



dr hab. inż. Katarzyna Halicka, prof. PB
Wydział Inżynierii Zarządzania
Politechnika Białostocka

Białystok, 22 sierpnia 2019 rok

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Krzysztofa Maja
pt. *Model hybrydowy wspomaganie decyzji dla elektrowni systemowej*

1. Podstawa opracowania recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgra inż. Krzysztofa Maja zatytułowana *Model hybrydowy wspomaganie decyzji dla elektrowni systemowej*. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Tadeusz Krupa. Recenzja została opracowana na zlecenie Pana Dziekana Wydziału Zarządzania Politechniki Warszawskiej dra hab. inż. Janusza Zawiły-Niedźwiedzkiego, prof. PW na podstawie pisma nr WZ/147/2019 z dnia 7 sierpnia 2019 roku.

Recenzja stanowi element postępowania o nadanie mgrowi inż. Krzysztofowi Majowi stopnia naukowego doktora w dyscyplinie nauki o zarządzaniu (nauki o zarządzaniu i jakości). Celem recenzji jest udzielenie odpowiedzi na pytanie czy przedmiotowa rozprawa spełnia wymogi określone w art. 13. pkt. 1. Ustawy 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 z późn. zm.).

2. Charakterystyka ogólna rozprawy

Recenzowana rozprawa mieści się w szeroko rozumianej problematyce zarządzania bezpieczeństwem energetycznym kraju. W szczególności obiektem zainteresowania Pana mgra inż. Krzysztofa Maja są metody i systemy zarządzania ciągłością pracy elektrowni systemowej.

Autor podjął w rozprawie aktualny i ważny problem dotyczący poszukiwania metod i narzędzi umożliwiających rozpoznanie oraz właściwe zarządzanie w sytuacji kryzysowej będącej wynikiem nieplanowanych zdarzeń zagrażających ciągłości pracy elektrowni systemowych pracujących w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym. W mojej opinii podjęcie takiej tematyki jest zasadne i użyteczne zarówno z punktu widzenia nauki jak i praktyki gospodarczej.



Uzasadniając wybór problematyki badawczej Autor wskazał następujące przesłanki wskazujące na celowość podjętych w rozprawie badań:

- potrzebę opracowania nowoczesnych modeli zarządzania pozwalających na utrzymanie stanu równowagi w relacjach elektrownia systemowa – dynamiczne otoczenie zewnętrzne;
- doskonalenia istniejących systemów zabezpieczeń na wypadek zaistnienia sytuacji kryzysowej, które zadaniem Autora w chwili obecnej „są przestarzałe i nie sprawdzają się w szybko zmieniającym się otoczeniu”;
- konieczność wprowadzenia zabezpieczeń wobec zagrożenia cyberterroryzmem, które w określonych warunkach gospodarczo-politycznych może doprowadzić do całkowitego paraliżu systemu elektroenergetycznego;
- konieczność ograniczenia destabilizacji rynku energii elektrycznej, która stwarza istotne ryzyko dla działalności jego podmiotów i prowadzi na ogół do różnorodnych sytuacji kryzysowych.

Uwzględniając powyższe problemy Autor słusznie zauważa potrzebę zbudowania kompleksowego systemu wspomagania decyzji na potrzeby elektrowni systemowych oraz opracowania modelu zarządzania, umożliwiającego monitorowanie, identyfikowanie i diagnozowanie relacji elektrowni systemowej z otoczeniem (nie tylko na płaszczyźnie producent – odbiorca).

Biorąc pod uwagę zaproponowaną przez zespół pod kierunkiem prof. Sz. Cyferta, klasyfikację subdyscyplin w obrębie dyscypliny nauki o zarządzaniu, podjęta w rozprawie problematyka badawcza na poziomie operacyjnym umiejscowiona została w ramach subdyscypliny *zarządzanie wiedzą i informacją* (w kontekście zarządzania wiedzą organizacyjną oraz systemami komunikacyjnymi w zarządzaniu) oraz na poziomie funkcjonalnym w ramach subdyscypliny *zarządzanie produkcją i technologią*¹.

