

**RECENZJA**  
**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła ALBRECHTOWICZA pt.:**  
***Zastosowanie przesuwników fazowych do regulacji rozpliwów mocy***  
***w systemach elektroenergetycznych***

### 1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej Politechniki Krakowskiej i Przewodniczącego Rady Naukowej dyscypliny Automatyka, elektronika i elektrotechnika dr. hab. inż. Macieja Sułowicza, prof. PK z dnia 29.04.2022 r., dotyczące opracowania recenzji rozprawy doktorskiej.

### 2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Pawła Albrechtowicza pod tytułem „Zastosowanie przesuwników fazowych do regulacji rozpliwów mocy w systemach elektroenergetycznych”.

Przedłożona rozprawa doktorska liczy łącznie 143 strony tekstu. W tej objętości wyróżniono 8 rozdziałów, bibliografię, wykaz oznaczeń i symboli oraz dwa załączniki.

### 3. Ocena aktualności tematyki rozprawy

W rozprawie poruszono tematykę budowy i wykorzystania przesuwników fazowych w systemie elektroenergetycznym. W szczególności skupiono się na rozwiązaniu przesuwnika asymetrycznego i jego efektywności w zastosowaniu do sterowania rozpliwami mocy.

Bieżące uregulowania formalne oraz zmiana struktury wytwarzania w systemach elektroenergetycznych determinuje nowe podejście do kwestii regulacyjności systemu. Rosnąca liczba źródeł odnawialnych pracujących ze zmienną generacją uwarunkowaną środowiskową podażą energii pierwotnej prowadzi do znaczących zmian bilansów węzłowych, a w konsekwencji do częstych zmian poziomu i kierunków przepływów gałęziowych. Problem ten dotyczy zarówno utrzymania parametrów obciążeń dopuszczalnych



w liniach jak i parametrów jakości energii elektrycznej w węzłach odbiorczych. W praktyce wymaga to interwencji operatorów sieciowych celem zapewnienia odpowiednich wymogów bezpieczeństwa funkcjonowania systemu elektroenergetycznego oraz uzyskania właściwej jakości energii. Dotychczasowe rozwiązania oparte przede wszystkim na regulacji realizowanej w węzłach elektrownianych, bazujące na w pełni sterowanych źródłach konwencjonalnych są niewystarczające z uwagi na zmianę tzw. miksu energetycznego, w tym wycofywanie elektrowni węglowych i pierwszeństwo pracy źródeł odnawialnych.

Równolegle na przestrzeni ostatnich dekad wzrasta znaczenie rynków energii. Liberalizacja handlu energią elektryczną spowodowała znaczne zmiany w funkcjonowaniu krajowych systemów elektroenergetycznych i wpłynęła na przepływy energii na przekrojach handlowych w ramach połączeń transgranicznych. Jednym z głównych skutków tych zmian jest niebezpieczny wzrost tzw. przepływów nieplanowanych (zwanymi również przepływami kołowymi lub przepływami tranzytowymi), czyli przepływów wyrównawczych mocy czynnej między poszczególnymi systemami. Przepływy te powodują przede wszystkim: zmniejszenie bezpieczeństwa pracy połączonych systemów elektroenergetycznych, zmniejszenie ilości mocy przesyłowych połączeń transgranicznych udostępnianych uczestnikom rynku energii elektrycznej, a także wzrost strat przesyłowych, pogarszając tym samym ekonomikę pracy sieci zaangażowanej w tych przepływach. Przepływy nieplanowe wpływają niekorzystnie nie tylko na cały połączony system Europy zachodniej i środkowej (UCTE), ale także na systemy państw członkowskich ENTSO-E wchodzących w jego skład. Polski system elektroenergetyczny również doświadcza nie tylko zwiększenia strat przesyłowych, ale przede wszystkim doświadcza znacznego wzrostu obciążenia elementów sieci takich jak linie przesyłowe i transformatory mocy w sieci przesyłowej nieplanową mocą czynną, powodującą spadki napięć w węzłach sieci, a w konsekwencji również wzrost przepływów mocy biernej w systemie w celu wyrównania poziomów napięć.

