

REFERAT KONFERENCYJNY

XXXI KONFERENCJA

SZKOLENIOWO-TECHNICZNA
ELEKTROENERGETYCZNE SIECI
KABLOWE I NAPOWIETRZNE

KABEL
2026

10 – 13 marca 2026 r.

Świeradów-Zdrój Elements Hotel & Spa ****

Autor: Grzegorz Kopacz

Firma: Tauron Dystrybucja S.A.

Autor: Piotr Baszczok

Firma: Tauron Dystrybucja S.A.

Autor: Edward Siwy

Firma: IPC Sp. z o.o, Gliwice

Autor: Dominik Duda

Firma: Politechnika Śląska, Gliwice



KABEL
2026

Tytuł: *Zintegrowany system diagnostyki sieci
kablowych (MufInKa) – projekt B+R*



CENTRUM SZKOLENIOWO-KONFERENCYJNE
"ENERGETYK" S.C.

20-867 Lublin, ul. Sudecka 73

✉ biuro@energetyk.lublin.pl

🌐 www.energetyk.lublin.pl

Wprowadzenie

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. 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?

Duże znaczenie miał okres 2006-2012 r., związany z wdrażaniem w oddziałach TD pomiarów diagnostycznych linii kablowych. Pojawiła się potrzeba przygotowania koncepcji ujednoczenia standardów badań oraz budowy systemu IT do gromadzenia i analizy danych z pomiarów diagnostycznych dla całego TD. Przez kolejne lata opracowano ujednoczone instrukcje, które wdrożono, a następnie monitorowano realizację diagnostyki sieciowej w TD. W 2020 r. dokonano weryfikacji potrzeb w zakresie „Zintegrowanego Systemu Diagnostyki Sieci Kablowych” i okazało się, że brak jest na rynku systemu spełniającego postawione oczekiwania. Rozpoczęto więc prace przedprojektowe (uwzględniające powiązanie z innymi systemami TAURON Dystrybucja S.A.). Na początku 2022 r. uruchomiony został projekt budowy prototypu systemu „MufInKa”.

Postawiony cel to, 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, tgδ, 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).

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 obejmowały:

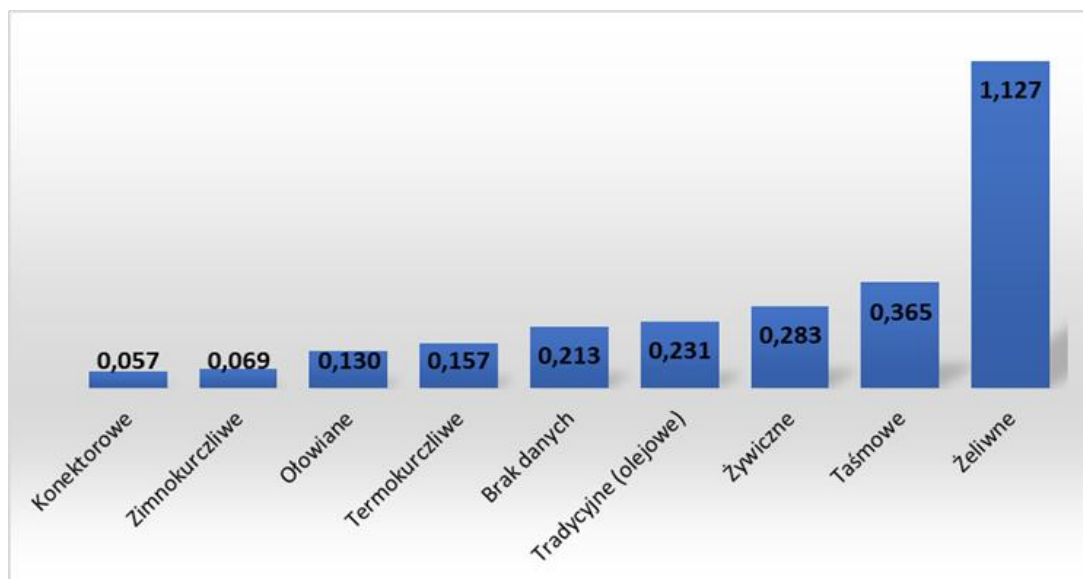
- analiza awaryjności w poszczególnych typów kabli i rodzaju izolacji w funkcji wieku,
- opracowanie krzywych starzeniowych dla poszczególnych typów i rodzajów wszystkich elementów linii kablowych, w tym muf i głowic,
- opracowanie jednolitej metody oceny stanu technicznego pojedynczej relacji kablowej 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 badawczy