Zaproponowany tytuł opiniowanej rozprawy *Model hybrydowy wspomagania decyzji dla elektrowni systemowej* odpowiada jego treści i jednoznacznie określa rozważany problem i zakres badań podjętych przez Autora. Temat ma cechy dysertabilności, to znaczy jest oryginalny i istotny z punktu widzenia aktualnych trendów badawczych.

¹ Sz. Cyfert, W. Dyduch, D. Latusek-Jurczak, J. Niemczyk, A. Sopińska, *Subdyscypliny w naukach o zarządzaniu – logika wyodrębnienia, identyfikacja modelu koncepcyjnego oraz zawartość tematyczna*, „Organizacja i Kierowanie” 2014 nr 1, s. 37-49.



3. Struktura pracy

Recenzowana rozprawa liczy 248 stron, z czego 151 stron stanowi tekst zasadniczy. Struktura pracy obejmuje cztery rozdziały zatytułowane: 1. *Rynek energii elektrycznej i jego determinanty*, 2. *Otoczenie elektrowni systemowej i jego wpływ na bezpieczeństwo energetycznego kraju*, 3. *Model hybrydowy MHSWD i jego komponenty*, 4. *Implementacja modelu i eksperymenty*. Integralnymi elementami pracy są również: *Wprowadzenie w problematykę badań*, *Podsumowanie pracy i kierunki dalszych badań*, *Bibliografia*, *Tezaurus pojęć*, *Spis rysunków*, *Spis tabel*, *Załączniki*, *Dokumenty elektroniczne wymiennie w SOWE oraz Wskaźniki*. Recenzowana rozprawa została przygotowana w języku polskim.

Struktura recenzowanej rozprawy jest prawidłowa w sensie logiki i zasadności prezentowanych treści. Dwa pierwsze rozdziały o charakterze teoretyczno-przeglądowym stanowią z jednej strony wprowadzenie do podjętego przez Autora tematu badawczego, z drugiej podstawę do badań własnych Autora, których wyniki zawarto w rozdziale trzecim. Rozdział czwarty obejmuje implementację Autorskiego modelu hybrydowego MHSWD. Jedyne moje zastrzeżenie budzi nierównomierne rozłożenie treści w poszczególnych rozdziałach oraz podrozdziałach. Przykładowo rozdział 3 *Model hybrydowy MHSWD i jego komponenty* liczy 41 stron, natomiast rozdział 4 *Implementacja modelu i eksperymenty* liczy tylko 19 stron. Z kolei podrozdział 3.2 *Kategorie integracji systemów hybrydowych* zajmuje zaledwie 1/3 strony, podczas gdy objętość podrozdziału 2.3 *Identyfikacja czynników przyczyniających się do występowania zagrożeń w KSE* to aż 15 stron.

Literatura przedmiotu liczy 268 pozycji. Autor odwołuje się zarówno do dorobku polskiej jak i zagranicznej literatury przedmiotu.

4. Problem badawczy, cele i hipotezy badawcze oraz ich oryginalność

W mojej opinii problem badawczy został sformułowany w postaci dwóch pytań badawczych (aczkolwiek Autor twierdzi, że jest to jedno zasadnicze pytanie, s. 20-21):

1. W jaki sposób, przy istniejących ograniczeniach wynikających z dynamiki zmian w otoczeniu elektrowni systemowej i biorąc pod uwagę przyjęte rozwiązania mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego kraju oraz gotowości technologicznej, można przewidzieć nadchodzącą sytuację kryzysową będącą wynikiem nieplanowanych zdarzeń zagrażających ciągłości pracy elektrowni systemowej?
2. Jakie podjąć decyzje, aby uniknąć skutków nadchodzącego kryzysu?



