

# **Niestandardowe wykorzystanie rejestratorów zakłóceń do wsparcia zarządzania jakością energii elektrycznej**



# Niestandardowe wykorzystanie rejestratorów zakłóceń do wsparcia zarządzania jakością energii elektrycznej

Mateusz Szabliski, Piotr Rzepka – PSE Innowacje, Politechnika Śląska  
Jarosław Rączka – Polskie Sieci Elektroenergetyczne

## Streszczenie

Referat przedstawia motywacje stojące za potrzebą poszukiwania nowych możliwości uszczegółowienia informacji o wybranych parametrach jakości energii elektrycznej, opis koncepcji metody wykorzystania rejestratorów zakłóceń do wsparcia identyfikacji źródeł wprowadzających lub wzmacniających wyższe harmoniczne w napięciu w systemie elektroenergetycznym oraz wybrane wyniki realizowanej pracy badawczo-rozwojowej prototypowego użycia rejestratorów zakłóceń.

## 1. Wstęp

Zapewnienie bezpiecznej i niezawodnej pracy systemu elektroenergetycznego (SEE) wymaga m.in. monitorowania parametrów jakości energii elektrycznej (JEE). Jest to niezbędne do identyfikacji przypadków jej zaburzeń, ponieważ mogą one determinować pogorszenie warunków pracy SEE, zarówno obiektów należących do operatorów SEE, jak i obiektów przyłączonych podmiotów. W sieci przesyłowej Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE) operator systemu przesyłowego (OSP) wykorzystuje do identyfikacji występowania zaburzeń JEE System Monitorowania Jakości Energii Elektrycznej (SMJEE). System ten współpracuje z analizatorami jakości energii elektrycznej (AJEE). W zdecydowanej większości sytuacji SMJEE pozwala skutecznie zarządzać JEE, umożliwiając efektywną identyfikację występujących zaburzeń. Jednak w złożonych sytuacjach dane z AJEE mogą być niewystarczające do identyfikacji konkretnego źródła zaburzeń. W praktyce znacząco utrudnia to egzekwowanie działań naprawczych i może zwiększać niepożądane skutki dalszej pracy takiego obiektu. Co istotne, skutki te mogą dotyczyć nie tylko obiektów przyłączonych w najbliższym sąsiedztwie źródła wywołującego zaburzenia JEE (np. w tym samym węźle), ale również obiektów otoczenia sieciowego. Możliwe konsekwencje zaburzeń JEE przedstawiono na rysunku 1. Należy podkreślić, że transformacja SEE może istotnie wpływać na parametry JEE i – niestety – za wysoce prawdopodobne można uznać, że zaburzenia JEE będą się nasilać, szczególnie w warunkach malejącej „sztywności” SEE [1], [2].



Rys. 1. Możliwe skutki zaburzeń JEE

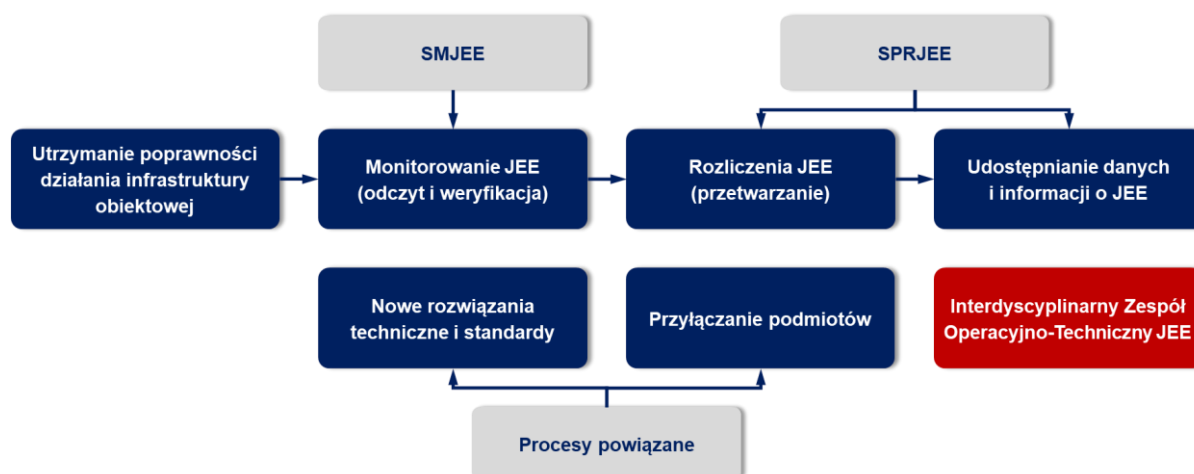
Wnioski z bieżących analiz warunków pracy SEE oraz prognozy znacznego wzrostu wyzwań z zarządzaniem JEE w SEE przyszłości, z dominującym mocowym i ilościowym udziałem obiektów z energoelektronicznymi układami przekształtnikowymi, determinowały potrzebę poszukiwania dla OSP narzędzia, które umożliwi identyfikację udziału poszczególnych obiektów współpracujących z SEE we wprowadzaniu zaburzeń JEE. Opracowanie takiego narzędzia identyfikuje się jako niezbędne do minimalizacji technicznych i formalnych ryzyk dla interesariuszy SEE wywołanych ewentualną długotrwałą pracą takiego obiektu w strukturach SEE.

