



POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA W KIELCACH
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI
I INFORMATYKI

25-314 KIELCE, AL. TYSIĄCLECIA PAŃSTWA POLSKIEGO 7 Tel.: (041) 34 24 129 Fax/tel.: (041) 34 47 758 E-mail: weali@tu.kielce.pl

dr hab. inż. Andrzej Ł. Chojnacki, prof. PŚk
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Katedra Elektrotechniki Przemysłowej i Automatyki

Kielce, 26.08.2020 r.

RECENZJA
rozprawy doktorskiej
mgr inż. Katarzyny Karbowej

**„Wpływ warunków pracy układów kogeneracyjnych na możliwość
restrukturyzacji źródeł wytwarzania energii elektrycznej”**

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Bogumiła Wnukowska

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Komisji ds. Stopni Naukowych w Dyscyplinie Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Wrocławskiej prof. dr hab. inż. Waldemara Rebizanta, pismo 246/KSN_AEE/2020 z dnia 14 lipca 2020 roku, w związku z powołaniem mnie na recenzenta przez Komisję ds. Stopni Naukowych Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Wrocławskiej na posiedzeniu w dniu 13 lipca 2020 roku.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Ocenie podlega rozprawa doktorska „Wpływ warunków pracy układów kogeneracyjnych na możliwość restrukturyzacji źródeł wytwarzania energii elektrycznej”. Rozprawa zawiera 145 stron tekstu i składa się z 10 rozdziałów podstawowych (112 stron), 2 załączników (18 stron) oraz bibliografii, liczącej 34 pozycje. Rozprawę poprzedza streszczenie w języku polskim oraz angielskim, wykaz ważniejszych oznaczeń wykorzystanych w pracy oraz wstęp.

Rozdziały główne obejmują następujące zagadnienia:

1. Sformułowanie problemu badawczego.
2. Aktualne problemy sektora energetycznego w Polsce.
3. Funkcjonowanie odbiorcy energii na Rynku Energii.
4. Kogeneracja w bilansie energetycznym.

5. Metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji.
6. Parametry doboru gazowego układu kogeneracyjnego.
7. Uniwersalny program doboru jednostki kogeneracyjnej.
8. Wyniki analiz doboru jednostki kogeneracyjnej dla różnych kryteriów.
9. Podsumowanie.
10. Wnioski.

Z kolei załączniki zawierają:

Załącznik 1. Kod programu KOGENERACJA 1.0 stworzony w środowisku Matlab.

Załącznik 2. Taryfy energii elektrycznej dla gospodarstw domowych dostępne u poszczególnych operatorów systemów dystrybucyjnych.

Praca jest napisana w sposób dość staranny. Niestety zdarzają się błędy stylistyczne oraz redakcyjne. Poniżej wymienię jedynie przykładowe:

- symbole zmiennych pisane są w pracy dwojako, we wzorach czcionką pochyłą (kursywą), w tekście czcionką prostą – powinna być przyjęta jednolita stylistyka;
- str. 19, 6 wers od góry, jest „w latach 2004-2025”, powinno być „w latach 2004-2015”;
- str. 22, 1 wers od dołu, jest „wzrost ceny energii, który poniosą odbiorcy końcowi”. Wzrost cen może dotyczyć odbiorców. Odbiorcy mogą ponieść koszty. Natomiast stwierdzenie, że „odbiorcy poniosą wzrost cen” jest stylistycznie niewłaściwe;
- str 23, wers 9 od dołu, jest „Według Polskich Sieci Elektroenergetyczne”, powinno być „Według Polskich Sieci Elektroenergetycznych”;
- str. 36 u góry – zbędna przerwa;
- str. 37, 5 wers od góry, jest „C12”, powinno być „C21”;
- str. 42, 2 wers od góry, jest „Mwe”, powinno być „MWe”;
- str. 49, 3 wers od góry, jest „zewnętrzy”, powinno być „zewnątrzny”;
- jako separator dziesiętny używany jest raz przecinek (np. str. 51, wers 10 od góry), a raz kropka (np. str. 49, wers 11 od góry);
- niektóre akapity zostały „urwane” i przeniesione do następnej linii (np. str. 35, wers 5 od dołu, str. 51, wers 2 od góry i inne);
- str. 60, 10 wers od dołu, jest „aby wszystkie kryteria najniższego rzędu powinny być na tyle konkretne...”, powinno być „aby wszystkie kryteria najniższego rzędu były na tyle konkretne...”;
- str. 60, 3 wers od dołu, jest „na poziom uniemożliwiające”, powinno być „na poziom uniemożliwiający”;
- zdarzają się duże litery na początku wyrazu w środku zdania, np. str. 49, wers 14 od dołu, str. 69, wers 3 od góry, str. 70, wers 1 od dołu i inne;
- rysunek 4.7 oraz 6.1 to ten sam schemat;
- na rysunkach 4.7 oraz 6.1 jest błędne oznaczenie kotła węglowego o mocy 10MW. Zamiast WR10 jest WR5;
- w tabeli 6.2 pojawia się oznaczenie *. Nie znalazłem objaśnienia co ta * oznacza;
- we wzorze 7.4 nie znalazłem objaśnienia zmiennych k_d oraz p_{wCHP} . Musiałem posiłkować się Wykazem ważniejszych oznaczeń. Pozostałe zmienne były wyjaśnione pod wzorem oraz zamieszczone w wykazie;
- w tabelach 8.2 – 8.8 zamieszczone są wartości wskaźników β_{CHP} oraz λ_{CHP} , natomiast w ostatniej kolumnie ich suma oznaczona jest jako $\alpha+\beta$.

