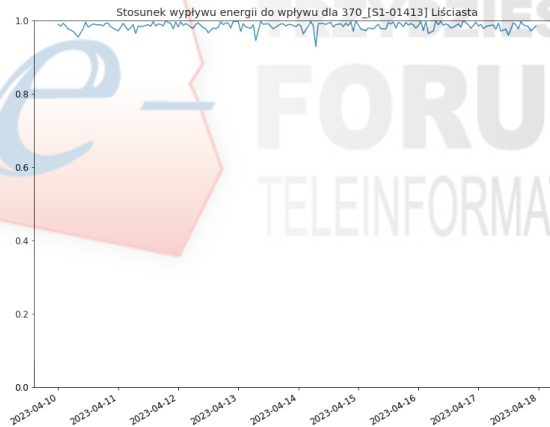
Analiza dla okresu 10 – 17 kwietnia 2023.

Stacja mieszana – lokale usługowe, domy



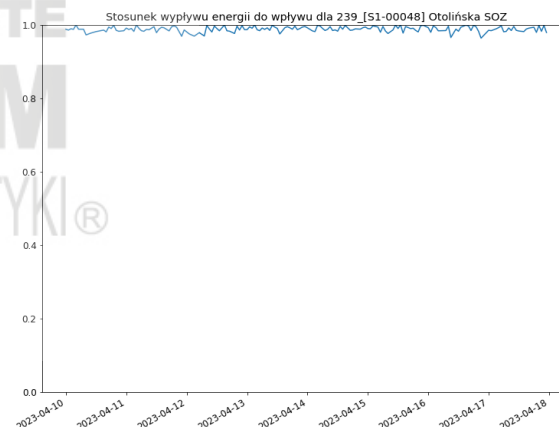
37 odbiorców
1934 m. linii kablowych i przewodów

Osiedle domów jednorodzinnych



16 odbiorców
1389 m. linii kablowych i przewodów

Parking, Straż Miejsca, Centrum aktywności seniora

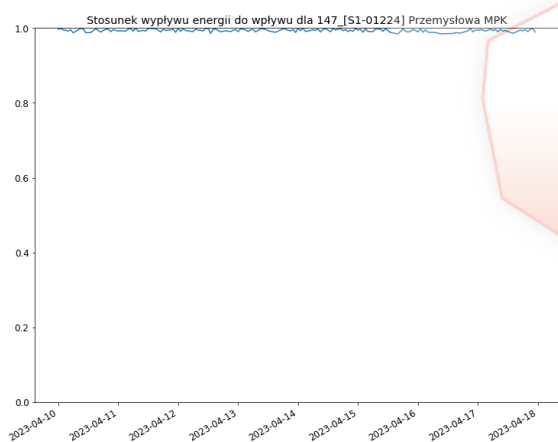


5 odbiorców
458 m. linii kablowych i przewodów

Współczynnik zbilansowania (II)

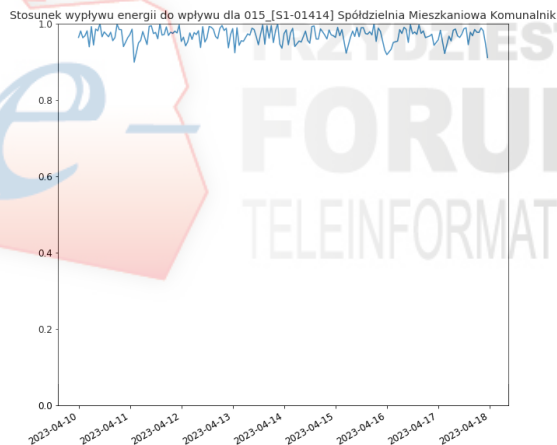
Analiza dla okresu 10 – 17 kwietnia 2023.

Komunikacja Miejska Płock



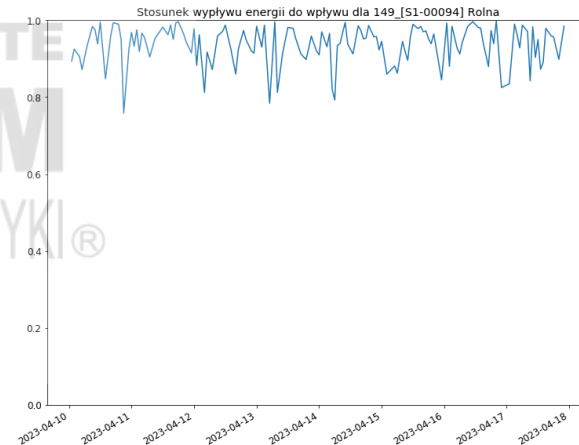
6 odbiorców
552 m. linii kablowych i przewodów

Spółdzielnia Mieszkaniowa - 1 blok



52 odbiorców
182 m. linii kablowych i przewodów

Gospodarstwo rolne

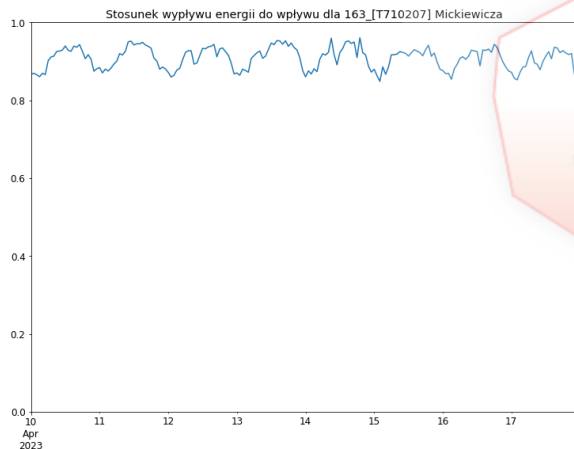


2 odbiorców
1811 m. linii kablowych i przewodów

Współczynnik zbilansowania (III)

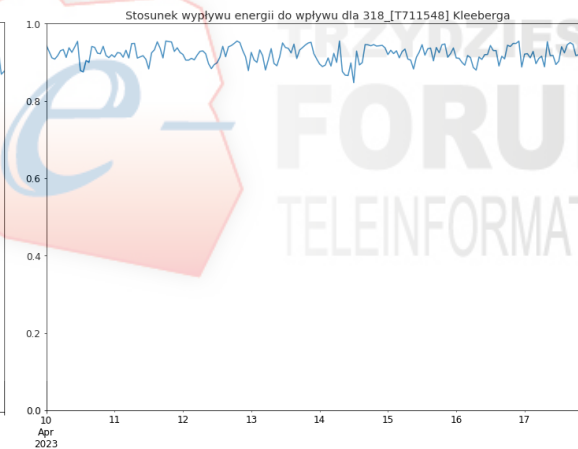
Analiza dla okresu 10 – 17 kwietnia 2023.

