



Fundusze Europejskie
Program Regionalny



Rzeczpospolita
Polska



Śląskie.

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego

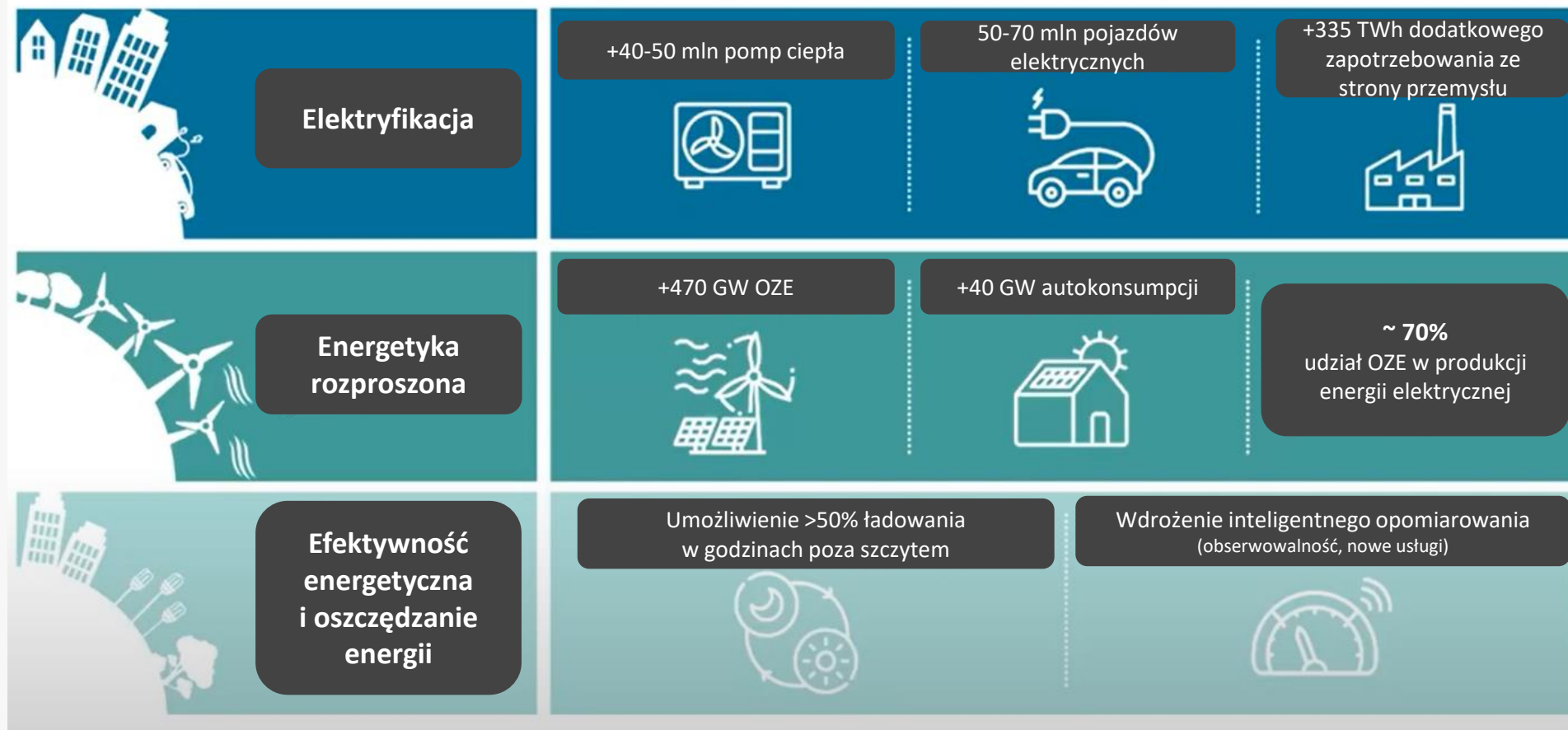


Optymalizacja przyłączania stacji ładowania autobusów elektrycznych do miejskiej sieci elektroenergetycznej za pomocą algorytmów sztucznej inteligencji

Andrzej Szyp - Biuro Innowacji i Nowych Technologii; TAURON Dystrybucja S.A.
Michał Połecki - Instytut Elektroenergetyki Wydział Elektryczny; Politechnika Warszawska

XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna Rynek Energii Elektrycznej
Kazimierz Dolny 22-24 kwietnia 2024 r.

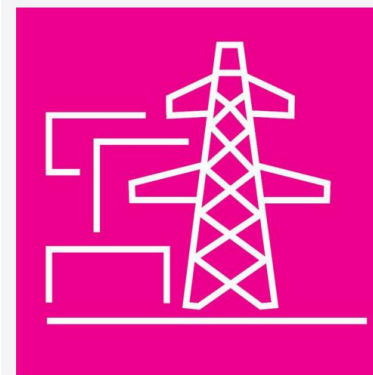
Perspektywa transformacji 2030



ODPORNOŚĆ I CYBERBEZPIECZEŃSTWO

Źródło: 3rd E.DSO Projects in the Spotlight, Richard Vidlička, Chair of E.DSO Innovation & Research Committee. <https://eudsoentity.eu/>

Strategiczna Agenda Badawcza



Strategiczna Agenda Badawcza
TAURON Dystrybucja S.A.

<https://www.tauron-dystrybucja.pl/o-spolce/innowacje>



Inteligentna dystrybucja



Zapewnienie jakości
i niezawodności
dostaw

- Zaawansowana diagnostyka sieciowa
- Rozwój automatyki sieciowej
- Optymalny rozwój infrastruktury sieciowej
- Wykorzystanie rynku usług elastyczności
- Wykorzystanie systemów magazynowania energii



Zaspokojenie
potrzeb
użytkowników
systemu
dystrybucyjnego

- Dostosowanie do współpracy z OZE
- Dostosowanie do współpracy z elektromobilnością
- Inteligentne opomiarowanie
- Platformy obsługowe



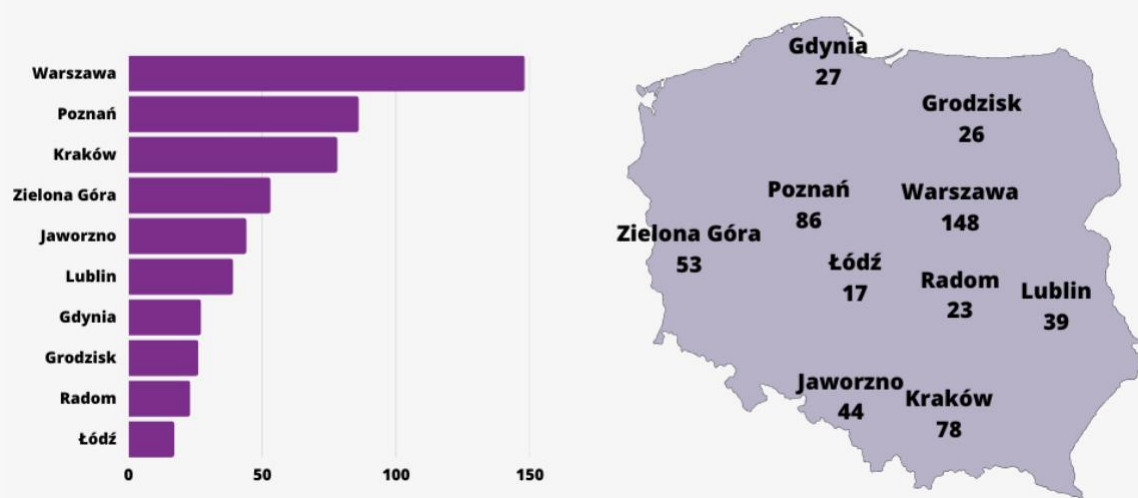
Wykorzystanie
potencjału
digitalizacji i
analityka danych

- Analityka danych pochodzących z inteligentnej infrastruktury sieciowej
- Mobilność i cyfryzacja środowiska pracy
- Bezpieczeństwo OT/IT inteligentnej infrastruktury sieciowej

Geneza projektu

Autobusy elektryczne i infrastruktura ładowania

Optimalny dobór rodzaju infrastruktury, jej parametrów oraz lokalizacji kluczowym czynnikiem sukcesu



W Polsce na koniec czerwca 2023 roku użytkowanych było **856** szt. autobusów elektrycznych. W ramach programu Zielony Transport Publiczny 3.0 złożono wnioski na zakup kolejnych 550 autobusów.