Zwiększająca się liczba przypadków, w której warunki bezpiecznej pracy sieci krajowych w Europie nie są zachowane, zwiększa ryzyko wystąpienia awarii o zasięgu paneuropejskim. Stąd coraz ważniejsze dla operatorów systemów elektroenergetycznych (w tym również Polski) jest zarządzanie przepływami mocy. Dotychczasowe rozwiązania stosowane w zarządzaniu systemem nie rozwiązują całości zagadnienia stąd poszukiwania nowych środków regulacji. Istnieje potrzeba wykorzystania transformatorów z regulacją wzdłużno-poprzeczną do sterowania przepływami mocy „wewnątrz” systemu oraz na połączeniach międzynarodowych. W paście dostępnych środków rolę taką może pełnić regulacja wzdłużno-poprzeczna, która daje możliwość regulacji modułu napięcia oraz kąta napięcia, co zapewnia możliwość dotrzymania bilansów mocy biernej w sieci oraz zapewnia możliwość regulacji przepływów mocy na liniach elektroenergetycznych, a co za tym idzie dotrzymania obciążalności dopuszczalnej długotrwale linii elektroenergetycznych.

Przedmiotowa rozprawa w pełni wpisuje się w nurt poszukiwania i oceny środków regulacji przepływów mocy w systemie elektroenergetycznym. Tym samym podjęta tematyka jest aktualnym krokiem w zakresie wskazania możliwości poprawy bezpieczeństwa funkcjonowania systemu oraz poprawy jakości zasilania. Podjęte w rozprawie zagadnienie tworzy zasady weryfikacji proponowanych rozwiązań wykorzystujących przesuwniki fazowe jako urządzenia sterowania rozplywem mocy. Należy zatem tematykę rozprawy uznać za aktualną i użyteczną, a z uwagi na przedmiot i zakres przedstawioną rozprawę można zakwalifikować do dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika.



#### 4. Ogólna charakterystyka rozprawy

Treści przedmiotowej rozprawy doktorskiej prezentują podjęte przez Doktoranta kroki, których zamysłem jest przybliżenie zadania badawczego i udowodnienie postawionej tezy. W treściach tych mamy do czynienia z opisem zagadnienia, opisem i realizacją modelu nazywanego symulacyjnym oraz opisem i realizacją układu laboratoryjnego. Praca zatem obejmuje klasyczny cykl badawczy, w którym wyróżnić można sformułowanie zadania, weryfikację modelową i laboratoryjną.

Treści rozprawy doktorskiej podzielono na 8 głównych rozdziałów.

Pierwszy, bardzo syntetyczny rozdział, stanowi wprowadzenie do obszaru badawczego rozprawy. W tym rozdziale Doktorant sformułował tezę, cel i zakres pracy. W tym rozdziale również wstępnie został zarysowany podział rozprawy i podjęte w niej nurty badawcze.

Rozdział drugi przedstawia zagadnienia związane z rozptyłami mocy w systemie elektroenergetycznym. Wychodząc od ideowych schematów dwójników elektrycznych podano równania i sparametryzowano moc czynną i bierną opisując przepływ gałęziowy. W rozdziale przedstawiono również szerzej problem nieplanowych przepływów mocy oraz podejmowane przez operatorów sieciowych kroki zmierzające do ograniczania tego zjawiska. Problem ten m.in. jest rozwiązywany poprzez wykorzystanie przesuwników fazowych, które to urządzenia zostały obiektowo rozwinięte w rozprawie.

W rozdziale trzecim opisano możliwość sterowania z wykorzystaniem napięć dodawczych. W tym zakresie przedstawione zostały urządzenia energoelektroniczne FACTS (Flexible AC Transmission System), a w szczególności zespolony regulator przesyłu mocy UPFC (Unified Power Flow Controller) oraz różne rozwiązania transformatorowe. Wśród rozwiązań transformatorowych opisano przesuwniki fazowe, realizowaną w nich funkcję regulacji przepływu mocy, wybrane rozwiązania konstrukcyjne i przykłady realizacji.

