

Nowoczesne metody bezinwazyjnej diagnostyki nielegalnych połączeń elektrycznych w kontekście bezpieczeństwa instalacji gazowych i sanitarnych

Modern non-invasive diagnostic methods for detecting unauthorized electrical connections in the context of gas and sanitary installation safety

Witold Paleczek^{1*} 

¹ Wydział Budownictwa, Politechnika Częstochowska

* Kontakt / Correspondence: witold.paleczek@pcz.pl

Streszczenie:

Przedstawiono bezinwazyjne metody wykrywania nielegalnych połączeń elektrycznych (NPE) w instalacjach prowadzonych w przestrzeniach technicznych. Omówiono metody falowe TDR/FDR, sygnałowe, impedancyjne, harmoniczne, dynamiczne, czasowe i termograficzne, wskazując ich komplementarność oraz znaczenie dla bezpieczeństwa instalacji gazowych i sanitarnych. Zaproponowano metodykę badań in situ. Wykazano, że najwyższą skuteczność zapewnia łączenie metod falowych, sygnałowych, impedancyjnych i czasowych.

Słowa kluczowe: reflektometria, TDR, FDR, diagnostyka bezinwazyjna

Abstract:

Non-invasive methods for detecting unauthorized electrical connections (NPE) in wiring systems located in technical spaces are presented. Wave-based TDR/FDR, signal-based, impedance, harmonic, dynamic, time-domain and thermographic techniques are discussed, highlighting their complementarity and relevance to the safety of gas and sanitary installations sharing space with electrical wiring. An in situ diagnostic methodology is proposed. It is shown that the highest effectiveness is achieved by combining wave, signal, impedance and time-domain methods.

Keywords: reflectometry, TDR, FDR, non-invasive diagnostics

1. Wprowadzenie techniczne

Nielegalne połączenia elektryczne stanowią zagrożenie nie tylko dla użytkowników instalacji elektrycznych, lecz także dla bezpieczeństwa instalacji gazowych, wodnych i sanitarnych. Współczesne budynki są systemami zintegrowanymi: przewody, rury, piony i przestrzenie instalacyjne współdzielą tę samą infrastrukturę. Dlatego ingerencja w jedną instalację może wpływać na pozostałe. Nielegalne połączenia elektryczne mogą prowadzić do lokalnych wzrostów temperatury przewodów w sąsiedztwie rur gazowych, przeciążeń i asymetrii obciążeń, kontaktu przewodów prowadzonych bez zachowania minimalnych odległości z instalacjami wodnymi lub sanitarnymi, zaburzeń uziemienia i przyspieszonej korozji elektrochemicznej elementów metalowych. Dlatego problem nielegalnych połączeń nie jest wyłącznie kwestią „rachunków” – jest to także problem bezpieczeństwa budynków.

Instalacje elektryczne w budynkach wielorodzinnych i jednoro-

dzinnych mają cechy sprzyjające powstawaniu nielegalnych połączeń: wspólne piony i przestrzenie instalacyjne, bliskość lokali, łatwy dostęp do przewodów za licznikami, wieloletnie modernizacje wykonywane przez różnych wykonawców, brak dokumentacji powykonawczej oraz różne standardy instalacji w obrębie jednego budynku. W wielu starszych budynkach przewody prowadzone są w ścianach działowych, sufitach podwieszanych, piwnicach, garażach oraz w przestrzeniach instalacyjnych sanitarnych. To właśnie te miejsca są najczęściej wykorzystywane do tworzenia połączeń pasożytniczych.

Dlaczego nielegalne połączenia są trudne do wykrycia? Ponieważ tradycyjne metody diagnostyczne – takie jak pomiar prądu cęgami, kontrola plomb, oględziny tablicy licznikowej czy pomiar napięcia w gniazdach – nie wykrywają: przewodów podłączonych za licznikiem, krótkich odcinków 2–3 metrów, połączeń w przestrzeniach instalacyjnych sanitarnych, poboru okazjonalnego, poboru zsynchronizowanego z rytmem dnia, poboru nocnego lub maskowanego.

Współczesna diagnostyka korzysta z metod, które analizują sygnały w przewodach, wysyłają impulsy testowe, badają odpowiedź częstotliwościową, mierzą impedancję oraz analizują harmoniczne generowane przez urządzenia. Metody te: nie wymagają kucia ścian, nie wymagają demontażu instalacji, nie wymagają wyłączania zasilania, są bezpieczne dla instalacji gazowych i sanitarnych, pozwalają wykryć nawet bardzo krótkie odcinki przewodów, pozwalają wykryć podłączenia ukryte.

