

Zintegrowany system diagnostyki sieci kablowych (MuflnKa) – projekt B+R



Politechnika
Śląska



Grzegorz Kopacz (TD S.A.)

Dominik Duda (Pol. Śl.)

Edward Siwy (IPC Sp. z o.o)

Piotr Baszczok (TD S.A.)

Agenda

- Wprowadzenie i geneza
- Założenia projektowe
- Prace badawczo-naukowe
- Założenia systemowe
- Główne funkcjonalności systemu
- Podsumowanie

TAURON Dystrybucja (TD) eksploatuje około 64 000 stacji i 257 000 km linii, w tym prawie 50 000 relacji linii kablowych SN o łącznej długości 28 000 km i na tej części majątku skupia się Projekt.

Wprowadzenie



- Roczny wskaźnik awaryjności linii kablowych SN od wielu lat utrzymuje się na poziomie przekraczającym 6 uszkodzeń na 100 km
- Każdego roku wykonuje się około 9000 prac eksploatacyjnych takich jak lokalizacje uszkodzeń, próby napięciowe i badania, w tym prawie 3000 pomiarów diagnostycznych

Jak skutecznie zarządzać tak dużą grupą urządzeń i działań wykorzystując dostępne informacje?

Geneza projektu „MuflnKa”



- **2006-2012 r.** - wdrażane w oddziałach pomiarów diagnostycznych linii kablowych
- 2013 - Powołanie zespołów zadaniowych ds. opracowania „Koncepcji wdrożenia w TAURON Dystrybucja S.A. diagnostyki sieciowej (06.03.2013 r.) – **przygotowanie koncepcji ujednolicenia standardów badań oraz budowy systemu IT do gromadzenia i analizy danych z pomiarów diagnostycznych dla całego TD**
- 2014 - Powołanie zespołów zadaniowych ds. opracowania „Wdrożenie i monitorowanie realizacji diagnostyki sieciowej w TD (15.11.2013 r.)
- 2020 r. - weryfikacja potrzeb w zakresie „Zintegrowanego Systemu Diagnostyki Sieci Kablowych” – **brak na rynku systemu spełniającego nasze oczekiwania**
- 2021 r. prace przedprojektowe (uwzględniające powiązanie z innymi systemami TAURON Dystrybucja S.A.)
- **Luty 2022 r. uruchomienie projektu budowy prototypu systemu „MuflnKa”**

Opis projektu



CEL: opracowanie prototypu narzędzia (modułu/systemu) informatycznego **wspierającego zarządzanie liniami kablowymi SN w oparciu nie tylko o wyniki pomiarów i badań diagnostycznych, ale również informacje pochodzące z różnych źródeł/systemów**, w tym gromadzonych do tej pory w sposób archiwalny, m.in.:

- struktura budowy każdej relacji linii kablowych zawierająca typ i rok instalacji poszczególnych jej elementów składowych - system GIS (ZMS),
- rodzaje i przyczyny uszkodzeń linii kablowych - system Zarządzanie Pracą Brygad (ZPB)
- dane kosztowe – system ZPB,
- wpływ na SAIDI (CTP) poszczególnych awarii – system SCADA (AWAR),
- rodzaj pracy punktu neutralnego transformatora zasilającego i układ pracy sieci, obciążenie linii oraz inne – system ZMS,
- wyniki pomiarów (pomiar izolacji, próby napięciowe, $\text{tg}\delta$, wnz, itp.) – archiwum/ZPB.

Opracowane w ramach projektu algorytmy powinny wykonywać wiele analiz, w tym przewidywanie uszkodzeń, co umożliwi podejmowanie działań wyprzedzających (predictive/prescriptive based management).

Oczekiwane korzyści

Przewidywane korzyści w wyniku wdrożenia wyników Projektu to obniżenie:

- ilości uszkodzeń linii kablowych SN,
- wskaźników SAIDI/SAIFI (CTP/CP),
- kosztów usuwania awarii,
- kosztów napraw i odtworzeń uszkodzonych linii kablowych.

Inne korzyści:

- poprawa zadowolenia klientów,
- poprawa efektywności wydatkowania środków eksploatacyjnych i inwestycyjnych wg faktycznego stanu technicznego.

Wyżej wymienione korzyści zostaną osiągnięte poprzez:

- optymalizację procesu zarządzania liniami kablowymi w organizacji,
- optymalizację okresu użytkowania linii kablowych w oparciu o zarządzanie ryzykiem awarii kabli i osprzętu kablowego,
- wdrożenie działań wyprzedzających zaistnienie awarii (predictive/prescriptive based management) z zachowaniem optymalnej równowagi techniczno-ekonomicznej,
- wsparcie procesu decyzyjnego w zakresie polityki inwestycyjnej.

Uzyskanie wskazanych efektów będzie wymagać modyfikacji procesów uwzględniającego rekomendacje i wnioski opracowane w ramach projektu.

Założenia projektowe

Założenia projektowe obejmowały:

- analiza awaryjności w poszczególnych typów kabli i rodzaju izolacji w funkcji wieku,
- opracowanie krzywych starzeniowych dla poszczególnych typów i rodzajów wszystkich elementów linii kablowych, w tym muf i głowic,
- opracowanie jednolitej metody oceny stanu technicznego pojedynczej relacji kablowej uwzględniającej krzywe starzeniowe i wyniki badań diagnostycznych,
- opracowanie algorytmu określającego przewidywany czas do uszkodzenia,
- opracowanie matrycy ryzyka dalszej eksploatacji uwzględniającej przewidywane uszkodzenie i wynikający z niego wpływ na wskaźniki SAIDI i SAIFI (CTP i CP) oraz koszty napraw,
- opracowanie modelu zarządzania całą populacją sieci kablowej SN w oparciu o ranking i współczynniki,
- Wdrożenie procedur eksploatacyjnych opartych na działaniach predykcyjnych i preskrypcyjnych.



Etap badawczo-naukowy

Etap badawczo- naukowy

Wykonanie prac w zakresie założeń, struktury i algorytmów narzędzia informatycznego.



Wydział Elektryczny
Katedra Elektroenergetyki
i Sterowania Układów

Sprawozdanie z realizacji etapu 2 p.t. „Opracowanie założeń, algorytmów i struktury prototypu narzędzia”

projektu realizowanego w ramach:

Usługi badawczej w zakresie opracowania założeń, algorytmów i struktury
prototypu narzędzia informatycznego w ramach realizowanego projektu B+R:

Zintegrowany system diagnostyki sieci kablowych
(umowa nr UM/TD-CN/11763/01863/2022)

Zamawiający:
TAURON Dystrybucja S.A. z siedzibą w Krakowie
ul. Podgórska 25A, 31-035 Kraków

Wybrane zagadnienia: wskaźnik awaryjności odcinków kabli vs. sposób pracy punktu neutralnego

