

R e c e n z j a

rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Maja pt.: „**Model hybrydowy wspomagnia decyzji dla elektrowni systemowej**”.

1. Obszar problemowy rozprawy

Szybko rosnący popyt na energię elektryczną oraz towarzysząca mu eskalacja zagrożeń związanych z jej wytwarzaniem i przesyłaniem wymusza konieczność wypracowywania nowych rozwiązań zapewniających ciągłość pracy elektrowni Krajowego Systemu Energetycznego w sytuacjach kryzysowych. Istota zarządzania ciągłością wytwarzania i dostarczania energii elektrycznej odbiorcom po ekonomicznie uzasadnionych cenach sprowadza się do utrzymania stanu równowagi w relacjach: elektrownia systemowa – jej dynamicznie zmieniające się otoczenie. Bilansowanie popytu i podaży energii przy zachowaniu mechanizmów konkurencyjności, z uwagi na swój strategiczny charakter, wymaga rozwiązań zapewniających ciągle monitorowanie zagrożeń oraz szybkie i racjonalne reagowanie w sytuacjach kryzysowych spowodowanych np. przez klęski żywiołowe, akty sabotażu, błędne decyzje kadry zarządzającej itp. Dostępne w tym zakresie systemy zabezpieczeń i procedur działań antykryzysowych okazują się często niewystarczające – zawodzą w szczególności w przypadkach obiektów dużej skali, funkcjonujących w szybko zmieniającym się otoczeniu.

W tym kontekście, opiniowana rozprawa koncentruje się na zagadnieniach utrzymania ciągłości procesów technologicznych zapewniających bezpieczeństwo energetyczne warunkowane ograniczeniami dostępnej infrastruktury krytycznej elektrowni systemowej, a w szczególności infrastruktury obiektów technicznych i systemów informatycznych uczestniczących w procesie technologicznym wytwarzania prądu elektrycznego. Przedstawione w niej podejście można zrekonstruować w następujący sposób: Dana jest instancja infrastruktury krytycznej elektrowni systemowej oraz jej makroekonomiczne i techniczne otoczenie. Znane są dane historyczne charakteryzujące przebiegi procesów wytwarzania i przesyłu energii elektrycznej uwzględniające zmienność obciążeń Krajowego Systemu Energetycznego, wpływ pór roku i temperatury, awarie jednostek wytwórczych, przerwy w transmisji danych biznesowych oraz modyfikacje danych. Znane są także charakterystyki wybranych sytuacji

kryzysowych. Poszukiwany jest model zarządzania pozwalający na analizę (identyfikację symptomów inicjujących sytuacje kryzysowe) i utrzymanie stabilności Rynku Energii Elektrycznej, a w tym na przewidywanie wybranych sytuacji kryzysowych. Komputerowa implementacja tego modelu powinna umożliwiać ciągłe monitorowanie relacji popytu i podaży, a w szczególności na monitorowanie infrastruktury krytycznej elektrowni oraz występujących w niej zaburzeń inicjujących sytuacje kryzysowe. Jej wykorzystanie w docelowym systemie wspomagania decyzji, winno pozwalać na interakcyjne wariantowanie i podejmowanie decyzji w wybranych sytuacjach kryzysowych powstających np. w wyniku: przeciążenia bloku, braku transmisji danych techniczno-ekonomicznych, modyfikacji danych biznesowych itp.

Reasumując, opiniowana rozprawa koncentrując się na zagadnieniach modelowania i rozwiązywania problemów predykcji sytuacji destabilizujących równowagę popytu i podaży energii elektrycznej podejmuje ważny i aktualny problem zarządzania kryzysowego w elektrowniach systemowych. Elementy nowości zaproponowanego podejścia przejawiają się tak w oryginalnym sformułowaniu modelu hybrydowego zakładającego dostępność wiedzy o procesach wytwarzania i dystrybucji energii elektrycznej, jak i autorskich, proponowanych w jego komputerowej implementacji, wersjach: klasyfikatora Bayesa (weryfikującego poprawności strumieni danych techniczno-ekonomicznych), sieci Kohonena (zwracającej mapy cech ryzyka), a także modeli procedur predykcji szeregów czasowych umożliwiających prognozowanie obciążeń jednostki wytwórczej. Uważam, że podjęcie przedstawionej problematyki, w rozprawie o charakterze empiryczno-metodycznym, jest uzasadnione zarówno ze względów poznawczych, jak i możliwości wielu praktycznych zastosowań związanych z zarządzaniem pracą elektrowni systemowej, m.in. w zakresie przewidywania obciążeń, w szczególności obciążeń krytycznych.