2. Cel artykułu

Celem artykułu jest przedstawienie nowoczesnych metod wykrywania nielegalnych podłączeń elektrycznych, pokazanie ich praktycznej skuteczności, wyjaśnienie ich bezpieczeństwa dla instalacji gazowych i sanitarnych oraz zaprezentowanie modelowych przypadków uzasadniających ich stosowanie. W niniejszej pracy termin „pajęczarstwo” odnosi się do nieautoryzowanych, pasożytniczych odgałęzień przewodów lub instalacji elektrycznych, wprowadzonych w pionach, kanałach lub szybach instalacyjnych, powodujących lokalne zmiany impedancji oraz zaburzenia propagacji sygnałów diagnostycznych.

Pomimo szerokiego zakresu badań nad diagnostyką instalacji elektrycznych, w literaturze brakuje prac dotyczących wykrywania nielegalnych podłączeń elektrycznych w budynkach z wykorzystaniem zwłaszcza metod falowych (TDR/FDR) w kontekście bezpieczeństwa instalacji gazowych i sanitarnych. Niniejszy artykuł wypełnia tę lukę, prezentując interdyscyplinarne podejście łączące metody falowe, sygnałowe i impedancyjne.

3. Przegląd literatury przedmiotu

Diagnostyka instalacji elektrycznych w budynkach – szczególnie w kontekście nielegalnych podłączeń oraz ich wpływu na bezpieczeństwo instalacji gazowych i sanitarnych – obejmuje szeroki zakres metod pomiarowych. W literaturze dominują prace dotyczące reflektometrii impulsowej TDR (Time Domain Reflectometry) i częstotliwościowej FDR (Frequency Domain Reflectometry), technik sygnałowych i impedancyjnych, termografii oraz analizy profilu mocy. Poniżej przedstawiono syntetyczny przegląd badań istotnych dla diagnostyki przewodów prowadzonych w pionach, kanałach i przestrzeniach instalacyjnych, które są miejscem potencjalnych „odgałęzień pasożytniczych”.

Reflektometria w dziedzinie czasu (TDR) jest jedną z najbardziej niezawodnych metod lokalizacji nieciągłości, odgałęzień i zmian impedancji w przewodach. Podstawy teoretyczne i konstrukcyjne przedstawia Baker (2010) [2], natomiast klasyczne ujęcie reflektometrii opisuje nota aplikacyjna Hewlett Packard (1993) [11]. Zastosowania TDR w diagnostyce kabli i infrastruktury elektroenergetycznej omawia Hernandez-Mejia (2016) [10], a znaczenie metody w praktykach przemysłowych podkreśla IEEE Std 141:1993 [12]. W literaturze geotechnicznej TDR wykorzystywana jest do pomiaru wilgotności i właściwości dielektrycznych materiałów (Curioni i in., 2019 [6]), co potwierdza wysoką czułość metody na zmiany przenikalności elektrycznej. Zastosowania analizy widmowej FFT w diagnostyce materiałów porowatych przedstawia praca autora (2005) [18], wskazując na komplementarność metod czasowych i częstotliwościowych. Xu i in. (2012) [23] przedstawili krótką, wieloigłową sondę FDR umożliwiającą precyzyjny pomiar

wilgotności materiałów porowatych, co potwierdza wysoką czułość metod częstotliwościowych na zmiany przenikalności dielektrycznej. Zhu i współautorzy (2019) [24] porównali działanie czujników TDR i FDR w ośrodkach o różnej teksturze, wskazując, że TDR zapewnia wysoką rozdzielczość przestrzenną i stabilność pomiaru, natomiast FDR charakteryzuje się dużą czułością na zmiany wilgotności i przewodności. Najnowsze prace, takie jak Zhu, Alsalman i Huang (2024) [25], rozszerzają zastosowania FDR na pomiary poziomu cieczy i interferometrię mikrofalową, co potwierdza rosnące znaczenie metod częstotliwościowych w nowoczesnych systemach diagnostycznych.

Diagnostyka jakości energii obejmuje **metody sygnałowe i analizę harmonicznych** zapadów, przepięć i zakłóceń. Kompleksowe omówienie metod przetwarzania sygnałów przedstawiają Bollen i Gu (2006) [4]. Normatywne wymagania dotyczące dopuszczalnych poziomów harmonicznych określa IEEE Std 519:2014 [13], a klasyczne podstawy teoretyczne opisują Arrillaga i Watson (2003) [1].

Metody impedancyjne i pomiary pętli zwarcia stanowią podstawę oceny bezpieczeństwa instalacji niskiego napięcia. Zagadnienia uziemień i torów ochronnych omawia IEEE Std 142:2007 [14], natomiast wymagania dotyczące pomiarów impedancji pętli zwarcia określa EN IEC 615573:2023 [7]. Normy te są kluczowe dla oceny jakości połączeń i ryzyka porażeniowego.

Diagnostyka instalacji elektrycznych w budynkach. Normy dotyczące projektowania, prowadzenia i sprawdzania instalacji w budynkach określają m.in. IEC 60364552:2024 [15] oraz PNHD 603646:2016 [21]. Dokumentacja techniczna Fluke 1736/1738 (2026) [9] przedstawia praktyczne aspekty monitorowania jakości energii i rejestracji parametrów pracy instalacji.