Rozdział czwarty rozprawy zawiera opis zaprojektowanego i wykonanego w warunkach laboratoryjnych układu przesuwnika fazowego z regulowanym napięciem wzdłużnym i poprzecznym. Dla zbudowanego przesuwnika zaproponowany został układ sterowania oraz osiągany przez przesuwnik zakres regulacji napięcia wyjściowego. Ponadto zaprezentowano teoretyczne charakterystyki wykonanego przesuwnika wynikające z wykorzystania równań klasycznego przesuwnika asymetrycznego.

W kolejnym, piątym rozdziale Doktorant przedstawił stanowisko laboratoryjne obejmujące przygotowany przesuwnik fazowy oraz laboratoryjny model pięciowęzłowego systemu elektroenergetycznego. Przy tej okazji opisano trzy scenariusze połączeń realizujące przypadki wykorzystania przesuwnika fazowego. Rozdział zawiera również opis numerycznego modelu symulacyjnego przygotowanego w programie Simulink będącym częścią pakietu Matlab oraz wprowadzenie do wykorzystanej w obliczeniach rozptyłów mocy metody iteracyjnej Newtona-Raphsona.

Rozdział szósty zawiera wyniki pomiarów wykonanych na modelu laboratoryjnym. Pomiarów przeprowadzono w przypadkach ulokowania przesuwnika fazowego w:

- pojedynczej linii wymiany mocy między dwoma systemami elektroenergetycznymi,
- jednej z dwóch równoległych linii wymiany mocy między połączonymi dwoma systemami elektroenergetycznymi,
- jednej z dwóch równoległych linii wymiany mocy pomiędzy zewnętrznym a wewnętrznym systemem elektroenergetycznym.

Dodatkowo przedstawiono przebiegi napięć w jałowym stanie pracy przesuwnika.



Przeprowadzając pomiary w poszczególnych przypadkach uwzględniono zmianę napięcia dodawczego, parametry linii wymiany oraz przekładnię transformatora wejściowego.

W rozdziale siódmym rozprawy Doktorant przedstawił wyniki obliczeń numerycznych i obliczeń w Simulink oraz porównał je z wynikami laboratoryjnymi. Na tej podstawie zostały wyciągnięte wnioski co do wpływu parametrów przesuwника fazowego (przekładnia transformatora wejściowego oraz kąta wprowadzanego przez napięcie dodawcze). Uzyskane wyniki są wykorzystane dla osiągnięcia celu rozprawy.

Rozdział ósmy zamyka treści rozprawy. Stanowi on podsumowanie opisanych w rozprawie zagadnień i osiągnięć Doktoranta. Rozdział zawiera również wnioski Doktoranta wyciągnięte na podstawie opracowanych modeli, wykonanych badań i obliczeń. Wnioski te potwierdzają skuteczność regulacji realizowanej z wykorzystaniem przesuwników fazowych, a tym samym pozwalają na udowodnienie postawionej tezy.

Do rozprawy należy również rozdział zatytułowany Bibliografia, który zawiera pozycje literaturowe przywołane w rozprawie. W rozdziale tym przytoczono łącznie 80 pozycji o różnym charakterze (artykuły i referaty, książki, monografie, opracowania, raporty, katalogi).

Znajdujące się na końcu rozprawy załączniki zawierają parametry systemu testowego oraz opis elementów układu pomiarowego.

Przyjęta struktura rozprawy doktorskiej, w tym wyróżnione rozdziały pozwala na realizację postawionego celu oraz służy udowodnieniu sformułowanej tezy.

## **5. Ocena osiągnięć naukowych Autora rozprawy**

Recenzowana rozprawa doktorska sięga do urządzeniowych zasobów operacyjnych wykorzystywanych w systemie elektroenergetycznym. Tłem tych zagadnień jest uzyskanie właściwej elastyczności pracy systemu w zmieniających się warunkach wymuszeń. Możliwym do uzyskania efektem jest zwiększenie bezpieczeństwa funkcjonowania oraz uzyskanie warunków, w których możliwa będzie adaptacja nowych technologii i rozwiązań formalnych. Dostrzegając te uwarunkowania Autor rozprawy postawił cele swojej pracy naukowej oraz sformułował tezę, której dowód przeprowadził w ramach opisanych rozważań.