Prace badawcze w zakresie założeń, struktury i algorytmów narzędzia informatycznego realizowane były w współpracy z Politechniką Śląską. Analizowane były m.in. takie zagadnienia jak:

- wskaźnik awaryjności elementów składowych linii kablowych (odcinki, mufy, głowice) w zależności od ich wieku, typu, rodzaju, sposobu pracy punktu neutralnego itp. (rys. 1),
- charakterystyka poszczególnych relacji kablowych w aspekcie ich budowy i struktury ciągu,
- algorytmy obliczania wskaźników uszkodzeń w kolejnych latach,
- szacowanie prawdopodobieństwa uszkodzenia relacji kablowej (rys. 2).



Rys. 1. Przykładowy wykres wskaźników uszkodzeń (1/(100 sztuk*a)) głowic kablowych SN w zależności od technologii wykonania



Rys. 2. Przetwarzanie danych w celu wyznaczenia prawdopodobieństwa uszkodzenia, rankingu relacji kablowych w formie macierzy ryzyka.

W ramach przeprowadzonych prac opracowano różne metody szacowania prawdopodobieństwa uszkodzenia relacji kablowej (rys. 3) – w szczególności metoda współczynników wagowych i metoda oparta na analizie regresji.

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

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

rok n

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

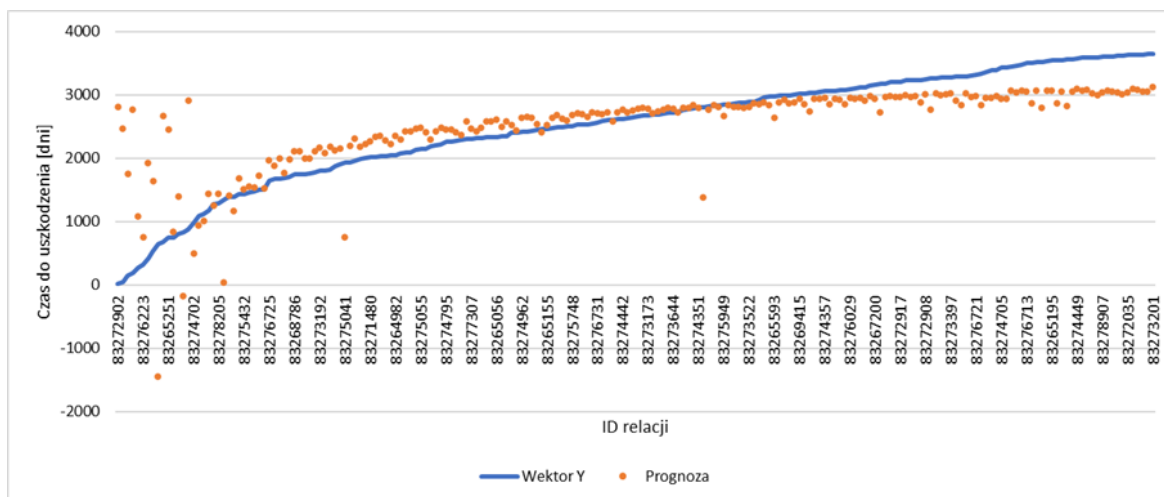
$$\begin{bmatrix} 1 & SX_{1R1} & SX_{2R1} & SX_{3R1} & SX_{DR1} \\ 1 & SX_{1R2} & SX_{2R2} & SX_{3R2} & SX_{DR2} \\ 1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & SX_{1Rn} & SX_{2Rn} & SX_{3Rn} & SX_{DRn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} \rightarrow \hat{Y}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

rok n + 1

wektor prognozowanych czasów do uszkodzenia

Rys. 3. Połączone metody współczynników wagowych i regresyjnej.

W trakcie prac analizowano korelacje różnych parametrów (rys. 4) w celu osiągnięcia najlepszych wyników.



Rys. 4. Przykładowy wykres przedstawiający 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

W poniższej tabeli przedstawiono wyniki trafności prognoz.

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%

W oparciu o uzyskane pozytywne wyniki końcowe prac badawczych podjęto decyzję o budowie prototypu systemu.