## 2. Zarządzanie JEE u OSP

Najważniejsze dokumenty definiujące zakres działań i odpowiedzialności interesariuszy KSE, w odniesieniu do JEE, to (przyjęto skrócone nazwy używane potocznie, dla ułatwienia lektury; pełne nazwy w spisie literatury):

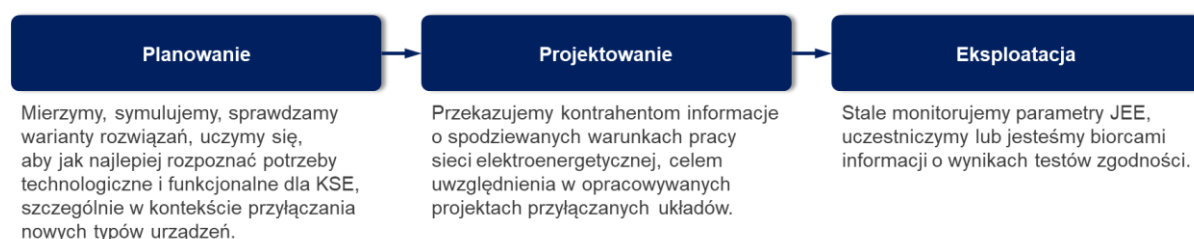
- Rozporządzenie systemowe [3] – dokument określający m.in. zestaw ocenianych parametrów JEE, okresy pomiarowe i przedziały tolerancji,
- Rozporządzenie pomiarowe [4] – dokument określający m.in. wymagania techniczne dla AJEE oraz wymagane lokalizacje AJEE,
- Rozporządzenie dt. MFW [5] – dokument określający m.in. obowiązek instalacji filtrów harmonicznych oraz wymagane lokalizacje AJEE w układach wyprowadzenia mocy MFW,
- Rozporządzenie taryfowe [6] – dokument określający m.in. odpowiedzialność za niedotrzymanie JEE.

W Polskich Sieciach Elektroenergetycznych zadania związane z zarządzaniem JEE są organizacyjnie przypisane do dedykowanej jednostki organizacyjnej, tj. Biura Pomiarów Energii. Zarządzanie JEE jest procesem złożonym, zarówno technicznie, jak i formalnie. OSP zdefiniował ten proces i wyodrębnił w jego ramach sześć głównych elementów, które obejmują wszystkie kluczowe działania bieżące i rozwojowe. Schematycznie ten podział przedstawiono na rysunku 2, wraz ze wskazaniem dwóch kluczowych systemów niezbędnych do realizacji tego procesu, tj. SMJEE oraz SPRJEE (System Pomiarowo-Rozliczeniowy JEE). Obserwowany wzrost złożoności formalnej i technicznej KSE stanowił przesłankę do utworzenia Interdyscyplinarnego Zespołu Operacyjno-Technicznego JEE, złożonego ze specjalistów z różnych kluczowych jednostek organizacyjnych. Umożliwia to predykcyjne przygotowanie OSP do już identyfikowanych i spodziewanych w przyszłości dalszych zmian w zakresie problematyki JEE, które mogą stać się istotne dla całego modelu funkcjonowania sieci przesyłowej KSE.



Rys. 2. Schematyczne przedstawienie procesu zarządzania JEE w PSE

Złożoność formalna i techniczna zarządzania JEE determinują potrzebę uwzględniania zagadnień JEE praktycznie na wszystkich etapach funkcjonowania SEE. Podejście stosowane przez OSP ilustracyjnie przedstawiono na rysunku 3, w odniesieniu do działań związanych z planowaniem, projektowaniem i eksploatacją. Tak znaczne zaangażowanie OSP jest podyktowane podejściem, że interesariuszami JEE powinni być wszyscy korzystający z SEE, a utrzymanie wymaganych parametrów JEE powinno stanowić cel długo- i krótkoterminowy każdego użytkownika SEE, od etapu formułowania założeń, poprzez projektowanie rozwiązań technicznych i funkcjonalnych, przyłączenie do SEE aż po eksploatację.



Rys. 3. Schematyczne przedstawienie zaangażowania PSE w JEE

### 3. Praca badawczo-rozwojowa dt. JEE

Rosnące wyzwania związane z zarządzaniem JEE determinują również potrzebę realizacji prac badawczo-rozwojowych w GK PSE. Jedną z takich prac dotyczy poszukiwania narzędzia uzupełniającego dotychczasowe podejścia do identyfikacji obiektów wywołujących wyższe harmoniczne w napięciu, zaburzające JEE w danym węźle KSE.