1 blok mieszkalny i 4 domy



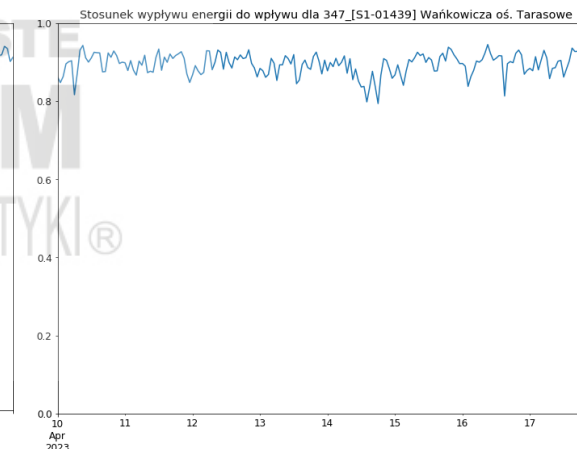
189 odbiorców
401 m. linii kablowych i przewodów

Osiedle - 2 bloki mieszkalne



142 odbiorców
481 m. linii kablowych i przewodów

Osiedle - 6 bloków mieszkalnych



98 odbiorców
... m. linii kablowych i przewodów

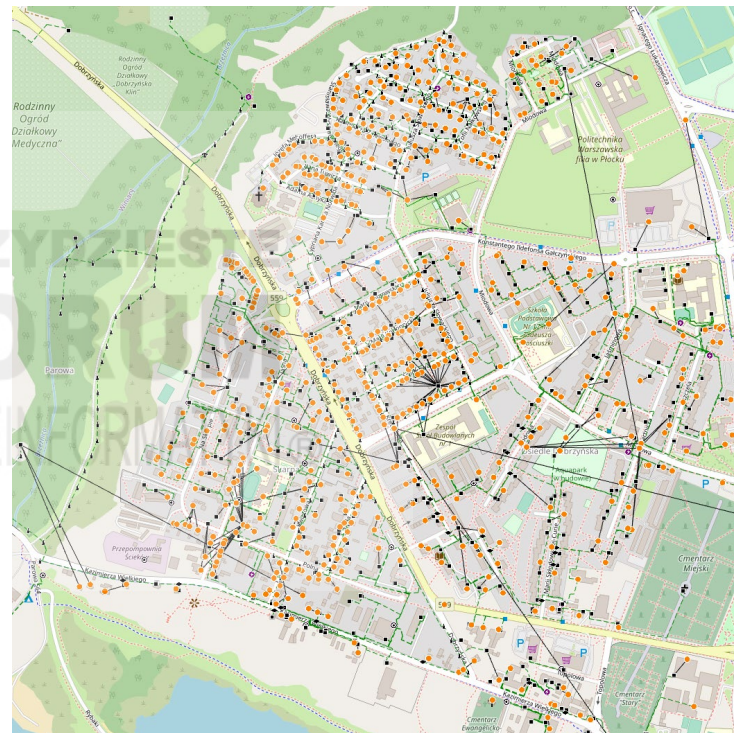
Algorytm bilansowania - wprowadzenie



TRZYDZIESTE
FORUM
TELEINFORMATYKI®

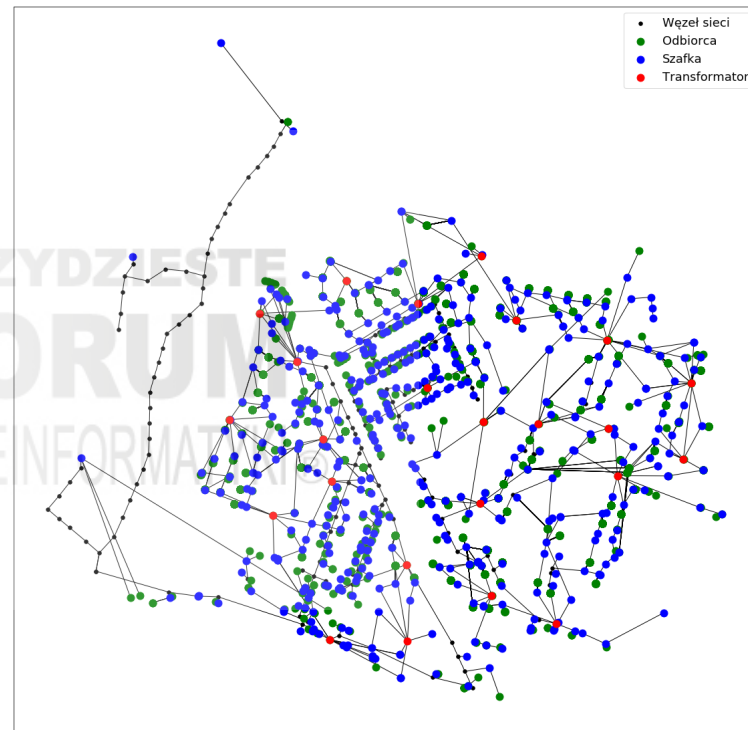
Ustalenie grafu bilansowania

- Graf to superpozycja topologii dla danej stacji i stacji powiązanych
- Obszar bilansowania to obszar geograficzny, który zajmuje graf bilansowania
- Typowy graf bilansowania to kilka procent sieci
- Przykład dla stacji z Płocka - 8%