Stacje plug-in

Typowe lokalizacje: zajezdnie

Moce ładowania: 90-150 kW

Czas pełnego ładowania*: 2-5 h

Typowa pora ładowania: noc



Stacje pantografowe

Typowe lokalizacje: pętle, przystanki

Moce ładowania: 190-450 kW

Czas pełnego ładowania*: 2-3 h (najczęściej kilkuminutowe doładowania)

Typowa pora ładowania: dzień



Stacja automatycznej wymiany baterii


Czas wymiany baterii: ok. 10 min.

Możliwość elastycznego zarządzania czasem i parametrami ładowania dzięki ładowaniu poza pojazdem


Skalowalność – obsługa od kilku do kilkunastu autobusów

Geneza projektu

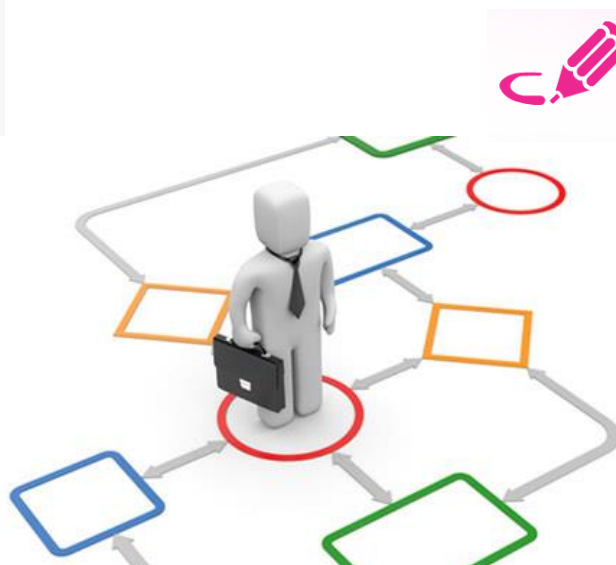
Proces przyłączenia do sieci OSD



Zaplanuj inwestycję



Złóż wniosek o wydanie warunków przyłączenia



Podpisz umowę przyłączeniową




Czekaj na realizację przyłączenia



Korzystaj z energii

WP

Wniosek o określenie warunków przyłączenia do sieci dystrybucyjnej dla odbiorców energii elektrycznej



Wniosek prosimy uzupełnić drukowanymi literami. Więcej informacji znajdziesz na stronie internetowej www.tauron-dystrybucja.pl (ABC przyłączenia), gdzie możesz złożyć również wniosek online.

1. Dane wnioskodawcy

W przypadku większej liczby wnioskodawców, prosimy o wypełnienie załącznika UPA.

Imię Wnioskodawcy 1 _____ Nazwisko Wnioskodawcy 1 _____

Firma (jeśli dotyczy) _____

Nr i seria dokumentu tożsamości _____ PESEL _____ NIP (jeśli dotyczy) _____

Nr CEIDG lub nr KRS (jeśli dotyczy) _____ Telefon kontaktowy _____ E-mail _____

Adres zamieszkania / Adres firmy

Ulica _____ Nr domu _____ / Nr lokalu _____ Kod pocztowy _____

Gmina _____ Miejscowość _____

Dane Wnioskodawcy 2 / Pełnomocnika (opcjonalnie) ☐ Wnioskodawca 2 ☐ Pełnomocnik

Imię Wnioskodawcy 2 _____ Nazwisko Wnioskodawcy 2 _____

Firma (jeśli dotyczy) _____

Nr i seria dokumentu tożsamości _____ PESEL _____ NIP (jeśli dotyczy) _____

Nr CEIDG lub nr KRS (jeśli dotyczy) _____ Telefon kontaktowy _____ E-mail _____

Ulica _____ Nr domu _____ / Nr lokalu _____ Kod pocztowy _____

Gmina _____ Miejscowość _____

2. Dane obiektu

Rodzaj obiektu: ☐ dom jednorodzinny ☐ obiekt wieloklatowy ☐ lokal mieszkalny ☐ zakład produkcyjny ☐ garaż

☐ pkt. ładowania pojazdów elektrycznych ☐ obiekt handlowy / usługowy ☐ inne, wpisz obok _____

Adres obiektu

Kod pocztowy _____ Miejscowość _____ Gmina _____

Ulica _____ Nr administracyjny obiektu _____ Obręb, numery działek _____

Adres korespondencyjny:

TAURON Odbiory Klienta sp. z o.o.

40-369 Kalisz, ul. Ławarska 23

Telefoniczna Obsługa Klienta:

12 506 9 616

godziny: 9:00 - 18:00, poniedziałek - piątek

Elektroniczna Obsługa Klienta:

info@tauron-dystrybucja.pl

1/1 TD_WP

Cele i zakres projektu

Projekt B+R „Opracowanie narzędzia wspomagającego podejmowanie decyzji w zakresie doboru technologii, parametrów i lokalizacji infrastruktury ładowania”

- Opracowanie metodyki doboru technologii, parametrów i lokalizacji infrastruktury ładowania autobusów elektrycznych dostosowanej do potrzeb operatorów floty i uwarunkowań OSD
- Budowa prototypu narzędzia informatycznego wspomagającego OSD

Badania przemysłowe

TRL IV > TRL VI

Prace
rozwojowe

TRL VII > TRL IX

- Współpraca:






- Podwykonawcy usług badawczych:

**Politechnika
Warszawska**

 **Future Processing**

Etap badań przemysłowych

Zakres badawczy

	Zadania	
1	Przygotowanie reprezentatywnych zestawów danych pomiarowych i technicznych dla potrzeb realizacji usług badawczych przez Podwykonawcę	
2	<p>Opracowanie zintegrowanych metod:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) szacowania zapotrzebowania na moc i energię elektryczną punktów ładowania działającej na danych rzeczywistych OSD, 2) budowania modelu obliczeniowego sieci elektroenergetycznej na podstawie danych paszportyzacyjnych z różnych systemów działającej na danych rzeczywistych OSD, 3) szacowania obciążeń sieci elektroenergetycznej na podstawie danych o zużyciu energii działającej na danych rzeczywistych OSD, 4) optymalizacji przyłączenia punktów ładowania w zależności od ich funkcji działającej na danych rzeczywistych OSD. <p>Opracowanie założeń do struktury i architektury funkcjonalnej Prototypu (pod względem wykorzystania prototypów metod</p>	
3	Przetestowanie metod na wybranym obszarze OSD na podstawie danych rzeczywistych	
4	Opracowanie założeń funkcjonalnych i technicznych dla Prototypu	

Kamień milowy: Opracowane zintegrowane metody oraz założenia funkcjonalne i techniczne dla prototypu