Bezpieczeństwo instalacji gazowych i sanitarnych. Instalacje gazowe i wodociągowe, współdzielące przestrzeń instalacyjną z przewodami elektrycznymi, opisują normy PNEN 1775:2009 [19] oraz PNEN 8065:2012 [20]. Standard NFPA 54 (2024) [17] stanowi punkt odniesienia w kontekście międzynarodowym.

Analiza profilu mocy i metody korelacyjne. Metody analizy danych pomiarowych z liczników energii, w tym klasyfikacja profili obciążenia, przedstawione są w pracach Chicco (2012) [5] oraz Beckel i in. (2014) [3]. Techniki te umożliwiają wykrywanie nietypowych poborów energii, w tym obciążeń pasożytniczych.

Termografia w diagnostyce instalacji jest nieinwazyjną metodą wykrywania przegrzewających się elementów instalacji. Podstawy teoretyczne opisują Minkina i Dudzik (2009) [16], a szeroki przegląd zastosowań przedstawiają Usamentiaga i in. (2014) [22]. Praktyczne zastosowania w budynkach i energetyce opisuje przewodnik FLIR Systems (2013) [8].

4. Klasyfikacja nowoczesnych metod wykrywania przyłączy pasożytniczych

Nowoczesna diagnostyka instalacji elektrycznych korzysta z metod, które pozwalają wykryć nawet bardzo krótkie, ukryte lub okazjonalne podłączenia pasożytnicze. Metody te są szczególnie przydatne w diagnostyce przewodów prowadzonych w pionach, kanałach i przestrzeniach instalacyjnych, gdzie najczęściej występują nielegalne odgałęzienia. Poniżej przedstawiono jedną z najskuteczniejszych metod stosowanych w praktyce inżynierskiej, bezpiecznych dla instalacji gazowych i sanitarnych.

Metoda sygnałowa niskoczęstotliwościowa (0,5–10 kHz). Wprowadzenie do obwodu sygnału testowego o niskiej częstotliwości i analiza jego propagacji. Wykrywa: równoległe odgałęzienia, przewody „wiszące”, podłączenia za licznikiem, krótkie odcinki 1–3 m. Dlaczego skuteczna: sygnał LF „rozlewa się” po instalacji i ujawnia miejsca o zmienionej impedancji. Zastosowanie: szybka diagnostyka starych instalacji, wstępna ocena ciągłości i geometrii obwodów.

Metoda impulsowa TDR (Time Domain Reflectometry). Wyśyłanie krótkiego impulsu i analiza odbić sygnału w czasie. Wykrywa: nieciągłości przewodów, równoległe podłączenia, ingerencje, przewody prowadzone w przestrzeniach instalacyjnych. Dlaczego skuteczna: umożliwia lokalizację miejsca ingerencji z dokładnością do kilkunastu centymetrów. Zastosowanie: instalacje rozgałęzione, piony i kanały instalacyjne.

Metoda częstotliwościowa FDR (Frequency Domain Reflectometry). Wprowadzenie sygnału o zmiennej częstotliwości i analiza odpowiedzi częstotliwościowej instalacji. Wykrywa: zmiany impedancji częstotliwościowej, odgałęzienia, ingerencje pojemnościowe i indukcyjne. Dlaczego skuteczna: bardzo czuła na dyspersję i straty dielektryczne – wykrywa podłączenia „miękkie”, trudne dla TDR. Zastosowanie: przewody w przestrzeniach instalacyjnych sanitarnych, miejsca o dużej wilgotności.

Metoda harmoniczna (analiza widma obciążenia). Każde urządzenie generuje charakterystyczny „odcisk palca” harmonicznym. Wykrywa: obce urządzenia, pobór maskowany, pobór zsynchronizowany z aktywnością użytkownika. Dlaczego skuteczna: pozwala wykryć obciążenia, których właściciel nie używa. Zastosowanie: przypadki poboru okazjonalnego i reaktywnego.

Metoda impedancyjna (pomiar Z w różnych punktach). Pomiar impedancji pętli zwarcia i porównanie z wartościami referencyjnymi. Wykrywa: dodatkowe przewody, równoległe odgałęzienia, zmiany geometrii instalacji. Dlaczego skuteczna: bardzo czuła na lokalne zmiany instalacji. Zastosowanie: instalacje o nieznannej dokumentacji powykonawczej.

Metoda dynamiczna (testy obciążeniowe). Wprowadzenie kontrolowanego obciążenia i obserwacja reakcji instalacji. Wykrywa: pobór okazjonalny, nocny, „wakacyjny”. Dlaczego skuteczna: pozwala wykryć pobór pojawiający się tylko w określonych warunkach. Zastosowanie: nielegalny pobór okazjonalny.

