

Dr hab. inż. Jerzy Tchórzewski, prof. UPH
Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach
Wydział Nauk Ścisłych, Instytut Informatyki
08-110 Siedlce, ul. 3-Maja 54

Warszawa, 09.03.2019 r.

Adres do korespondencji: 08-110 Siedlce, ul. Starowiejska 47a

Dotyczy: Umowa nr 0003/02/W5/2019 z dnia 01.02.2019 r. na opracowanie recenzji

Recenzja rozprawy doktorskiej dla Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej

Tytuł rozprawy: **Zastosowanie analizy skupień oraz globalnego wskaźnika jakości energii do identyfikacji i oceny różnych stanów pracy elektroenergetycznych sieci górniczych w aspekcie jakości energii elektrycznej**

Autor rozprawy: **Mgr inż. Michał Jasiński**

Promotor: **dr hab. inż. Tomasz Sikorski, prof. PWr.**

Promotor pomocniczy: **dr inż. Paweł Kostyla**

Konsultanci KGHM Polska Miedź S.A.: **mgr inż. Robert Sośnicki,**

mgr inż. Klaudiusz Borkowski

Miejsce wydania rozprawy: **Wydział Elektryczny Politechniki Wrocławskiej, Wrocław,
2019 r.**

1. Autor rozprawy w sposób jasny i wyczerpujący wskazał, że:

„Celem pracy jest opracowanie i zbadanie metody oceny jakości energii elektrycznej bazującej na analizie skupień oraz zastosowaniu globalnego wskaźnika jakości energii elektrycznej, dzięki której możliwe będzie zidentyfikowanie i ocena różnych stanów pracy badanej sieci elektroenergetycznej pod kątem jakości energii elektrycznej”

oraz dodał, że:

„Możliwości zastosowania opracowanej metody zostaną zbadane na przykładzie elektroenergetycznych sieci górniczych z udziałem generacji rozproszonej, a interpretacja uzyskanych wyników nastąpi przez odniesienie do informacji pochodzących z systemów dyspozytorskich stosowanych w sieciach kopalnianych”.

oraz tezę rozprawy sformułował następująco:

„Dzięki zastosowaniu analizy skupień dla danych jakości energii elektrycznej pozyskiwanych łącznie z wielu punktów pomiarowych uzyska się możliwość identyfikacji okresów pracy badanej sieci elektroenergetycznej charakteryzujących się różnym poziomem parametrów jakości energii elektrycznej, a następnie przez zastosowanie globalnego wskaźnika jakości energii elektrycznej otrzyma się sposób oceny zidentyfikowanych okresów. Opracowana metoda pozwoli między innymi na ocenę wpływu generacji rozproszonej na parametry jakości energii elektrycznej w elektroenergetycznych sieciach górniczych”.

Już na początku Autor słusznie zauważa, że jednym z elementów oceny współpracy generacji rozproszonej z siecią elektroenergetyczną jest ocena wpływu na parametry jakości energii w punkcie przyłączenia oraz ogólniej w węzłach sieci zawierającej generację rozproszoną wskazując m.in., że dotychczas stosowane metody bazują na analizie wpływu na poszczególne parametry odrębnie z wykorzystaniem danych uzyskanych metodami symulacyjnymi oraz metodami wykorzystującymi rzeczywiste dane pomiarowe.

Jednakże ze względu na to, iż w praktycznych rozwiązaniach analiza prowadzona jest w sposób jednoczesny, tak w odniesieniu do punktu przyłączenia, jak i wybranych węzłów sieci, stąd też z reguły przeprowadza się analizę wieloparametryczną i wielopunktową.

Tymczasem, jak dalej słusznie konstataje Doktorant, analiza skupień dostarcza metody do przeprowadzenia analizy na wspólnej bazie danych parametrów jakości energii pochodzących z poszczególnych punktów pomiarowych, co umożliwia utworzenie skupień danych, to jest takiego ich pogrupowania, że zostaną włączone w podzbiory ze względu na wspólne wartości parametrów. W związku z tym Doktorant zauważył, że istnieje możliwość identyfikacji danych związanych z uwarunkowaniami pracy sieci, w tym udziału generacji rozproszonej i następnie poddanie ich ocenie tak, by uzyskać możliwości porównania stanu pracy sieci w zidentyfikowanych uwarunkowaniach. A taka sytuacja umożliwi w dalszej kolejności ocenę danych w skupieniach w sposób inny niż typowo klasyczny wieloparametryczny, to jest za pomocą globalnych wskaźników jakości energii elektrycznej, co wiąże się z ich uogólnieniem, ale kosztem uproszczenia interpretacji o ocenie.