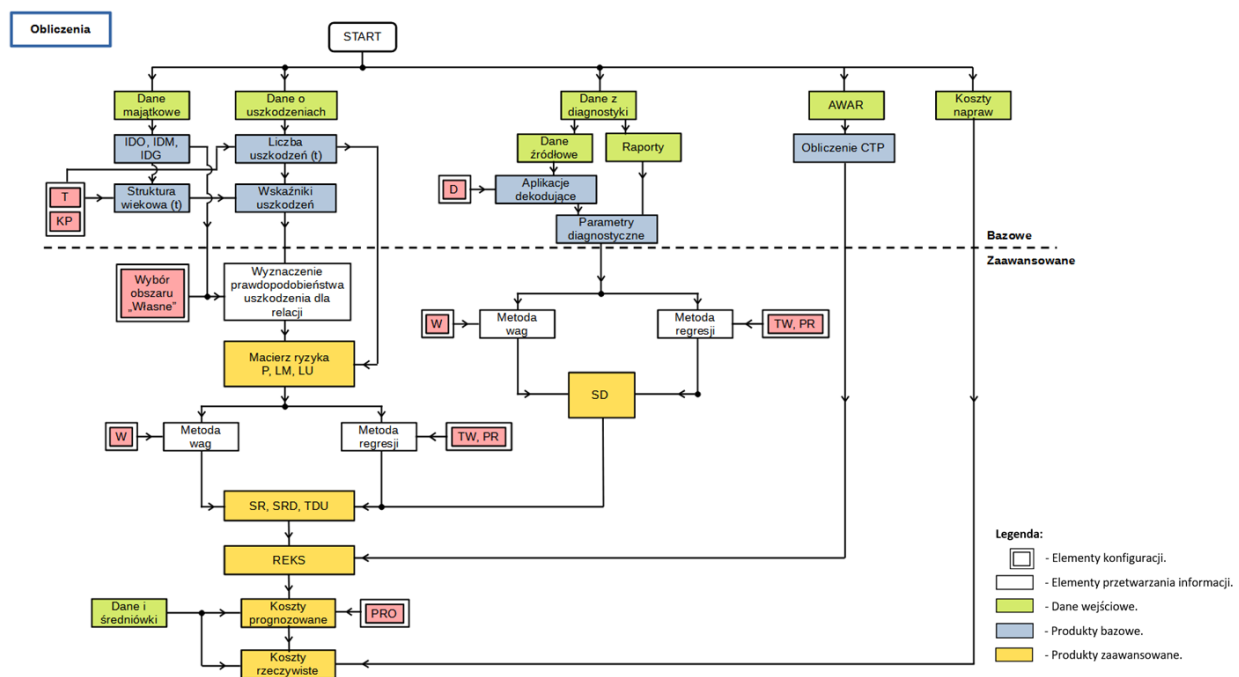
Założenia systemowe dla prototypu systemu MufInKa

- 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.
- 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.
- 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).

Struktura prototypu systemu MufInKa

Dla osiągnięcia wymienionych wyżej założeń opracowana została przedstawiona poniżej struktura systemu (rys. 5). Struktura zakłada podział mechanizmów obliczeniowych na systemowe realizowane „w tle” (przetwarzanie dużej ilości danych realizowane w godzinach nocnych) oraz konfigurowane i modyfikowane przez użytkownika w zależności od potrzeb. System zapewnia możliwość elastycznej parametryzacji poszczególnych algorytmów obliczeniowych.



IDO, IDG, IDM – Kolejno macierz danych majątkowych odcinków, głowic i muf.
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.

Rys. 5. Struktura systemu MufInKa.