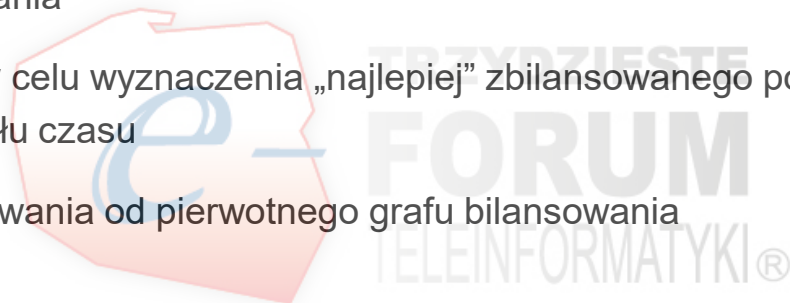
Wyzwanie technologiczne

- Ustalenie podgrafów, które dają najlepszy wynik bilansowania dla stacji (tzw. grafy rzeczywistych podziałów)
- **Problem NP-zupełny** wymagający dużej mocy obliczeniowej (i być może sztucznej inteligencji)
- Możliwe upraszczanie grafu w celu redukcji zapotrzebowania na moc obliczeniową
- **Naturalny kandydat dla użycia chmury**



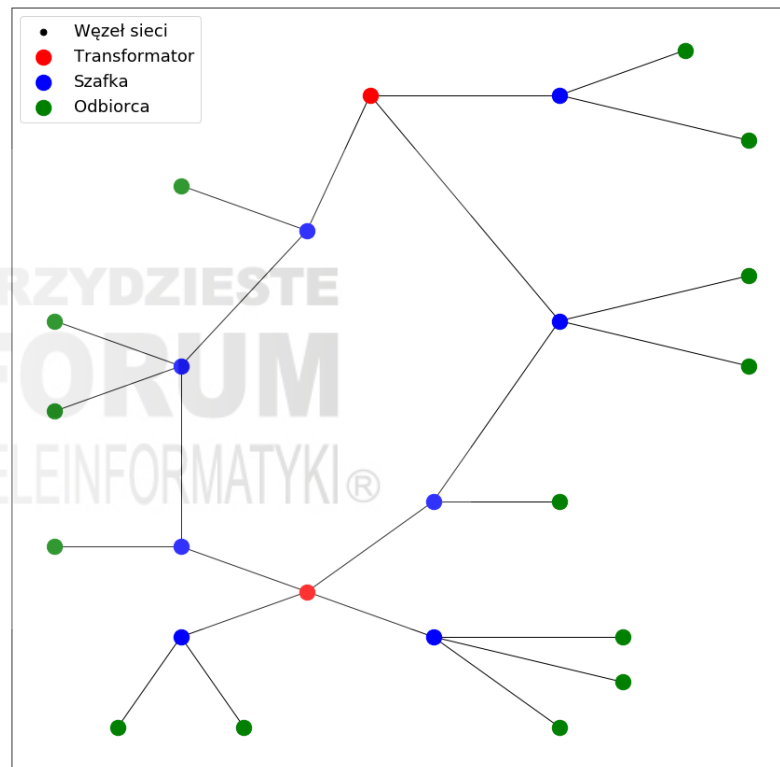
Idea algorytmu

- **Określenie grafu bilansowania dla danej stacji**
- Redukcja grafu bilansowania
- **Przeszukiwanie grafu** w celu wyznaczenia „najlepiej” zbilansowanego podgrafu dla określonego przedziału czasu
- Odjęcie podgrafu bilansowania od pierwotnego grafu bilansowania
- Przejście do kroku 2
- Krok 3 – zachłanny obliczeniowo
- Możliwe użycie **metod uczenia maszynowego** w celu optymalizacji kroku 3



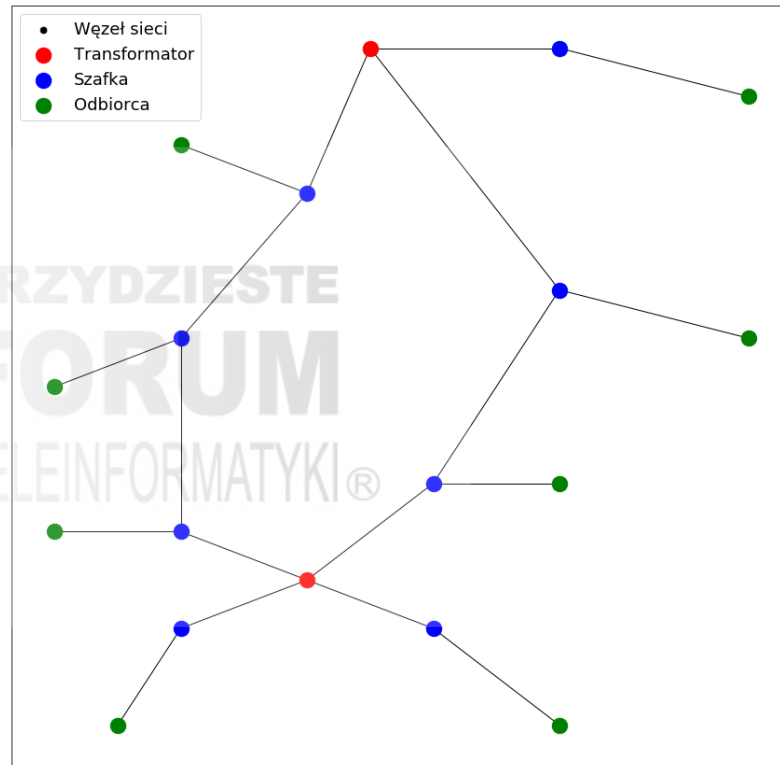
Graf – początek

- Na podstawie topologii nN określany jest początkowy graf bilansowania
- Graf zawiera węzły sieci, szafki (el. przełączany), odbiorców i transformatory
- Graf może **podlegać uproszczeniom** w celu zmniejszenia zapotrzebowania na moc obliczeniową