Zakres pracy obejmuje wiele działań cząstkowych, podzielonych na kilka etapów. Na początku pracy wykonano ekstensywny przegląd metod identyfikacji źródeł wyższych harmonicznych. Przegląd aplikacji i koncepcji badawczo-rozwojowych pozwolił na zidentyfikowanie zestawu potencjalnych metod, które poddano eksperckiej ocenie potencjału aplikacyjnego i symulacyjnym badaniom weryfikacyjnym. Uzyskane wyniki prowadziły do konkluzji o braku rekomendacji ich użycia w projektowanym narzędziu. Zastosowanie tych metod praktycznie zawęża się do sytuacji wyraźnej dominacji jednego obiektu jako źródła wyższej harmonicznej – w rzeczywistych warunkach takie przypadki występują niezwykle rzadko. Stanowiło to przesłankę do opracowania autorskiej koncepcji metody uwzględniającej – co do zasady – obecność większej liczby obiektów mogących zaburzać JEE. Koncepcja ta bazuje na hipotezie, że intencjonalne pozyskanie i odpowiednie przetworzenie danych pomiarowych z rejestratorów zakłóceń (RZ) zainstalowanych we wszystkich polach stacji umożliwi dekompozycję normatywnych danych pomiarowych z AJEE zainstalowanych w wybranych polach stacji na potrzeby określenia udziałów obiektów przyłączonych do poszczególnych pól stacji w wywoływaniu wyższych harmonicznych w napięciu w tej stacji oraz identyfikację dominujących źródeł tych zaburzeń JEE. Tym samym powinno to umożliwić uzupełnienie oceny JEE uzyskiwanej z SMJEE na podstawie danych pomiarowych z AJEE dla wybranych punktów w węźle/stacji i uzyskanie szczegółowego „obrazu sytuacyjnego” JEE w poszczególnych polach w ramach całej stacji poprzez wykorzystanie RZ.

#### 3.1. Porównanie AJEE i RZ

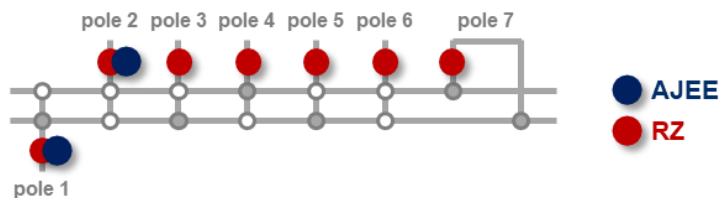
Generalizując, AJEE i RZ, stanowią urządzenia umożliwiające „obserwowanie” warunków pracy SEE, niezbędne do uzyskania „obrazu sytuacyjnego” w KSE. Jednak zakres ich działania jest nietożsamy:

- AJEE koncentrują się na monitorowaniu JEE w SEE,
- RZ koncentrują się na rejestrowaniu przebiegu zakłóceń w pracy SEE.

Determinuje to cel i podstawowy sposób ich działania, zestaw sygnałów wejściowych oraz lokalizację i liczbę urządzeń. Porównanie przedmiotowych cech urządzeń w sieci OSP zestawiono w tabeli 1 i przedstawiono na rysunku 4 (dotyczy „standardowych” miejsc instalacji).

| Cecha             | AJEE                                                                                   | RZ                                                                                          | Wniosek            |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Cel działania     | Pomiar wielkości elektrycznych umożliwiających wyznaczenie normatywnych parametrów JEE | Pozyskiwanie sygnałów dla celów analizy pozakłóceniowej                                     | Różny cel          |
| Sposób działania  | Działanie ciągłe                                                                       | Działanie incydentalne – na sygnał zewnętrzny (z zabezpieczeń)                              | Różne działanie    |
|                   | Wyznaczanie uśrednionych wartości parametrów JEE dla celów oceny statystycznej         | Rejestrowanie wartości chwilowych napięć i prądów oraz sygnałów dwustanowych z zabezpieczeń |                    |
| Sygnały wejściowe | Sygnały z przekładników do pomiarów (uzwojeń i rdzeni)                                 | Sygnały z przekładników do zabezpieczeń (uzwojeń i rdzeni)                                  | Różna akwizycja    |
|                   | ---                                                                                    | Sygnały z zabezpieczeń                                                                      |                    |
| Liczba            | Instalacja w wybranych polach stacji                                                   | Instalacja we wszystkich polach stacji                                                      | Różna powszechność |

Tabela 1. Podstawowe cechy AJEE i RZ



Rys. 4. „Standardowa” lokalizacja AJEE i RZ w stacjach elektroenergetycznych

Dokonana uproszczona charakterystyka wyraźnie wskazuje, że AJEE i RZ to wyspecjalizowane narzędzia, których dane – podstawowo – są silosowane, a uzyskane z nich „obrazy sytuacyjne” warunków pracy SEE wydają się „rozdzielne”. Jednak jednym z możliwych obszarów synergii AJEE i RZ jest współdzielenie wybranych danych pozyskiwanych przez AJEE i RZ na potrzeby uszczegółowienia informacji o JEE w danej stacji SEE (lub jej części).