Metoda profilu mocy (analiza dobowych charakterystyk). Analiza zmian poboru w ciągu doby i porównanie z typowymi profilami użytkownika. Wykrywa: pobór „gdy nikogo nie ma”, pobór maskowany pracą urządzeń właściciela. Dlaczego skuteczna: pozwala wykryć anomalie w rytmie dobowym. Zastosowanie: instalacje z licznikami inteligentnymi (licznik inteligentny (AMI) to elektroniczny licznik energii wyposażony w rejestrację profilu mocy w krótkich odstępach czasu, dwukierunkową komunikację, zdalny odczyt, funkcje diagnostyczne oraz mechanizmy wykrywania anomalii i obsługi dynamicznych taryf).

Metoda różnicowa (porównanie dwóch faz lub obwodów). Porównanie poboru między obwodami, które powinny być symetryczne. Wykrywa: asymetrię obciążeń, podłączenia do jednej fazy, pobór „przerzucony” na sąsiada. Dlaczego skuteczna: bardzo szybka diagnostyka. Zastosowanie: budynki wielorodzinne.

Metoda termowizyjna (kamera IR). Wizualizacja temperatury przewodów i złącz. Wykrywa: przegrzewające się przewody, ukryte obciążenia, podłączenia w przestrzeniach instalacyjnych. Dlaczego skuteczna: intuicyjna, wizualna, bezinwazyjna. Zastosowanie: szybka ocena bezpieczeństwa.

Metoda ciągłości i rezystancji przewodów. Pomiar rezystancji przewodów i porównanie z wartościami projektowymi. Wykrywa: przewody równoległe, ingerencje, nienaturalnie niską rezystancję. Dlaczego skuteczna: bardzo dokładna w prostych instalacjach. Zastosowanie: instalacje jednofazowe, krótkie odcinki.

Metoda korelacyjna (analiza zmian poboru w czasie). Korelacja zmian poboru z aktywnością użytkownika. Wykrywa: pobór zsynchronizowany z wejściem do domu, pobór „naśladowczy”. Dlaczego skuteczna: idealna dla przypadków reaktywnych. Zastosowanie: nielegalny pobór zsynchronizowany.

Tabela 1. Porównanie 11 nowoczesnych metod bezinwazyjnego wykrywania w instalacjach elektrycznych podłączeń pasożytniczych, opracowanie własne

Table 1. Comparison of 11 modern non-invasive methods for detecting parasitic electrical connections in power installations, own elaboration

Metoda	Zasada działania	Co wykrywa	Zalety	Ograniczenia
Metoda sygnałowa niskoczęstotliwościowa	Sygnał 0,5–10 kHz i analiza propagacji	Odgałęzienia, przewody „wiszące”, krótkie podłączenia	Bezpieczna, nieinwazyjna	Mniejsza dokładność lokalizacji miejsca podłączenia niż w metodzie TDR
TDR – reflektometria czasu	Impuls testowy i analiza odbić	Miejsce ingerencji, długość przewodu	Najdokładniejsza lokalizacja	Wymaga dostępu do obu końców przewodu lub znajomości topologii obwodu lub odcinka testowanego
FDR – reflektometria częstotliwości	Sygnał o zmiennej częstotliwości	Zmiany impedancji, odgałęzienia	Bardzo czuła na dyspersję	Nie zapewnia precyzyjnej lokalizacji miejsca ingerencji w przewód
Metoda harmoniczna	Analiza widma harmonicznym	Obce urządzenia, pobór maskowany	Wykrywa trudne „inteligentne” podłączenia	Wymaga ciągłej rejestracji widma w czasie
Metoda impedancyjna	Pomiar impedancji pętli	Dodatkowe przewody	Bardzo czuła	Wymaga wiarygodnych wartości referencyjnych impedancji dla porównania
Metoda dynamiczna	Test obciążeniowy	Pobór okazjonalny, nocny	Prosta, tania	Wymaga przeprowadzenia krótkiego testu obciążeniowego instalacji
Metoda profilu mocy	Analiza dobowych zmian poboru	Pobór „gdy nikogo nie ma”	NPE okazjonalny i zsynchronizowany	Wymaga danych pomiarowych z co najmniej kilku kolejnych dni (dłuższe serie danych)
Metoda różnicowa	Porównanie faz/obwodów	Asymetrie, podłączenia do jednej fazy	Bardzo szybka	Nie wykrywa bardzo krótkich odcinków podłączeń pasożytniczych
Metoda termograficzna	Kamera IR	Przegrzewające się przewody	Wizualna, intuicyjna	Nie wykrywa przewodów zimnych
Metoda ciągłości i rezystancji	Pomiar rezystancji	Przewody równoległe	Bardzo dokładna	Ograniczona skuteczność w złożonych, silnie rozgałęzionych instalacjach
Metoda korelacyjna	Korelacja poboru z aktywnością	Pobór reaktywny, zsynchronizowany	NPE zsynchronizowany	Wymaga rejestracji czasowej poboru mocy oraz danych o aktywności odbiorników