2. Kompozycja i treść rozprawy

Opiniowana praca liczy 236 stron i obejmuje Wprowadzenie w problematykę badań, 4 rozdziały, Podsumowanie pracy i kierunki dalszych badań, polsko- i anglojęzyczne streszczenia, wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów, tezaursus pojęć, spisy rysunków i tabel, 31 załączników ilustrujących wybrane statystyki i algorytmy metody ACM-2010 oraz liczący 268 pozycji wykaz cytowanej literatury. W spisie tym występuje 6 samodzielnych i 3 współautorские publikacje Doktoranta. Załączona lista źródeł bibliograficznych obejmuje ważniejsze, aktualne pozycje literaturowe z zakresu przedmiotu rozprawy.

Z merytorycznego punktu widzenia, w rozprawie wyodrębnić można trzy zasadnicze części. W części pierwszej, posiadającej wprowadzająco-systematyzujący charakter (obejmującej **Wprowadzenie w problematykę badań** oraz rozdziały 1-2) przedstawiono genezę, cele

i tezę pracy, a także planowany program badań. W części tej na kanwie modelu Krajowego Rynku Energii Elektrycznej omówiono m.in. mechanizmy bilansowania popytu i podaży energii oraz mechanizmy leżące u podstaw wspomaganie decyzji na Rynku Bilansującym służące wymianie informacji techniczno-ekonomicznych, niezbędnych do realizacji procesów zarządzania produkcją energii elektrycznej. Scharakteryzowano wybrane czynniki determinujące występowanie zagrożeń w Krajowym Systemie Energetycznym oraz, na przykładzie przytoczonych studiów przypadku, zilustrowano przydatność procedur zarządzania antykryzysowego wykorzystywanych w Elektrowni "KOZIENICE". Monograficzny charakter tej części rozprawy stanowi jej główną zaletę. Przyjęta w niej formuła prezentacji, bardzo lapidarna, stwarzająca wrażenie swoistych wypisów z literatury przedmiotu, nadaje tej części pewien syntetyczny, faktograficzny charakter skutkujący niejednokrotnie brakiem przykładów ilustracyjnych, a także szerszych autorskich uwag i komentarzy. Potencjalnymi obszarami tego typu uwag mogłyby być tutaj przykłady zagranicznych rozwiązań wykorzystywanych w zakresie zarządzania antykryzysowego, przykłady energetyki prosumenckiej i/lub atomowej. Pewien niedosyt w tym kontekście budzi również brak szerszej dyskusji ukazującej perspektywiczne aspekty możliwości bilansowania rosnącego popytu (związanego z rozwojem zrównoważonej mobilności) i ograniczeń podaży energii (związanego z rozwojem zrównoważonej energetyki).

Część druga (rozdział 3), zawierająca główne, poznawcze wyniki rozprawy, poświęcona została budowie modeli neuronowych składających się na strukturę Modelu Hybrydowego Systemu Wspomagania Decyzji. Struktura tego modelu odpowiadająca strukturze funkcjonalnej obiektów składających się na instancję rozważanego fragmentu Krajowego Systemu Energetycznego odzwierciedla równocześnie strukturę systemu informatycznego wspierającego podejmowane w nim decyzje. Dane charakteryzujące stan infrastruktury krytycznej elektrowni oraz jej techniczno-ekonomicznego otoczenia przetwarzane są w strukturze trzech sieci neuronowych: sieci prognozującej o radialnych funkcjach bazowych oraz dwóch sieci zwracających odpowiednio samoorganizującą się oraz dynamiczną mapę Kohonena. Integracja tych sieci z bazą wiedzy umożliwia prognozowanie obciążenia, kontrolę oraz symulację stanu pracy jednego bloku energetycznego elektrowni systemowej.

Mocną stroną tej części pracy, stanowi opis badań różnych sieci prognozujących, różnych ich konfiguracji oraz różnych metod uczenia składających się na wybór najdokładniejszego modelu prognostycznego. W ich efekcie wybrano model oparty na strukturze sieci o radialnych funkcjach bazowych pozwalający na najlepsze dostrojenie (skutkujące najmniejszym błędem prognozy) do rzeczywistych danych zebranych w okresie od 2002 do 2018 roku i udostępnionych przez Elektrownię "KOZIENICE" w Świerżach Górnych.