### 3.2. Koncepcja wykorzystania RZ do wsparcia zarządzania JEE

Ideę *fix* niestandardowego wykorzystania RZ do wsparcia zarządzania JEE przedstawiono na rysunku 5. Ma to stanowić narzędzie – przysłowiową „maszynkę” – uruchamianą po wykryciu zaburzenia JEE w danej stacji. Wówczas intencjonalnie (najlepiej podczas trwania tego zaburzenia) zostaną zdalnie wyzwolone rejestracje w RZ we wszystkich polach tej stacji. Uzyskane dane – przeliczone w tym narzędziu – umożliwią określenie charakteru i udziału obiektów (lub grupy obiektów) przyłączonych do poszczególnych pól stacji w wywoływaniu wyższych harmonicznych w napięciu w stacji. Zapewni to oczekiwane wsparcie w identyfikacji źródeł zaburzeń JEE w SEE, poprzez uzupełnienie danych normatywnych z SMJEE pozyskanych z AJEE.



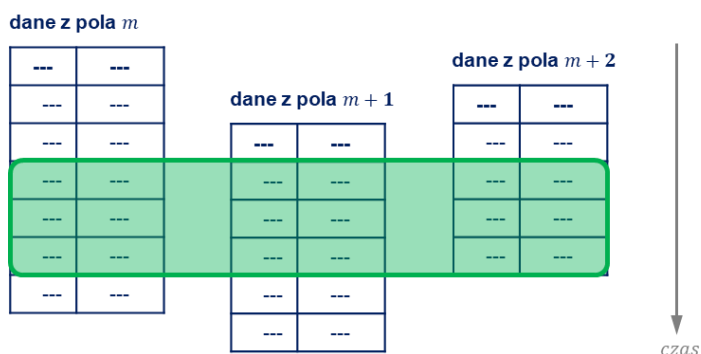
Rys. 5. Idea niestandardowego wykorzystania RZ do wsparcia zarządzania JEE

Użycie narzędzia (rys. 5) polega na realizacji szeregu działań cząstkowych, podzielonych na kilka etapów. W prototypie narzędzia przyjęto, że pierwszy etap składa się z kilku czynności przygotowawczych. Są to czynności proste lub wymagające użycia zewnętrznych narzędzi, których nie automatyzowano w ramach prototypu. W ramach tego etapu sprawdzana jest użyteczność danych z RZ, m.in.:

- istnienie wspólnego okna rejestracji danych z RZ – koncepcja opracowanej metody wymaga porównywania wartości parametrów wielkości wyznaczanych z danych ze wszystkich uwzględnianych RZ dla identycznych chwil czasowych (patrz rysunek 6),
- poprawność strzałkowania (określenia kierunków) sygnałów prądowych oraz zbilansowanie mocy i prądów – dla stacji (lub jej części) suma wartości prądów oraz mocy czynnej i biernej wyliczonych z danych z RZ powinna być zerowa (z uwzględnieniem niedokładności wynikających z klasy dokładności przyrządów pomiarowych); ten krok weryfikacji pozwala Użytkownikowi m.in. na identyfikację błędów strzałkowania sygnałów prądowych (przykład wyniku prototypu narzędzia dla rzeczywistych danych zarejestrowanych przez RZ przedstawiono na rysunku 7),

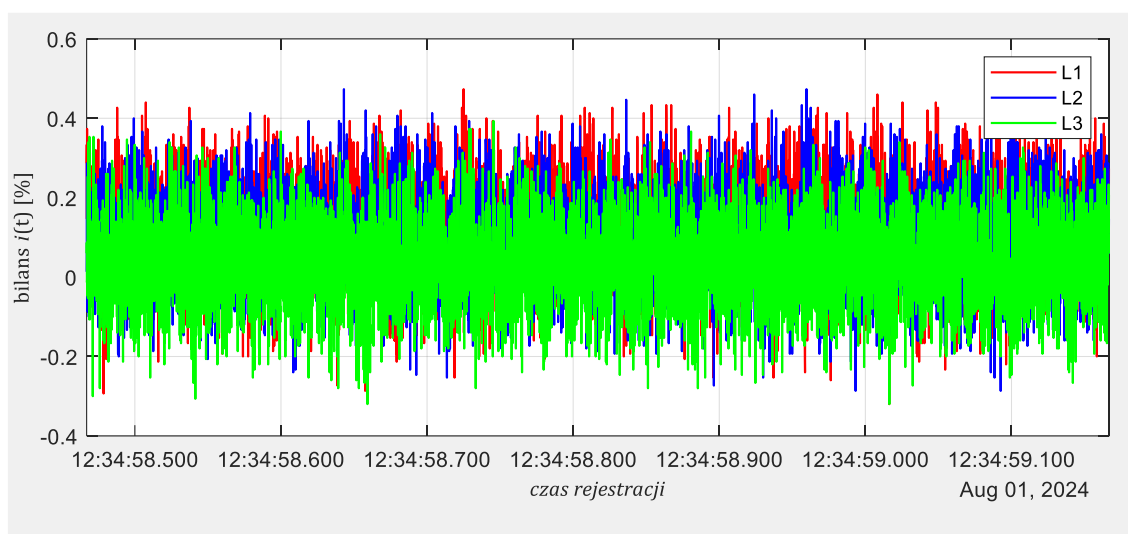
**KROK 1** | Wyznaczenie chwil czasowych rejestracji każdej próbki danych z RZ