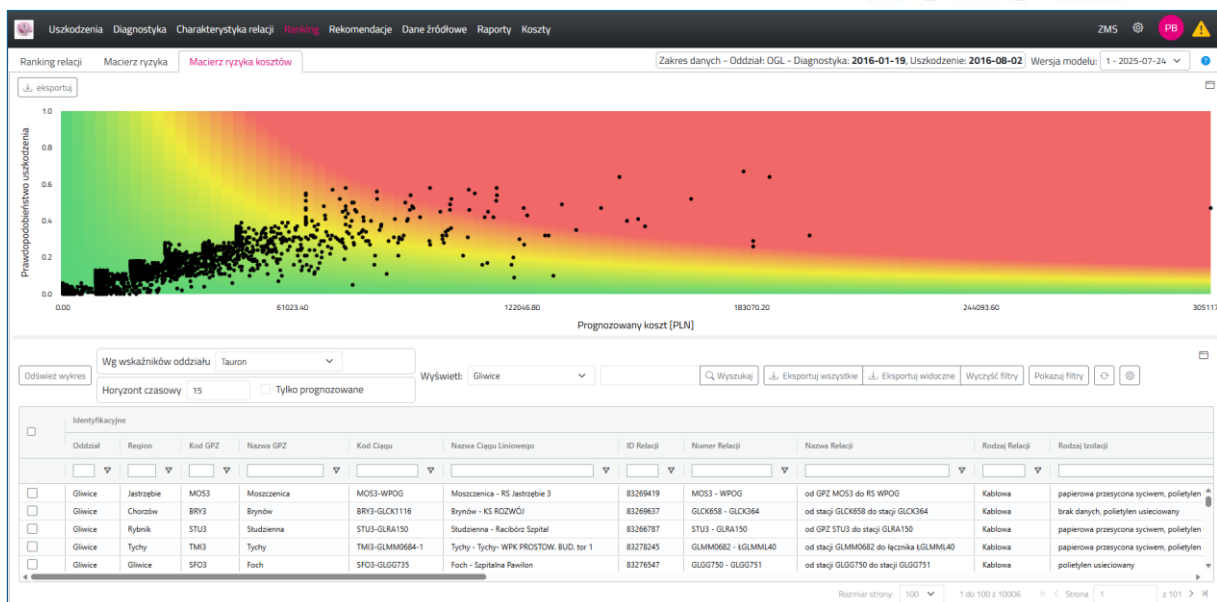
Główne funkcjonalności systemu

Coraz większą wagę w procesie eksploatacji stawia się na działania identyfikujące i eliminujące najstabsze punkty będące przyczyną awarii. Przez wiele lat, sieci kablowe SN były oceniane jedynie przez pryzmat wieku ich elementów oraz ilości uszkodzeń poszczególnych relacji. Od ponad 15 lat rozpowszechniły się badania diagnostyczne oparte na pomiarach współczynnika stratności dielektrycznej $tg\delta$ oraz rejestracji miejsc i wartości ładunku pozornego wyładowań niezupełnych (wnz). Wraz z przyrostem ilości i rodzaju danych oraz wyników pomiarowych, dla rozległych sieci dystrybucyjnych, w skład których wchodzi wiele tysięcy linii kablowych SN, pojawiła się potrzeba systemowego podejścia do klasyfikowania stanu technicznego poszczególnych relacji kablowych.

1. Ranking relacji

Odpowiedzią na oczekiwania jest podejście współczynnikowe umożliwiające stworzenie rankingu relacji, który szereguje wszystkie linie kablowe wg ryzyka dalszej ich eksploatacji (rys. 6). Opiera się na prawdopodobnym czasie do wystąpienia uszkodzenia, ich częstotliwości i wpływie awarii na:

- wskaźniki CTP (czas trwania przerwy – SAIDI) i CP (częstość przerw - SAFI),
- koszty napraw.