Dane majątkowe



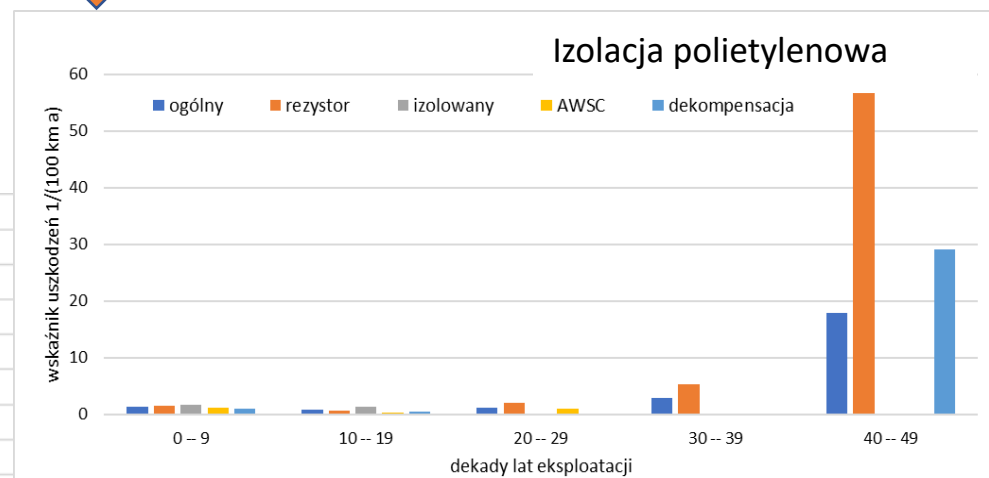
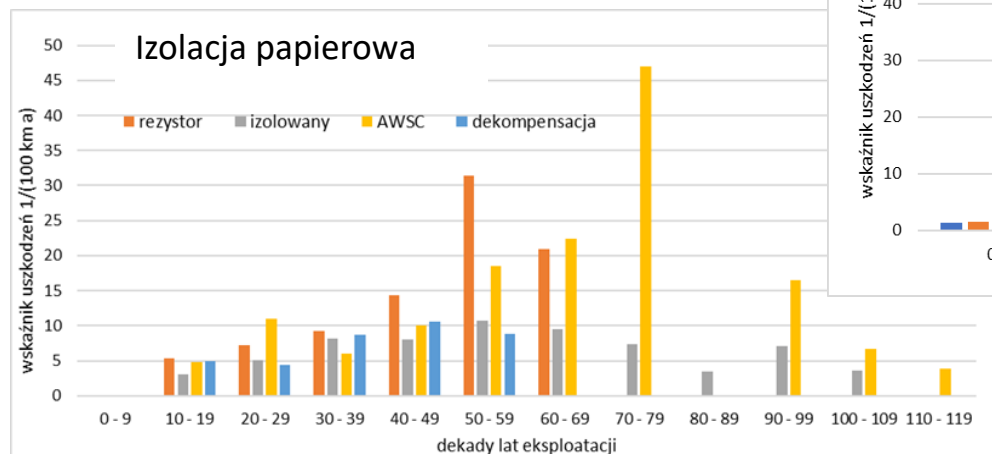
Dane o awaryjności



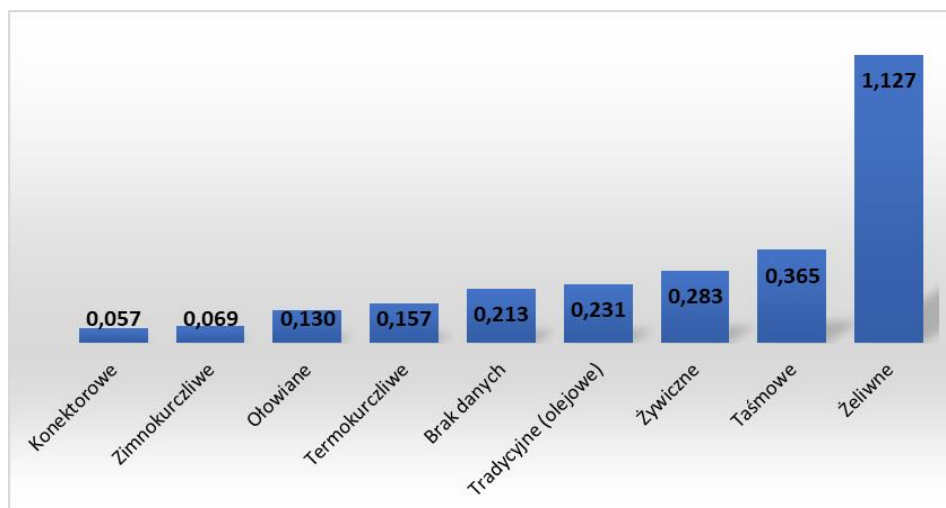
Wyznaczenie krzywej
starzeniowej



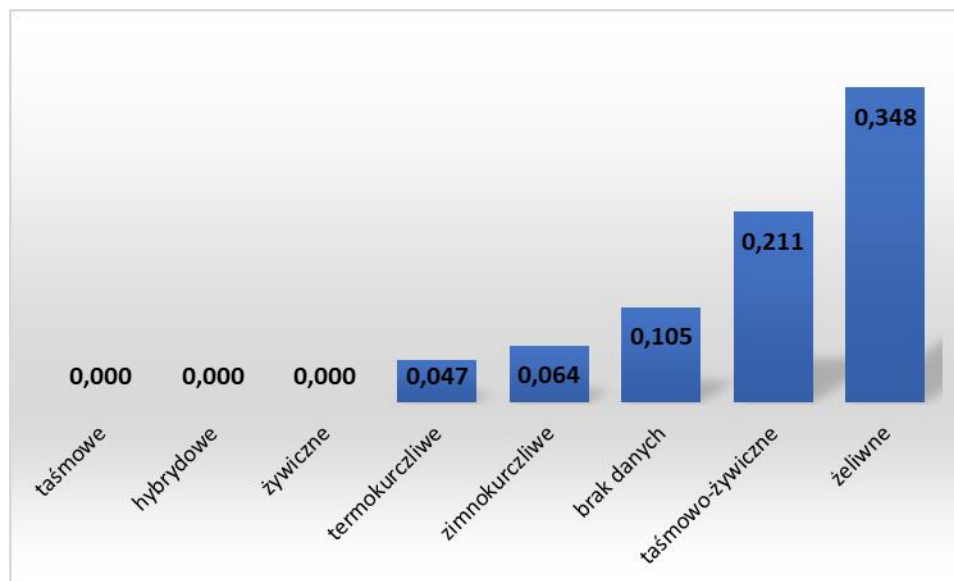
Wskaźniki uszkodzeń:
odcinków, muf, głowic



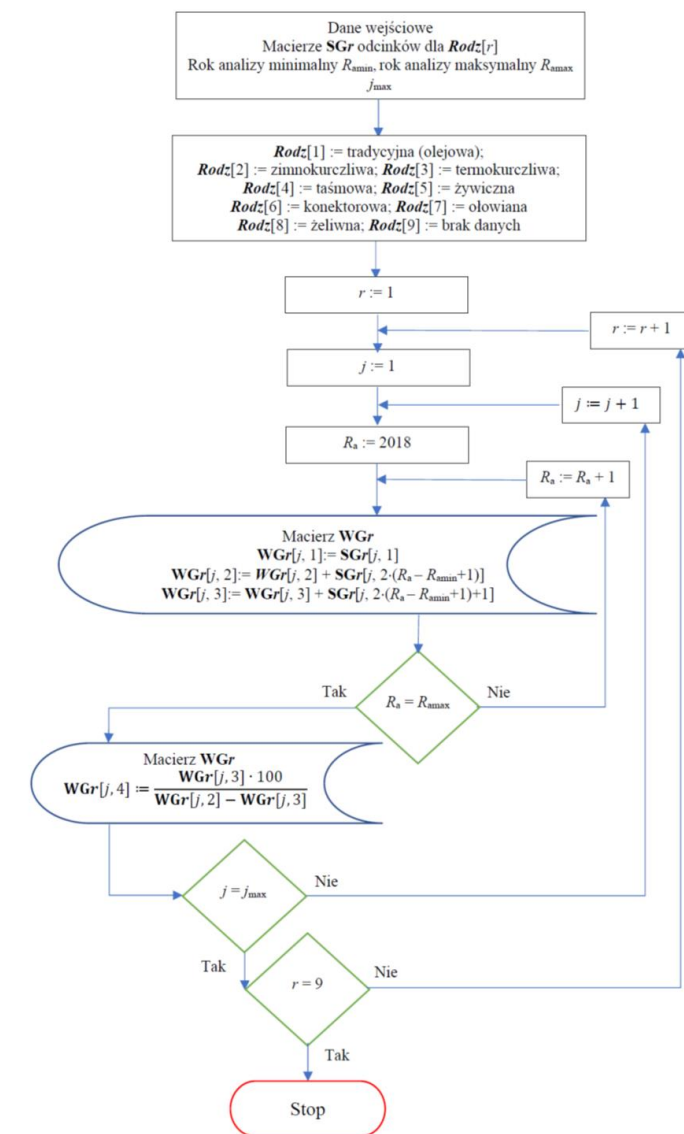
Wybrane zagadnienia: Charakterystyka poszczególnych relacji kablowych – wskaźnikowa odcinki+mufy+głowice