**KROK 2** | Ułożenie próbek danych z RZ na osi czasu



**KROK 3** | Zapisanie danych z pola zielonego jako okna analizy metody

Rys. 6. Ścieżka wyznaczania okna analizy dla metody



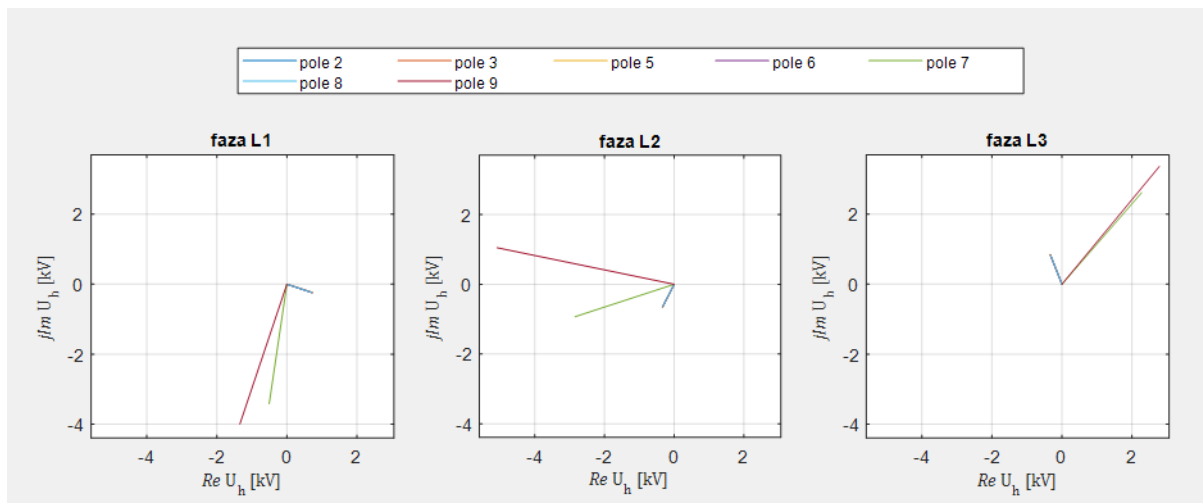
Rys. 7. Wynik prototypu – bilans wartości chwilowych sygnałów prądowych zarejestrowanych przez RZ podczas prób prototypu

- maksymalny rząd harmonicznej napięcia możliwy do oceny dla danych z RZ – jest to determinowane najmniejszą częstotliwością próbkowania ustawioną w RZ, z których pozyskiwano dane i wynika z twierdzenie Kotelnikova-Shannona (zwanego również twierdzeniem Nyquista-Shannona) określającego wymagania dt. wystarczalności odwzorowania sygnału ciągłego (sygnał w SEE) przez sygnał dyskretny (sygnał zarejestrowany przez RZ) – na potrzeby analiz dla JEE zwykle oczekuje się możliwości analizy do 50. harmonicznej.

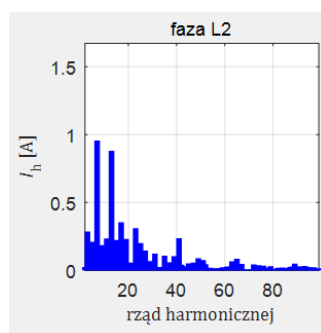
Jeśli wszystkie kroki weryfikacji dają wynik pozytywny, dane z RZ można uznać za użyteczne do analizy jakościowej.

Po etapie weryfikacji danych z RZ następuje etap ich analizy. W tym etapie dane z RZ są dekomponowane na fazy harmonicznych. Jest to realizowane metodą transformaty Fouriera i polega na przekształceniu sygnału zarejestrowanego przez RZ z dziedziny czasu na domenę częstotliwości, co umożliwia określenie widma częstotliwościowego tego sygnału i zidentyfikowanie zawartości harmonicznych w tym sygnale. Taka dekompozycja jest wykonywana dla każdego z fazowych sygnałów napięciowych i prądowych. Wskazuje się, że – teoretycznie – dla sygnałów napięciowych wystarczająca reprezentacja warunków napięciowych w stacji mogłaby się ograniczać do prezentacji i analizy dla mediany, jednak w prototypie postanowiono wykorzystać dodatkowe korzyści z dysponowania danymi z RZ ze wszystkich pól – analiza wszystkich sygnałów napięciowych pozwala Użytkownikowi na identyfikację ewentualnych znacznych błędów podyktowanych np. nieliniowością transformacji harmonicznych przez poszczególne przekładniki napięciowe. Taki przypadek odnotowano podczas badań prototypu i było to podyktowane niejednakowym typem przekładników napięciowych w dwóch polach badanej części stacji – w jednym z tych pól wyznaczona zawartość 7 harmonicznej sięgała prawie 2% wartości podstawowej harmonicznej napięcia,