Etap badań przemysłowych

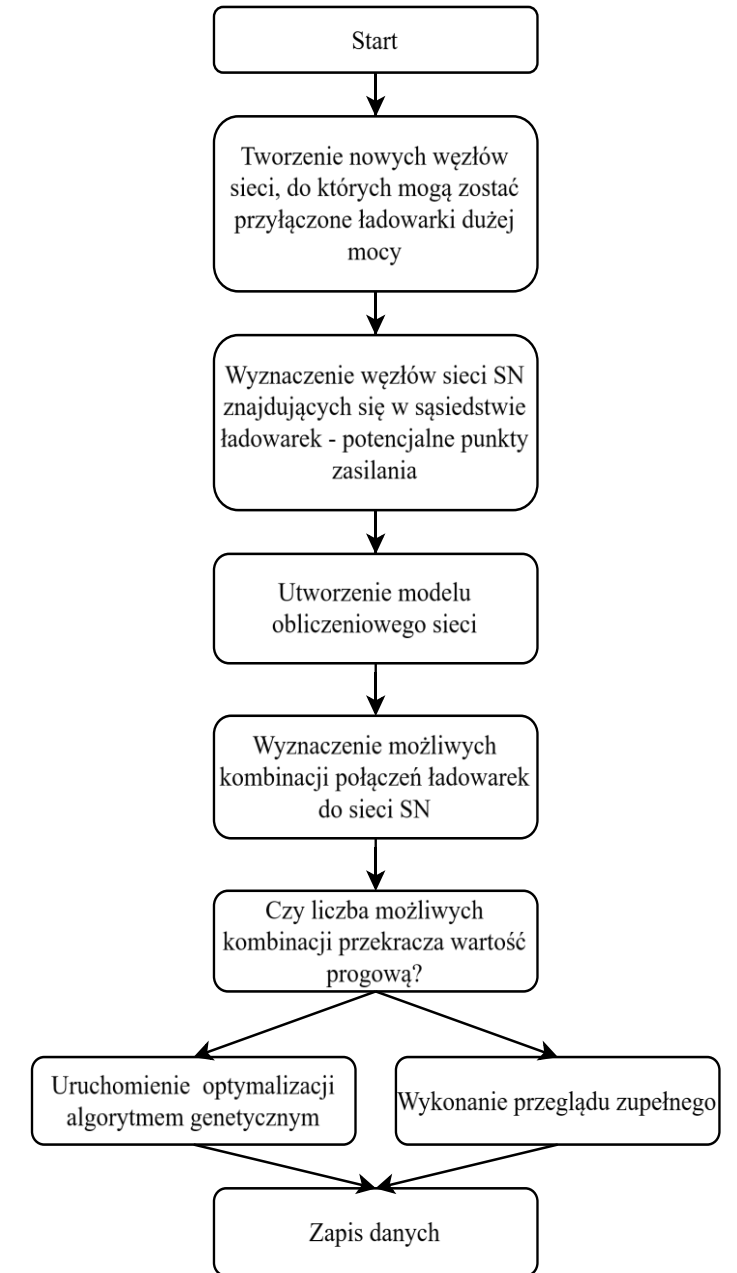
Metoda optymalizacji przyłączenia punktów ładowania w zależności od ich funkcji

Założenia:

- Danymi wejściowymi metody są wyniki działania poprzednich metod: model sieci, obciążenia w sieci (dotychczasowe), obciążenia punktów ładowania;
- Punkty ładowania mogą zostać przyłączone do sieci nN w istniejących stacjach SN/nN (do pewnej zadanej mocy), do szyn SN w istniejących stacjach SN/nN, do istniejących węzłów SN, do nowych węzłów SN (wcinki powyżej pewnej mocy).

Opracowane metody:

- Przeglądu zupełnego zbioru rozwiązań kandydujących do rozwiązania optymalnego;
- Optymalizacji z wykorzystaniem algorytmu ewolucyjnego.



Etap badań przemysłowych

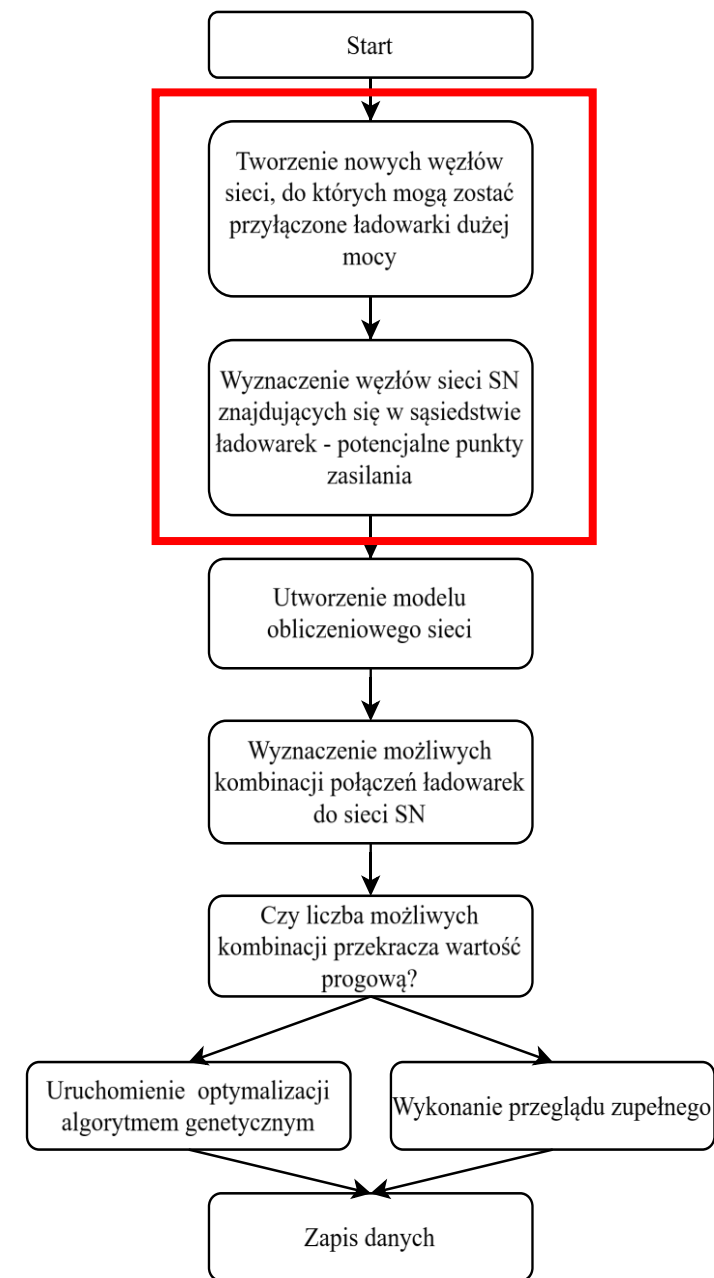
Metoda optymalizacji przyłączenia punktów ładowania w zależności od ich funkcji

Założenia:

- Danymi wejściowymi metody są wyniki działania poprzednich metod: model sieci, obciążenia w sieci (dotychczasowe), obciążenia punktów ładowania;
- Punkty ładowania mogą zostać przyłączone do sieci nN w istniejących stacjach SN/nN (do pewnej zadanej mocy), do szyn SN w istniejących stacjach SN/nN, do istniejących węzłów SN, do nowych węzłów SN (wcinki powyżej pewnej mocy).