Realizacja ww. tezy rozprawy w celu osiągnięcia wniosków końcowych, tj. uzyskania oceny wpływu generacji rozproszonej na parametry jakości energii elektrycznej w elektroenergetycznych sieciach została przez Doktoranta udowodniona w oparciu o przeprowadzone badania z wykorzystaniem zaproponowanej metody oceny wpływu generacji rozproszonej na warunki pracy sieci kopalnianej opartej na analizie skupień

wielopunktowych danych pomiarowych jakości energii elektrycznej z wykorzystaniem globalnych wskaźników jakości energii. Rzeczywiste wielopunktowe dane pomiarowe zostały zebrane z różnych systemów pomiarowych i dyspozytorskich sieci kopalnianych zakładów górniczych Kopalni Polkowice Głównie oraz uzupełniających danych z pomiarów jakości energii elektrycznej w wybranych węzłach sieci O/ZG Polkowice-Sierszowice.

W wyniku przeprowadzonych badań mgr inż. Michał Jasiński stwierdził m.in., że analiza skupień jest skutecznym narzędziem wstępnej identyfikacji danych dotyczących jakości energii ze względu na zmiany warunków pracy generacji rozproszonej z wykorzystaniem okresu pracy i planowanego wyłączenia generacji rozproszonej, które dalej można poddawać ocenom takim jak zaproponowany w pracy globalny wskaźnik jakości energii elektrycznej w celu uzyskania miary liczbowej skupienia danych pod względem parametrów jakości energii elektrycznej. Doktorant skuteczność zaproponowanej metody zweryfikował na przykładzie zbioru danych zsynchronizowanych pochodzących z czterech punktów pomiarowych jakości energii elektrycznej.

Autor uzyskał też wiele innych wyników badań takich jak m.in. wykazał, że rozszerzenie liczby zadanych skupień z 2 do 5 daje możliwość wyodrębnienia dalszych podzbiorów danych parametrów jakości energii elektrycznej, charakterystycznych nie tylko ze względu na udział bądź brak generacji rozproszonej, ale również związanych z innymi uwarunkowaniami pracy sieci, jak też powiązanie uzyskanych skupień danych z informacjami pochodzącymi z innych systemów stosowanych w sieciach kopalnianych, takich jak system dyspozytorski WINDEX oraz System Informowania Dyspozytorów SIDEM, który umożliwia zinterpretowanie uzyskanego podziału danych jakościowych na skupienia ze względu na inne uwarunkowania pracy badanej sieci niż udział generacji rozproszonej, w tym na okresy rekonfiguracji układu sieci, okresy wydobywania i przerw technologicznych.

Dodatkowym rezultatem badań jest też wskazanie przez Doktoranta możliwości wykorzystania analizy skupień jako alternatywnego narzędzia do realizacji koncepcji oznaczania danych w stosunku do klasycznej metody bazującej na klasyfikacji zdarzeń. Autor wykazał też, że w przypadku omawianego sposobu możliwe jest również osiągnięcie tzw. synchronicznego oznaczenia danych we wszystkich punktach pomiarowych na skutek zdarzenia odnotowanego w co najmniej w jednym punkcie pomiarowym.

Na bazie m.in. ww. wyników badań Doktorant zauważył ostatecznie m.in., że:
na skuteczność podziału danych na grupy, ze względu na możliwość dopasowania grup do uwarunkowań, wpływ mają m.in.:

- przyjęta budowa zbioru danych,
 - zadana liczba skupień (w przypadku dwu skupień uzyskuje się skuteczny podział na dane odpowiadające włączeniu i wyłączeniu generacji rozproszonej, a dla większej liczby skupień możliwe jest wyodrębnienie danych skojarzonych z innymi uwarunkowaniami pracy sieci),
 - wpływ rodzaju algorytmu analizy skupień oraz definicji odległości nie są tak znaczące jak wskazana przyjęta budowa zbioru danych i zadana liczba skupień,
 - powiązanie wyników analizy skupień wielopunktowych danych JEE z danymi z systemów WINDEX (system dyspozytorski) oraz SIDEM (System Informowania Dyspozytorów), co pozwala na interpretację identyfikacji danych w skupieniach z uwarunkowaniami pracy sieci kopalnianej, wśród których wyróżniono: pracę generacji rozproszonej (włączona lub wyłączona), charakter pracy zakładu (okres wydobywania lub okres rewizji maszyn i urządzeń), rekonfigurację połączeń układu sieci,
 - zastosowanie globalnych wskaźników jakości energii elektrycznej upraszcza ocenę warunków jakościowych pracy sieci we wskazanych przez analizę skupień okresach poprzez odejście od wieloparametrycznej oceny na rzecz jednego parametru liczbowego (wskaźnika globalnego) przez co uzyskuje się ułatwienie interpretacji porównania wpływu uwarunkowań na warunki pracy sieci, a w szczególności wpływu generacji rozproszonej, przy czym zaproponowany wskaźnik poszerzony o wartości 200-milisekundowe uwrażliwia ocenę pod względem szybkich zmian w stosunku do wykorzystania wskaźnika z parametrami branymi pod uwagę przy klasycznej ocenie.
2. Doktorant wykazał się wystarczającą wiedzą z zakresu możliwości wykorzystania metod analizy skupień oraz globalnego wskaźnika jakości energii do identyfikacji i oceny różnych stanów pracy elektroenergetycznych sieci górniczych w aspekcie jakości energii elektrycznej, gdyż opublikował 36 prac ogółem¹ zarejestrowanych w bazie DONA Politechniki Wrocławskiej, których był autorem lub współautorem, przy czym 33 publikacje naukowe są publicznie dostępne, z tego: dwie prace indeksowane w bazie Web of Science Core Collection oraz dwie w bazie SCOPUS.
- Na uwagę zasługuje też fakt, iż w toku realizacji rozprawy Doktorant zgromadził i wykorzystał rzeczywiste dane liczbowe pozyskane od KGHM Polska Miedź S.A., które podzielił na trzy zbiory (bez standaryzacji i ze standaryzacją):

¹ Wykazanych w bazie DONA (Centrum Wiedzy i Informacji Naukowo-Technicznej Politechniki Wrocławskiej) – dostęp w dniu 09.03.2018 r.



- **zbiór A** zawierający dane pomiarowe takie jak: częstotliwość, wartość skuteczna napięcia, długotrwały wskaźnik migotania światła, asymetria napięcia, całkowity współczynnik zawartości harmoniczných w napięciu;
- **zbiór B** zawierający te same dane jak zbiór A z wyjątkiem włączenia krótkotrwałego wskaźnika migotania światła w miejsce długotrwałego wskaźnika migotania światła;
- **zbiór C** zawierający te same dane pomiarowe jak zbiór B, a ponadto, wartość mocy czynnej,

przy czym rezultaty zastosowania analizy skupień dla celów identyfikacji i oceny przedstawiono na dwóch przykładach: danych zastosowanych do automatycznej identyfikacji danych oznaczonych oraz danych zastosowanych do identyfikacji i analizy skupień reprezentujących charakterystyczne stany pracy sieci kopalnianej, zwłaszcza pod względem udziału w generacji rozproszonej. Jako narzędzie do przeprowadzania badań na ww. danych pomiarowych Doktorant wykorzystał środowisko Statistica.

3. Przedstawiony tekst rozprawy nosi charakter samodzielnej monografii naukowej, napisanej w sposób profesjonalny, która została uzupełniona o rozwiązania o charakterze aplikacyjnym, stąd już na wstępie pragnę zauważyć, że rozprawa zasługuje na bardzo wysoką ocenę.

Rozprawa została napisana na 151 stronach kart formatu A4 zapisanych jednostronnie o strukturze 7 zasadniczych rozdziałów ponumerowanych oraz 7 nieponumerowanych. Na rozdziały ponumerowane (a w nich podrozdziały) składają się kolejno:

Rozdział 1. Wprowadzenie,

Rozdział 2. Eksploracja danych,

Rozdział 3. Wybrane zagadnienia uwarunkowań pracy sieci kopalnianych,

Rozdział 4. Opis obiektu badań i źródeł danych,

Rozdział 5. Badania nad zastosowaniem analizy skupień jako narzędzia wspierającego ocenę pracy elektroenergetycznych sieci górniczych z generacją rozproszoną,

Rozdział 6. Badania możliwości zastosowania globalnego wskaźnika jakości energii elektrycznej w celu syntetycznej oceny stanów pracy elektroenergetycznych sieci górniczych pod kątem jakości energii elektrycznej,

Rozdział 7. Wnioski końcowe i propozycje kontynuacji badań.