Wśród wyznaczonych i wymienionych w rozprawie celów (rozd. 1.2. rozprawy) jako wiodące należy wskazać budowę laboratoryjnego modelu przesuwника fazowego o regulowanym napięciu wzdłużnym i poprzecznym oraz analizę jego wykorzystania w sterowaniu rozplływem mocy. Realizacja tych celów znajduje uzasadnienie w postawionej tezie, która orzeka o skuteczności kontroli rozplwywu mocy w liniach elektroenergetycznych za pomocą regulacji nastaw asymetrycznego przesuwника fazowego. W ten sposób został wskazany obiekt badań oraz jego zastosowanie w systemie elektroenergetycznym w stanach ustalonych.

Realizacja celu pracy następuje w kolejnych jej rozdziałach. Mając na względzie przedstawioną charakterystykę rozprawy doktorskiej (por. pkt. 4 recenzji) należy wskazać rozdziały 1 do 3 jako wprowadzające, oparte na studium literaturowym i systematyzujące stan wiedzy w obszarze pracy. Przedmiotowy laboratoryjny model przesuwника fazowego został przedstawiony i scharakteryzowany w rozdziale 4 rozprawy. Rozdział ten jest istotny z punktu widzenia celu pracy, a wraz z rozdziałem 5 tworzą w postaci modelu laboratoryjnego podstawę weryfikacji tezy pracy. Rozdziały te mają charakter autorski i stanowią dorobek Doktoranta wykazując umiejętność przygotowania koncepcji zagadnienia, modelu matematycznego oraz modelu fizycznego. Korzystając z opracowanych i opisanych modeli



Doktorant w rozdziałach 6 i 7 rozprawy przedstawił wyniki badań laboratoryjnych i analiz numerycznych. Zawartość rozdziałów wykazuje zastosowanie opracowanego rozwiązania w sterowaniu rozplływem mocy, a tym samym pozwala na udowodnienie tezy pracy. Szerokie spektrum wyników prezentuje różne przypadki pracy (i zastosowania) przesuwника fazowego w systemie elektroenergetycznym. Sformułowanie scenariuszy badań, prezentacja wyników i ich analiza oraz wyciągane wnioski pozwalają Doktorantowi na odniesienie się do tezy rozprawy. Rozdziały te należy również wskazać jako autorskie, a ich treści są dorobkiem Doktoranta.

Obrana przez Autora rozprawy ścieżka realizacji badań zwieńczona uzyskanymi wnioskami jest zgodna z potrzebami funkcjonalnymi systemu elektroenergetycznego. Stosowanie urządzeń regulacyjnych w stanach ustalonych pozwala operatorom sieciowym na uzyskanie marginesu bezpieczeństwa określonego w dopuszczalnych obciążeniach gałęziowych oraz wytycznych węzłowych. Prowadzi to do odpowiedniej lokalizacji przesuwników fazowych, jako jednych z możliwych urządzeń regulacyjnych, oraz potrzeby oceny czułości wykorzystania nastaw ich parametrów w działaniach operacyjnych. Doktorant jest świadom tego zadania. Potwierdza to wybierając różne scenariusze (przypadki) modelowania i analizy, badając w nich wpływ przesuwника fazowego. Wśród tych przypadków należy wskazać przypadek pracy równoległej połączonych synchronicznie systemów elektroenergetycznych z możliwością przepływów wyrównawczych oraz bez takiej możliwości. Rozszerzenie modelu o zmianę parametrów układu pozwala na ocenę wspomnianej czułości wpływu proponowanego rozwiązania – w postaci przesuwника fazowego – na zmianę rozplływów mocy. Spektrum badań potwierdza zatem rozeznanie Autora w potrzebach systemu elektroenergetycznego i świadome odwzorowanie modelowe praktyki środowiska działań operacyjnych.