Załącznik 2 jest bardzo luźno związany z tematem pracy i myślę, że jego pominięcie nie wpłynęłoby na jej wartość merytoryczną.

Mankamentem pracy jest jej zbytne rozdrobnienie na znaczną liczbę podrozdziałów. Niektóre z nich mają zaledwie po kilka linijek tekstu (np. podrozdział 4.4.6 ma 5 linii, a podrozdział 6.3.1 10 linii).

Jak już wspomniano, rozprawa doktorska zawiera wykaz literatury liczący 34 pozycje. Uważam, iż jest to dość ubogi przegląd literatury, zwłaszcza że już pobieżna kwerenda biblioteczna wykazała, iż zagadnienie kogeneracji jest w literaturze krajowej oraz międzynarodowej dość szeroko omawiane. Przedstawione pozycje literaturowe są poprawnie dobrane do tematyki pracy i są cytowane w sposób prawidłowy, we właściwych miejscach w pracy.

3. Ocena wyboru tematu rozprawy i jej zakresu

Zwiększające się zużycie energii elektrycznej związane z rozwojem gospodarczym, a także stale rosnąca świadomość ekologiczna powodują, iż coraz istotniejszym zagadnieniem staje się rozwój tych źródeł energii, których wpływ na środowisko jest jak najmniejszy. Główne kierunki rozwoju dotyczą aktualnie zwiększenia udziału energetyki odnawialnej oraz wytwarzania energii technologiami wysokosprawnymi. Ważnym aspektem jest tutaj także rozwój energetyki rozproszonej, co wpływa na zmniejszenie strat przesyłowych.

Polska elektroenergetyka bazuje przede wszystkim na węglu kamiennym i brunatnym. Zarówno pod względem ekologicznym, jak i ekonomiczno – gospodarczym jest to rozwiązanie niekorzystne. Polska, jako członek Unii Europejskiej jest zobowiązana w kolejnych latach do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, zwiększenia udziału OZE w bilansie energetycznym oraz zwiększenia efektywności energetycznej. Znaczące zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych nie jest możliwe bez ograniczenia zużycia węgla. Dekarbonizacja krajowego sektora energetycznego będzie z kolei procesem bardzo kosztownym. Z wstępnych szacunków ekspertów wynika, iż będzie to koszt ponad 40 mld PLN. Zwiększenie udziału OZE jest w Polsce możliwe, ale jedynie w ograniczonym zakresie. Jest to przede wszystkim spowodowane przeciętnymi uwarunkowaniami klimatycznymi dla rozwoju tego sektora, jakie występują na terenie Polski. Niemniej działania w obu tych kierunkach są konieczne. Dodatkową motywacją w ich wdrażaniu jest fakt, iż do roku 2035 musi nastąpić likwidacja lub kompleksowa przebudowa wyeksploatowanych jednostek wytwórczych w polskich elektrowniach, obejmująca niemalże 50% (wg. raportu NIK) krajowych mocy wytwórczych.