Na części nieponumerowane składają się: strona tytułowa, strona podziękowań, spis treści, streszczenie w języku polskim i w języku angielskim, wykaz ważniejszych oznaczeń i symboli, literatura zawierająca 88 prac, które zostały w sposób wystarczający omówione w rozprawie, spis 18 tabel, spis 38 rysunków oraz załącznik ze schematem sieci KPG, poziom SN.

4. Omawiając eksplorację danych (ang. data mining) Doktorant wykazał się znajomością przedmiotu badań, m.in. wskazał m.in., że istnieją różne techniki eksploracji danych wykorzystywane w systemie elektroenergetycznym, spośród których w analizie skupień zaproponował zastosowanie metody k-średnich z wykorzystaniem odległości Czebyszewa oraz odległości euklidesowej z liczbą skupień od 2 do 5. Jako dane pomiarowe wykorzystał m.in. zbiór danych B, to jest zbiór 10-minutowych danych pomiarowych: częstotliwości, wartości skutecznej napięcia, krótkookresowego wskaźnika migotania światła, współczynnika asymetrii napięcia oraz całkowitego współczynnika zawartości harmonicznych w napięciu. W wyniku analizy skupień osobno dla każdego punktu pomiarowego w pierwszej kolejności Autor uzyskał dwa skupienia, to jest **skupienie 1** reprezentujące zbiór 10-minutowych danych pomiarowych zbioru B, niezawierających danych, w trakcie których mogło nastąpić dynamiczne zdarzenie napięciowe oraz **skupienie 2** reprezentujące zbiór 10-minutowych danych pomiarowych zbioru B, których wartości świadczą o tym, że podczas czasu agregacji mogło wystąpić zdarzenie napięciowe.

Uzyskane wyniki skupień w porównaniu z metodą klasyczną, to jest z wynikami uzyskanymi na podstawie klasyfikacji zdarzeń odnotowanych w rejestratorach pokazują na wysoką skuteczność klasyfikacji zdarzeń metodą analizy skupień w automatycznym wykonywaniu oznaczania danych wynoszącym średnio 70,6%, a w przypadku podziału danych na oznaczone i nieoznaczone aż do 99,0%.

W przypadku zastosowania analizy skupień do koncepcji oznaczania danych wspólnie dla danych pomiarowych z zastosowaniem algorytmu k-średnich i odległości Czebyszewa oraz zadanej liczby skupień 2 Doktorant uzyskał: skupienie 1 reprezentujące zbiór danych nieoznaczonych, to jest dla których w żadnym punkcie pomiarowym nie wystąpiło zdarzenie napięciowe oraz skupienie 2 reprezentujące zbiór danych oznaczonych, to jest dla których w co najmniej jednym punkcie pomiarowym wystąpiło zdarzenie napięciowe.

Uzyskane wyniki skupień w porównaniu z metodą klasyczną, to jest z wynikami uzyskanymi na podstawie klasyfikacji zdarzeń odnotowanych w rejestratorach pokazują na

wysoką skuteczność jednoczesnego (synchronicznego) oznaczania danych we wszystkich punktach pomiarowych na skutek zdarzenia odnotowanego w co najmniej w jednym punkcie pomiarowych z zastosowaniem metody analizy skupień, wskaźnik wyniósł aż 96,6%, a w przypadku podziału danych na oznaczone i nieoznaczone aż do 99,9%.

W podobny sposób Doktorant przeprowadził pogłębione badania na bazie danych pomiarowych zbioru A i zbioru B, w tym ww. zbiorów poddanych standaryzacji (zbiór As i Bs), wykazując tym samym wysokie przygotowanie merytoryczne do prowadzenia pogłębionych i szerokich badań z wykorzystaniem metody analizy skupień i globalnego wskaźnika jakości energii, przy wykorzystaniu metody k-średnich, odległości Czebyszewa bądź odległości euklidesowej oraz dwóch grup i pięciu grup skupień.