Opracowany przez Doktoranta model asymetrycznego przesuwника fazowego o regulowanym napięciu wzdłużnym i poprzecznym przedstawiony w rozdziałach 4 do 7 rozprawy stanowią dorobek autorski. Stąd należy uznać, że samodzielne działania podejmowane przez Doktoranta są zgodne z obranymi celami i służą udowodnieniu sformułowanej tezy pracy.

Na podstawie lektury tekstu rozprawy i zawartych w niej informacji można stwierdzić, że Doktorant wykazał się:

- wiedzą teoretyczną w zakresie rozumienia zasad funkcjonowania przesuwników fazowych i ich wykorzystania w systemie elektroenergetycznym,
- wiedzą teoretyczną w zakresie formułowania opisu matematycznego dla potrzeb wykorzystania przesuwника fazowego w sterowaniu rozplływem mocy,
- koncepcją rozwiązania i umiejętnością budowy modelu laboratoryjnego przesuwника fazowego o regulowanym napięciu wzdłużnym i poprzecznym,
- umiejętnością opracowania modelu symulacyjnego przesuwника,
- praktycznym wykorzystaniem posiadanej wiedzy poprzez realizację układów testowych i przeprowadzenie badań,
- umiejętnością wnioskowania na podstawie uzyskanych wyników.

Uzyskane przez Autora rozprawy wyniki wypełniają postawiony cel oraz pozwalają na dowiedzenie postawionej tezy.



## 6. Kwestie dyskusyjne

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy doktorskiej nasunęło się kilka spostrzeżeń. W ich ramach chciałbym zasygnalizować kilka dyskusyjnych kwestii ogólnych.

1. W pierwszym rozdziale Autor rozprawy formułuje tezę skupiając się na rozwiązaniu w postaci asymetrycznego przesuwnika fazowego. Wybór ten poniekąd jest uzasadniony zakładanym sposobem podejścia do regulacji. Brak jednak rozpoznania w temacie skali zastosowań tych układów w obecnych instalacjach. Na tym tle warto rozszerzyć informację o wady i zalety uzasadniające obecnie spotykane rozwiązania. Tym bardziej, że teza wskazuje na „szeroki wariant zastosowań” przesuwnika asymetrycznego.
2. Wprowadzając tematykę rozplywu mocy (rozd. 2.1 rozprawy) Doktorant wykorzystuje uproszczony model linii w postaci dwójnika. Rozpatrywana praktyka zastosowania przesuwników fazowych sprowadza się głównie do układów przesyłowych wysokich napięć. Występujące tam zjawiska napięciowe odwzorowywane za pomocą pełnego modelu linii mają istotne znaczenie również w stanach ustalonych (regulacja napięć, kompensacja mocy biernej). Pojawia się zatem pytanie, czy zastosowany model jest wystarczającym do opisu stanu pracy sieci. Wagę tego pytania ilustruje również fakt rozpatrywanego rodzaju (w tym wyróżnianych cech) przesuwnika asymetrycznego.
3. Powstawanie przepływów kołowych wiąże się ze strukturą połączonych systemów elektroenergetycznych. W przypadku Polski rozróżnia się wymianę równoległą (połączenia równoległe) i nierównoległą (połączenia asynchroniczne). W tym drugim rozwiązaniu przepływy są ściśle sterowane poprzez układy energoelektroniczne, co pozwala na precyzyjne wymuszenie rozplywu mocy. Dlatego też przepływ kołowy (wyrównawczy) jest cechą charakterystyczną połączenia równoległego i jego obrazem jest występująca zmiana planowego godzinowego grafiku wymiany. Czy jest możliwe wykorzystanie przesuwników fazowych do skoordynowanego prowadzenia wymiany równoległej? Czy można znaleźć tego typu przykłady współpracy operatorskiej?
4. Badając właściwości operacyjne analizowanego modelu przesuwnika fazowego Doktorant wyróżnił trzy sytuacje jego wykorzystania (rys. 1.1 w treści rozprawy). Nasuwa się pytanie, czym istotnym różni się przypadek wprowadzenia przesuwnika fazowego do połączenia równoległego dwóch (zewnętrznych) systemów elektroenergetycznych od przypadku wykorzystania przesuwnika w połączeniu systemu zewnętrznego i wewnętrznego. O ile semantyka i praktyka takiego podziału może być dostrzegana, o tyle ciekawym jest modelowanie i parametryzowanie tych sytuacji. Proszę o rozwinięcie tematu.
5. W zestawieniach wyników badań pojawiają się straty mocy czynnej i biernej. Jakie cechy rozpatrywanych rozwiązań oraz uzyskiwanych rezultatów sterowania rozplywem mocy wpływają na różnicowanie się tych wyników? Jaki jest cel analizy strat mocy i ich wykorzystanie dla oceny wprowadzanego rozwiązania przesuwnika mocy?