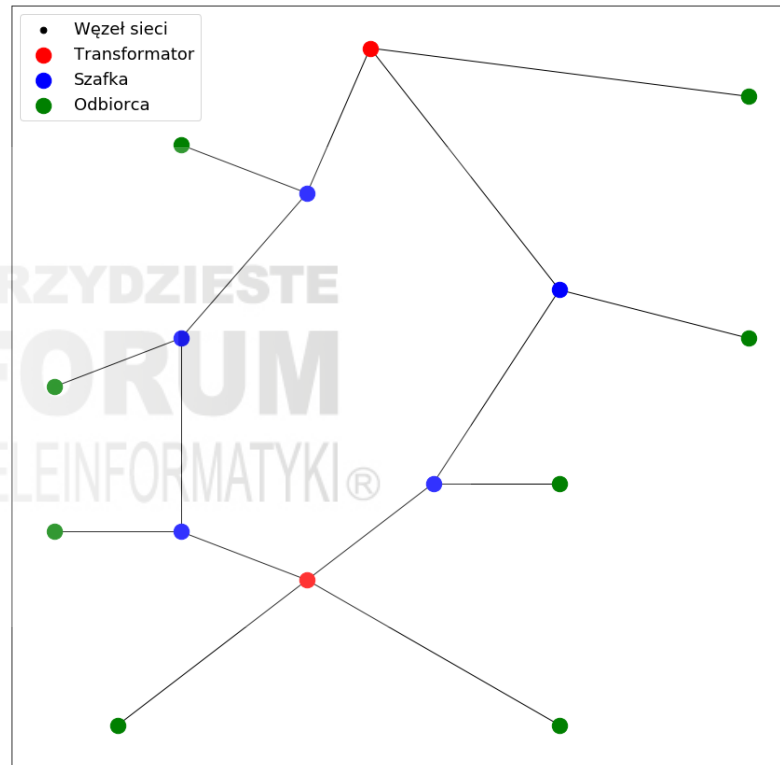
Graf – redukcja I

- W drodze redukcji agregowane są węzły skrajne (przyłączone do tych samych szafek)



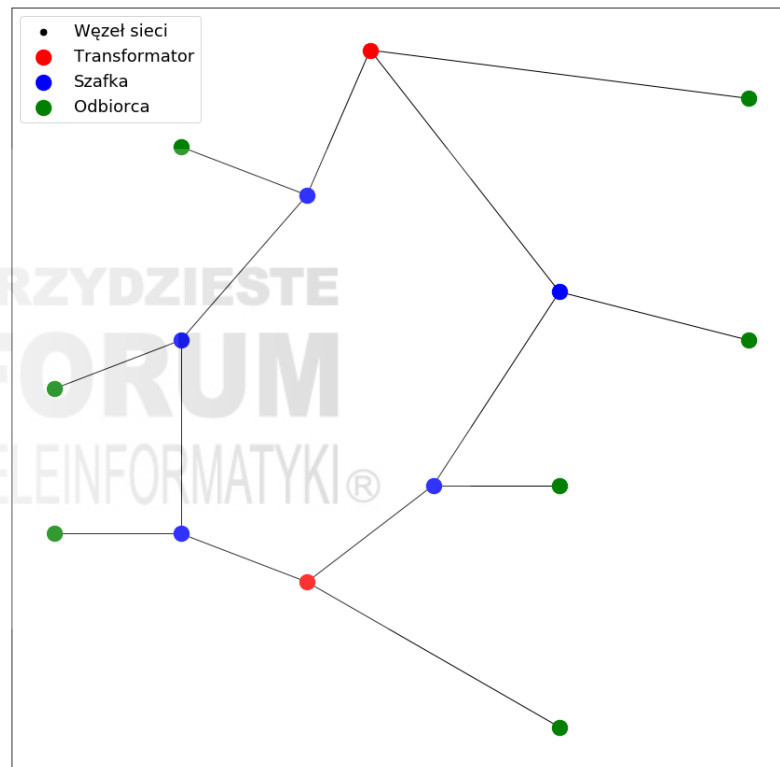
Graf – redukcja II

- W drodze redukcji usuwane są szafki, które w przypadku przełączenia usuwają zasilanie odbiorców