Autor podjął też wiele innych ciekawych i istotnych badań, w tym m.in. próbę doboru optymalnej liczby skupień dla algorytmu k-średnich z wykorzystaniem odległości Czebyszewa i odległości euklidesowej. W V-krotnym eksperymencie krzyżowym przyjął zbiory danych C i Cs (zbiór C po standaryzacji) następujące parametry: liczba prób – 2, jądro generatora liczb losowych – 2, minimalna liczba skupień – 2, maksymalna liczba skupień – 25, minimalny spadek – 5%.

Uzyskane wyniki klasyfikacji zostały odniesione do pracy generacji rozproszonej na podstawie informacji z systemu dyspozytorskiego WINDEX, danych z Systemu Informowania Dyspozytorów SIDEM dotyczącego konfiguracji systemu oraz charakteru pracy sieci Kopalni Polkowice Głównie. Uzyskano dla danych zbioru C i odległości euklidesowej oraz dla odległości Czebyszewa po trzy skupienia, a dla zbioru Cs dla odległości euklidesowej pięć skupień, a dla odległości Czebyszewa 2 skupienia, co w odniesieniu do uwarunkowań zewnętrznych potwierdziło tezę Doktoranta, że zasadnym jest przeprowadzenie analizy skupień dla różnych parametrów jako zagadnienie wstępne w procesie uzyskania wiedzy o systemie.

W dalszych badaniach Autor przeprowadził także hierarchiczną analizę skupień, która z założenia nie wymaga określenia końcowej liczby grup, gdyż w rezultacie uzyskuje się zawsze klasyfikację jednoskupieniową reprezentującą cały zbiór danych, sprowadzany do dendrogramu wskazującego na przebieg łączenia się w poszczególne grupy od klasyfikacji, gdy wszystkie dane należą do osobnych skupień. Do realizacji hierarchicznej analizy skupień słusznie wykorzystał Autor algorytm Warda z racji małego zróżnicowania wyników klasyfikacji. Analiza wyników doprowadziła Autora do przekonania, że optymalną liczbą

skupień jest podział na dwa skupienia albo aż na 6 skupień (dla których odległość łączenia nie jest mniejsza niż 100).

5. Drugim istotnym elementem pracy doktorskiej poza badaniami w zakresie analizy skupień są badania nad możliwością zastosowania globalnego wskaźnika jakości energii elektrycznej w celu syntetycznej oceny stanów pracy elektroenergetycznych sieci górniczych pod kątem jakości energii elektrycznej, zwłaszcza z punktu widzenia oceny wpływu generacji rozproszonej na warunki pracy sieci elektroenergetycznej kopalnianej. Skupienia danych reprezentujących różne warunki pracy sieci odpowiadające różnemu udziałowi generacji rozproszonej Doktorant wydzielił za pomocą analizy skupień, co było poprawnym kierunkiem analizy wstępnej. Następnie podjął badania w zakresie oceny danych zgromadzonych w poszczególnych skupieniach, zauważając występujące przy takiej ocenie utrudnienia takie jak np. występowanie nierównego okresu czasu dla danych zakwalifikowanych do poszczególnych skupień, czy też określenie sposobu oceny danych w skupieniach z możliwością odróżnienia specyficznych własności wynikających z każdego skupienia.

Doktorant słusznie odnotował m.in., że istniejące klasyczne metody oceny jakości pozwalają co prawda na ocenę, ale w czasie zbyt długim (co najmniej jednego tygodnia) oraz w sposób odrębny dla każdego parametru jakości energii. Z tych między innymi względów zaproponował dwa globalne wskaźniki jakości energii elektrycznej, to jest tzw. wskaźnik danych zagregowanych (WDZ) oraz wskaźnik danych oznaczonych (WDO), które przetestował na próbie danych z analizowanych czterech punktów SN wstępnie pogrupowanych z wykorzystaniem algorytmu k – średnich z odległością euklidesową na 2 i 5 skupienia.

W wyniku przeprowadzonej analizy na ww. eksperymencie badawczym Doktorant uzyskał różne poziomy ww. obu wskaźników, które w sposób dokładny przedstawił w pracy i zinterpretował, w tym m.in. wskazując na spadek globalnego wskaźnika, co wiązało się z poprawą ogólnych warunków oceny jakości energii elektrycznej. Porównał też ze sobą różne uwarunkowania pracy sieci górniczej z wykorzystaniem analizy jakościowej danych przypisanych do poszczególnych skupień w aspekcie generacji rozproszonej.