W kontekście powyższych rozważań można stwierdzić, iż najbardziej racjonalnym kierunkiem rozwoju wydaje się być rozwój wysokosprawnych technologii energetycznych, w tym kogeneracji. W ostatnich kilku latach ponad 60% ciepła wytwarzano w Polsce w skojarzeniu z wytwarzaniem energii elektrycznej. Jest to wskaźnik dość wysoki. Negatywnym aspektem jest fakt, iż znaczna część aktualnie eksploatowanych układów kogeneracyjnych bazuje na węglu jako nośniku pierwotnym. Trudno taką technologię uznać, za proekologiczną. Negatywnym aspektem jest także to, że instalacje kogeneracyjne w Polsce to przede wszystkim duże elektrociepłownie (podkreślić należy, iż mniejszych instalacji jest coraz więcej). Istnieje więc konieczność zwiększenia liczby lokalnych wysokosprawnych instalacji kogeneracyjnych zasilających obiekty publiczne i komunalne, zakłady przemysłowe, domy prywatne, itp., wykorzystujących jako paliwo np. gaz ziemny.

Dodatkową zaletą jest w tym przypadku ograniczenie strat przesyłowych zarówno energii elektrycznej, jak i ciepła.

Drugim ważnym aspektem, jest dobór parametrów technicznych projektowanych źródeł energii elektrycznej oraz ciepła. Dobór zbyt małych jednostek spowoduje, iż ich wpływ na bilans energetyczny oraz na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń będzie niezauważalny. Z kolei dobór jednostek zbyt dużych spowoduje nieuzasadnione zwiększenie nakładów inwestycyjnych oraz zawyżone zużycie pierwotnych nośników energii nieskorelowane z zapotrzebowaniem na energię końcową.

W powyższym kontekście (autor recenzji celowo przedstawił jedynie zarys problemu) tematyka rozprawy doktorskiej wydaje się aktualna i ważna. Wpisuje się ona w jeden z najbardziej aktualnych nurtów badawczych współczesnej elektroenergetyki polskiej. Praca składa się niejako z dwóch części. Pierwsza obejmuje zagadnienia dość dobrze znane, jak warunki funkcjonowania sektora energetycznego, pozycja odbiorcy na Rynku Energii, czy też wiadomości ogólne na temat kogeneracji. Druga znacznie ważniejsza i ciekawsza część obejmuje własne badania i analizy Doktorantki odnoszące się do optymalizacji parametrów układów kogeneracyjnych. Uważam, iż tematyka pracy jest bardzo istotna zarówno w wymiarze badawczo – naukowym, jak i użytkowym. Mimo dużej różnorodności opracowań naukowych z tego zakresu, wciąż poszukuje się lepszych i bardziej ekonomicznych rozwiązań. Pewne zastrzeżenia mam, co do samego brzmienia tytułu. Moje wątpliwości dotyczą sformułowania „warunki pracy”. Autorka nie pisze w pracy wprost, co rozumie pod tym pojęciem. Czy chodzi o zmieniające się obciążenie elektryczne i cieplne, czy o zmieniające się uwarunkowania ekonomiczne i polityczne (kurs dolara, cena jednostkowa kupionej i sprzedanej energii, cena za jednostkę emisji zanieczyszczeń, prawo krajowe, prawo międzynarodowe, itp.)? Z treści pracy oraz postawionego celu wynika, że Autorka skupiła się przede wszystkim na poszukiwaniu „najlepszych” metod optymalizacji wielokryterialnej, a nie na samym badaniu wpływu warunków pracy na możliwości restrukturyzacji źródeł energii elektrycznej. Podkreślić jednak należy, że w proponowanych metodach optymalizacji uwzględnianych jest wiele parametrów charakteryzujących właśnie szeroko rozumiane warunki pracy układów kogeneracyjnych.

Mam drobne zastrzeżenie stylistyczne do tezy. Moim zdaniem jej brzmienie powinno być następujące: „Istnieje możliwość i celowość optymalizacji doboru jednostki skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła CHP z wykorzystaniem metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji i **stworzenia** komputerowej aplikacji wyboru źródła kogeneracyjnego”. Słowo „stworzenia” wiąże się tu ze zwrotem „Istnieje możliwość i celowość...”, a więc „stworzenia aplikacji...”, a nie „stworzenie aplikacji”.

Postawiony problem badawczy, teza oraz cel pracy są spójne i uzasadnione aktualnym stanem wiedzy, a także bieżącymi realiami sektora energetycznego w Polsce. Postawioną tezę uważam za udowodnioną. Cel pracy został osiągnięty.