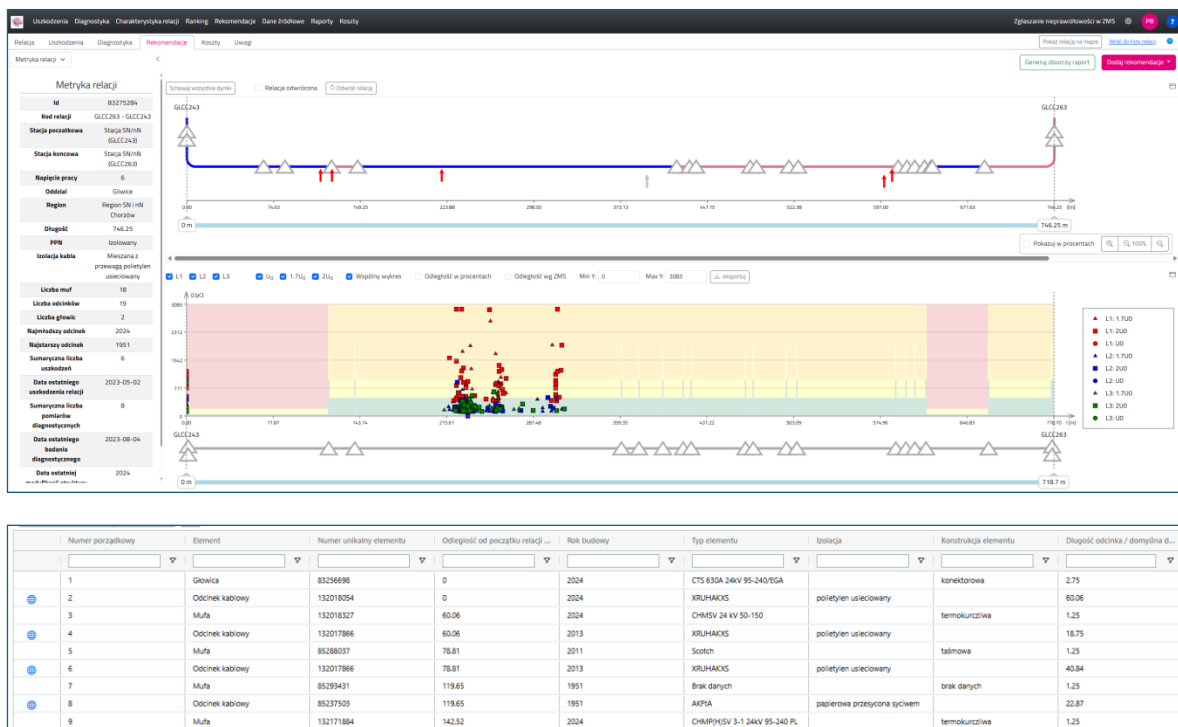


Rys. 6. Okno systemu MuflnKa – macierz ryzyka kosztów.

Systemowe podejście umożliwia modelowanie zakresu analiz w perspektywie krótko lub długoterminowej w zależności od potrzeb i planów rozwoju sieci dystrybucyjnej oraz ważności poszczególnych relacji w sieci.

2. Ocena jednostkowa

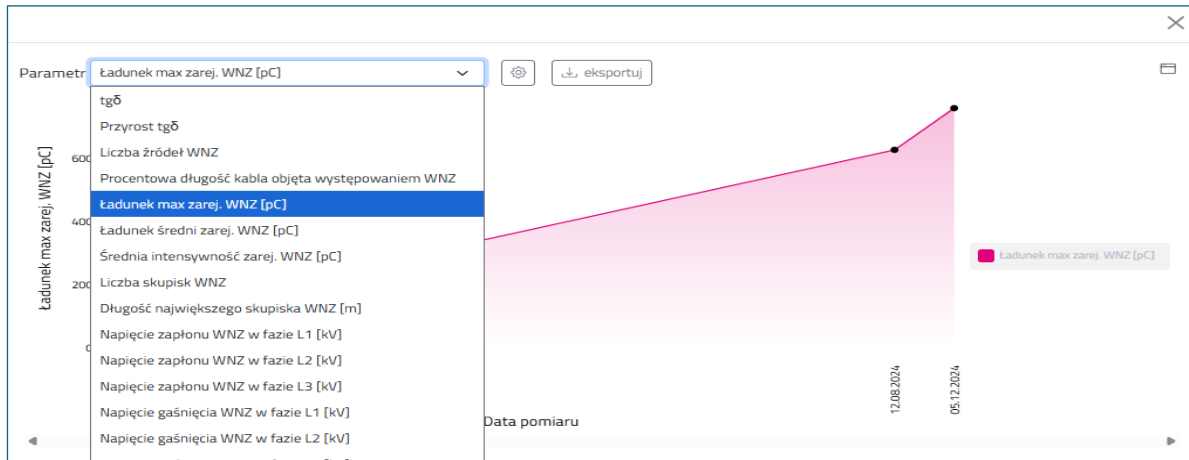
Gromadzenie danych eksploatacyjnych wszystkich linii kablowych w zakresie elementów, z których są zbudowane, ich zmiany w czasie (odcinki, mufy, głowice), historie uszkodzeń, pomiary i badania diagnostyczne oraz plany rozwojowe umożliwia bardzo szczegółową analizę poszczególnych relacji we wszystkich możliwych aspektach. Specjalista, analityk w jednej karcie otrzymuje wszelkie dane niezbędne do podjęcia decyzji eksploatacyjnych (rys. 7).



Rys. 7. Okno systemu MuflnKa – przykładowy widok pojedynczej relacji.