6. Pan mgr inż. Michał Jasiński dokonał w sposób poprawny przeglądu literatury przedmiotu zarówno w zakresie algorytmów analizy skupień, zwracając m.in. uwagę na wiele możliwych metod wykorzystywanych do pomiaru odległości (p. 2.4), jak też w zakresie poszukiwania globalnego wskaźnika jakości energii elektrycznej (p. 6.1).



Doktorant w sposób właściwy zwrócił też uwagę na stan literatury przedmiotu w zakresie eksploracji danych (ang. data mining), w tym na różne techniki eksploracji danych, nawet takie jak sztuczne sieci neuronowe, algorytmy genetyczne czy systemy rozmyte. W sposób szczegółowy dokonał także przeglądu zastosowań różnych technik eksploracji danych w systemie elektroenergetycznym, w tym do analizy skupień takich metod jak m.in. metoda k-średnich czy SSN samoorganizujące się Kohonena, wskazując na dwie istotne grupy metod, to jest metody hierarchiczne (metodę aglomeracyjną oraz metodę rozdrobnieniową) realizowane poprzez tworzenie hierarchii klasyfikacji oraz metody niehierarchiczne oparte na przyporządkowywaniu obiektów do wcześniej określonej liczby skupień.

Pewnym niedociągnięciem rozprawy jest zbyt skromne w moim odczuciu zaprezentowanie wyników analizy literatury przedmiotu wprost w zakresie rozwiązywanego zagadnienia, to jest w zakresie zastosowania wybranych algorytmów analizy skupień i w zakresie uzyskanych własnych wyników badań, to jest m.in. własnych wskaźników jakości energii elektrycznej lub wprost wskazania, że w tym względzie otrzymane rozwiązanie jest oryginalne i pionierskie. Brak jest też jednoznacznego wskazania w jaki sposób Doktorant dokonał doboru konkretnego algorytmu analizy skupień do warunków rozwiązywanego zagadnienia, to jest algorytmu k-średnich i algorytmu Warda, czy też konkretnej miary odległości, to jest odległości Czebyszewa, czy też odległości euklidesowej.

7. Pan mgr inż. Michał Jasiński rozwiązał sformułowane zagadnienie, tezy udowodnił, cele osiągnął. Wykazał m.in., że istnieje możliwość zastosowania analizy skupień i globalnego wskaźnika jakości energii do identyfikacji i oceny różnych stanów pracy elektroenergetycznych sieci górniczych, np. spowodowanych wpływem generacji rozproszonej lub zmianami w konfiguracji układu sieci w aspekcie oceny jakości energii elektrycznej.

Do oryginalnych rozwiązań rozprawy można zaliczyć m.in.:

- przeprowadzenie badań terenowych i przegląd systemów pomiarowych oraz dyspozytorskich sieci kopalnianej, dzięki którym Doktorant zgromadził zbiory rzeczywistych danych do przeprowadzenia badań i eksperymentów badawczych,
- dokonanie przeglądu literatury przedmiotu i oceny stanu wiedzy w zakresie zastosowania metod analizy skupień w elektroenergetyce,

- zaproponowanie własnej metody oznaczania danych zarówno dla poszczególnych punktów pomiarowych oddzielnie, jak również wspólnie dla grupy punktów pomiarowych pochodzących z badanego fragmentu sieci elektroenergetycznej,
- zaproponowanie metody oceny wpływu generacji rozproszonej na parametry jakości energii elektrycznej opartej na analizie skupień wielopunktowych danych parametrów jakości energii elektrycznej traktowanych wspólnie dla wielu punktów pomiarowych z badanego fragmentu sieci elektroenergetycznej oraz wykorzystującej globalne wskaźniki jakości energii i powiązanie z informacjami o pracy badanej sieci pozyskanymi z systemów dyspozytorskich,
- przeprowadzenie badań z wykorzystaniem zaproponowanej metody pod względem wpływu konstrukcji zbioru danych wejściowych, zadanej liczby skupień, zastosowanych algorytmów analizy skupień i definicji miary odległości na rezultaty podziału danych na skupienia w odniesieniu do informacji o uwarunkowaniach pracy sieci pozyskanych z innych systemów,
- zastosowanie definicji globalnego wskaźnika jakości energii na potrzeby oceny danych przypisanych do skupień i porównanie wpływu zidentyfikowanych uwarunkowań pracy sieci na parametry jakości energii elektrycznej,
- wykonanie badania wrażliwości wskaźnika jakości energii z uwzględnieniem różnych wartości wag poszczególnych współczynników składowych.