Autor sformułował 10 celów pracy rozprawy doktorskiej, klasyfikując je w trzy grupy, (s. 24-26):

- poznawcze:
 - analiza literatury przedmiotu dotyczącej funkcjonowania Krajowego Rynku Energii Elektrycznej w Polsce i mechanizmów rynkowych z nim związanych;
 - analiza danych statystycznych określających wielkość sektora energetyki w Polsce i na świecie;
 - analizę krajowych i międzynarodowych uwarunkowań formalno-prawnych dotyczących funkcjonowania i zadań stawianych przed podmiotami na Rynku Energii Elektrycznej (REE);
 - studia literaturowe piśmiennictwa faktograficznego, publikatorów branżowych, materiałów wewnętrznych Elektrowni „KOZIENICE” S.A. (Enea Wytwarzanie), Elektrowni „DOLNA ODRA” (PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A.) oraz Operatora Systemu Przesyłowego (Polskich Sieci Elektroenergetycznych S.A.), dotyczących funkcjonowania podmiotów na Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE) i jego bezpieczeństwem;
 - analiza sfer zagrożeń ciągłości działania elektrowni systemowych w oparciu o zaistniałe w Polsce i na świecie kryzysy energetyczne;
 - przegląd metod i modeli zarządzania kryzysowego w oparciu o wykładnię prawną, instrukcje, raporty, procedury i prace badawcze dotyczące działań antykryzysowych, ze szczególnym zwróceniem uwagi na ograniczenia ich stosowalności;
 - przegląd zagadnień metodycznych z zakresu metod sztucznej inteligencji w elektroenergetyce oraz modeli hybrydowych związanych ze wspomaganiami decyzji w procesach zarządzania ciągłością pracy elektrowni;
- teoretyczny:
 - opracowanie modelu hybrydowego systemu wspomaganiania decyzji, będącego dynamicznym modelem równowagi oddziaływań elektrowni z jej zewnętrznym otoczeniem dla zmiennych wejściowych opisujących: (1) otoczenie makroekonomiczne elektrowni, (2) oddziaływanie sytuacji kryzysowych, (3) przestrzeń decyzji operacyjnych dotyczących pracy bloku elektrowni, (4) funkcję celu charakteryzującą koszt własny produkcji energii elektrycznej, (5) warunki techniczne pracy bloku energetycznego;



- praktyczne:
 - implementację i wdrożenie modelu MHSWD, który zawiera metodykę wspomagania strategicznych i taktyczno-operacyjnych procesów zarządzania ciągłością pracy elektrowni systemowej;
 - przeprowadzenie eksperymentów i symulacji potwierdzających użyteczność i poprawność funkcjonowania modelu.

Uważam, że należałoby jednoznacznie wyłonić – spośród wyżej wymienionych – **jeden główny cel pracy**. W mojej opinii wszystkie cele poznawcze nie zostały prawidłowo sformułowane. Celem rozprawy nie może być „analiza ...”, czy też „studia literaturowe ...” Analiza oraz studia literaturowe są to pewnego rodzaju narzędzia umożliwiające osiągnięcie założonego celu. Celem poznawczym może być przykładowo: (1) zdobycie wiedzy z zakresu funkcjonowania Krajowego Rynku Energii Elektrycznej w Polsce oraz mechanizmów rynkowych z nim związanych czy też (2) identyfikacja sfer zagrożeń ciągłości działania elektrowni systemowych na podstawie zaistniałych w Polsce i na świecie kryzysów energetycznych. Nie jestem również zwolenniczką sformułowania „cel praktyczny”, proponowałabym raczej używać sformułowania „cel aplikacyjny”.

Autor sformułował następującą **tezę badawczą**, którą poddał weryfikacji empirycznej:

Dla utrzymania ekonomicznie uzasadnionej ciągłości działania elektrowni systemowej, mającej na celu zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego, niezbędne jest zbudowanie dynamicznego modelu rozpiętości parametrów techniczno-ekonomicznych ograniczających przestrzeń decyzyjną w zakresie planowania jej pracy i funkcjonowania w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (s. 26).