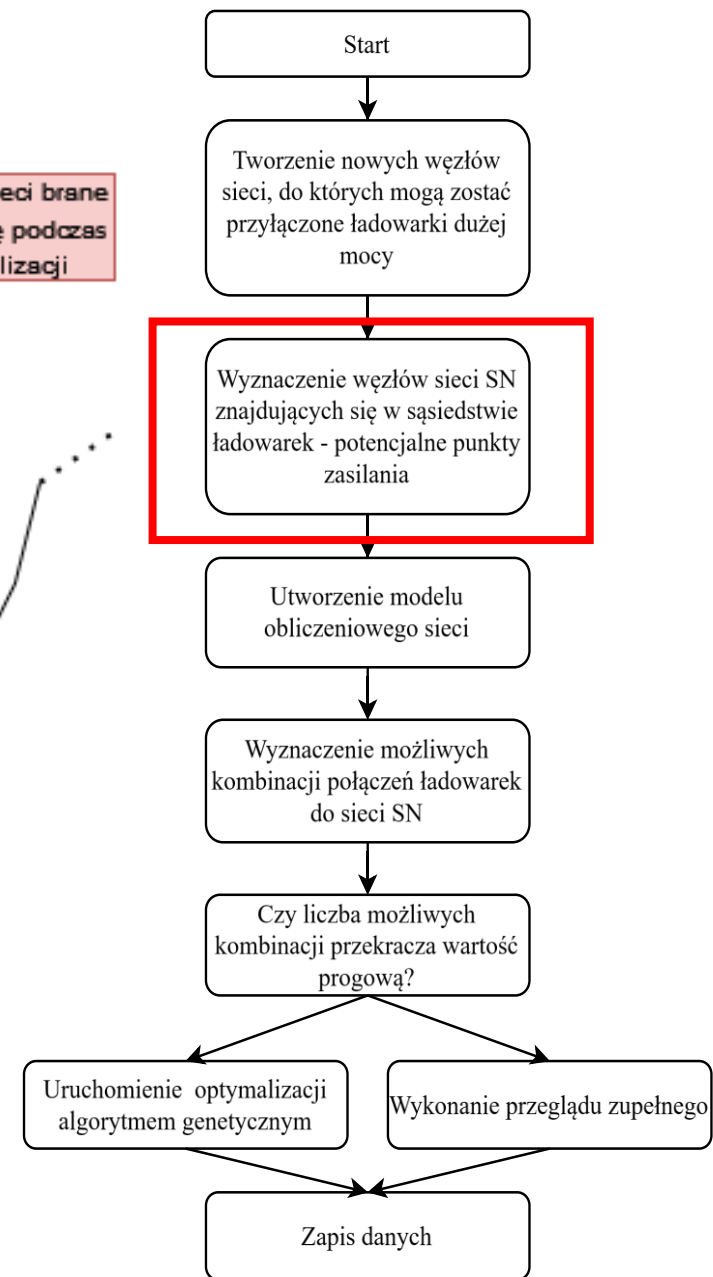
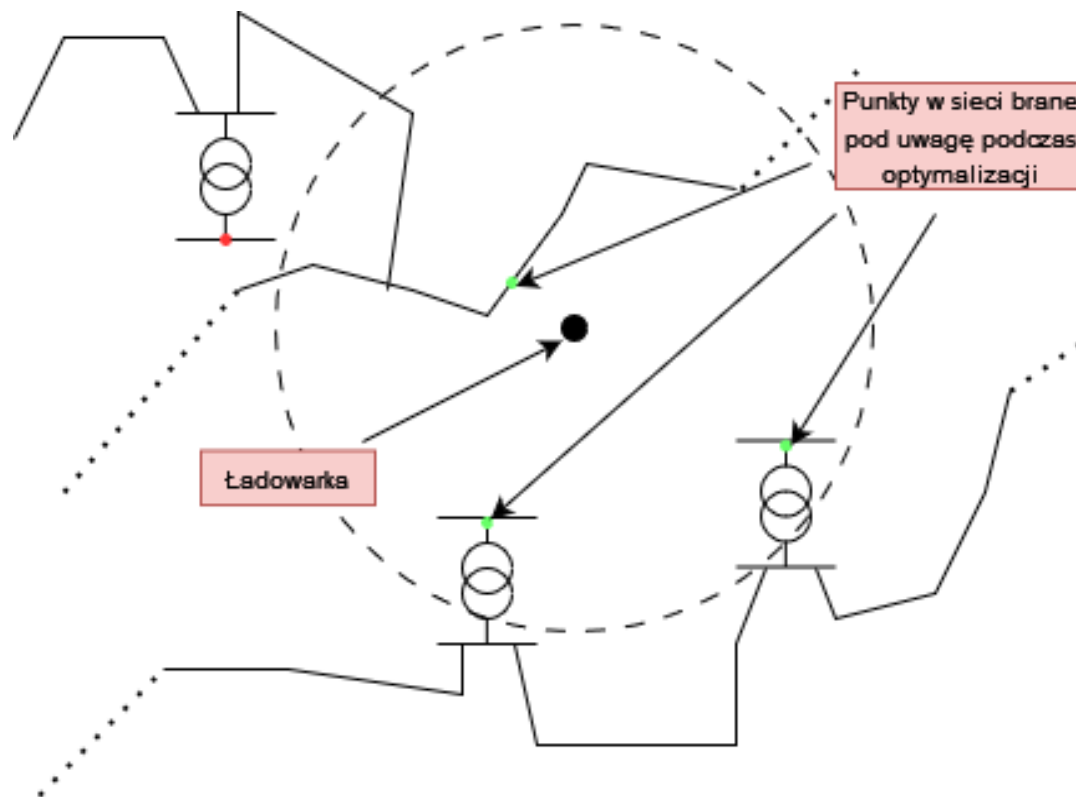
Opracowane metody:

- Przeglądu zupełnego zbioru rozwiązań kandydujących do rozwiązania optymalnego;
- Optymalizacji z wykorzystaniem algorytmu ewolucyjnego.