Wskaźniki uszkodzeń (1/(100 sztuk*a)) głowic kablowych SN w zależności od technologii wykonania

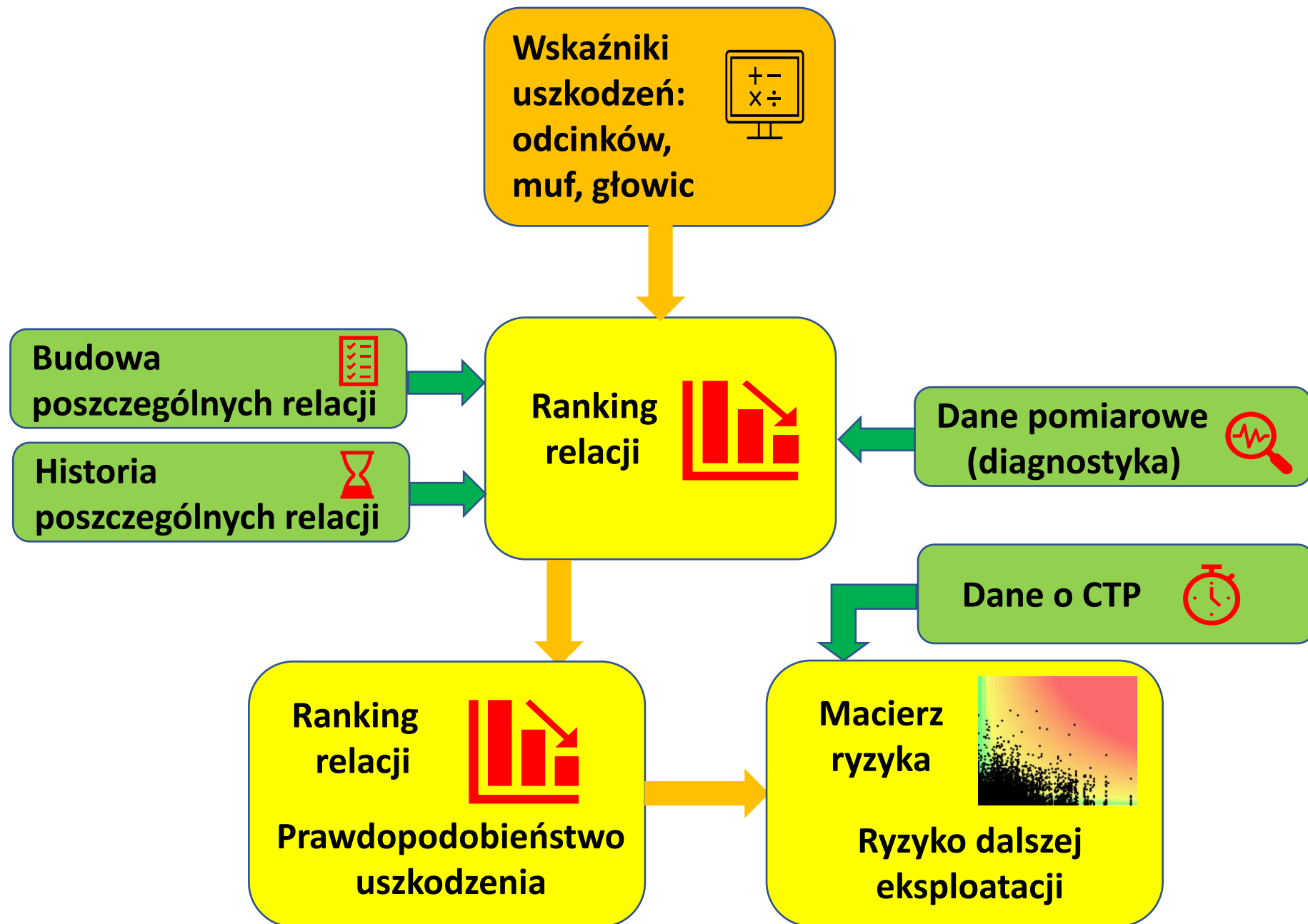


Wskaźniki uszkodzeń (1/(100 sztuk*a)) muf kablowych SN w zależności od technologii wykonania



Przykład algorytmu obliczania wskaźników uszkodzeń w kolejnych latach.

Wybrane zagadnienia: Szacowanie prawdopodobieństwa uszkodzenia relacji kablowej



Metoda oparta na współczynnikach wagowych

Ranking relacji:

obliczenie wskaźnika (parametru) sumacyjnego

$$SR_i = SX_1 \cdot w_1 + SX_2 \cdot w_2 + SX_3 \cdot w_3 + SX_D \cdot w_D,$$



czas do uszkodzenia

Metoda regresyjna

$$X = \begin{bmatrix} 1 & SX_{1R1} & SX_{2R1} & SX_{3R1} & SX_{DR1} \\ 1 & SX_{1R2} & SX_{2R2} & SN_{3R2} & SX_{DR2} \\ 1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & SX_{1Rk} & SX_{2Rk} & SN_{3Rk} & SX_{DRk} \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} t_{du1} \\ t_{du2} \\ \vdots \\ t_{duk} \end{bmatrix} \Rightarrow b = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix}$$

$$b = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad \sum_{i=1}^k (y_i - \hat{y})^2$$

rok n

$$\begin{bmatrix} 1 & SX_{1R1} & SX_{2R1} & SX_{3R1} & SX_{DR1} \\ 1 & SX_{1R2} & SX_{2R2} & SN_{3R2} & SX_{DR2} \\ 1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & SX_{1Rn} & SX_{2Rn} & SN_{3Rn} & SX_{DRn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} \Rightarrow \hat{Y} = \begin{bmatrix} t_{progR1} \\ t_{progR2} \\ \vdots \\ t_{progRn} \end{bmatrix}$$

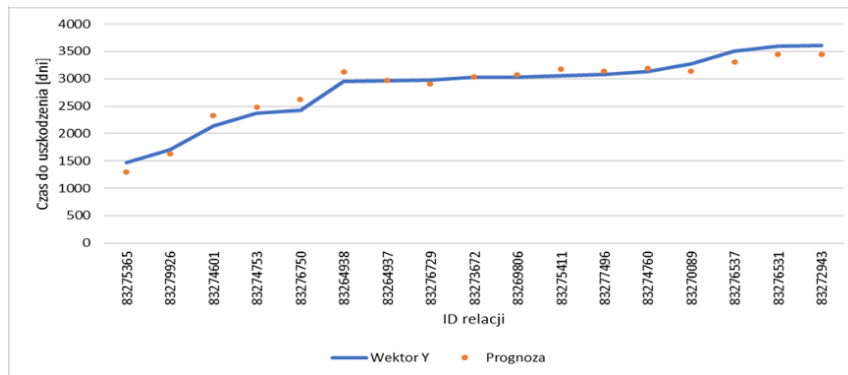
wektor prognozowanych
czasów do uszkodzenia

rok n + 1

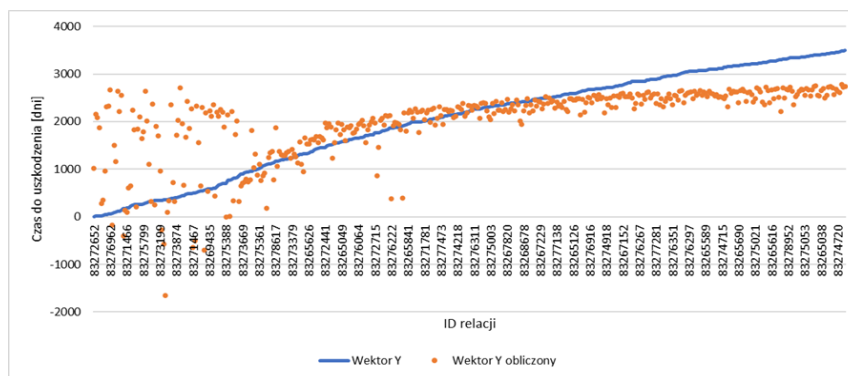
Wybrane zagadnienia:

Szacowanie
prawdopodobieństwa
uszkodzenia relacji kablowej
Połączone metody

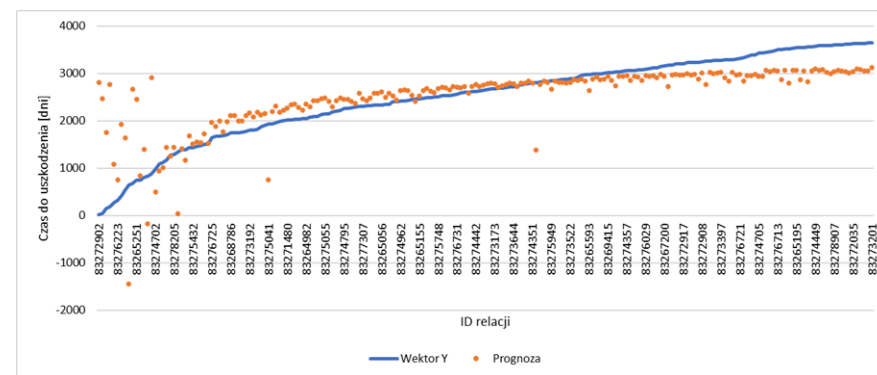
Wybrane zagadnienia: Szacowanie prawdopodobieństwa uszkodzenia relacji kablowej Wyniki kontrolne



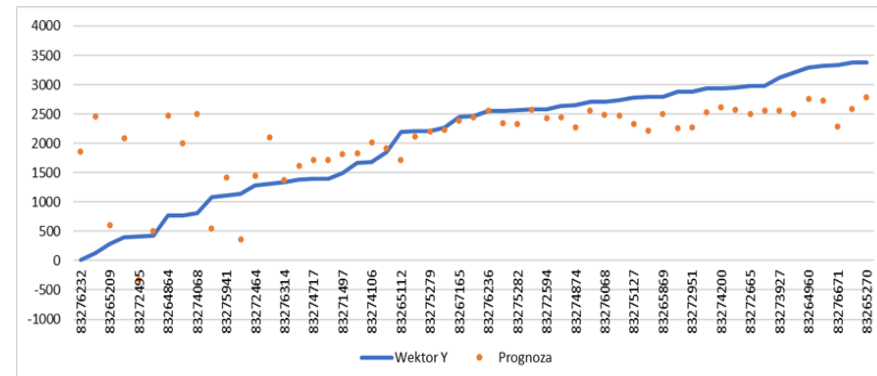
Porównanie wektora Y i prognoz odnośnie czasu do uszkodzenia wg metody regresyjnej dla relacji o izolacji XLPE, po ograniczeniu wartości wektora Y do 10 lat



Porównanie wektora Y i prognoz odnośnie czasu do uszkodzenia wg metody regresyjnej dla relacji, w których co najmniej 50% długości odcinków stanowi izolacja papierowa, po ograniczeniu wartości wektora Y do 10 lat



Porównanie wektora Y i prognoz odnośnie czasu do uszkodzenia wg metody regresyjnej dla relacji o izolacji papierowej (100% papier), po ograniczeniu wartości wektora Y do 10 lat



Porównanie wektora Y i prognoz odnośnie czasu do uszkodzenia wg metody regresyjnej dla relacji, w których izolacja papierowa występuje w mniej niż 50% długości odcinków, po ograniczeniu wartości wektora Y do 10 lat

Wybrane zagadnienia: Szacowanie prawdopodobieństwa uszkodzenia relacji kablowej Wyniki kontrolne

Wyniki trafności prognoz w oparciu o metodę wykorzystującą współczynniki wagowe

Perspektywa kolejnego uszkodzenia	Liczba relacji	Liczba uszkodzeń od 01.01.2022 do 12.06.2023	Trafność
do roku	3	1	33,3%
do 2 lat	62	25	40,3%
do 3 lat	103	32	31,1%
do 4 lat	144	25	17,4%
do 5 lat	122	28	23,0%

Wyniki trafności prognoz w oparciu o metodę regresyjną

Perspektywa kolejnego uszkodzenia	Liczba relacji	Liczba uszkodzeń od 01.01.2022 do 12.06.2023	Trafność
do roku	19	9	47,4%
do 2 lat	24	9	37,5%
do 3 lat	34	17	50,0%
do 4 lat	58	14	24,1%
do 5 lat	70	16	22,9%



Założenia systemowe

Założenia systemowe

1. Gromadzenie, integrowanie, walidacja i wizualizacja informacji obejmujących:

- dane techniczne budowy linii kablowych SN wraz z ich logiczną strukturą,
- dane o występujących uszkodzeniach linii kablowych, ich przyczynach oraz skutkach (wpływ na wskaźniki CTP i CP, koszty związane z ich naprawą),
- wyniki pomiarów i badań diagnostycznych.

2. Określenie:

- wskaźników awaryjności poszczególnych grup kabli i elementów składowych,
- szacunkowego prawdopodobieństwa wystąpienia kolejnej awarii,
- ryzyka dalszej eksploatacji poszczególnych linii kablowych oraz zdefiniowanych grup wg rodzaju izolacji, wieku, ciągu itp. w ujęciu technicznym i finansowym.

3. Opracowanie mechanizmów dynamicznego grupowania, filtrowania i porównywania wszystkich danych wg potrzeb użytkownika.

4. Wdrożenie ścieżki obiegu informacji o stanie poszczególnych linii kablowych oraz rekomendacji między komórkami Serwisu i Zarządzania Majątkiem Sieciowym wraz ze statusami decyzji planowanych działań względem opisanych relacji.

5. Uruchomienie automatycznego przejścia z danej relacji w systemie Mufinka do jej graficznego przedstawienia na mapie ZMS lite (system GIS-owy).

18

T – Okres czasu przyjęty do analizy uszkodzeń – domyślnie 10 lat.
KP – Kryteria podziału – rodzaj izolacji/technologia, PPN, rodzaj sieci.
D – Współczynniki konfigurujące aplikację dekodującą (w tym domyślna długość mufy i głowicy oraz maksymalna dopuszczalna różnica długości).
W – Wagi przyjęte do oceny.
TW – Weryfikacyjny okres czasu w analizie regresji.
PR – Parametry regresji.