gdy w pozostałych była praktycznie identyczna i nie przekraczała 0,5% (niejednakowość dotyczyła także kąta fazowego fazora napięcia tej harmonicznej) – porównanie wyznaczonych fazorów 7 harmonicznej napięcia dla tego przypadku przedstawiono na rysunku 8 (przedstawione badania dotyczyły rozdzielni 8-polowej). Na rysunku 9 przedstawiono wyniki identyfikacji zawartości wyższych harmonicznych zrealizowanej z wykorzystaniem prototypu narzędzia dla jednego z pól tej stacji, dla wybranej fazy.



Rys. 8. Wynik prototypu – wykresy fazorów 7 harmonicznej wyodrębnionych z sygnałów napięciowych zarejestrowanych przez RZ podczas prób prototypu



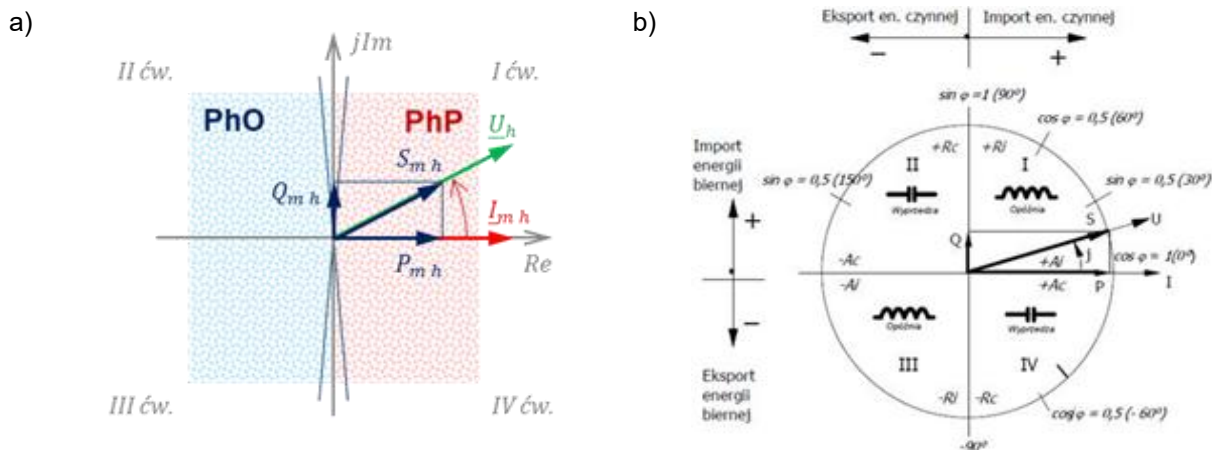
Rys. 9. Wynik prototypu – zawartość harmonicznych wyodrębnionych z sygnału prądowego fazy L2 zarejestrowanego przez RZ podczas prób prototypu

Identyfikacja wartości poszczególnych harmonicznych w sygnałach zarejestrowanych przez RZ pozwala na wskazanie dominujących harmonicznych napięcia w analizowanym węźle/stacji. Dla tych harmonicznych możliwe będzie wykonanie analizy szczegółowej w opracowanej koncepcji narzędzia, która polega na klasyfikacji charakteru pól dla analizowanej harmonicznej oraz wyliczeniu udziału każdego z pól stacji w zaburzeniu jakości napięcia tą harmoniczną.

Klasyfikacja charakteru pola odbywa się z wykorzystaniem *kryterium kierunku przepływu zespolonej mocy pozornej harmonicznej*, wyróżniając kierunek „pobór” mocy harmonicznej lub „oddanie” mocy harmonicznej. Celem maksymalizacji intuicyjności stosowania kryterium, w koncepcji twórczo wykorzystano nazewnictwo stosowane w pomiarach energii elektrycznej – klasyfikację przeprowadza się jako superpozycję dla mocy czynnej harmonicznej i mocy bierniej harmonicznej. Dzięki temu uzyskano analogię do wykresu „licznikowego” – ten zamysł zilustrowano na rysunku 10 – „licznikowy” import to pobór (literka P w narzędziu), a eksport to oddanie (literka O w narzędziu). Taka analogia ułatwia interpretację wyników. Dodatkowo uwzględniono możliwe błędy aparatury pomiarowej, z której pozyskuje się dane z RZ, tj. błąd wartości i błąd kątowy – w klasyfikacji – poza PhP, PhO, QhP i QhO (patrz tabela 2) – wprowadzono określenie „na granicy” (NG).