8. Praca jest zredagowana starannie, wystarczająco zubożona rysunkami, tabelami i wzorami. Autor podał w sposób przystępny i prawidłowy opisy, objaśnienia zmiennych oraz źródła do rysunków i tabel, a także odwołania do literatury przedmiotu w tekście rozprawy. Zachował właściwą proporcję pomiędzy częścią teoretyczną i praktyczną rozprawy. Ponadto przeprowadził interpretację i dyskusję uzyskanych wyników badań, co wzmacniło jej komercyjny charakter.

Recenzowana praca zawiera wyniki badań uzyskane na wysokim poziomie badań empirycznych, które umiejętnie zostały uzupełnione o wyniki analizy teoretycznej. Istnieje możliwość kontynuacji badań m.in. w zakresie wykorzystania zaproponowanej metody w analizie dużych zbiorów danych – jak podaje Autor - np. w sieciach innych zakładów górniczych i hutniczych należących do KGHM – w szczególności O/ZG Rudna oraz HM Głogów, ze względu na przyłączone bloki gazowo-parowe lub ze względu na wpływ dominujących odbiorów, zbadanie wrażliwości metody oraz możliwości dopasowania do

zmienności parametrów badanego obiektu, przeprowadzenie badań nad doborem współczynników wagowych zastosowanych w definicji globalnego wskaźnika jakości energii elektrycznej dla potrzeb oceny ukierunkowanej na wskazane parametry lub grupy parametrów jakości energii elektrycznej czy też podjęcie prób rozszerzenia metody o aparat predykcji oceny stanu pracy badanej sieci elektroenergetycznej.

W zakresie strony redakcyjnej praca zawiera pewne błędy natury stylistycznej i gramatycznej, jak też tzw. przejęzyczenia, literówki i urwane zdania kończone od nowej linii, które generalnie rzecz ujmując nie są zbyt liczne i nie mają większego wpływu na jej czytelność, stąd ich nie przytaczam.

Podsumowanie

W podsumowaniu jednoznacznie stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska p. mgr inż. Michała Jasińskiego **stanowi oryginalne podejście** do rozwiązania aktualnego i bardzo istotnego dla praktyki sieci elektroenergetycznych zagadnienia, co zwłaszcza dotyczy kopalnianych sieci elektroenergetycznych, a dla nich rozwiązanego problemu naukowego w zakresie zastosowania analizy skupień oraz globalnego wskaźnika jakości energii do identyfikacji i oceny różnych stanów pracy elektroenergetycznych sieci górniczych w aspekcie jakości energii elektrycznej.

Uważam, że rozprawa wnosi **istotny wkład w rozwój problematyki analizy skupień i oceny jakości energii elektrycznej za pomocą globalnych wskaźników jakości, a także wykazuje odpowiednią ogólną wiedzę teoretyczną i praktyczną Doktoranta w dyscyplinie naukowej elektrotechnika oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.** Z pełnym przekonaniem stwierdzam, że rozprawa opracowana przez p. mgr inż. Michała Jasińskiego **spełnia wymagania** stawiane rozprawom doktorskim przez ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki², stąd **oceniam ją bardzo wysoko i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony** i proszę o przedyskutowanie podczas obrony następujących trzech kwestii:

Kwestia 1.

Autor rozprawy na str. 32, akapit ostatni, podaje m.in., że w przypadku oceny pracy sieci kopalnianych zastosował miarę odległości euklidesową oraz miarę odległości Czebyszewa do oceny wpływu generacji rozproszonych na warunki pracy sieci elektroenergetycznych

² Dz. U. z 2003 r., Nr 65, poz. 595, ze zm.; Dz. U. z 2016 r. poz. 882; Dz. U. z 2017 r. poz. 1789, t.j.



wskazując m.in., że wybór ww. odległości oparty został na bazie wyników badań literatury przedmiotu i potwierdzony badaniami wstępnymi dla różnych odległości stosowanych do algorytmów analizy skupień dostępnych w środowisku obliczeniowym Statistica.