4. Dobór metod badawczych

Do rozwiązania postawionego problemu badawczego Autorka zaproponowała wykorzystanie metod wielokryterialnego podejmowania decyzji MCDA. Metody wielokryterialnego podejmowania decyzji z roku na rok są coraz szerzej wykorzystywane w różnych dziedzinach nauki, jak i życia codziennego. Ich wykorzystanie, w celu optymalizacji wybranych procesów i mechanizmów wymagających podjęcia decyzji, które

zależą od wielu czynników, jest coraz powszechniejsze. W tym kontekście uważam przyjęte metody badawcze za właściwe.

Autorka wykorzystwała w swoich badaniach sześć metod addytywnych:

- metodę sumy ważonej SAW;
- metodę scoringową (modyfikacja metody SAW);
- metodę sumy ważonej w ujęciu rozmytym FSAW;
- metodę SMART;
- metodę SMARTER;

oraz dwie metody analitycznej hierarchizacji:

- metodę AHP;
- metodę REMBRANDT.

W zależności od zastosowanej metody optymalizacji wielokryterialnej, problem decyzyjny jest tu rozważany jako zagadnienie deterministyczne lub rozmyte.

Wymienione metody badawcze Autorka zaimplementowała w aplikacjach komputerowych, co znacznie ułatwiło oraz przyspieszyło proces obliczeniowy.

W odniesieniu do przyjętych metod badawczych oraz sposobu ich wykorzystania nie zgłaszam żadnych zastrzeżeń. Metody badawcze są właściwe, a ich wykorzystanie poprawne.

5. Uwagi szczegółowe i krytyczne

Oceniając pozytywnie rozprawę doktorską oraz zaprezentowane w niej wyniki, chciałbym zwrócić uwagę na kwestie dyskusyjne oraz mankamenty:

1. W nawiązaniu do uwagi zawartej w punkcie 3 niniejszej recenzji, bardzo proszę o wyjaśnienie, co Autorka rozumie przez pojęcie „warunki pracy” zawarte w tytule rozprawy. Nie zostało to wprost napisane.
2. Na stronie 11 Autorka wymienia pozytywne aspekty stosowania nowych układów kogeneracyjnych. Jednym z nich jest „zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego oraz dywersyfikacji dostaw”. Co do dywersyfikacji dostaw nie mam żadnych zastrzeżeń. Moje wątpliwości budzi wpływ kogeneracji na zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego. Przecież te układy wymagają dostaw nośników pierwotnych (węgla, gazu, ropy naftowej). W przypadku deficytu paliwa nie będą eksploatowane oraz nie pokryją zapotrzebowania odbiorców na energię elektryczną oraz na ciepło. Proszę więc o komentarz Autorki, w jaki znaczący sposób rozwój kogeneracji opartej na węglu, gazie czy ropie naftowej wpływa na poprawę bezpieczeństwa energetycznego.
3. Na stronie 36 Autorka pisze, iż taryfę B24 oferuje RWE. Tymczasem RWE jako spółka dystrybucyjna w Polsce zmieniła kilka lat temu nazwę na Innogy Polska. RWE jest niemiecką spółką energetyczną, która jest właścicielem Innogy Polska a także Parku Wiatrowego Suwałki. W kontekście taryfikacji w Polsce, należy posługiwać się nazwą spółki dystrybucyjnej Innogy.
4. Na stronach 45 i 46 Autorka pisze „...co jednocześnie zwiększa bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej, m.in. na potrzeby II i III kategorii urządzeń odbiorczych, dla których zarówno nieplanowane, jak i planowane przerwy w zasilaniu powodują straty materialne w postaci kosztów danego przedsiębiorstwa”. Przecież to dla odbiorników kategorii I i II wymagamy rezerwowania zasilania. Grupa III nie musi być objęta rezerwowaniem, gdyż nie występuje w niej ryzyko