Wynikiem działania prototypu jest zestawienie informacji o zidentyfikowanym charakterze każdego z pól stacji dla analizowanej harmonicznej oraz procentowy udział każdego z pól stacji w zaburzeniu jakości napięcia harmoniczną, wyliczany poprzez porównanie wartości mocy pozornej harmonicznej w polach (iloraz mocy pozornej harmonicznej wyliczonej dla danego pola do sumarycznej mocy pozornej tej harmonicznej w stacji).





Rys. 10. Idea kryterium kierunku przepływu zespolonej mocy pozornej  $h$ -tej harmonicznej – dla mocy czynnej (a); wykres „licznikowy” – rozdział energii na cztery kwadranty (b)

|     |                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PhP | Moc czynna $h$ -tej harmonicznej pobór   | Przepływ mocy harmonicznej przez pole w kierunku „do szyn” – odpowiada to obecności w polu źródła harmonicznej wprowadzającego harmoniczną do stacji bądź przepływ harmonicznej przez to pole jest wymuszony przez jej źródła poza tym polem                     |
| QhP | Moc bierna $h$ -tej harmonicznej pobór   |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| PhO | Moc czynna $h$ -tej harmonicznej oddanie | Przepływ mocy harmonicznej przez pole w kierunku „do pola” – odpowiada to obecności w polu źródła harmonicznej wymagającego dostarczenia harmonicznej z otoczenia stacji bądź przepływ harmonicznej przez to pole jest wymuszony przez jej źródła poza tym polem |
| QhO | Moc bierna $h$ -tej harmonicznej oddanie |                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Tabela 2. Klasyfikacja charakteru pól dla harmonicznej

### 3.3. Wyzwania wykorzystania RZ do wsparcia zarządzania JEE

Przeprowadzone testy komponentów prototypu uwidoczniły szereg wyzwań. Największym wyzwaniem – istotnie ograniczającym obecnie operacyjne użycie narzędzia – jest konieczność „ręcznego” wyzwalania intencjonalnych rejestracji w RZ. Zgodnie z podejściem stosowanym przez OSP, RZ – co do zasady – są wyzwalane automatycznie w wyniku zadziałania zabezpieczeń – jest to ich podstawowe zadanie, z którego wywiązują się bardzo dobrze, czego dowodzi wieloletnia praktyka. Natomiast „ręczne” wyzwolenie (czyli wyzwolenie na żądanie) jest traktowane jako operacja nadzwyczajna i uruchamia rejestrację tylko w danym RZ lub w niewielkiej grupie RZ – limituje to możliwość pożądanego zdalnego wykonania intencjonalnych rejestracji przez wszystkie RZ w stacji i wymusza konieczność udziału służb eksploatacji w pozyskaniu danych z RZ. Służby te muszą dotrzeć na stację, co z kolei wywołuje wysokie ryzyko, że rejestracje zostaną wykonane po ustaniu zaburzenia (wówczas dane są już nieużyteczne do analizy jakościowej). Co więcej, konieczność „ręcznego” wyzwalania intencjonalnych rejestracji w poszczególnych RZ zwykle powoduje niejednoczesność tych rejestracji i – w konsekwencji – brak wspólnego okna czasowego, co również wyklucza te dane z analizy. Dlatego każdą z paczek danych z RZ trzeba weryfikować, co przy podejściu manualnym wymaga dużego wysiłku. W prototypie zautomatyzowano te działania, opracowując dedykowany komponent przygotowania i weryfikacji danych z RZ. Drugim z wyzwań, które wynika z dotychczasowego podejścia do RZ, jest odmienność strzałkowania prądów – RZ, analogicznie jak zabezpieczenia, strzałkuje się odbornikowo, czyli do obiektu, natomiast AJEE strzałkuje się źródłowo, czyli do szyn stacji. Wymaga to skorygowania każdego z sygnałów prądowych zarejestrowanych przez RZ w ramach przygotowania danych dla narzędzia. Niemniej, korektę kierunkowości danych z RZ można łatwo zautomatyzować, co ujęto w prototypie.

Podkreśla się, że wskazane dwa z wyzwań związanych z pozyskiwaniem danych z RZ na potrzeby analiz JEE są determinowane niestandardowością tego zadania dla RZ [7] – organizacja RZ w stacjach OSP nie jest podstawowo przygotowana do wykonywania ww. zadań. Niemniej, realizacja pracy badawczo-rozwojowej pozwoliła na ich identyfikację i wypracowanie rozwiązań, które – po decyzji o operacyjnym wykorzystaniu metody – będą wdrażane w ramach działań OSP.