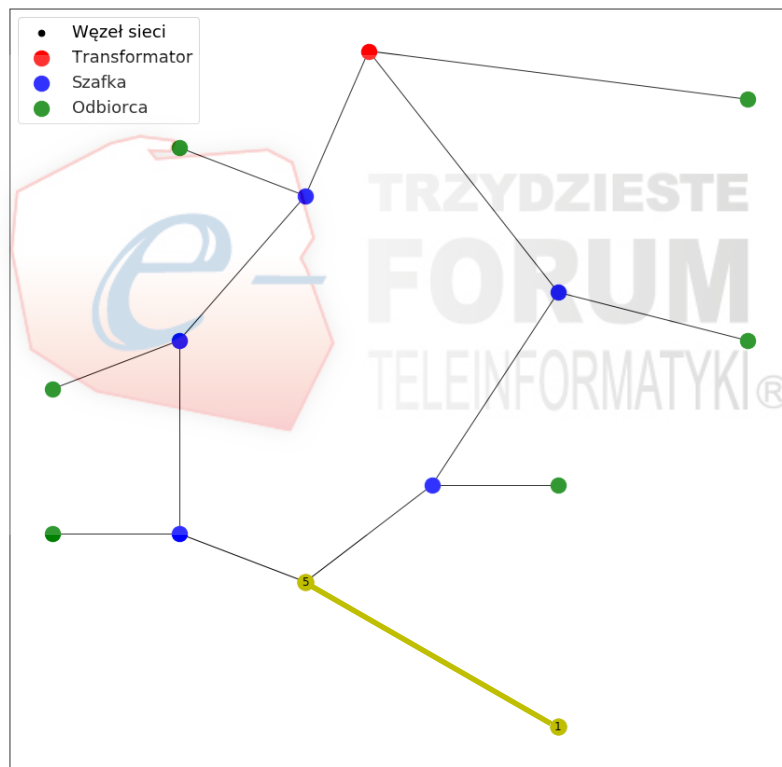


Graf – redukcja III

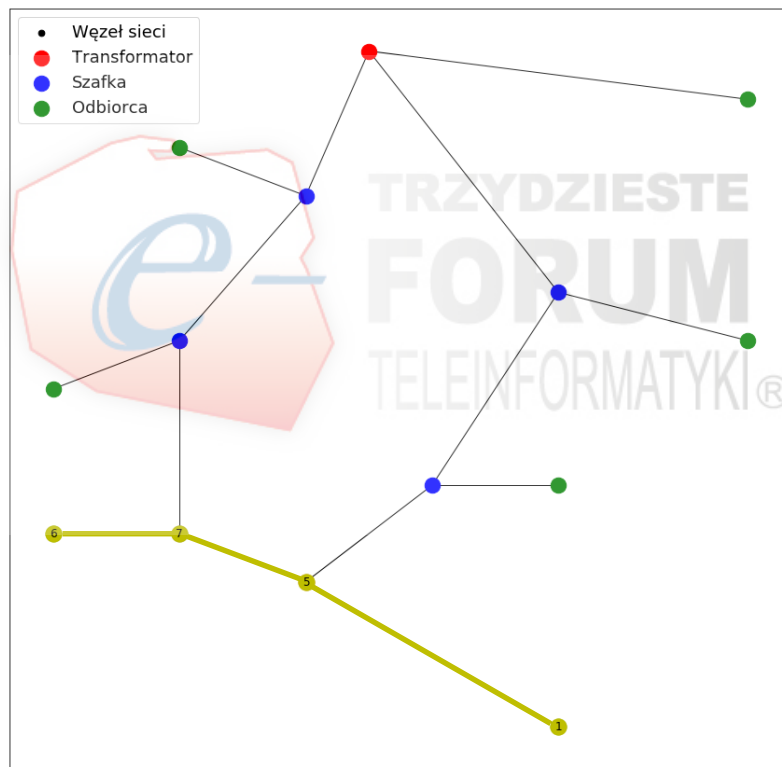
- Po usunięciu szafek można znowu zredukować odbiorców (redukcja I)