Poza kwestiami ogólnymi nasuwa się kilka kwestii o charakterze szczegółowym. Poniżej wymieniono wybrane.

- i. Na stronach 10 i kolejnych wyprowadzane są zależności ważne dla celu i tezy rozprawy. Wzory te dotyczą mocy pozornych oraz czynnej i biernej przesyłanych linią elektroenergetyczną. Proszę o uważne wyprowadzenie tych zależności od (2.5) do (2.8).
- ii. Odnosząc się do wniosków płynących z analizy równań opisujących przesył mocy czynnej i biernej proszę o komentarz w zakresie możliwości i ograniczeń stosowania podwyższania napięcia w linii. Jak należy całościowo spojrzeć na bilanse mocy oraz zdolność przepustową linii elektroenergetycznej? W jakim zakresie można wskazać użyteczny efekt regulacji wzdluznej?
- iii. Na rysunkach 2.12 i 2.13 przedstawiono planowe i chwilowe przepływy mocy na przekrojach handlowych (niepoprawnie „liniach międzysystemowych”). W tekście (str. 21) pojawia się wniosek o „istotnym problemie realizacji przesyłu mocy zgodnie z zaplanowanymi grafikami”. Czym jest uzasadniony ten wniosek? Na czym polega problem? Jakie są definicje wymiany handlowej i fizycznej na przekroju?
- iv. Jaką rolę pełni w zespole transformatorowym „jednostka szeregową” i „jednostka bocznikowa”? W treściach rozprawy w różnych układach pojawia się transformator oznaczony TW nazywany „wzbudzającym” (np. str. 23) bądź „wejściowym”. Czy jest to to samo urządzenie (to samo oznaczenie)? W innym miejscu jednostkę bocznikową nazywa się wzbudzającą (str. 29). Czy konsekwentne jest stosowanie raz oznaczeń TD a raz TS?
- v. Czy konsekwentnie stosowane jest oznaczenie  $U_S$  oraz  $U's$  w odniesieniu do wyprowadzanych zależności? Proszę o skomentowanie w świetle rysunków: rys. 2.2, rys. 4.11, rys. 4.13, a także zależności (4.8) i kolejnych (4.9) oraz (4.10). Warto również porównać z zależnościami (2.5) i (2.8).
- vi. Na str. 71 podano zależności opisujące rozplływ mocy. Autor wybrał metodę Newtona-Raphsona stwierdzając, że jest ona wystarczająca. Co decyduje o „wystarczalności” metody? Jak liczba węzłów będzie wpływała na czas obliczeń rozplływów mocy?
- vii. W rozdziale 7 przedstawiane są wyniki obliczeń symulacyjnych i numerycznych. Do prezentacji wyników wybrano przypadek pojedynczej linii wymiany łączącej dwa systemy zewnętrzne oraz linii równoległych łączących system zewnętrzny i wewnętrzny. Dlaczego został pominięty wprowadzony przez Autora i wykorzystany w innych badaniach przypadek dwóch systemów zewnętrznych połączonych liniami równoległymi?
- viii. Formułując model symulacyjny w Simulinku Autor wspomina o układach wzbudzenia i napędach generatorów (przykładowo str. 107 i str. 128). Jakie konsekwencje wprowadza modelowanie tych układów?

Przedstawione powyżej kwestie nie umniejszają pracy włożonej w opracowanie i przedstawienie treści rozprawy doktorskiej, a ich postawienie zamierza do rozszerzenia i wyjaśnienia nasuwających się pytań.