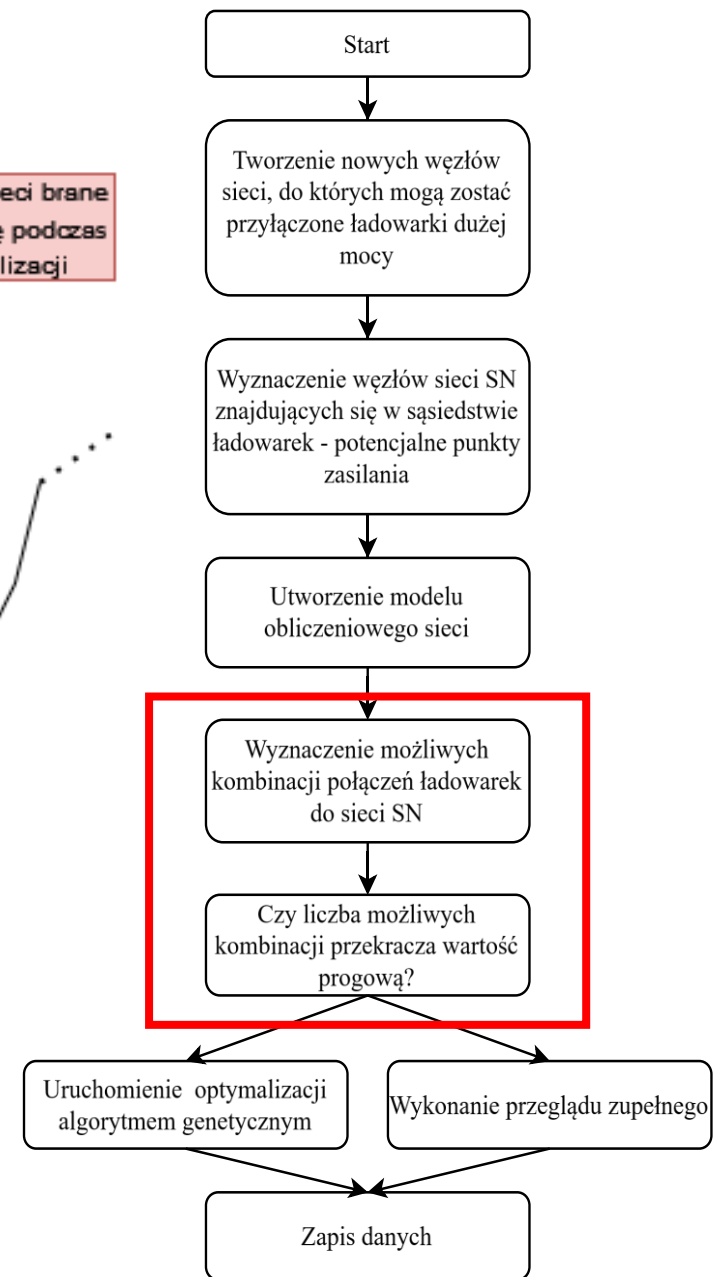
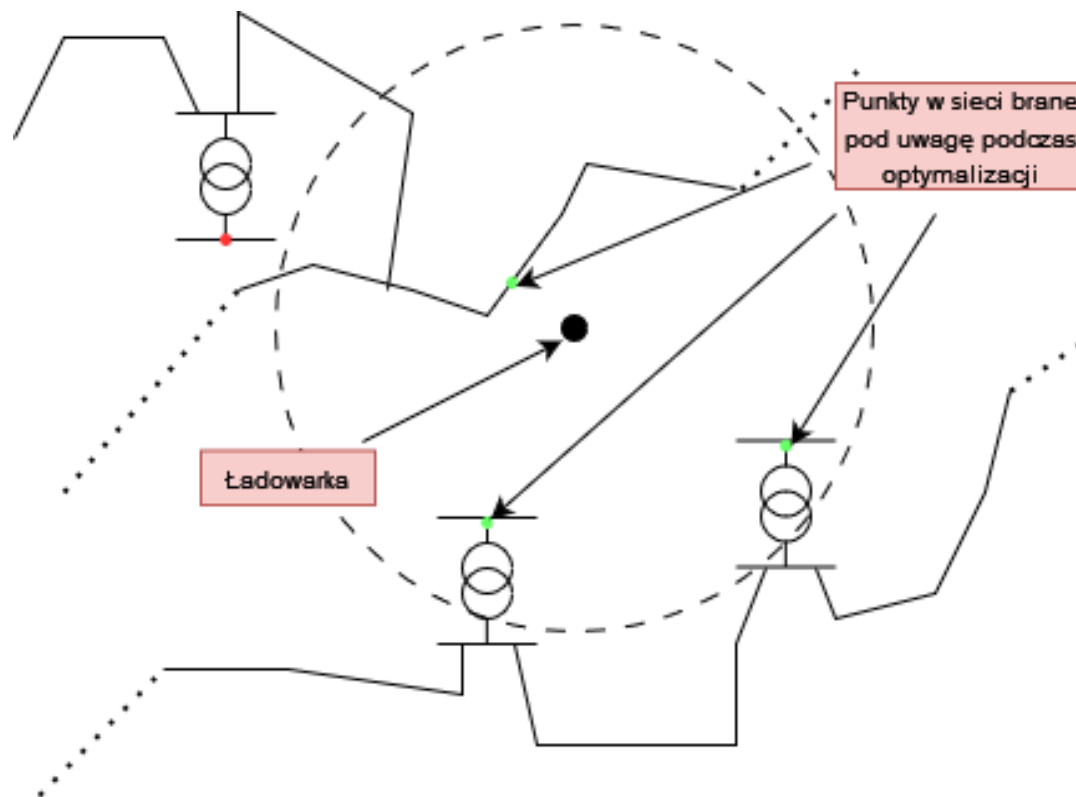
Etap badań przemysłowych