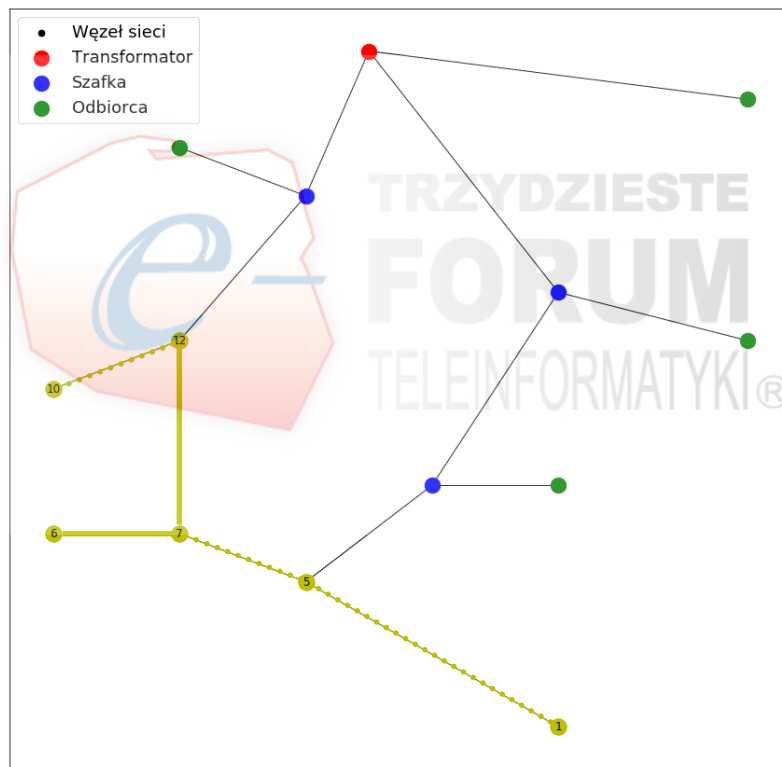
Przeszukiwanie – podgraf 1



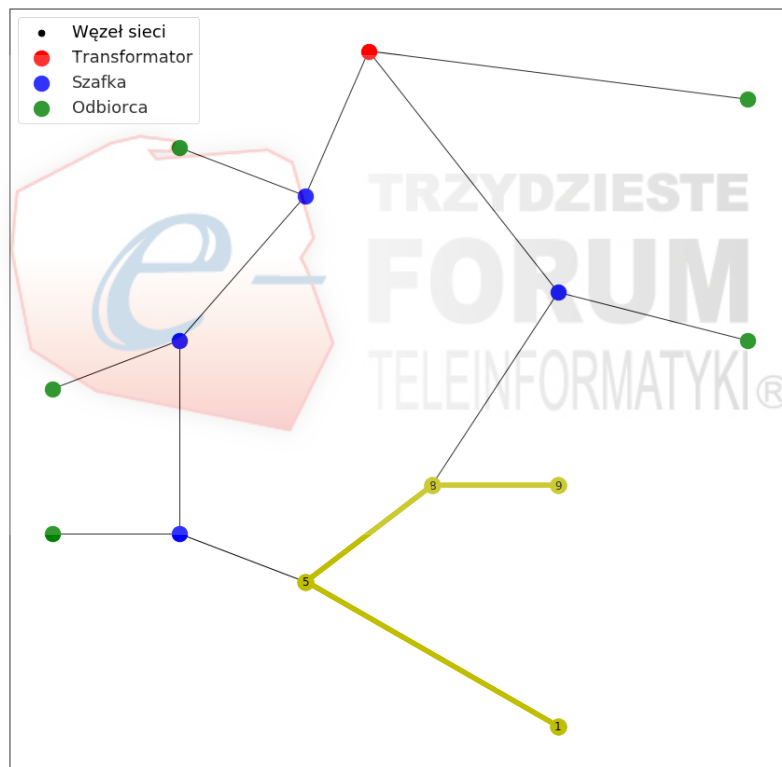
Przeszukiwanie – podgraf 2



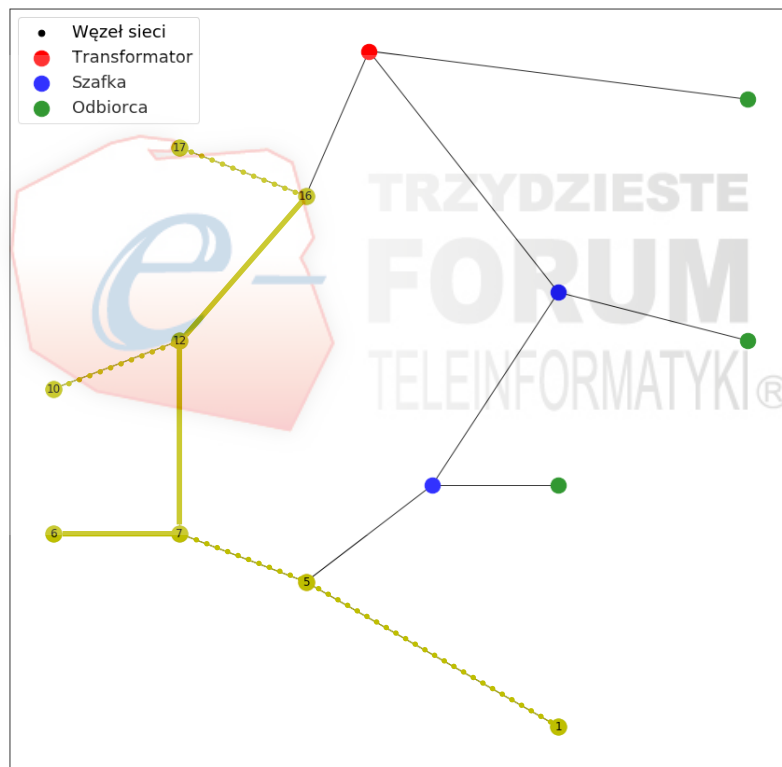
Przeszukiwanie – podgraf 3



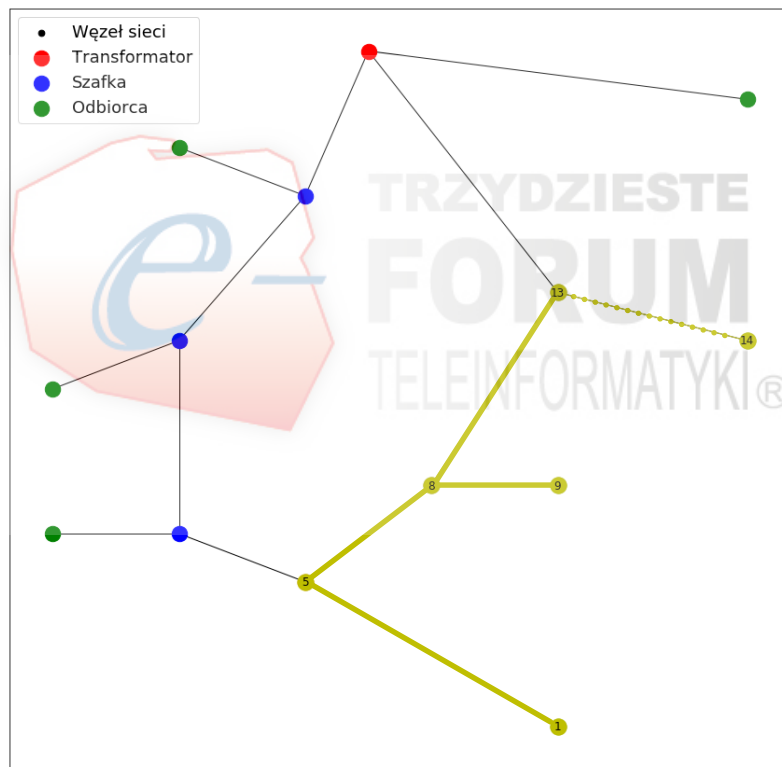
Przeszukiwanie – podgraf 4



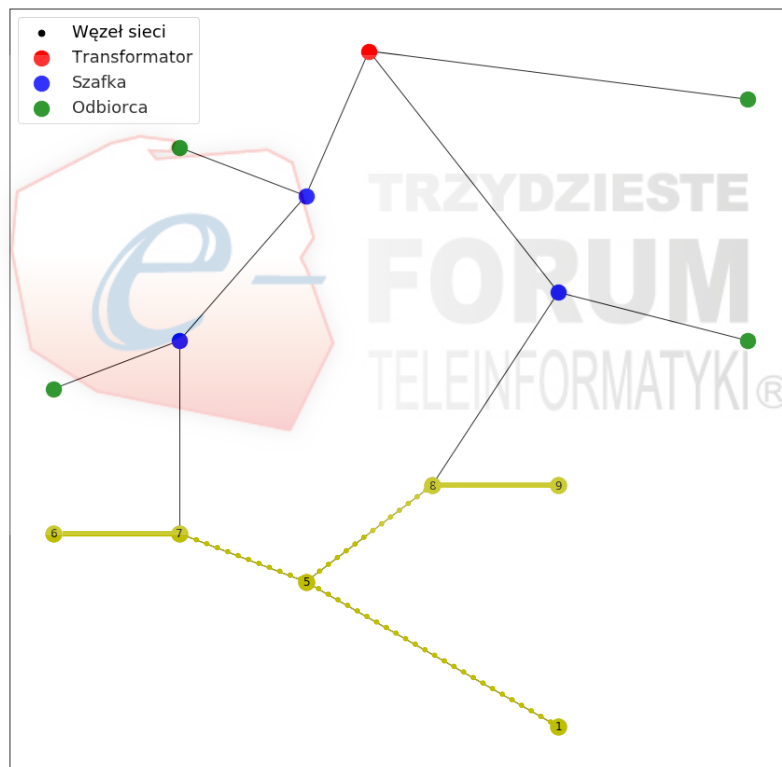
Przeszukiwanie – podgraf 5



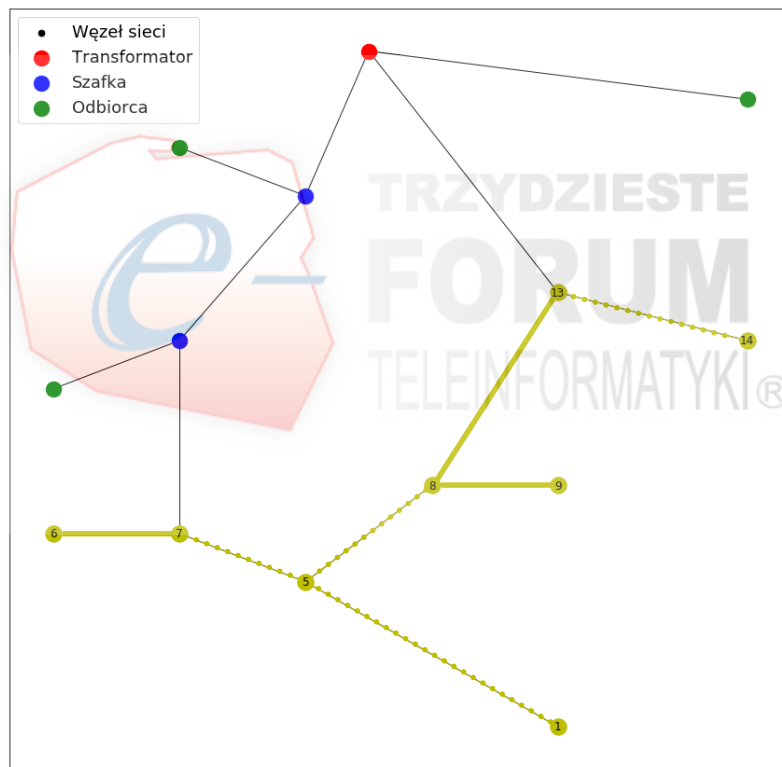
Przeszukiwanie – podgraf 6



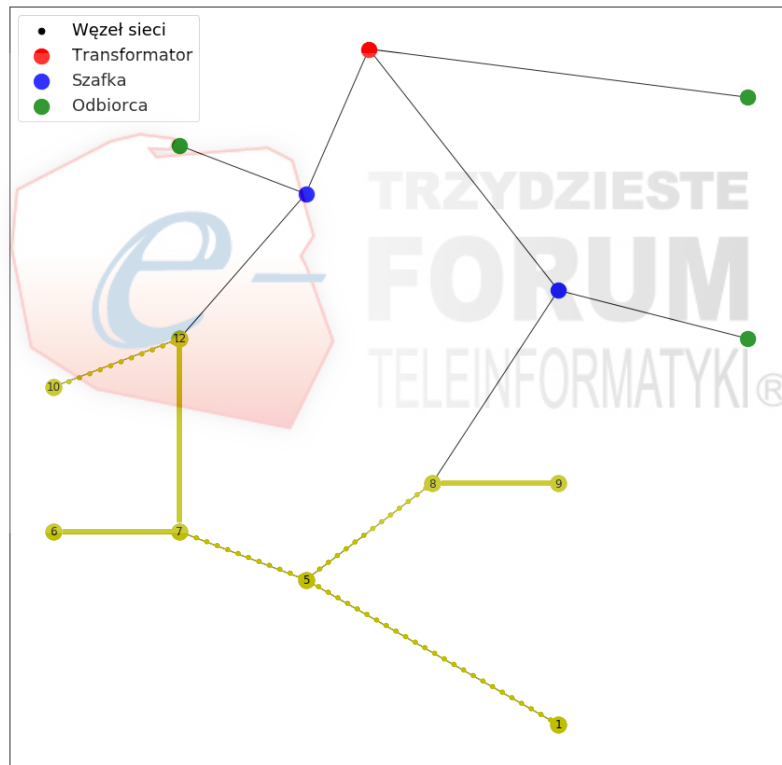
Przeszukiwanie – podgraf 7



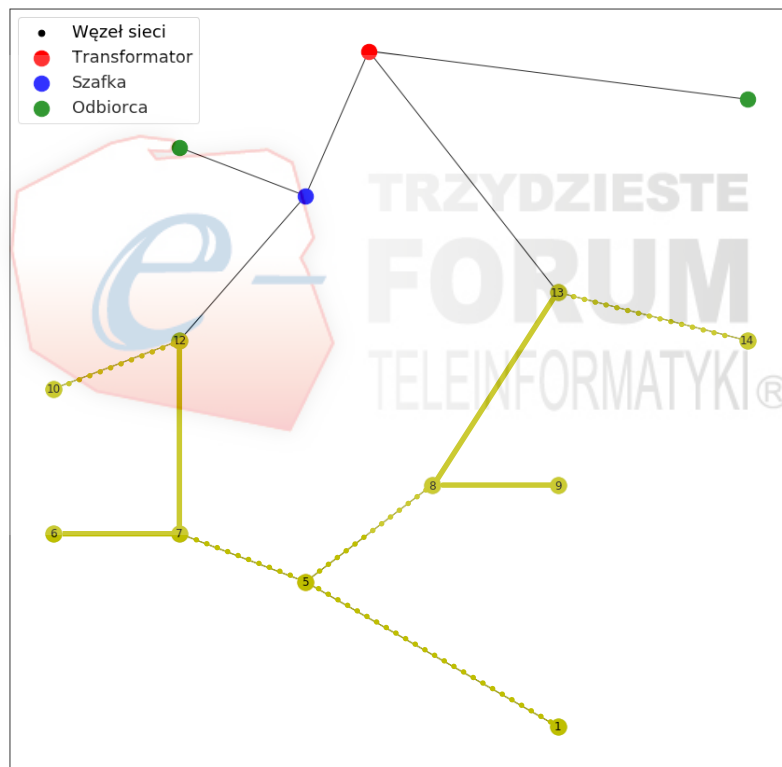
Przeszukiwanie – podgraf 8



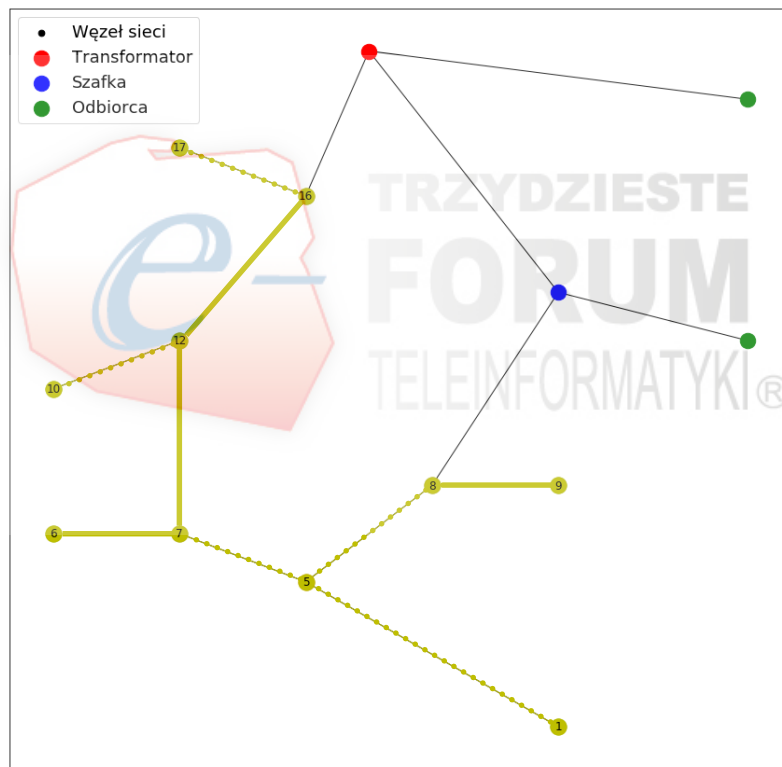
Przeszukiwanie – podgraf 9