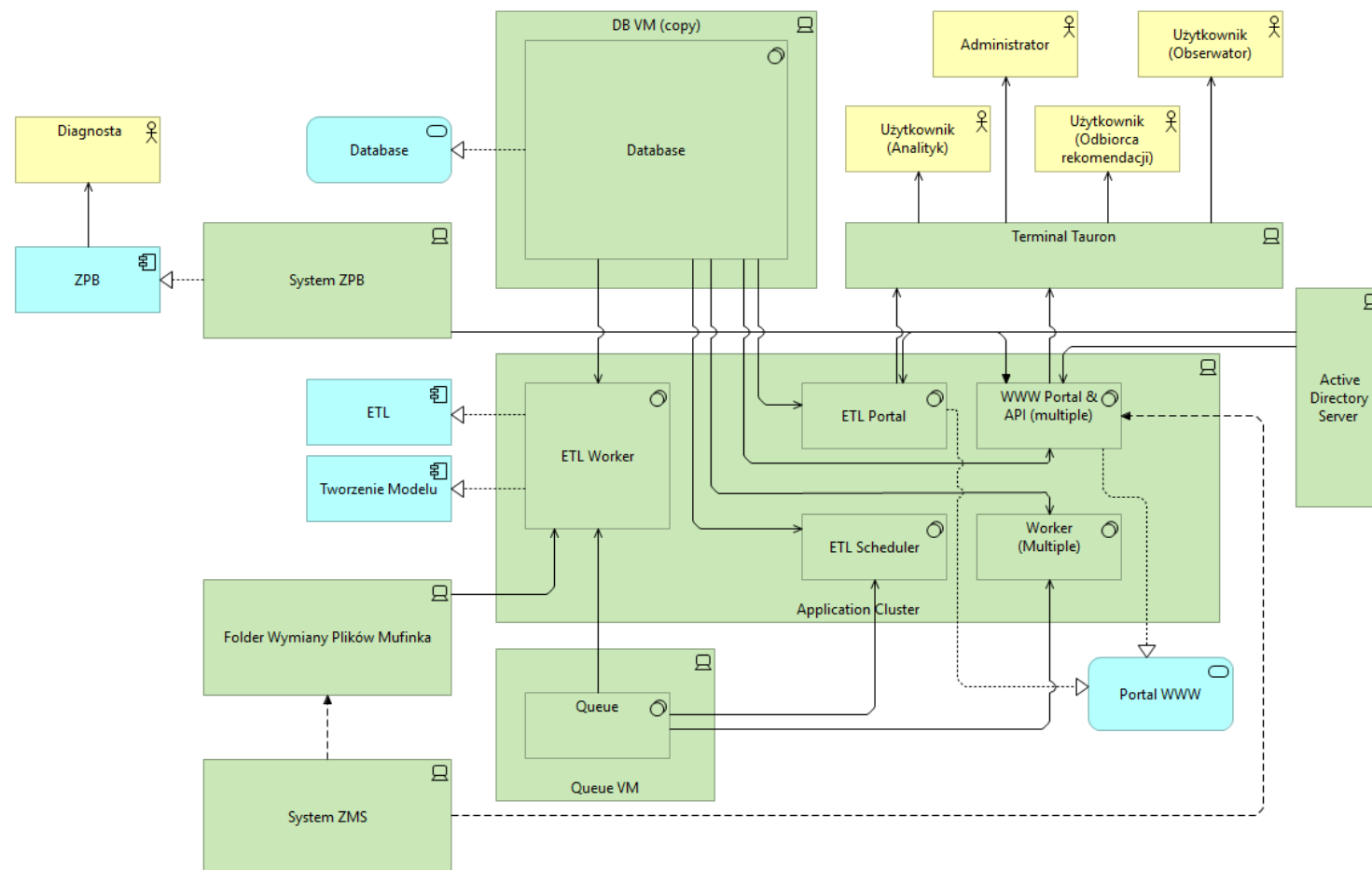
P – Parametry regresji.
PRO – Roczna procentowa zmiana prognozy kosztowej (%).
LM – Liczba muf.
LU – Liczba uszkodzeń.
SR – Sumaryczne ryzyko wynikające z analizy uszkodzeń.
SRD - Sumaryczne ryzyko wynikające z analizy uszkodzeń i diagnostyki.
TDU – Czas do uszkodzenia (1/SR lub 1/SRD).
REKS – Ryzyko dalszej eksploatacji.

Architektura systemu

W ramach realizowanego projektu opracowano:

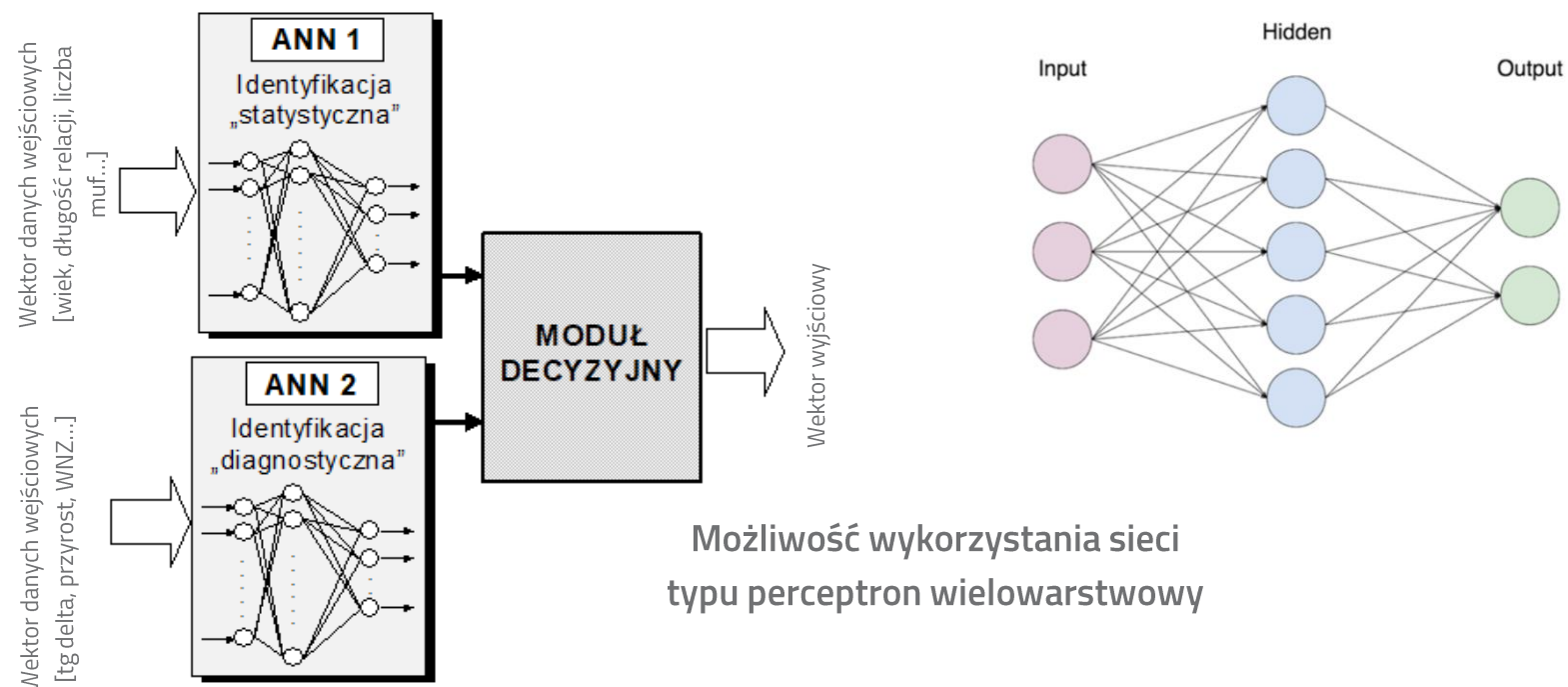
- architekturę biznesową
- architekturę aplikacyjną
- architekturę danych
- architekturę techniczną

Docelowa Architektura Techniczna



Rekomendacje dla dalszego rozwoju systemu

Jako przedmiot dalszych badań **rekomenduje się uwzględnienie metod z obszaru sztucznej inteligencji (AI)**. W środowiskach programowych dostępne są metody i modele, w oparciu o które można zrealizować narzędzia pozwalające na wypracowanie decyzji o stanie obiektu na podstawie gromadzonych danych różnego typu – w tym na przykład danych z pomiarów diagnostycznych. Przykładowo klasyfikator neuronowy może pracować w oparciu o dane pomiarowe zebrane wcześniej, jak również w aplikacjach on-line.