Metoda optymalizacji przyłączenia punktów ładowania w zależności od ich funkcji



Etap badań przemysłowych

Metoda optymalizacji przyłączenia punktów ładowania w zależności od ich funkcji

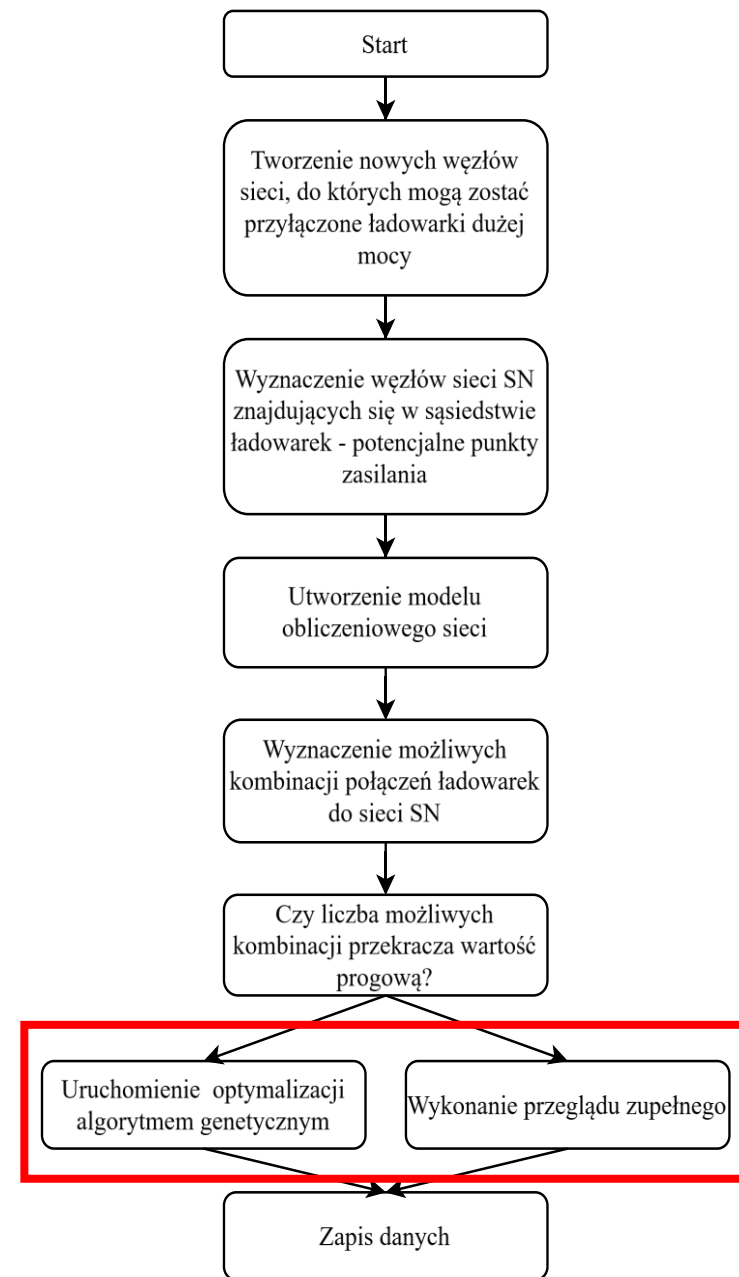


Etap badań przemysłowych

Metoda optymalizacji przyłączenia punktów ładowania w zależności od ich funkcji

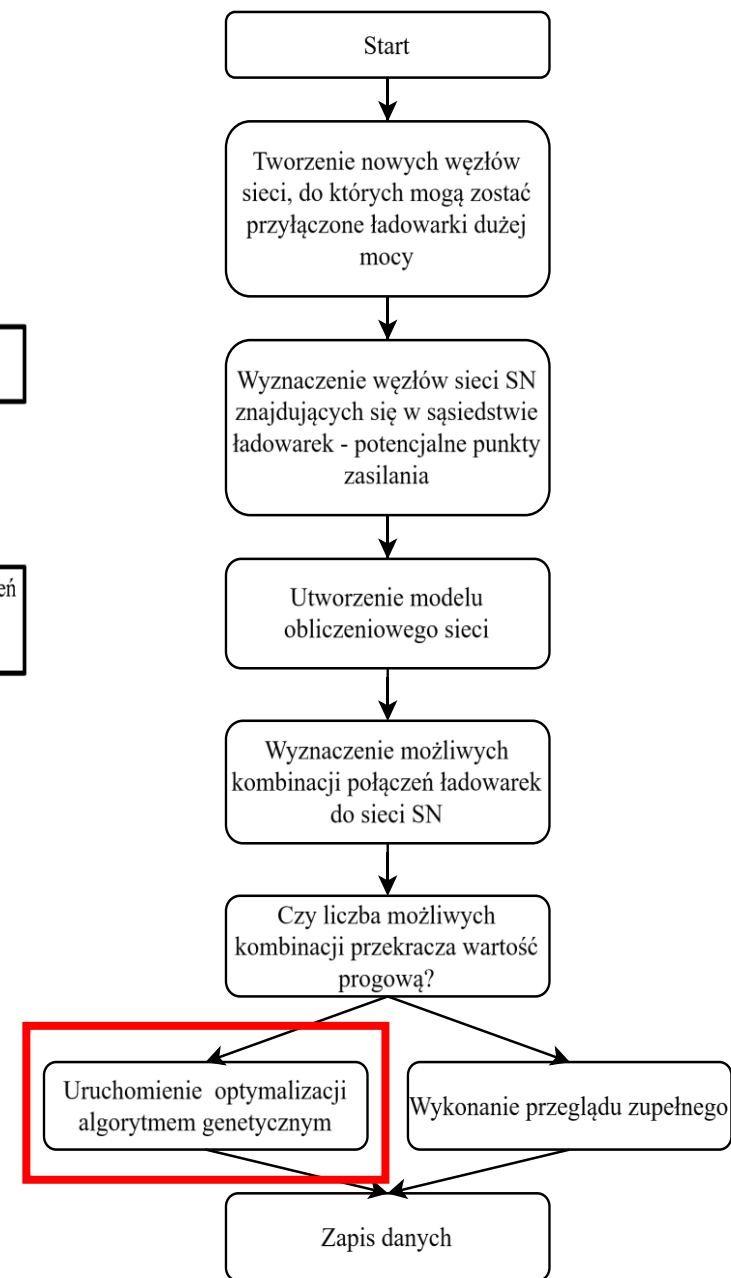
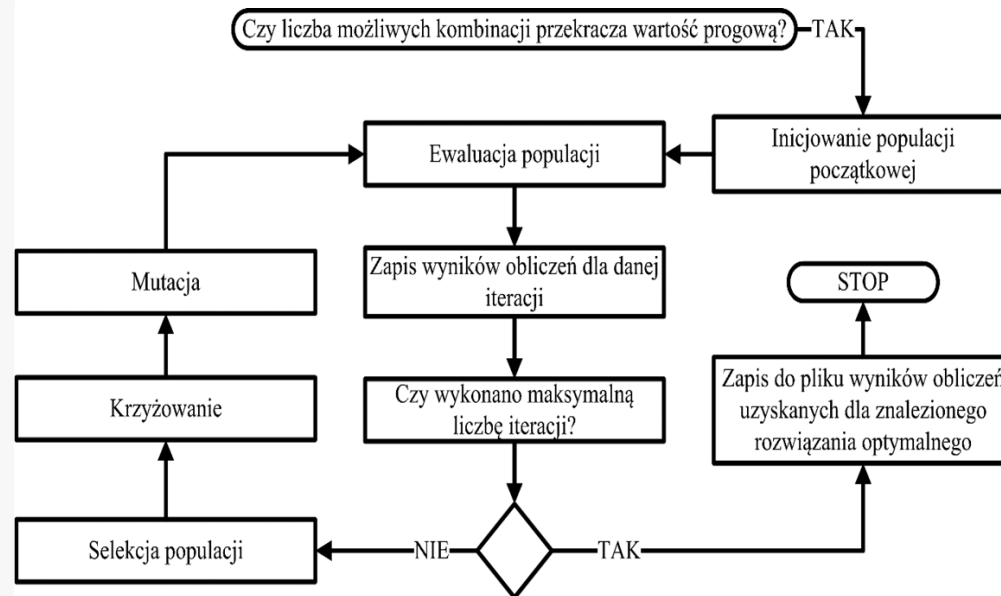
Opracowane metody:

- Przeglądu pełnego zbioru rozwiązań kandydujących do rozwiązania optymalnego;
 - Optymalizacji z wykorzystaniem algorytmu ewolucyjnego.
-
- O wyborze metody rozwiązania zadania optymalizacyjnego decyduje liczba rozwiązań kandydujących.
 - Minimalizowaną funkcją celu były sumaryczne nakłady inwestycyjne, co jest tożsame z optymalnym wykorzystaniem istniejącej infrastruktury sieciowej.



Etap badań przemysłowych

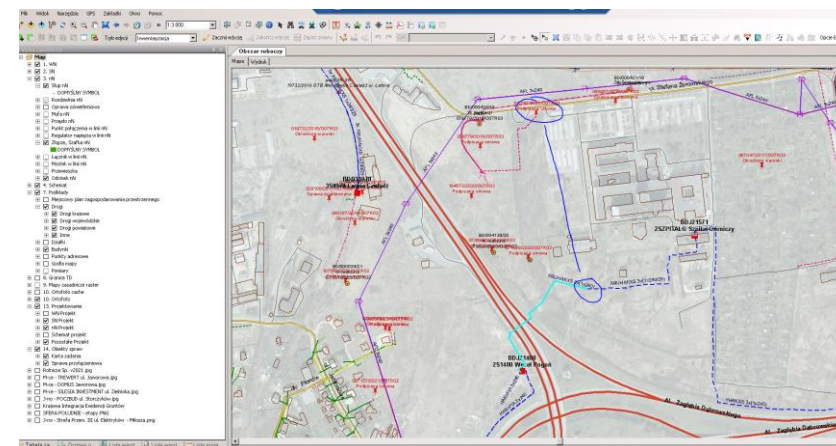
Metoda optymalizacji przyłączenia punktów ładowania w zależności od ich funkcji