Testy prototypu z wykorzystaniem danych rzeczywistych pozyskanych z RZ ze stacji PSE pozwoliły również na zebranie pierwszych doświadczeń dt. analizy wyników opracowanej metody. W układach sieciowych, w których źródło lub źródła zaburzające JEE są przyłączone do stacji lub w jej bezpośrednim sąsiedztwie, wyniki prototypu narzędzia pozwalają na szybką identyfikację takich obiektów oraz określenie,

w jakim stopniu poszczególne z nich przyczyniają się do tego zaburzenia. Natomiast w złożonych przypadkach, w których źródła zaburzeń są zlokalizowane w odległych stacjach, a dana stacja jest swoistą „stacją pośrednią”, interpretacja wyników może wymagać znajomości charakteru pracy obiektów już nie tylko w stacji, ale i w jej otoczeniu sieciowym.

#### 4. Podsumowanie

Realizowana praca badawczo-rozwojowa pozwala wnioskować, że dysponowanie danymi z RZ i ich odpowiednie przetworzenie może pozwalać na uszczegółowienie „obrazu sytuacyjnego” JEE w stacji, w zakresie wyższych harmonicznym w napięciu. Umożliwi to wsparcie procesu identyfikacji obiektów przyczyniających się do zaburzenia JEE, wprowadzających harmoniczne do SEE.

Podsumowując wykonaną pracę, można jej realizację przedstawić jako kilka cykli PDCA. Idea *fix* pracy zakładała, że powstanie przysłowiowa „maszynka”, uruchamiana po wykryciu zaburzenia JEE w danej stacji. Wówczas intencjonalnie powinny zostać zdalnie wyzwolone rejestracje w RZ we wszystkich polach tej stacji. Uzyskane dane – przeliczone w tej „maszynie” – umożliwią proste wskazanie źródeł wyższych harmonicznym w napięciu w stacji. Pierwszy z tych cykli PDCA to bardzo rozbudowany przegląd, w którym poszukiwano literaturowych metod identyfikacji źródeł wyższych harmonicznym w napięciu. Niestety, wyniki przeprowadzonej oceny doprowadziły do konkluzji o braku rekomendacji ich użycia dla zdefiniowanych celów. Stanowiło to przesłankę do opracowania metody własnej. Tego dotyczył drugi z cykli PDCA w pracy. W ramach tego cyklu opracowano i przetestowano koncepcję tej metody. Podczas tych testów potwierdzono jej potencjalną użyteczność. Dodatkowo zidentyfikowano kilka wyzwań związanych z intencjonalnym pozyskiwaniem danych z RZ (zadanie ponadstandardowe dla „typowej” organizacji RZ w stacjach OSP). Celem zminimalizowania wpływu tych wyzwań, opracowano komponent przetwarzania i weryfikacji danych z RZ. Ujęto go w prototypie narzędzia, który zbudowano i przetestowano w ramach trzeciego cyklu PDCA. Potwierdzono potencjał narzędzia w uszczegóławianiu „obrazu sytuacyjnego” harmonicznym. Obecnie przewidziane jest uruchomienie pilotażu w jednej ze stacji OSP, dla której została opracowana i wdrożona nowa organizacja RZ. Umożliwi to dalsze testy prototypu narzędzia, aby uzyskać jak najwyższą jego operacyjność i zebrać cenne doświadczenia z praktycznego użycia.

Podkreśla się, że opracowana koncepcja metody i prototyp narzędzia to nowatorskie podejście do zagadnienia identyfikacji źródeł zaburzeń JEE wyższymi harmonicznymi napięcia. Podkreśla się, że należałoby rozważyć uszczegółowienie „obrazu sytuacyjnego” JEE o wybrane pozostałe normatywne wskaźniki jakościowe. Wymaga to jednak przeprowadzenia analogicznych działań badawczo-rozwojowych.

#### Literatura

- [1] Rzepka Piotr, Szablicki Mateusz, Trębski Robert, Grid Forming Capability - idea, definicja, motywacja stosowania. W: Elektroenergetyka w okresie transformacji / Lubośny Zbigniew (red.), 2025, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, s.353-365, ISBN 978-83-7348-950-9
- [2] Szablicki Mateusz, Rzepka Piotr, Halinka Adrian, Diagnosis of challenges for power system protection – selected aspects of transformation of power systems. W: W: Modern electric power systems: MEPS'19. International conference, September 9-12, 2019, Wrocław, Poland. Proceedings, 2019, Institute of Electrical and Electronics Engineers, s.1-5, ISBN 978-1-7281-1642-6.
- [3] Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska ws. szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego.
- [4] Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska w sprawie systemu pomiarowego.
- [5] Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska w sprawie szczegółowych wymagań dla elementów zespołu urządzeń służących do wyprowadzenia mocy oraz dla elementów stacji elektroenergetycznych zlokalizowanych na morzu.
- [6] Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska w sprawie sposobu kształtowania i kalkulacji taryf oraz sposobu rozliczeń w obrocie energią elektryczną.
- [7] Standard Techniczny PSE S.A.: Urządzenia elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej i układy z nią współpracujące, stosowane na stacjach elektroenergetycznych WN i NN.