## 7. Ocena redakcji rozprawy

Struktura rozprawy pozwala na prezentację podjętego problemu oraz sposobu jego rozwiązania. Autor w kolejnych rozdziałach rozprawy rozwija treści począwszy od podstaw po zbudowane modele, uzyskane wyniki i ich analizę. Użyte terminy są generalnie zgodne z nomenklaturą problemu.

Prezentując wyniki badań i symulacji można wprowadzić załącznik, w którym zamieszczone zostaną detaliczne wyniki, natomiast do treści pracy warto wykorzystać elementy różnicujące i ilustrujące przyjęte zasady prowadzenia obliczeń. W ten sposób uzyskuje się większe uporządkowanie i skonkretyzowanie podstawowych treści i wniosków, a zarazem daje się szerszy wgląd w wykonaną pracę.

W redakcji pracy można zauważyć pewną liczbę nieprecyzyjnych sformułowań, błędnych bądź nieistniejących odniesień oraz tzw. błędów redakcyjnych. W tym zakresie można wskazać jako przykład:

- str. 15 mamy rynek energii elektrycznej, a nie rynek energetyczny;
- str. 31 odniesienie do rys. 14 (nie ma takiej numeracji), podobnie na str. 33;
- rys. 3.9 nie zawiera oznaczenia kąta  $\nu$  o którym mowa w treści pod rysunkiem (jest kąt  $\alpha$ );
- tab. 4.1 podaje nieznaną grupę połączeń transformatora dodawczego;
- rys. 4.13 zawiera w opisie „węzeł wysyłający”, co jest maszynowym tłumaczeniem z języka angielskiego.

W wielu miejscach zauważono usterki literowe. Jednostką mocy biernej jest var o pisowni małymi literami.

Przytoczone niedociągnięcia redakcyjne nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy, ale dbałość o redakcję jest wartością klarownego przekazu.

Literatura zestawiona w rozdziale Bibliografia jest wystarczająca dla przedstawienia tła rozprawy. Przywoływane pozycje pochodzą z różnych okresów czasu, w tym wiele jest z ostatnich lat. Jest to związane z dużą wagą tematycznego problemu przesuwników fazowych i ich wykorzystania w systemie elektroenergetycznym. W zestawionej literaturze zauważalną jest liczba pozycji dotyczących urządzeń energoelektronicznych pozwalających na kontrolę przepływu mocy. W pewnym sensie liczba ta nie odpowiada ilości miejsca poświęconego w rozprawie temu rozwiązaniu i celowości jego rozwijania w świetle tezy rozprawy. Przy okazji warto wskazać na dużą liczbę publikacji poruszających problem sterowania przepływami mocy w pracujących równolegle systemach elektroenergetycznych. Tematyka ta jest zgodna z przyjętą orientacją rozprawy.



## 8. Podsumowanie i wniosek końcowy

1. Oceniając zawartość przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej stwierdzam, że Doktorant w wystarczająco jednoznaczny sposób sformułował problem naukowy, który następnie rozwiązał przy użyciu metod naukowych.
2. W rozprawie został postawiony cel, a następnie był konsekwentnie realizowany prowadząc do osiągnięcia oczekiwanych wyników o charakterze naukowym, jak i praktycznym. Przekaz rozprawy doktorskiej potwierdza sformułowaną tezę.
3. Doktorant wykazał się odpowiednim opanowaniem wiedzy teoretycznej i umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika.
4. Po analizie treści rozprawy uważam, że przedłożona rozprawa Pana mgr. inż. Pawła Albrechtowicza pt.: „Zastosowanie przesuwników fazowych do regulacji rozpliwów mocy w systemach elektroenergetycznych” spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim zawarte w art. 13 ustęp 1 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami uwzględnionymi w tekście ogłoszonym w Dziennikach Ustaw: z 2016 r. poz. 882, z 2016 r. poz. 1586).
5. **Wnioskuje o dopuszczenie mgr. inż. Pawła Albrechtowicza do publicznej obrony recenzowanej rozprawy doktorskiej.**

Stalymir Puzoski