Etap badań przemysłowych

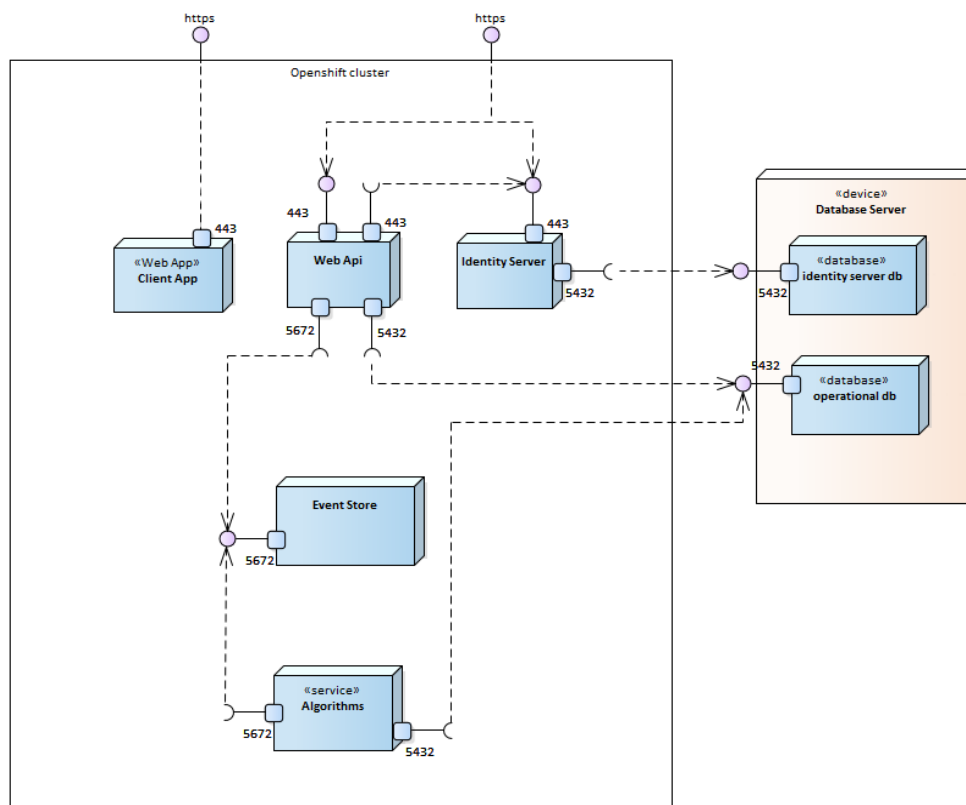
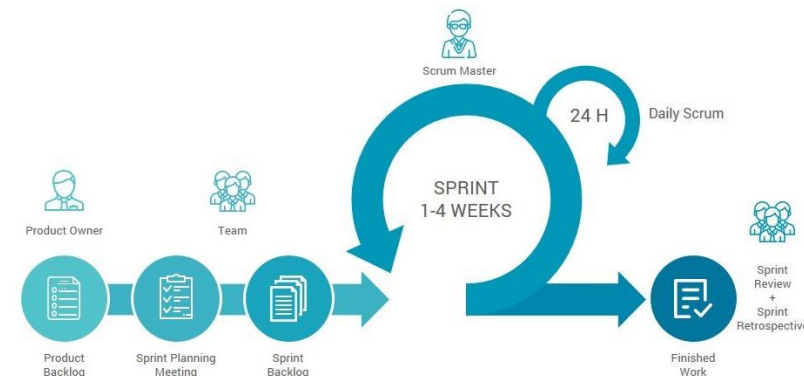
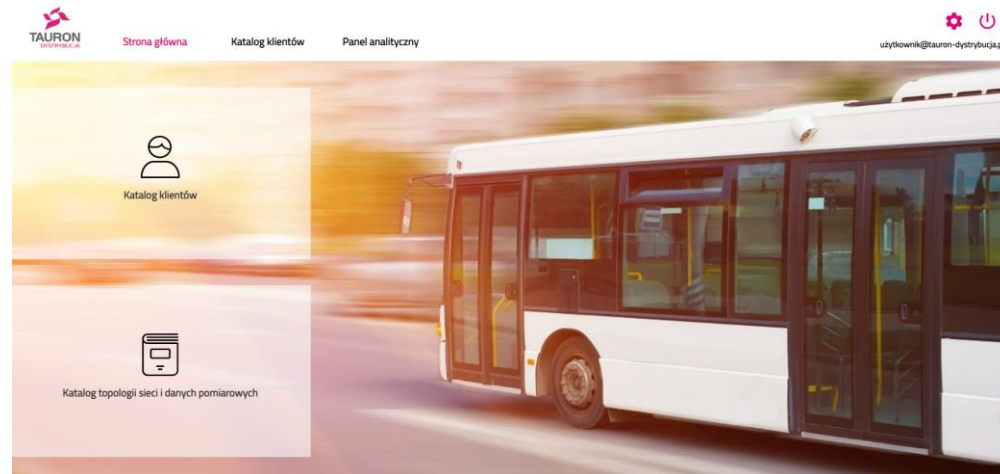
Przetestowanie metod na wybranym obszarze OSD na podstawie danych rzeczywistych

- Przeprowadzono modelową analizę dla 6 lokalizacji (z 2 różnych oddziałów), dla których zostały wydane WP dla ładowarek.
- Analiza z użyciem metody przeglądu zupełnego oraz algorytmu ewolucyjnego dla 3 różnych wariantów mocy przyłączeniowej.
- Jako model referencyjny przyjęto realny proces przyłączenia (wydane WP i UP).
- Uzyskano wysoki stopień zbieżności wyników przy czym metody w języku pośrednim wymagały długich (wielogodzinnych) czasów obliczeń.



Etap prac rozwojowych

Prototyp



- Budowa:
 - część aplikacyjna - na klastrze OpenShift
 - baza danych MS SQL 2019
- Aplikacja kliencka wykonana w technologii web HTML, JavaScript, react.js, DevExpress
- Serwis wykorzystywany do uwierzytelniania zaimplementowany z wykorzystaniem platformy .NET Core oraz C#
- Serwis wykonujący analizy zgodnie z algorytmami wypracowanym przez Uczelnię zaimplementowany w języku Python



Etap prac rozwojowych

Prototyp

Scenariusz #1

Wprowadź analizowane lokalizacje przyłączeniowe i potencjalne stacje ładowania:

Dodaj dane

Lp.	Współrzędna X	Współrzędna Y	Moc [kW]	Typ kabla	Oznaczenie kabla	Przekrój kabla	Opcje
				YHAKXS	3x1xYHAKXS	240	

Scenariusz #2

Wprowadź analizowane lokalizacje przyłączeniowe i potencjalne stacje ładowania:

Dodaj dane

Lp.	Współrzędna X	Współrzędna Y	Moc [kW]	Typ kabla	Oznaczenie kabla	Przekrój kabla	Opcje
				YHAKXS	3x1xYHAKXS	240	

Scenariusz #3

Wprowadź analizowane lokalizacje przyłączeniowe i potencjalne stacje ładowania:

Dodaj dane

Lp.	Współrzędna X	Współrzędna Y	Moc [kW]	Typ kabla	Oznaczenie kabla	Przekrój kabla	Opcje
				YHAKXS	3x1xYHAKXS	240	

+ Dodaj nowy scenariusz

Maksymalna odległość ładowarki od węzła zasilającego [m]

1000

(nie mniej niż 1000)

Próg aktywacji algorytmu ewolucyjnego

100

(N*LiczPok; 2,5 mln < rekomenduje się wybór algorytmu ewolucyjnego)

Maksymalna moc ładowarki [kW], dla której może ona być zasilana z rozdzielnic nN w stacji SN/nN

190

(liczba dowolna)

Maksymalna dopuszczalna długość linii nN zasilającej ładowarkę

400

(nie mniej niż 200)

Liczba potencjalnych rozwiązań w ramach pojedynczej iteracji AE

500

(od 100 do 1000)

Prawdopodobieństwo krzyżowania w AE

0,9

(nie mniej niż 0,5)

Prawdopodobieństwo zmiany potencjalnego punktu przyłączenia ładowarki w AE

0,01

(nie więcej niż 0,15)

Liczba iteracji AE

1000

(od 1 000 do 10 000)

Aktywacja modułu weryfikacji ograniczeń technicznych

TAK

Liczba propozycji rozwiązań

4

(od 1 do 100)

Zapisz wprowadzone dane i uruchom analizę:

Uruchom analizę

Etap prac rozwojowych

Use Case



Przykładowy scenariusz użycia

Warianty przyłączenia (lokalizacje, moce)

- Podmiot odpowiedzialny za organizację transportu zbiorowego na terenie wielu gmin chce wstępnie przeanalizować kilka potencjalnych wariantów mocy i lokalizacji dla stacji ładowania autobusów elektrycznych;
- Chce pozyskać informacje o wstępnie oszacowanych: czasie realizacji przyłączenia oraz opłatach przyłączeniowych;
- Dla celów przeprowadzenia analizy, przekazuje tabelę ze współrzędnymi analizowanych lokalizacji przyłączenia infrastruktury ładowania oraz wartości oczekiwanych mocy przyłączeniowych (kilka wariantów).