Autor nie sprecyzował klarownie metodyki prac nad doktoratem. Przedstawił natomiast program badań w ujęciu poziomów gotowości technologicznej (s. 27-28, 31). W mojej opinii należałoby sformułować zadania badawcze umożliwiające osiągnięcie założonych celów czy też przyporządkować celom pracy konkretne metody i narzędzia badawcze oraz powiązać cele pracy z poszczególnymi częściami pracy zaznaczając jednoznacznie, które cele odnoszą się do części teoriopoznawczej (rozdziały 1, 2), a które do badawczej (rozdziały 3, 4).

5. Ocena merytoryczna rozprawy

Rozdział pierwszy rozprawy doktorskiej dotyczy rynku energii elektrycznej w Polsce. Autor początkowo opisał sektor energetyki zarówno w Polsce jak i na świecie. Zaprezentował podmioty rynku energii i jego poszczególne segmenty akcentując znaczenie oraz rolę Rynku Bilansującego. Przedstawił także mechanizm bilansowania popytu i podaży energii elektrycznej. Opisał



rozwiązania systemowe SOWE/EL, WIRE i OVATION służące wymianie informacji techniczno-ekonomicznych niezbędnych do realizacji procesów zarządzania produkcją energii elektrycznej. W końcowej części rozdziału poruszył problemy związane z funkcjonowaniem rozwiązań systemowych SOWE/EL, WIRE i OVATION. Z uwagi na fakt, że cele poznawcze nie zostały prawidłowo sformułowane trudno jest jednoznacznie stwierdzić, czy treści analizowanego rozdziału są bezpośrednio powiązane z celami naukowymi pracy. Zakładając jednak, że jednym z celów poznawczych pracy było przykładowo zdobycie wiedzy na temat KREE i podmiotów na nim funkcjonujących rozdział ten, w mojej opinii, mógłby posłużyć do realizacji przyjętych celów.

Rozdział drugi dysertacji dotyczy otoczenia elektrowni systemowej i związanego z tym bezpieczeństwa energetycznego. Początkowo Autor zaprezentował podstawowe definicje związane z bezpieczeństwem energetycznym. Zidentyfikował również czynniki wywołujące zagrożenia w systemie energetycznym. Opisał także rozwiązania systemowe oraz procedury zarządzania antykryzysowego. W mojej opinii treści analizowanego rozdziału nie zostały jednoznacznie powiązane z celami naukowymi pracy, co należy uznać za słabość recenzowanej dysertacji. Tytuł podrozdziału 2.2 sugeruje, że Autor w tym miejscu zidentyfikował i opisał źródła awarii systemowych. Nie do końca treści zawarte w podrozdziale potwierdzają takie przypuszczenia. Dlatego proszę aby **podczas publicznej obrony Autor** podał kilka źródeł największych awarii systemowych ilustrując konkretnymi przykładami z sektora energetyki na świecie i w Polsce.

Rozdział trzeci rozprawy ściśle związany jest z budową modelu hybrydowego MHSWD. Autor początkowo wyjaśnia, posiłkując się zarówno literaturą polską jak i zagraniczną, jak rozumiane jest pojęcie modelu oraz modelu hybrydowego. Prezentuje również sposoby integracji komponentów w modelu hybrydowym oraz podaje możliwości zastosowania metod sztucznej inteligencji w elektroenergetyce. Dalej przedstawia model hybrydowy MHSWD, szczegółowo prezentuje jego składowe takie jak między innymi: modele neuronowe wykorzystywane do predykcji obciążeń bloku energetycznego (MLP, GRNN oraz RBF) oraz modele sieci Kohonena (SOM, DSOM). Treści analizowanego rozdziału są ściśle związane z celem teoretycznym dysertacji. Badania zaprezentowane w tym rozdziale umożliwiają zbudowanie modelu hybrydowego MHSWD.

Jednak pewne zagadnienia poruszane w tym rozdziale wymagają uszczegółowienia, dlatego też proszę **aby podczas publicznej obrony Autor odniósł się do następujących kwestii:**

- (1) Dlaczego do predykcji obciążeń jednostki wytwórczej Autor, w zależności od rodzaju sieci neuronowej, przyjął odmienny wektor zmiennych wejściowych? Przykładowo w przypadku modeli MLP (s. 110) oraz RBF (s. 116-117) wektor zawierał 15 zmiennych (MIESIĄC, ROK, CH.