Istotną zaletą tzw. neuronowego podejścia w diagnostyce jest brak konieczności budowania modeli matematycznych diagnozowanych obiektów lub procesów.

Główne funkcjonalności systemu

Główne funkcjonalność systemu: Ranking relacji

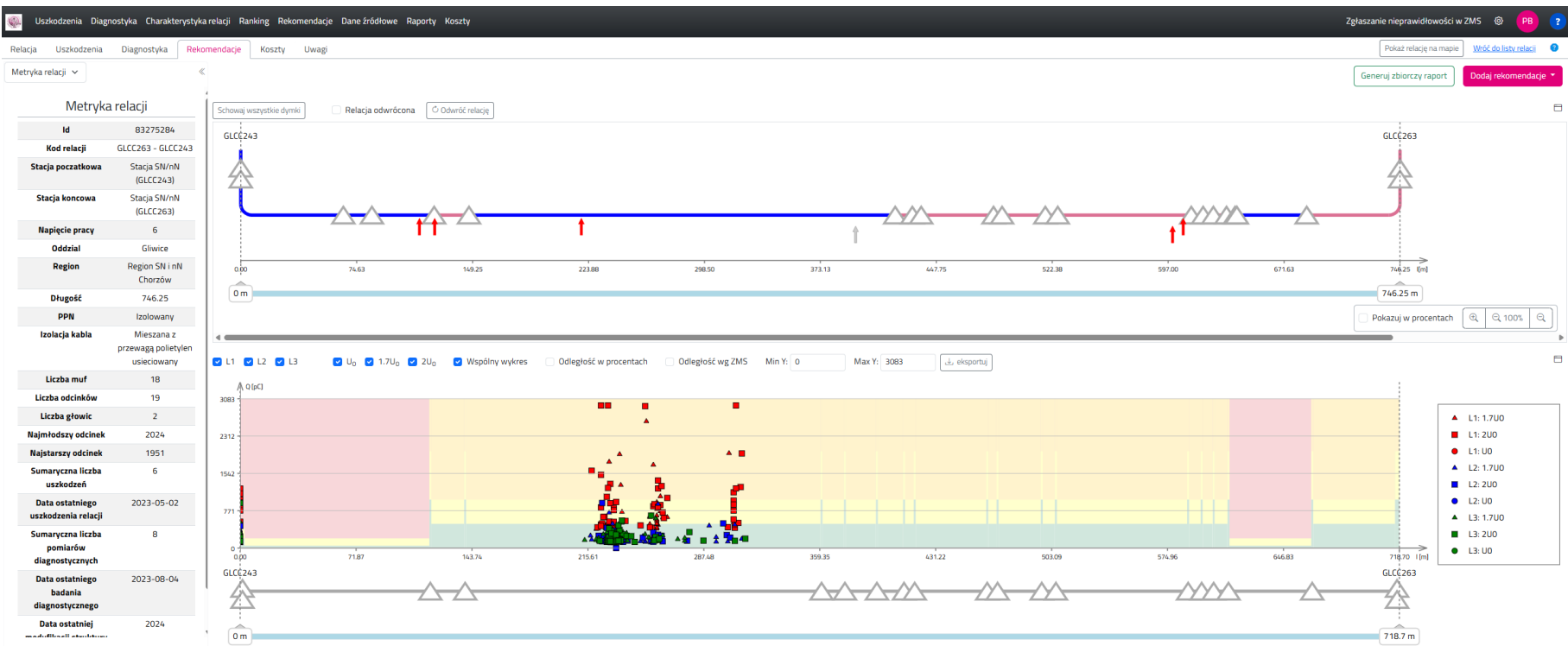
Przewidywany rok wystąpienia uszkodzenia każdej relacji kablowej SN i skutki awarii określony jej wpływem na wskaźniki jakościowe CTP i CP (SAIDI, SAFI)



Odszefz wykres Wyszukaj Eksportuj wszystkie Eksportuj widoczne Wyczyść filtry

Identyfikacyjne											Wyniki					
Oddział	Region	Kod GPZ	Nazwa GPZ	Kod Ciagu	Nazwa Ciagu Linowego	ID Relacji	Numer Relacji	Nazwa Relacji	Rodzaj Relacji	Rodzaj Izolacji	Kolor na macierzy ryzyka	SR	SRD	CTP [min]	mediana CTP [min]	R _{eks}
																0.0
Gliwice	Region S...	FRA3	Francuska	FRA3-GLCK8...	Francuska - ul. Francuska - ...	83276630	GLCK973 - GLCK...	od stacji GLCK9...	Kablowa	polietylen usieci...	żółty	0.03	0.09	4.46	0.88	0.08
Gliwice	Region S...	POC3	Pochwacie	POC3-GLW...	Pochwacie - Jastrzębie Prz...	83275445	GLWW479 - GL...	od stacji GLWW...	Kablowa	polietylen usieci...	żółty	0.00	0.10	2.14	0.61	0.06
Gliwice	Region S...	TOR3	Torkat	TOR3-GLCK...	Torkat - ul. Rożdżeńskieg...	83271294	KHEG - GLCK588	od RS KHEG do ...	Kablowa	papierowa przes...	żółty	0.02	0.11	1.06	0.52	0.06
Gliwice	Region S...	TEC3	EC Tychy	TEC3-GLMM...	EC Tychy - Tychy-P-287-Ry...	129336719	GLMM1451 - GL...	od stacji GLMM...	Kablowa	polietylen usieci...	żółty	0.00	0.11	1.26	0.53	0.06
Gliwice	Region S...	FRA3	Francuska	FRA3-GLCK8...	Francuska - ul. Francuska - ...	83276345	GLCK493 - GLCK...	od stacji GLCK4...	Kablowa	papierowa przes...	czerwony	0.05	0.12	4.46	0.88	0.11
Gliwice	Region S...	POC3	Pochwacie	POC3-GLW...	Pochwacie - Jastrzębie Prz...	83276353	GLWW405 - GL...	od stacji GLWW...	Kablowa	papierowa przes...	żółty	0.03	0.12	2.14	0.61	0.07
Gliwice	Region S...	FRA3	Francuska	FRA3-GLCK8...	Francuska - ul. Francuska - ...	83271643	GLCK972 - GLCK...	od stacji GLCK9...	Kablowa	polietylen usieci...	czerwony	0.02	0.12	4.46	0.88	0.10
Gliwice	Region S...	FRA3	Francuska	FRA3-GLCK8...	Francuska - ul. Francuska - ...	83276621	GLCK277 - GLCK...	od stacji GLCK2...	Kablowa	papierowa przes...	czerwony	0.03	0.12	4.46	0.88	0.10
Gliwice	Region S...	FRA3	Francuska	FRA3-GLCK8...	Francuska - ul. Francuska - ...	83276373	GLCK277 - GLCK...	od stacji GLCK2...	Kablowa	papierowa przes...	czerwony	0.03	0.12	4.46	0.88	0.11
Gliwice	Region S...	FRA3	Francuska	FRA3-GLCK8...	Francuska - ul. Francuska - ...	83271623	GLCK973 - GLCK...	od stacji GLCK9...	Kablowa	papierowa przes...	czerwony	0.09	0.12	4.46	0.88	0.10
Gliwice	Region S...	WOD3	Wodzisław	WOD3-GLW...	Wodzisław - Wodzisław Ko...	83269443	WOD3 - GLWW...	od GPZ WOD3 ...	Kablowa	papierowa przes...	żółty	0.03	0.12	0.86	0.43	0.05
Gliwice	Region S...	SFO3	Foch	SFO3-GLGG...	Foch - Szpitalna	83276562	GLGG713 - GLG...	od stacji GLGG7...	Kablowa	papierowa przes...	żółty	0.02	0.13	0.80	0.39	0.05
Gliwice	Region S...	FRA3	Francuska	FRA3-GLCK8...	Francuska - ul. Francuska - ...	83278364	FRA3 - GLCK816	od GPZ FRA3 d...	Kablowa	papierowa przes...	czerwony	0.04	0.13	4.46	0.88	0.11
Gliwice	Region S...	FRA3	Francuska	FRA3-GLCK8...	Francuska - ul. Francuska - ...	83276628	GLCK970 - KBRG	od stacji GLCK9...	Kablowa	papierowa przes...	czerwony	0.05	0.14	4.46	0.88	0.13