Jedenaście metod bezinwazyjnych – sygnałowych, impulsowych, częstotliwościowych, harmoniczných, impedancyjnych, dynamicznych i termograficznych (termowizyjnych) – tworzy kompletny zestaw narzędzi do wykrywania nielegalnego poboru energii elektrycznej. Żadna z nich nie daje pełnego obrazu instalacji. Dopiero ich łączne zastosowanie pozwala wykryć nawet najbardziej „inteligentne” podłączenia, przy zachowaniu pełnego bezpieczeństwa instalacji gazowych i sanitarnych. W tabeli 1 przedstawiono porównanie tych metod – od sygnałowych po dynamiczne – co pokazuje pełne spektrum możliwości diagnostycznych i podkreśla, że skuteczność zapewnia dopiero ich komplementarne wykorzystanie.

5. Przydatność metod TDR i FDR w instalacjach elektrycznych i inspekcjach sanitarnych

Przydatność metod TDR i FDR nie ogranicza się wyłącznie do wykrywania odgałęzień pasożytniczych w instalacjach elektrycznych. W literaturze oraz praktyce inżynierskiej podkreśla się rosnące znaczenie reflektometrii falowej w analizach i inspekcjach sanitarnych, szczególnie w przestrzeniach, w których przewody elektryczne współdzielą kanały z instalacjami gazowymi i wodociągowymi. Metalowe rury gazowe i wodociągowe stanowią naturalne reflektory falowe, generując wyraźne odbicia impulsów TDR, natomiast przepływająca ciecz – będąca elektrolitem o wysokiej przenikalności dielektrycznej ($\epsilon_r \approx 80$) – powoduje charakterystyczne zmiany widma częstotliwościowego łatwo wykrywalne metodą FDR. W instalacjach sanitarnych wysoki kontrast dielektryczny pomiędzy suchym środowiskiem otaczającym przewód sensoryczny a medium roboczym rurociągu sprzyja powstawaniu lokalnych zmian impedancji falowej, które umożliwiają natychmiastową identyfikację oraz precyzyjną lokalizację geometryczną punktu awarii na podstawie analizy czasu powrotu sygnału odbitego. Dzięki obecności ciągłych połączeń metalicznych oraz przewodzących cieczy, metody falowe pozwalają wykrywać nie tylko nieautoryzowane podłączenia elektryczne, lecz także nieszczelności, kondensację, korozję oraz miejsca kontaktu przewodów z elementami instalacji gazowych i wodo-

ciągowych. W tabeli 2 przedstawiono porównanie obu tych metod diagnostycznych.

Wniosek techniczny: TDR lokalizuje miejsce ingerencji, FDR wykrywa jej charakter – razem tworzą kompletną diagnostykę falową zarówno dla instalacji elektrycznych, jak i dla gazowych, wodnych oraz sanitarnych.

5.1. Proponowana sekwencja działań w procedurze diagnostycznej

W literaturze i praktyce inżynierskiej zaleca się następującą procedurę diagnostyczną:

- rejestracja sygnałów metodami TDR, FDR, LF oraz analizy harmonicznych,
- analiza zmian impedancji i charakterystyk częstotliwościowych,
- rejestracja profilu mocy w cyklu 24–72 h (dla metod czasowych),
- analiza korelacyjna poboru energii z aktywnością użytkownika,
- weryfikacja termograficzna przewodów i złącz,
- porównanie wyników z danymi projektowymi.

Procedura ta jest zgodna z podejściem stosowanym w diagnostyce kabli, instalacji budynkowych i systemów dystrybucyjnych.

Literatura wskazuje, że **TDR** skutecznie lokalizuje odgałęzienia $\geq 1,5$ m z dokładnością centymetrową, a **FDR** wykrywa również odgałęzienia „miękkie” (pojemnościowe). W środowiskach wilgotnych **FDR przewyższa TDR** pod względem czułości.

Metody sygnałowe (LF – Low Frequency) wykrywają odgałęzienia 1–3 m, są „odporne” na brak dokumentacji instalacji, nie lokalizują miejsca ingerencji.

Analiza harmonicznych pozwala wykryć obce urządzenia: analiza harmonicznych pozwala wykryć obce urządzenia, ponieważ każdy odbiornik generuje charakterystyczny „podpis widmowy” – unikalny zestaw amplitud i częstotliwości harmonicznych, wynikający z jego konstrukcji i sposobu pracy. Ten widmowy „odcisk palca” jest powtarzalny i odróżnia jedno urządzenie od drugiego, dzięki czemu jego obecność można wykryć nawet wtedy, gdy po-

Tabela 2. Porównanie metod TDR i FDR oraz ich zastosowań w diagnostyce instalacji elektrycznych i sanitarnych, opracowanie własne
Table 2. Comparison of TDR and FDR Methods and Their Applications in the Diagnostics of Electrical and Sanitary Installations, own elaboration