- DZ.T. UŚR., GODZINA, GODZ. WSK. WŁĄCZENIA 2 BLOKU 500 MW, TOTAL ELKO(D-1), TOTAL ELKO(D-2), TOTAL ELKO(D-3), h-1, h-2, h-2, h-3, h-4, h-5, h-6), natomiast w przypadku modeli GRNN (s. 114) tylko 10 zmiennych (MIESIĄC, CH. DZ.T. UŚR., GODZINA, TOTAL ELKO, h-1, h-2, h-3, h-4, h-5, h-6). Czy w takiej sytuacji uzasadnione jest porównanie tych modeli ze sobą i wybór jednego, najlepszego? Czy Autor sprawdził jakie będą wyniki gdy liczba zmiennych wejściowej sieci MLP oraz RBF zostanie zmniejszona do 10 – tak jak ma to miejsce w przypadku modelu GRNN?
- (2) W jaki sposób Autor wyznaczył liczbę neuronów w warstwach ukrytych sieci typu MLP? W przypadku sieci z jedną warstwą ukrytą jest to 50 neuronów (s. 111), zaś w z dwoma warstwami ukrytymi jest to odpowiednio 60 oraz 30 neuronów (s. 112). Czy Autor zastosował jedną z reguł wyznaczania warstw ukrytych, jeśli tak to jaką? Jakie są znane Autorowi reguły ustalenia neuronów w warstwach ukrytych sieci MLP?
- (3) Czy Autor wyznaczył wartość błędu MAPE w przypadku zastosowania do predykcji sieci neuronowych typu MLP oraz GRNN? Jeśli tak to proszę o podanie i porównanie tych wartości.

Rozdział czwarty dysertacji dotyczy implementacji oraz weryfikacji modelu hybrydowego MHSW. Autor zaprezentował działanie autorskiego modelu w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Początkowo przedstawił sposób implantacji modelu w architekturę systemu informacyjnego elektrowni systemowej. Dalej opisał autorską aplikację ACM-2010 umożliwiającą wizualizację otrzymanych z modelu hybrydowego informacji i ułatwiającą podjęcie decyzji przez kadrę kierowniczą. Następnie zaprezentował osiem eksperymentów, które zweryfikowały poprawność modelu i potwierdziły słuszność tezy wiodącej. Wykazał, że inne metody i modele mają ograniczony charakter i nie przynoszą oczekiwanych rezultatów. Przeprowadzone przez Autora symulacje potwierdziły przydatność modelu w procesie zarządzania ciągłością pracy elektrowni systemowej. Treści analizowanego rozdziału są ściśle związane z celami aplikacyjnymi dysertacji. Badania zaprezentowane w tym rozdziale umożliwiają prawidłową implantację oraz weryfikację modelu hybrydowego MHSW.

Dobrą praktyką przy pisaniu rozpraw doktorskich jest również bezpośrednie odniesienie się w końcowej części pracy (zakończenie, podsumowanie) do przyjętych celów i hipotez badawczych z jednoczesnym stwierdzeniem ich stopnia osiągnięcia, weryfikacji lub confirmacji.

6. Ocena rozprawy pod względem techniczno-redakcyjnym

Pod względem techniczno-redakcyjnym praca została napisana poprawnie, estetycznie i logicznie. Wśród błędów edycyjnych należy wymienić nie zawsze poprawnie stosowanie łącznika. Zamiast



półpazy „-” Autor używa łącznika „-”, przykładowo: „ ...pracę jednostki wytwórczej - turbogeneratora bloku ...” (s. 27); „Do państw o największym wskaźniku zużycia energii elektrycznej per capita na świecie należą: Islandia - 52922, Liechtenstein - 35848, ...” (s. 35); „Elektrownie systemowe w Polsce- wyszczególnienie...” (s. 43).