Dynamiczne wykresy rozkładu wyładowań niezupełnych na strukturze linii kablowej, analiza aktywności i intensywności dla poszczególnych progów napięciowych

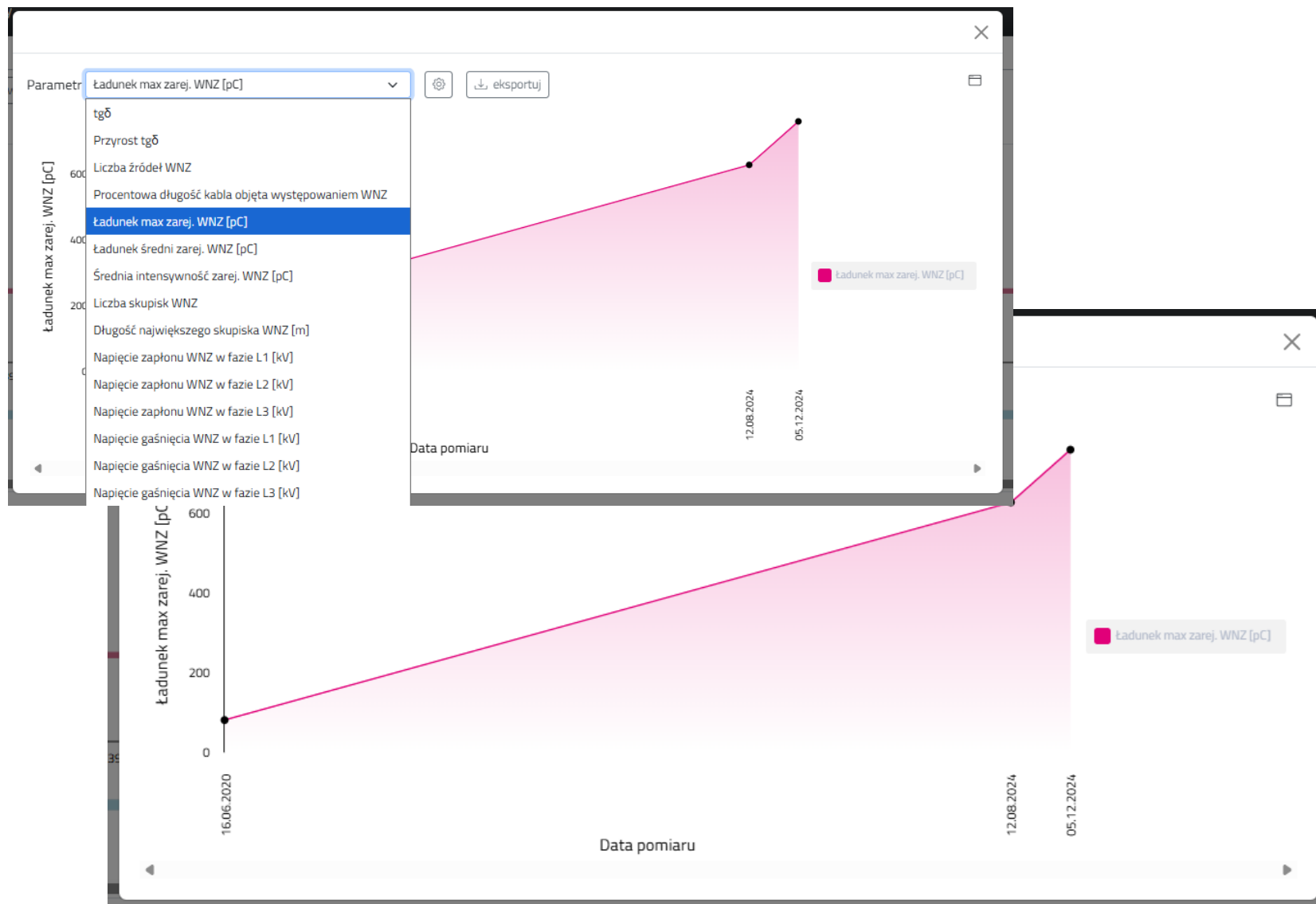


	Numer porządkowy	Element	Numer unikalny elementu	Odległość od początku relacji ...	Rok budowy	Typ elementu	Izolacja	Konstrukcja elementu	Długość odcinka / domyślna d...
	1	Głowica	83256698	0	2024	CTS 630A 24kV 95-240/EGA		konektorowa	2.75
	2	Odcinek kablowy	132018054	0	2024	XRUHAKXS	polietylen usieciowany		60.06
	3	Mufa	132018327	60.06	2024	CHMSV 24 kV 50-150		termokurczliwa	1.25
	4	Odcinek kablowy	132017866	60.06	2013	XRUHAKXS	polietylen usieciowany		18.75
	5	Mufa	85288037	78.81	2011	Scotch		taśmowa	1.25
	6	Odcinek kablowy	132017866	78.81	2013	XRUHAKXS	polietylen usieciowany		40.84
	7	Mufa	85293431	119.65	1951	Brak danych		brak danych	1.25
	8	Odcinek kablowy	85237503	119.65	1951	AKFPA	papierowa przesycona syciwem		22.87
	9	Mufa	132171884	142.52	2024	CHMP(H)SV 3-1 24kV 95-240 PL		termokurczliwa	1.25