Metoda	Zalety	Wady / Ograniczenia	Zastosowania
TDR	Dokładna lokalizacja miejsca ingerencji; odporność na zakłócenia; szybka diagnostyka; skuteczna dla połączeń rezystancyjnych; możliwość określenia długości przewodu; prosta interpretacja odbić	Wymaga dostępu do końców przewodu; słaba czułość na podłączenia pojemnościowe i indukcyjne; nakładanie odbić w instalacjach rozgałęzionych; konieczność znajomości przenikalności (ϵ_r); brak czułości na subtelne zmiany impedancji częstotliwościowej	Instalacje elektryczne: lokalizacja odgałęzień pasożytniczych, przewodów „wiszących”, punktów kontaktu z konstrukcją. Instalacje gazowe i wodne: metalowe rury jako naturalne reflektory falowe; lokalizacja miejsc styku przewodów z rurociągami; wykrywanie nieszczelności i korozji poprzez zmiany odbić; diagnostyka kanałów technicznych o wspólnej zabudowie.
FDR	Wysoka czułość na dyspersję i straty; wykrywa podłączenia pojemnościowe i indukcyjne; skuteczna w instalacjach długich; dobra w środowiskach o zmiennej wilgotności; ujawnia ingerencje niewidoczne dla TDR; pozwala określić charakter ingerencji	Brak lokalizacji miejsca ingerencji; wymaga analizy widmowej; czułość zależna od jakości sygnału; konieczność kalibracji dla długich przewodów; interpretacja bardziej złożona niż w TDR	Instalacje elektryczne: wykrywanie subtelnych zmian impedancji, połączeń pojemnościowych i indukcyjnych, przewodów w wilgotnych kanałach. Instalacje sanitarne: ciecz o wysokiej przenikalności ($\epsilon_r \approx 80$) jako medium o silnym kontraście dielektrycznym; wykrywanie kondensacji, korozji, zawilgoceń, zmian widma częstotliwościowego; analiza rurociągów wodnych i miejsc o podwyższonej wilgotności.

bór jest maskowany lub chwilowy. Metoda jest szczególnie skuteczna przy poborze 'okazjonalnym' i zsynchronizowanym.

Metody impedancyjne są bardzo czułe na zmiany geometrii instalacji: metody impedancyjne są bardzo czułe na zmiany geometrii instalacji, ponieważ każda ingerencja w układ przewodów – zmiana długości, przekroju, dodanie odgałęzienia lub równoległego przewodu – powoduje mierzalną zmianę impedancji. Dzięki temu nawet niewielkie podłączenia pasożytnicze mogą zostać wykryte. Wymagają wartości referencyjnych: metody impedancyjne są bardzo czułe na zmiany geometrii instalacji, ale aby wykryć dodatkowy przewód lub odgałęzienie, muszą porównać aktualną impedancję z wartością referencyjną – czyli znaną wcześniej, prawidłową impedancją danego obwodu. Bez takiego punktu odniesienia metoda nie może jednoznacznie wskazać ingerencji.

Metody dynamiczne i profil mocy wykrywają pobór „okazjonalny” i zsynchronizowany, a profil mocy ujawnia anomalie w cyklu dobowym.

Termografia wykrywa przewody przeciążone i aktywne podłączenia. Nie wykrywa przewodów nieobciążonych.

6. Dyskusja nad zastosowaniem praktycznym omówionych metod

Komplementarność metod w literaturze jest podkreślana jako najwyższa skuteczność, czyli łączenie: TDR + FDR (geometria i impedancja), LF + impedancja (sygnał i struktura), profil mocy + korelacja (czas i zachowanie użytkownika). Znaczenie dla bezpieczeństwa instalacji gazowych i sanitarnych znajdujemy w badaniach, które wskazują, że odgałęzienia pasożytnicze mogą powodować wzrost temperatury przewodów, ryzyko kontaktu z rurami wodnymi oraz lokalne zmiany potencjału sprzyjające korozji.

Omówione metody są rekomendowane dla administratorów budynków, elektryków i służb technicznych, firm audytowych i kontrolnych, organów nadzoru, Urzędu Dozoru Technicznego. Metody te są bezinwazyjne i nie wymagają wyłączenia zasilania. Ich łączne wykorzystanie pozwala na kompleksową ocenę instalacji, zwiększa bezpieczeństwo użytkowników oraz minimalizuje ryzyko nieautoryzowanych ingerencji.

7. Wnioski podsumowujące

Na podstawie literatury oraz badań własnych można sformułować następujące wnioski:

Nielegalne podłączenia elektryczne oraz odgałęzienia pasożytnicze stanowią realne zagrożenie nie tylko dla instalacji elektrycznych, lecz także dla bezpieczeństwa instalacji gazowych, wodnych i sanitarnych. Współdzielenie przestrzeni instalacyjnych sprawia, że lokalne zmiany impedancji, przeciążenia przewodów oraz niekontrolowane trasy kablowe mogą wpływać na temperaturę, korozję elektrochemiczną i integralność innych instalacji.