3. Monitorowanie procesów starzeniowych

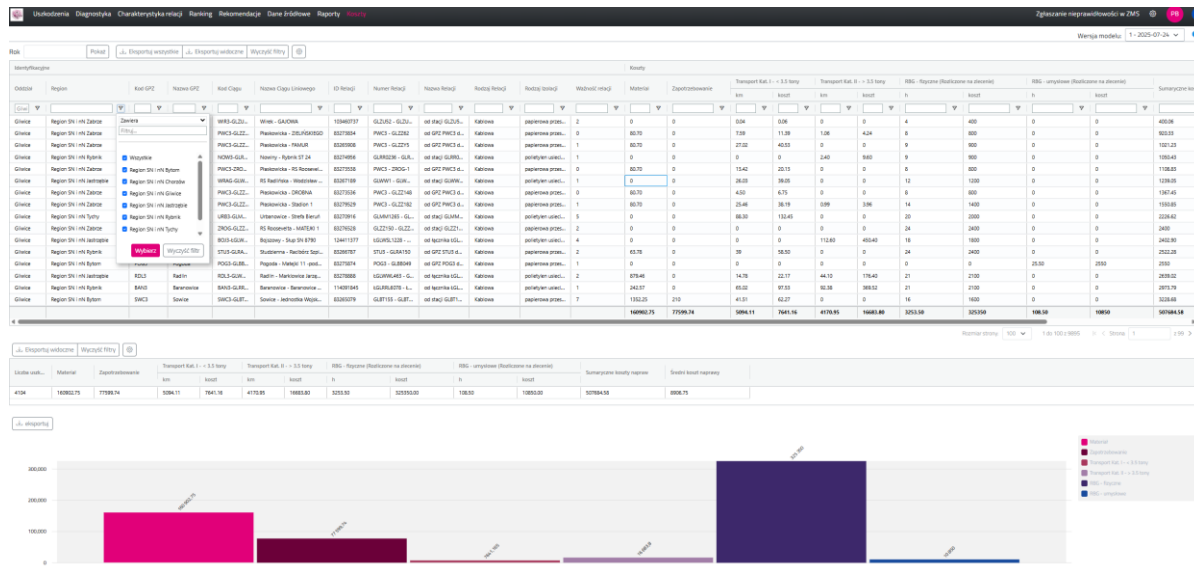
Dzięki systemowemu podejściu do wyników diagnostycznych i wyliczonym parametrom charakterystycznym prowadzona jest analiza dynamiki zmian w czasie wszystkich istotnych wartości dla poszczególnych relacji linii kablowych oraz dla zdefiniowanych grup, takich jak typ, wiek, ciąg, rodzaju pracy punktu neutralnego itp. (rys. 8).



Rys. 8. Okno systemu MuflnKa – dynamika zmian przykładowego parametru (WNZ).

4. Analiza kosztowa

Decyzje inwestycyjne dotyczące wymian linii kablowych wspierane są analizami poniesionych kosztów utrzymania poszczególnych relacji. Na ich podstawie wyliczane są średnie koszty, które służą do szacowania przyszłych, uwzględniających częstotliwość przewidywanych uszkodzeń. Dodatkowo system umożliwia monitorowanie rozkładu kosztów na materiały, transport, roboczo-godziny w ujęciu obszarowym lub sieciowym (rys. 9).



Rys. 9. Okno systemu MuflnKa – zestawienie kosztów.