Autor też nie odnosi się bezpośrednio w tekście rozprawy do tabel i rysunków. W mojej opinii do każdego rysunku i tabeli należy się odwołać bezpośrednio w tekście, na przykład poprzez sformułowania typu: „na rysunku X.Y przedstawiono”, „w tabeli X.Y zestawiono...”, lub poprzez podanie numeru rysunku czy numeru tabeli w nawiasach.

W mojej opinii konieczne jest również numerowanie równań, wzorów (przykładowo: s. 105-107, 109, 118), tym bardziej, że Autor odnosi się do tych wzorów. Poza tym niezbędne jest także dodanie przy wzorach przypisów, podanie źródła, z którego zostały zaczerpnięte – nie są to autorskie wzory Doktoranta (przykładowo MAPE, s. 118).

Wektor wejściowy w przypadku sieci RBF składa się 15 zmiennych, zatem sieć neuronowa ma architekturę 15-15-4417-1-1 (s.117). Na stronie 126 Autor jednak podaje, że sieć RBF ma strukturę 16-16-4417-1-1.

Zauważone przeze mnie błędy o charakterze językowym mają charakter jednostkowy. Zdarzają się też błędy ortograficzne, przykładowo: „nie wykorzystywano by” (s. 18).

7. Wniosek końcowy

Praca spełnia wymagania stawione pracom doktorskim, jest poprawna pod względem formalnym i merytorycznym. Za najistotniejsze walory poznawcze recenzowanej pracy należy uznać:

- ważność podjętej tematyki badawczej;
- identyfikacja i opis kluczowych problemów i zagrożeń związanych z kryzysami w elektrowniach systemowych;
- własne badania, których celem było gromadzenia informacji stanowiących podstawę bazę do zaproponowanego hybrydowego modelu wspomagania decyzji;
- opracowanie autorskiego modelu hybrydowego wspomagającego zarządzanie ciągłością pracy elektrowni systemowej;
- badania symulacyjne weryfikujące poprawność i przydatność modelu;



- opracowanie aplikacji ACM-2010, która została zaimplementowana w rzeczywiste warunki pracy elektrowni i która kadrze zarządzającej umożliwia wybór określonych działań organizatorskich, zapobiegających wystąpieniu sytuacji kryzysowej w elektrowni systemowej.
- praktyczne rekomendacje wdrożeniowe.

Autor rozprawy podjął się rozwiązania oryginalnego problemu naukowego, dotychczas nie rozpoznanego w literaturze przedmiotu, związanego z opracowaniem metod i narzędzi umożliwiających właściwe zarządzanie w sytuacji kryzysowej będącej wynikiem nieplanowanych zdarzeń zagrażających ciągłości pracy elektrowni systemowych pracujących w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym.

Recenzowana rozprawa Pana mgra inż. Krzysztofa Maja spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z art. 13. pkt. 1. Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595 z późn. zm.) w zakresie wykazania się przez Kandydata ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie naukowej nauki o zarządzaniu (nauki o zarządzaniu i jakości) oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W rozprawie samodzielnie sformułowano i rozwiązano oryginalny problem naukowy.

Uwzględniając fakt, że Pan mgr inż. Krzysztof Maj podjął się aktualnej i ważnej problematyki naukowej oraz zrealizował przyjęte cele rozprawy, wnoszę o dopuszczenie Pana mgra inż. Krzysztofa Maja do kolejnych etapów postępowania o nadanie stopnia naukowego w dyscyplinie nauki o zarządzaniu (nauki o zarządzaniu i jakości).

Biorąc pod uwagę merytoryczną ocenę pracy doktorskiej Pana mgra inż. Krzysztofa Maja pt. *Model hybrydowy wspomaganie decyzji dla elektrowni systemowej* stwierdzam, że pomimo kilku kwestii dyskusyjnych, **spełnia ona wymagania stawione pracom doktorskim**, zawarte w Ustawie 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 z późn. zm.) i **wnoszę do Rady Wydziału Zarządzania Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie pracy do publicznej obrony.**

Katarzyna Halicka

dr hab. inż. Katarzyna Halicka, prof. PB