Literatura jednoznacznie wskazuje, że tradycyjne metody diagnostyczne (oględziny, pomiary napięcia, kontrola plomb, pomiary cęgowce) są niewystarczające do wykrywania krótkich, ukrytych lub „okazjonalnych” podłączeń. Szczególnie trudne do

identyfikacji są odgałęzienia o długości 1–3 m oraz pobór zsynchronizowany z aktywnością użytkownika.

Najwyższą skuteczność diagnostyczną zapewniają metody falowe (TDR i FDR), umożliwiające wykrycie i charakterystykę odgałęzień pasożytniczych poprzez analizę odbić impulsowych oraz odpowiedzi częstotliwościowej. FDR wykazuje szczególną czułość w środowiskach o zmiennej przenikalności elektrycznej, takich jak piony sanitarne czy miejsca podwyższonej wilgotności.

Metody sygnałowe niskoczęstotliwościowe (LF) oraz pomiary impedancyjne stanowią skuteczne uzupełnienie metod falowych, umożliwiając wykrycie zmian geometrii instalacji, przewodów „wiszących” oraz odgałęzień o charakterze rezystancyjnym lub pojemnościowym.

Metody czasowe – analiza profilu mocy i analiza korelacyjna – są kluczowe w przypadkach poboru „okazjonalnego” i zsynchronizowanego z rytmem dnia użytkownika. Umożliwiają wykrycie anomalii niewidocznych w pomiarach strukturalnych.

Termografia IR stanowi wartościowe narzędzie wspomagające, pozwalające na wizualizację przegrzewających się przewodów i złącz, szczególnie w miejscach trudno dostępnych. Nie zastępuje jednak metod falowych ani sygnałowych.

Najwyższą skuteczność diagnostyczną uzyskuje się poprzez łączenie metod falowych, sygnałowych, impedancyjnych i czasowych. Wynika to z wielowymiarowego charakteru nielegalnych podłączeń elektrycznych, obejmującego aspekty geometryczne, impedancyjne, energetyczne i czasowe.

Zastosowanie metod bezinwazyjnych jest w pełni bezpieczne dla instalacji gazowych i sanitarnych, ponieważ nie wymaga ingerencji w strukturę budynku, nie wymaga wyłączenia zasilania i nie powoduje obciążeń przekraczających parametry eksploatacyjne. Sygnały diagnostyczne mają bardzo małą energię i nie wpływają na pracę instalacji gazowych ani wodnych.

Proponowana metodyka może być stosowana przez administratorów budynków, elektryków, służby techniczne oraz organy nadzoru, stanowiąc praktyczne narzędzie do oceny bezpieczeństwa instalacji oraz identyfikacji nieautoryzowanych przyłączy.

Wyniki przeglądu literatury wskazują na potrzebę dalszych badań nad integracją metod falowych z analizą profilu mocy oraz nad automatyzacją detekcji nielegalnych podłączeń elektrycznych, szczególnie w budynkach wielorodzinnych i obiektach o złożonej infrastrukturze instalacyjnej.

8. Podziękowania

Artykuł ten dedykuję moim Profesorom: śp. Kazimierzowi Klośowi (klasa fortepianu) oraz śp. Profesorom Joachimowi Grubichowi i Janowi Jargoniowi (klasa organów klasycznych). Ich życzliwość, wymagająca opieka oraz mistrzostwo wykonawcze ukształtowały moją intuicję harmonii i struktury w muzyce, stając się dla mnie źródłem trwałej inspiracji. Pierwszy recital organowy na Skałce w Krakowie, do którego mnie zachęcili, został dodatkowo umożliwiony dzięki życzliwej zgodzie śp. Ojca Dyrektora, Profesora Zachariasza Jabłońskiego – Człowieka wielkiej dobroci, który otworzył przede mną przestrzeń twórczej swobody i zaufania. Wydarzenie to stało się drogą łączącą refleksję muzyczną z inżynierskomatematyczną – drogą, w której zjawiska akustyczne, takie jak pogłos, rezonans i złożoność widma,

odnajdują swoje odpowiedniki w modelach wielowymiarowych przestrzeni metrycznych i ich algorytmach. Profesorom dziękuję za światło, które wnieśli w moje myślenie i pracę twórczą, oraz za to, że pamięć o Nich pozostaje dla mnie nieustannym źródłem wdzięczności. Z szacunkiem i pokorą przyjmuję naturalny dar możliwości przeżywania tego, co jest w rzeczywistości najczystsze: wdzięczności, piękna i dobra.