5. Rekomendacje eksploatacyjne

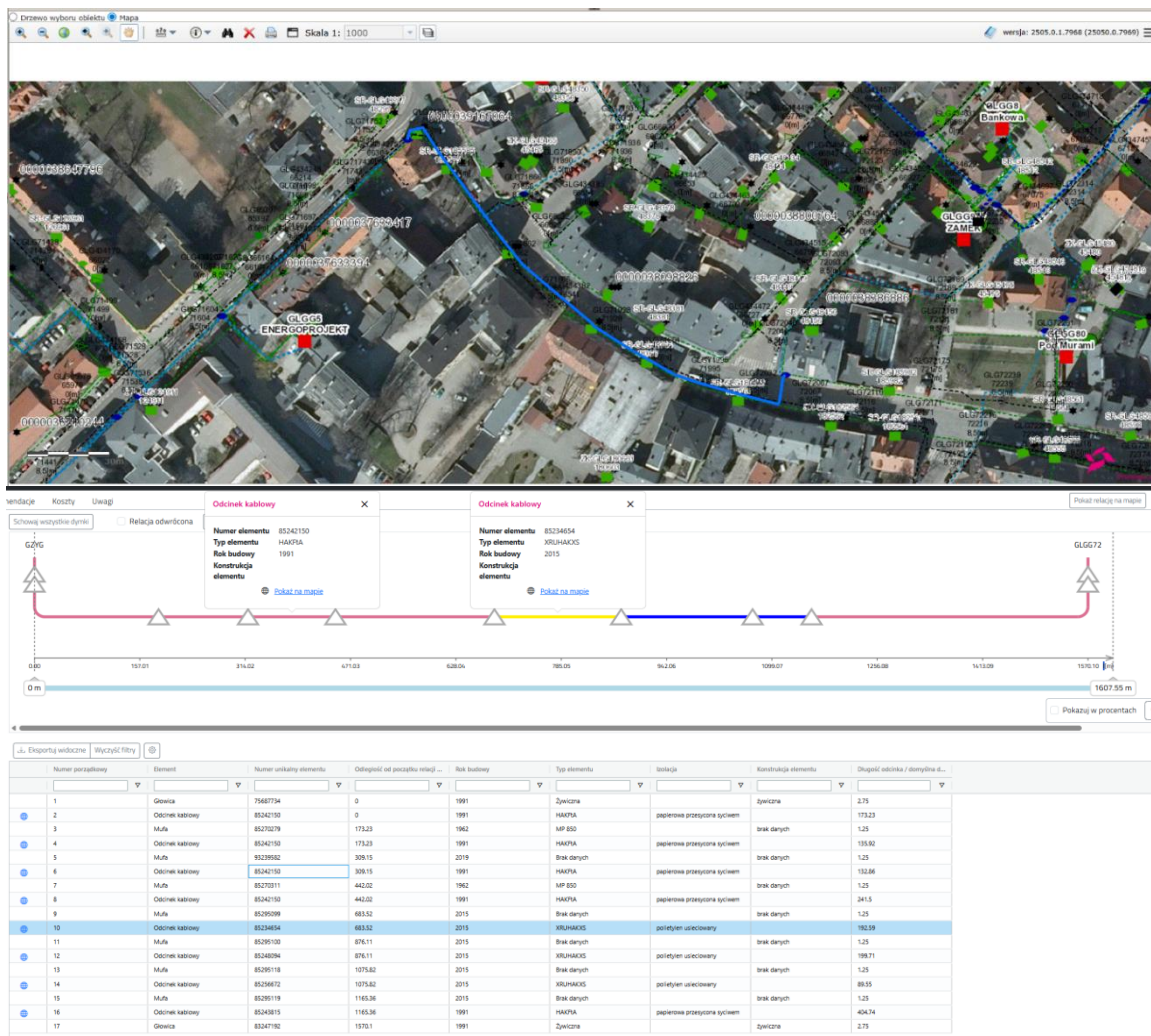
W systemie MufInKa wpisywane są rekomendacje przyszłych działań eksploatacyjnych. Ewidencja rekomendacji wspierana jest formą „work-flow”, dzięki której w prosty sposób można monitorować obieg i status sprawy. Dzięki temu ograniczono ilość i formę różnych indywidualnych tabel, spisów lub ewidencji (rys. 10).



Rys. 10. Okno systemu MufInKa – rekomendacje.

6. Połączenie Mufinki z systemem GIS-owym

Mufinka łączy się z innymi systemami w organizacji. Jednym z nich jest system GIS-owy, na który można przejść automatycznie z każdego odcinka linii kablowej lub całej relacji. Wykorzystując to łącze, otwiera się mapa z wyselekcjonowanym wskazanym elementem. Funkcja ta bardzo ułatwia i przyspiesza pracę Specjalistów zarządzających siecią elektroenergetyczną (rys. 11).



Rys. 11. Okno systemu MufInKa – połączenie z mapą GIS.

Podsumowanie

Wdrożenie systemu Muflnka wprowadza zarządzanie liniami kablowymi SN na wyższy poziom oparty na wieloładunkowych obliczeniach i analizach. Było to możliwe dzięki efektywnemu połączeniu, doświadczenia i praktycznej wiedzy OSD, naukowej wiedzy politechniki i innowacyjnej specjalizacji wykonawcy.

Na obecnym etapie otwiera się przestrzeń do zaangażowania mechanizmów sztucznej inteligencji, które będą wspierać podejmowanie decyzji eksploatacyjnych.

KABEL

2026