- wystąpienia znacznych strat materialnych, nie mówiąc już o zagrożeniu zdrowia, czy życia ludzkiego.
5. Autorka w pracy wielokrotnie używa w różnym kontekście sformułowania „emisja szkodliwych substancji do środowiska”. Tymczasem wnioskując z przyjmowanych danych liczbowych (np. $w_{ek}=0,808008$ kg/kWh, str. 86) oraz z innych sformułowań Autorki („przy rosnącej cenie uprawnień do emisji CO₂”, str. 23) można wnioskować, że chodzi jedynie o emisję CO₂. Czy tak rzeczywiście jest? Jeżeli tak, to dlaczego pominięta została w pracy emisja SO₂, NO_x, czy też CO?
 6. Co Autorka rozumie pod pojęciem zabezpieczenie 50, 51, 50N, 51N (strona 53)? Czy chodzi o zabezpieczenia nadprądowe bezzwłoczne, nadprądowe zwłoczne niezależne, ziemnozwarciowe nadprądowe bezzwłoczne oraz ziemnozwarciowe nadprądowe zwłoczne niezależne? Powinno to być bardziej szczegółowo objaśnione.
 7. Nie wiem co oznacza zapis ze strony 71: $\gamma = \ln^* \sqrt{2}$
 8. Na stronie 75 można znaleźć następujące frazy: „Na rysunku 6.2 przedstawiono przykład doboru jednostki kogeneracyjnej na podstawie uporządkowanego wykresu zapotrzebowania na moc cieplną.” oraz „Rysunek 6.3 jest przykładem doboru jednostki kogeneracyjnej na podstawie uporządkowanego wykresu zapotrzebowania na moc cieplną.” Opisy są identyczne, a tymczasem rysunki 6.2 oraz 6.3 przedstawiają dobór jednostki kogeneracyjnej do układu bez oraz z zasobnikiem ciepła. Idea doboru parametrów układów kogeneracyjnych jest w tych przypadkach nieco inna.
 9. Z opisu nad zależnościami (6.1) oraz (6.2) wynika, że obowiązują one jednocześnie. Tymczasem tworzą one układ nierówności sprzecznych. Nie mają rozwiązania.
 10. Dane wejściowe do przeprowadzonych badań obejmują prognozowane zapotrzebowanie badanego obiektu na moc cieplną oraz elektryczną. Przyjęty przez Autorkę interwał czasowy trwania poszczególnych obciążeń obejmuje jeden miesiąc. Czy nie jest to zbyt długi przedział czasu uśredniania? Uśrednianie wartości mocy dla tak długiego okresu powoduje, iż tracimy informacje o rzeczywistym obciążeniu szczytowym oraz podstawowym. W jaki sposób zmniejszenie długości tego przedziału może wpłynąć na otrzymane wyniki?
 11. W jaki sposób ustalane było zapotrzebowanie badanego obiektu na moc cieplną oraz elektryczną, przedstawione w tabeli 7.1 oraz na rysunku 7.2. Czy są to dane pomiarowe z dotychczasowej eksploatacji, czy też dane te uwzględniają występujący w kolejnych latach trend zmian obciążeń? Poza sformułowaniem, że jest to prognoza Autorka nie podała w pracy żadnych szczegółów.
 12. W tabeli 7.1 oraz na rysunku 7.2 obciążenie elektryczne zmienia się co miesiąc. Skoro Autorka założyła sprzedaż nadmiaru energii elektrycznej do sieci, czy układ kogeneracyjny nie powinien generować cały czas mocy elektrycznej maksymalnej lub do niej zbliżonej, nawet przy obniżonym zapotrzebowaniu na ciepło w miesiącach letnich? Ilość energii elektrycznej oddanej do sieci byłaby wówczas, przy zmniejszonym zapotrzebowaniu własnym przedsiębiorstwa, znacznie większa, a zysk ze sprzedaży znacznie wyższy. Sama Autorka pisała na stronie 45, iż „chłodnica wentylatorowa pozwala na pracę układu CHP nawet w przypadku braku zapotrzebowania na ciepło (nie powodując spadku sprawności wytwarzania energii elektrycznej)...”. Bardzo proszę o komentarz.