9. Literatura

- [1] Arrillaga, J., & Watson, N. R. (2003). *Power system harmonics*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0470871229>
- [2] Baker, R. J. (2010). CMOS: Circuit design, layout, and simulation (2nd ed.). Wiley/IEEE Press. <https://doi.org/10.1002/9780470891179>
- [3] Beckel, C., Sadamori, L., Staake, T., & Santini, S. (2014). Revealing household characteristics from smart meter data. *Energy*, 78, 397–410. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.10.025>
- [4] Bollen, M. H. J., & Gu, I. Y. H. (2006). *Signal processing of power quality disturbances*. Wiley-IEEE Press. <https://doi.org/10.1002/0471931314>
- [5] Chicco, G. (2012). Overview and performance assessment of the clustering methods for electrical load pattern grouping. *Energy*, 42(1), 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.12.031>
- [6] Curioni, G., Chapman, D. N., Royal, A. C. D., Metje, N., Dashwood, B., Gunn, D. A., Inauen, C. M., Chambers, J. E., Meldrum, P. I., Wilkinson, P. B., Swift, R. T., & Reeves, H. J. (2019). Time domain reflectometry (TDR) potential for soil condition monitoring of geotechnical assets. *Canadian Geotechnical Journal*, 56(7), 942–955. <https://doi.org/10.1139/cgj-2017-0618>
- [7] European Committee for Electrotechnical Standardization. (2023). EN IEC 615573:2023. *Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 3: Loop impedance*. Brussels: CENELEC.
- [8] FLIR Systems AB. (2013). *Thermal Imaging Guidebook for Building and Renewable Energy Applications*. Wilsonville, OR: FLIR Systems AB. https://switchyourthinking.com/wp-content/uploads/2026/02/Flir-Building-guidebook_-SYT-Edit_2025.pdf
- [9] Fluke Corporation. (2026). Fluke 1736 and 1738 three-phase power quality loggers: Technical datasheet. Application Guide. Fluke Corporation.
- [10] HernandezMejia, J. C. (2016). Time domain reflectometry (TDR). Cable Diagnostic Focused Initiative (CDFI), Phase I. https://bpb-us-e1.wpmucdn.com/sites.gatech.edu/dist/6/3800/files/2023/09/5-TDR_17_with-Copyright.pdf
- [11] HewlettPackard. (1993). Time domain reflectometry theory (Application Note 13042). HewlettPackard. https://hpmemoryproject.org/an/pdf/an_1304-2.pdf
- [12] Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1994). IEEE Std 1411993: *IEEE recommended practice for electric power distribution for industrial plants*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.1994.121642>
- [13] Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2014). IEEE Std 5192014: *IEEE recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems* (Revision of IEEE Std 5191992). <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2014.6826459>
- [14] Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2007). IEEE Std 1422007: *IEEE recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems* (Revision of IEEE Std 1421991). <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2007.4396963>
- [15] International Electrotechnical Commission. (2024). IEC 60364552:2009/AMD1:2024. Amendment 1 – Low-voltage electrical installations – Part 552: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems. Geneva: IEC.
- [16] Minkina, W., & Dudzik, S. (2009). *Infrared thermography: errors and uncertainties*. John Wiley & Sons.
- [17] National Fire Protection Association. (2024). *NFPA 54: National Fuel Gas Code* (2024 edition). Quincy, MA: NFPA.
- [18] Paleczek, W. (2005). A method of investigation of moisture materials using FFT. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 43, 81–91.
- [19] PKN. (2009). PNEN 1775:2009. Dostawa gazu – Przewody gazowe dla budynków – Maksymalne ciśnienie robocze równe 5 bar lub mniejsze – Zalecenia funkcjonalne. Warszawa. *Polski Komitet Normalizacyjny*
- [20] PKN. (2012). PNEN 8065:2012. Wymagania dotyczące wewnętrznych instalacji wodociągowych do przesyłu wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi – Część 5: Działanie i konserwacja. Warszawa. *Polski Komitet Normalizacyjny*
- [21] PKN. (2016). PNHD 603646:201607. Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 6: Sprawdzanie. Warszawa. *Polski Komitet Normalizacyjny*
- [22] Usamentiaga, R., Venegas, P., Guerediaga, J., Vega, L., Molleda, J., & Bulnes, F. (2014). Infrared thermography for temperature measurement and Non-Destructive testing. *Sensors*, 14(7), 12305–12348. <https://doi.org/10.3390/s140712305>
- [23] Xu, J., Ma, X., Logsdon, S. D., & Horton, R. (2012). Short, multineedle frequency domain reflectometry sensor suitable for measuring soil water content. *Soil Science Society of America Journal*, 76(6), 1929–1937. <https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0361>
- [24] Zhu, Y., Irmak, S., Jhala, A. J., Vuran, M. C., & Diotto, A. (2019). Time-domain and frequency-domain reflectometry type soil moisture sensor performance and soil temperature effects in fine- and coarse-textured soils. *Applied Engineering in Agriculture*, 35(2), 117–134. <https://doi.org/10.13031/aea.12908>
- [25] Zhu, C., Alsaman, O., & Huang, J. (2024). Highly sensitive liquid-level sensing based on microwave frequency domain reflectometry and interferometry. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 73, 1–9. <https://doi.org/10.1109/TIM.2024.3470021>