Dalej na str. 65, akapit 2 p. 5.2.1 wskazuje konkretnie, że sytuacja ta dotyczy algorytmu analizy skupień o nazwie algorytm k – średnich, który został uruchomiony na bazie danych B, w wyniku czego Doktorant w tym eksperymencie na bazie przeprowadzonej analizy skupień (algorytm k-średnich, odległość Czebyszewa, zadana liczba skupień 2, zbiór danych B) uzyskał podział danych na dwa skupienia.

Następnie w analogiczny sposób Autor rozprawy podał inne eksperymenty analizy skupień i uzyskane wyniki badań dla algorytmu k-średnich, miary odległości euklidesowej i miary odległości Czebyszewa oraz różnej zadanej liczby skupień, co doprowadziło do uzyskania różnej procentowej skuteczności klasyfikacji dla różnych danych pomiarowych podanych ze standaryzacją i bez standaryzacji.

Jak można zauważyć Doktorant przeprowadził tak wiele eksperymentów badawczych dla niehierarchicznej metody analizy skupień k-średnich, że odczuwa się brak wystarczającej końcowej konstatacji otrzymanych wyników dla poszczególnych eksperymentów, stąd proszę Doktoranta o **przeprowadzenie końcowej dyskusji i interpretacji przeprowadzonych eksperymentów i otrzymanych wyników badań oraz zaprezentowanie na obronie końcowego ich zestawienia np. tabelarycznego w zakresie: zastosowanego zbioru danych pomiarowych, przyjętej metody analizy skupień (np. algorytm k-średnich), przyjętej miary odległości (np. odległość euklidesowa, Czebyszewa), uzyskane wyniki skuteczności oznaczania danych oraz uzyskane wyniki skuteczności podziału na dane oznaczone i nieoznaczone dla założonej liczby skupień 2, 3, 4, 5 itp.** Bez takiego podsumowania niepotrzebnie nie do końca jest widoczny bardzo duży wkład Doktoranta prowadzący do uzyskania bardzo dobrych i konkretnych wyników badań.

Kwestia 2.

W akapicie 1 p. 2.4 na str. 28 rozprawy Doktorant wskazał, że zastosował technikę aglomeracyjną hierarchicznej analizy skupień wykorzystaną w swoich badaniach. Dalej w akapicie 1 na str. 29 zwrócił szczególną uwagę na algorytm Warda, a w p. 5.3.7 pokazał przebieg badań hierarchicznej analizy skupień z wykorzystaniem zbioru danych standaryzowanych Cs do identyfikacji okresów o różnym poziomie parametrów jakości energii na przypisanie danych do skupień. Wszystko to wskazuje na przeprowadzenie pewnego doboru metody analizy skupień i algorytmu Warda do uwarunkowań zewnętrznych

analizowanej sieci, którego wprost nie odnajduję w rozprawie, stąd proszę o wyjaśnienie w **jaki sposób Doktorant przeprowadził badania wstępne prowadzące do przyjęcia ww. metody hierarchicznej aglomeracyjnej analizy skupień i ww. algorytmu Warda dla przeprowadzanego eksperymentu na bazie danych Cs oraz proszę o przedyskutowanie w jaki sposób przyjęty algorytm Warda był algorytmem trafnym oraz jakie inne algorytmy brane były pod uwagę dla tego eksperymentu i z jakich powodów zostały one odrzucone?**

Kwestia 3.

Doktorant zaproponował dwa globalne wskaźniki jakości energii elektrycznej, to jest wskaźnik danych zagregowanych (WDZ) syntetyzujący siedem wskaźników składowych - wzory od 6.1 do 6.8 (str. 119-121), o czym jest mowa w ostatnim akapicie na str. 118 oraz w pierwszym akapicie na str. 119 rozprawy oraz wskaźnik danych oznaczonych (WDO) omówiony w rozprawie na str.119, akapit 2 – wzór 6.9 str. 121. Proszę o przedyskutowane uwarunkowań, które spowodowały, że nie podjął Autor rozprawy badań nad opracowaniem jednego globalnego syntetycznego wskaźnika jakości reprezentującego wiele parametrów jednocześnie w celu ogólnego porównania dwu i więcej punktów pomiarowych? Czy podyktowane było to ograniczonością eksperymentu zaprojektowanego na podstawie posiadanych danych pomiarowych, czy też przyczyny były innej natury, a jeżeli tak, to jakiej?

Jerzy Tchoźmek