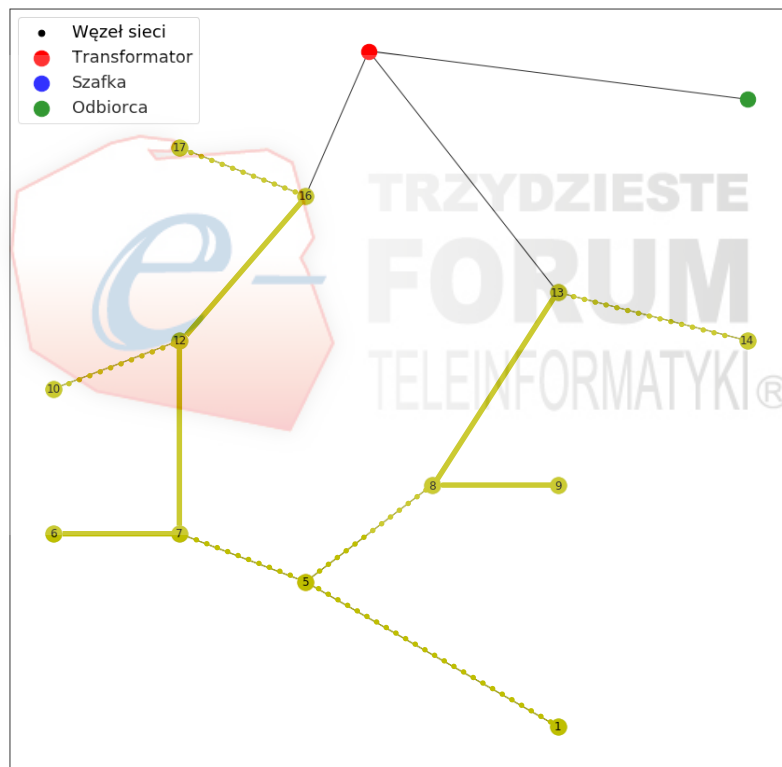
Przeszukiwanie – podgraf 10



Przeszukiwanie – podgraf 11



Przeszukiwanie – podgraf 12



Bilansowanie - wnioski

- **Bilansowanie to proces zachłanny obliczeniowo – wymagana duża moc obliczeniowa do przeszukiwania grafu bilansowania w celu wyznaczenia podgrafów sieci nN (stanu nN)**
- Użycie uczenia maszynowego („intuicji maszynowej”) do typowania podgrafów
- **Możliwe i zasadne do implementacji przy wykorzystaniu usług chmurowych** (użycie dużej mocy obliczeniowej przez określone godziny w ciągu dnia)
- Współpraca z **dostawcą usług chmurowych** może pozwolić na efektywną realizację tego przedsięwzięcia

Podsumowanie



TRZYDZIESTE
FORUM
TELEINFORMATYKI®

Podsumowanie

- **Transformacja energetyczna określana jest mianem 3D – decentralizacja, dekarbonizacja i digitalizacja**
- **Nie da się zamienić źródeł konwencjonalnych na OZE w sposób bezpośredni**
- Transformacja opiera się o zarządzanie energią w mikroskali, co wymaga uczenia maszynowego i danych pomiarowych w czasie rzeczywistym
- Licznik ze zdalnym odczytem nie jest licznikiem inteligentnym
- Licznik inteligentny to asystent energetyczny, który zarządza energią u użytkownika
- **Bez uczenia maszynowego nie jest możliwa transformacja energetyczna**