Ocena jednostkowa

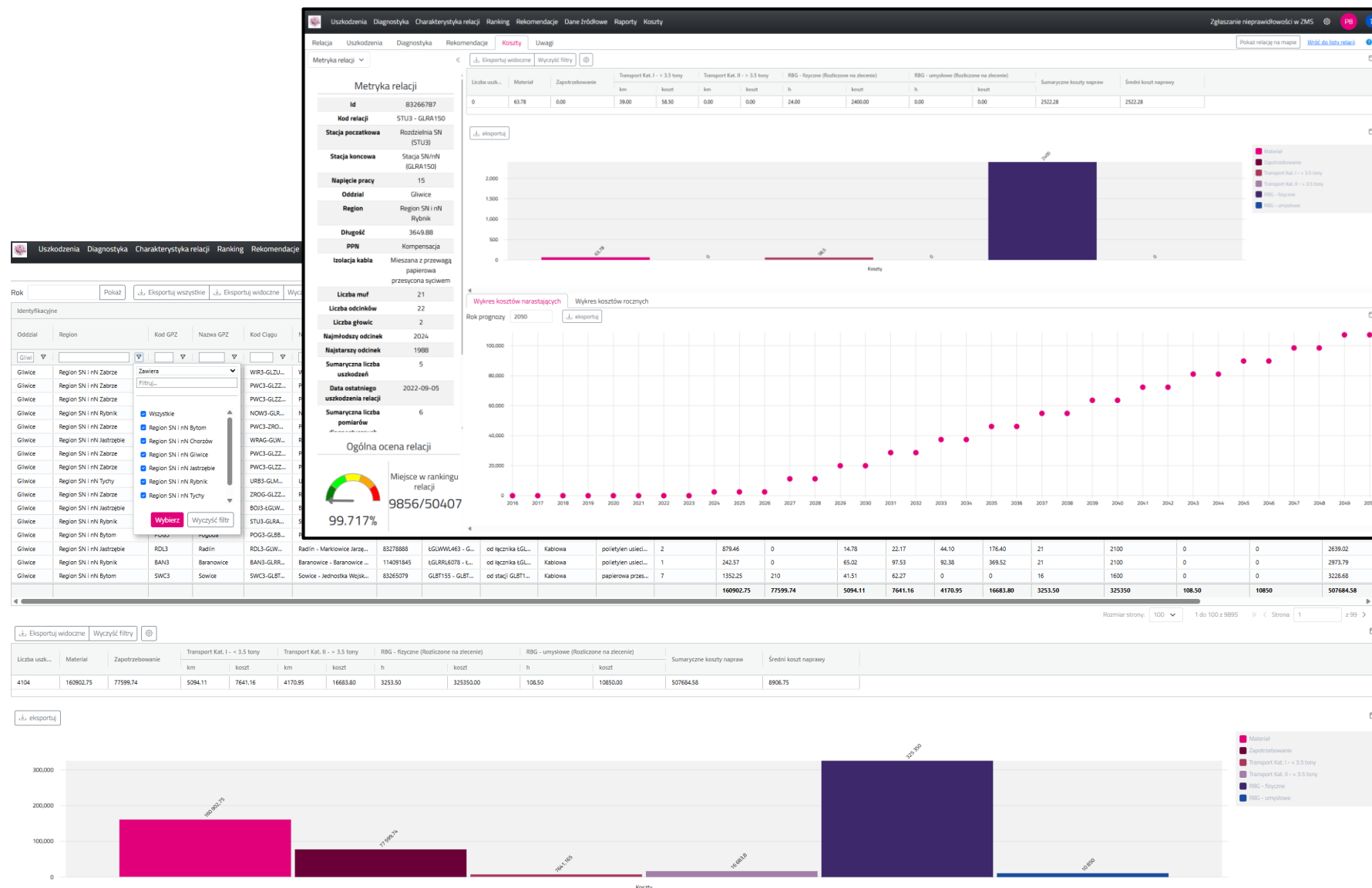
Analiza dynamiki zmian parametrów poszczególnych relacji kablowych lub określonych grup i populacji wg rodzaju izolacji, roku eksploatacji, rodzaju pracy punktu neutralnego itp.

Procesy starzeniowe



Analiza kosztowa

Monitorowanie bieżących kosztów eksploatacji poszczególnych relacji, szacowanie przyszłych w oparciu o przewidywane uszkodzenia.



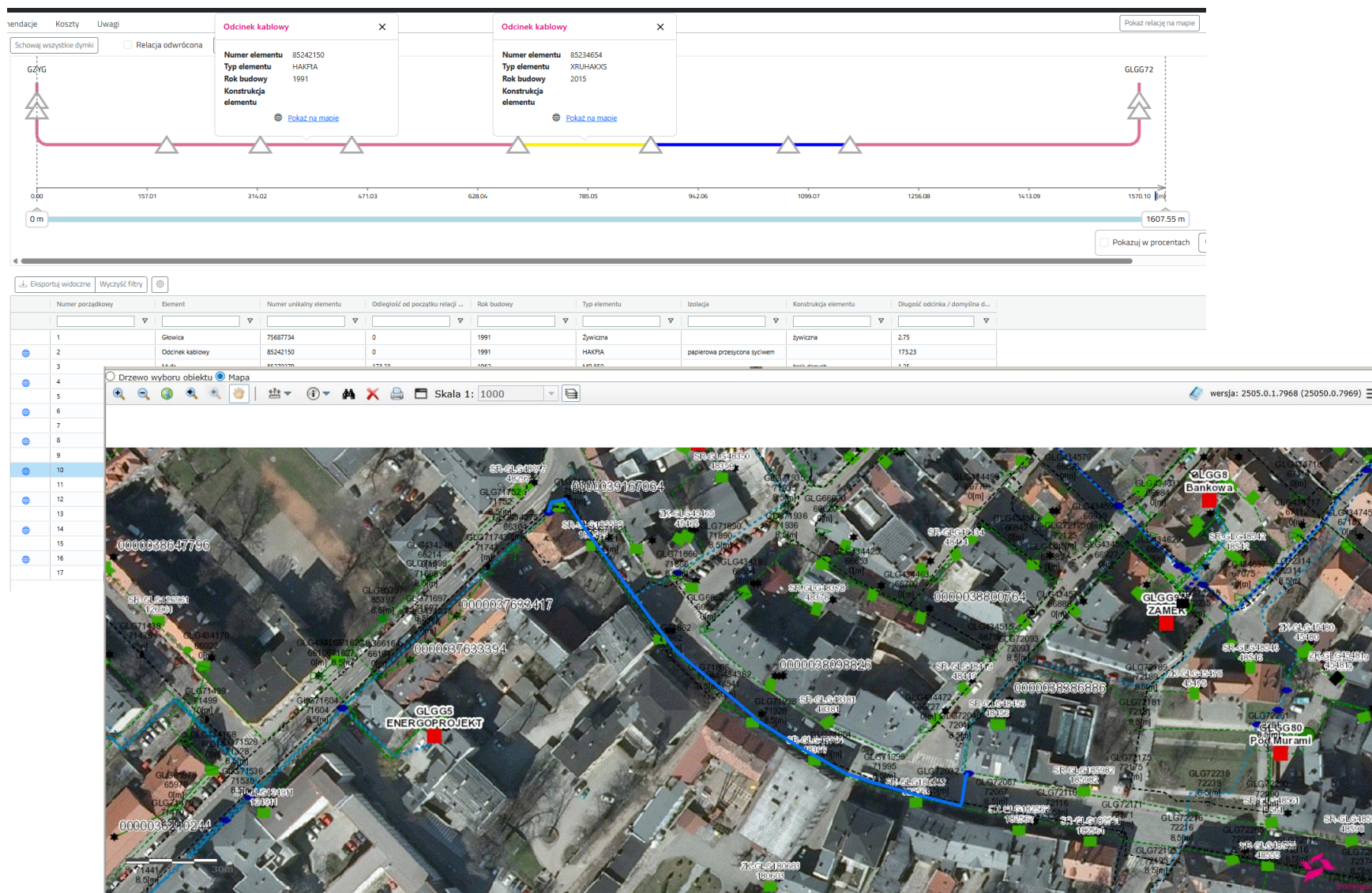
Rekomendacje eksploatacyjne

Generowanie rekomendacji podejmowania działań eksploatacyjnych dla pojedynczych relacji lub grup linii kablowych w celu poprawy stanu technicznego sieci dystrybucyjnej.
Monitorowanie stanu realizacji w formie „workflow”.



Automatyczne przechodzenie na mapy cyfrowe z wyselekcjonowanymi elementami linii kablowych.

Połączenie Mufinki z systemem GIS-owym



Podsumowanie

- Wdrożenie systemu Muflnka wprowadziło zarządzanie liniami kablowymi SN na wyższy poziom oparty na wielopłaszczyznowych obliczeniach i analizach.
- Było to możliwe dzięki efektywnemu połączeniu sił:
 - doświadczenia i praktycznej wiedzy dystrybucji,
 - naukowej wiedzy politechniki,
 - innowacyjnej specjalizacji wykonawcy.
- Na obecnym etapie otwiera się przestrzeń do zaangażowania mechanizmów sztucznej inteligencji, które będą wspierać podejmowanie decyzji eksploatacyjnych.

Dziękujemy za uwagę