Etap prac rozwojowych

Use Case

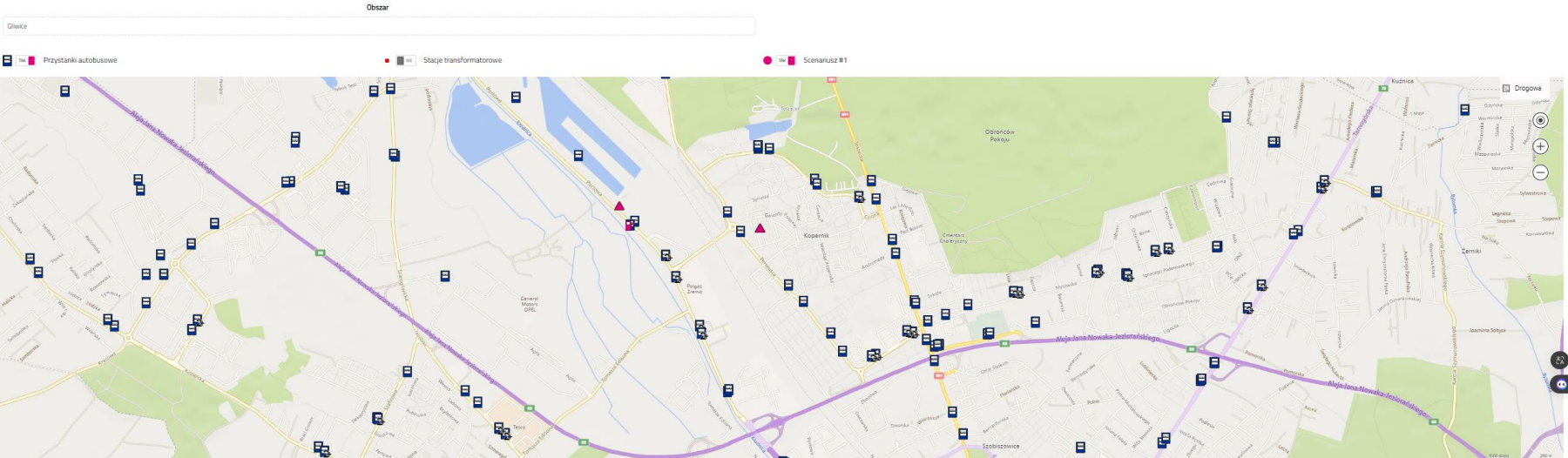
Zakres analizy:

- zasilenie prototypu danymi wejściowymi pochodzącymi z wybranych systemów OSD oraz danych rzeczywistych Operatora Floty
- przeprowadzenie modelowej analizy na podstawie danych rzeczywistych pochodzących z sieci OSD oraz Operatora Floty

Raport podsumowujący - scenariusz #1 (pełny)

Moc przyłączeniowa [kW]	Rodzaj węzła zasilającego	Napięcie znamionowe węzła [kV]	Nazwa cięgi	Współrzędna X węzła	Współrzędna Y węzła	Długość linii zasilającej jęć. ładowania [m]	Długość linii zasilającej jęć. ładowania (Klient) [m]	Czas realizacji przyłączenia [min.]	Opłata przyłączeniowa [zł]	Nakłady na przyłączenie [zł]	Inne koszty związane z przyłączeniem (Klient) [zł]
180	WŁZEL-IN	0.4	G190 - G470	50.3236449236129	18.638157371238	152	0	12	2334	35663	0
180	STACJA ŚN/IN	20	G472 - G473	50.3223502092587	18.6511315947374	0	851	24	1250	90000	445611
180	WŁZEL ŚN	20	G473 - G482	50.3223394019177	18.6511373733623	0	851	24	1250	90000	445744

Podgląd analizowanych lokalizacji oraz stacji ładowania na warstwie mapowej



Analizy przypisane do klienta:

Data dodania	Nr	Status	Autor	Data uruchomienia	Data rozpoczęcia	Data zakończenia	Czas trwania (DD:HH:MM:SS)
2022-12-12 09:30	11	Gotowe	aszyp	2022-12-12 09:31	2022-12-12 10:31	2022-12-12 10:32	00:00:00:30
2022-12-06 13:15	10	Oczekuje na parametryzację	aszyp	b/d	b/d	b/d	b/d
2022-12-06 12:57	9	Oczekuje na parametryzację	aszyp	b/d	b/d	b/d	b/d
2022-12-06 12:55	8	Oczekuje na parametryzację	aszyp	b/d	b/d	b/d	b/d
2022-11-24 10:23	7	Gotowe	aszyp	2022-11-24 10:24	2022-11-24 11:24	2022-11-24 11:27	00:00:03:06
2022-11-21 15:05	6	Brak rozwiązań	v-a3iglab	2022-11-21 15:07	2022-11-21 16:07	2022-11-21 16:09	00:00:02:42
2021-12-20 08:47	5	Gotowe	jgolinska	2021-12-20 11:48	2021-12-20 11:48	2021-12-20 11:56	00:00:07:21
2021-12-18 18:28	4	Gotowe	analytyk	2021-12-18 18:34	2021-12-18 21:22	2021-12-18 23:04	00:01:42:48
2021-12-18 18:17	3	Gotowe	analytyk	2021-12-18 18:23	2021-12-18 18:23	2021-12-18 21:22	00:02:58:59
2021-12-18 17:37	2	Gotowe	analytyk	2021-12-18 17:38	2021-12-18 17:38	2021-12-18 17:38	00:00:00:20

10 20 40

Podsumowanie

- Celem projektu było opracowanie metodyki optymalnego doboru technologii ładowania autobusów elektrycznych, uwzględniającej specyfikę flotową przedsiębiorstw komunikacyjnych oraz uwarunkowania Operatora Systemu Dystrybucyjnego.
- Produktem końcowym zrealizowanych w ramach Projektu badań przemysłowych i prac rozwojowych jest wytworzony i przetestowany w warunkach rzeczywistych prototyp narzędzia wspomagającego podejmowanie decyzji w zakresie doboru technologii ładowania autobusów elektrycznych oraz lokalizacji i parametrów infrastruktury ładowania.
- Prototyp pozwala na prowadzenie wielowariantowych, zautomatyzowanych analiz, których rezultatem są takie scenariusze docelowego procesu przyłączeniowego, które będą optymalne zarówno dla OSD jak i Klienta (ograniczenia konieczności budowania dodatkowych punktów ładowania, optymalizacja mocy).
- Perspektywa dalszego wykorzystania rezultatów: optymalizacja lokalizacji systemów magazynowania energii, typowanie obszarów sieciowych dla zakupu usług elastyczności.

Finansowanie



Rzeczpospolita
Polska



Śląskie.

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



Projekt „Opracowanie narzędzia wspomagającego podejmowanie decyzji w zakresie doboru technologii ładowania autobusów elektrycznych oraz lokalizacji infrastruktury ładowania” był współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014-2020, Działanie: 1.2 Badania, rozwój i innowacje w przedsiębiorstwach.

Termin realizacji projektu: 2019.11.01 – 2021.12.31

Całkowity koszt realizacji projektu: 3 408 049,47 zł

Wkład Funduszy Europejskich: 1 463 120,94 zł

Dziękujemy za uwagę

Andrzej Szyp
andrzej.szyp@tauron-dystrybucja.pl

Michał Połecki
michal.polecki@ien.pw.edu.pl