13. Zależność (7.7) budzi moje wątpliwości. Tak wyznaczona wartość SPB jest wyrażona w zł. Tymczasem wynikiem miał być prosty okres zwrotu nakładów inwestycyjnych. Ponadto w opisie przed wzorem (7.7) Autorka pisze, że $N=15$ lat, Skoro tak, to z wzoru (7.7) wyznaczamy całkowity piętnastoletni zysk z inwestycji, a nie prosty okres zwrotu. Bardzo proszę o wyjaśnienie tej kwestii.
14. Biorąc pod uwagę, iż założony okres eksploatacji układu kogeneracyjnego wynosi 15 lat (okres dość długi), czy zastosowanie metody prostego okresu zwrotu inwestycji, a więc metody niedyskontowej, nie uwzględniającej zmiany wartości pieniądza w czasie, nie daje błędnego obrazu opłacalności inwestycji? Czy nie należałoby zastosować tutaj którejś z metod dyskontowych, chociażby metody kosztów rocznych? Zwłaszcza, że w badaniach uwzględniono spadek sprawności układu CHP oraz zwiększenie emisji substancji szkodliwych w każdym kolejnym roku jego eksploatacji (str. 86), a więc jednak zmianę parametrów w czasie.
15. Autorka nie przeprowadziła szerszej analizy otrzymanych wyników. Otrzymane rezultaty przedstawiła w tabelkach. Spośród otrzymanych wyników w sposób dość arbitralny wybierała jedno z rozwiązań, komentując je zdaniem: „Uwzględniając zależność mocy znamionowej od kosztu serwisu, zapotrzebowania na paliwo, kosztu inwestycji, analiza otrzymanych wyników skłania ku zastosowaniu jednostki...”. Szkoda, że w pracy Autorka nie zaprezentowała chociaż jednej przykładowej analizy tego typu. Nawet w formie opisowej. Wskazane przez nią rozwiązanie trzeba przyjąć w zasadzie na wiarę, jako rozwiązanie optymalne. Jedynym wskaźnikiem na podstawie którego podejmowana jest decyzja, jest tu suma λ_{CHP} oraz β_{CHP} . W podsumowaniu pracy ciekawe byłoby też zestawienie optymalnych rozwiązań otrzymanych w wyniku zastosowania różnych metod badawczych oraz omówienie przyczyn występujących rozbieżności.
16. Szkoda, że Autorka nie poświęciła nieco więcej czasu na opracowanie strony redakcyjnej rozprawy.

Autorka rozprawy zrealizowała obszerną pracę badawczą. Jej wykonanie wymagało znacznych umiejętności badawczych, ale także organizacyjnych. Realizacja programu komputerowego wykazała, iż Doktorantka biegle programuje w aplikacji Matlab oraz w środowisku programistycznym Microsoft Visual C# 2010. Autorka rozprawy wykazała się także umiejętnością opracowywania sprawozdań i raportów z prac badawczych. Wykazane powyżej w recenzji niedociągnięcia oraz uchybienia nie umniejszają wartości merytorycznej całego opracowania. Pewne nieścisłości pojawiły się zapewne na etapie redagowania pracy. Z kolei przedstawione uwagi i sugestie mają przede wszystkim charakter polemiczny i dyskusyjny. Podsumowując, ogólna ocena rozprawy jest pozytywna.

6. Podsumowanie, spełnienie wymogów ustawowych

Uzyskane w rozprawie wyniki, oparte w przeważającej części na badaniach własnych Autorki, są wartościowe zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i utylitarnego. Autorka zaprezentowała w swojej rozprawie doktorskiej oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Jako jej wkład w dyscyplinę naukową elektrotechnika zaliczam przede wszystkim:

- dokonanie analizy wybranych metod optymalizacji wielokryterialnej oraz wskazanie metody analitycznej hierarchizacji jako najbardziej przydatnej do doboru jednostek skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła;

- opracowanie uniwersalnego algorytmu doboru jednostki kogeneracyjnej uwzględniającego zużycie instalacji w kolejnych latach eksploatacji;
- zbudowanie modelu matematycznego opisującego zachowanie układu kogeneracyjnego w konkretnych warunkach pracy;
- napisanie w dwóch różnych środowiskach programistycznych narzędzia wspomagającego dobór parametrów jednostki kogeneracyjnej wykorzystującego metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji;
- wprowadzenie, zdefiniowanie oraz uwzględnienie w realizowanych analizach i badaniach, nowych parametrów pomocniczych λ_{CHP} oraz β_{CHP} .

Sposób prowadzenia badań oraz uzyskane rezultaty możliwe do wykorzystania w praktyce, potwierdzają znaczną wiedzę Doktorantki w jej dyscyplinie naukowej, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i przedstawiania jej wyników.

Na podstawie powyższych rozważań stwierdzam, iż w mojej ocenie **recenzowana praca spełnia wszystkie warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim** określone przez obowiązującą ustawę (Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, ze zm. w Dz. U. z 2005 r. Nr 164, poz. 1365, w Dz. U. z 2011 r. Nr 84, poz. 455 oraz Dz. U. z 2016 r. poz. 882) – ustawa znowelizowana) w zakresie dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika (zawierającej dyscyplinę elektrotechnika).
Wnioskuje o dopuszczenie pracy do publicznej obrony.

Andrzej Chojnacki