Spośród niedostatków tej części rozprawy warto wskazać na stosunkowo powierzchowny opis wykorzystywanej bazy wiedzy, tak w zakresie opisu etapów występujących w procesie wstępnego przetwarzania danych (selekcji, ekstrakcji, czyszczenia, transformacji oraz uzupełniania ewentualnych braków w ciągach danych), jak i przykładów ilustrujących podział zebranych danych na podzbiory: trenujące sieć, walidacyjne i testujące. W tym kontekście warto również zwrócić uwagę na brak stosownej dyskusji efektu występującego w sieciach Kohonena prowadzącego się do obserwacji, że wynik trenowania sieci zależy od porządku, w jaki pobierane są przykłady do trenowania; wagi neuronów są modyfikowane w sposób wskazany przez algorytm po zaprezentowaniu każdego kolejnego przykładu.

W części trzeciej (obejmującej rozdział 4 oraz **Podsumowanie pracy i kierunki dalszych badań**), podejmującej próbę praktycznej implementacji opracowanych rozwiązań oraz wyznaczającej kierunki dalszych badań, skoncentrowano się na weryfikacji opracowanego systemu wspomagania decyzji, weryfikacji przeprowadzonej z wykorzystaniem danych pochodzących z Elektrowni "KOZIENICE". Przeprowadzone eksperymenty komputerowe potwierdziły przydatność opracowanego modelu hybrydowego w sytuacjach wymagających wczesnego diagnozowania symptomów nadchodzącego kryzysu. Warto zauważyć, że prognozowanie przyszłych wartości mocy krytycznej pozwala na przygotowanie stosownych działań antykryzysowych umożliwiających bilansowanie popytu i podaży energii elektrycznej. Wśród działań tego typu leżą decyzje wymuszające wcześniejsze włączenie bloku pozostającego w stanie rezerwy, równoległe włączenie drugiego, dodatkowego bloku odciążającego, czy też uruchomienie dodatkowego bloku znajdującego się w innej elektrowni pracującej w Krajowym Systemie Energetycznym. Wymienione działania prewencyjne zmniejszające wrażliwość systemu energetycznego na dynamicznie zmieniające się obciążenie dobowe jednostek wytwórczych stanowią jednocześnie przykłady działań pozwalających zmniejszyć straty wynikające z niebilansowania popytu i podaży energii elektrycznej.

Zebrane wyniki, szeroko zakrojonych i bardzo rzetelnie przeprowadzonych badań, potwierdzające poprawność opracowanego modelu, a tym samym wykazujące poprawność przyjętej tezy wiodącej, składają się na oryginalny dorobek Doktoranta. Szkoda jednak, że efekty tak wielu czaso- i pracochłonnych eksperymentów nie zostały należycie wyeksponowane, np. w postaci sumarycznego, stabelaryzowanego zestawienia umożliwiającego ich porównanie. Pewnym niedostatkim tej części rozprawy jest również brak wcześniej przedstawionego planu prowadzonych eksperymentów, a także brak przykładowego scenariusza ilustrującego możliwości interakcyjnej obsługi opracowanego systemu wspomagania decyzji.

Deklarowany w Załączniku 31 „specjalny elektroniczny załącznik oznaczony jako CD2” nie został udostępniony.

3. Oryginalne osiągnięcia

Zmierzając do osiągnięcia zamierzonych przez siebie celów, m.in. do wykazania tezy zakładającej, że: „**...dla utrzymania ekonomicznie uzasadnionej ciągłości działania elektrowni systemowej, ..., niezbędne jest zbudowanie dynamicznego modelu rozpiętości parametrów techniczno-ekonomicznych ograniczających przestrzeń decyzyjną w zakresie planowania jej pracy ...**”, Doktorant uzyskał szereg nowych rezultatów. Do ważniejszych z nich, wyróżniających go spośród dostępnych w literaturze przedmiotu, można zaliczyć:

1. Przeprowadzenie pogłębionych studiów literaturowych i analiz faktograficznych obejmujących badanie oficjalnych dokumentów rządowych, obserwacje przeobrażeń zachodzących w sektorze energetyki, a także wyniki badań i analiz zaistniałych kryzysów tak na świecie, jak i w Polsce.
2. Zaplanowanie oraz przeprowadzenie szeregu eksperymentów i analiz porównawczych, weryfikujących efektywność wybranych sieci prognozujących, różnych ich konfiguracji i różnych metod uczenia na danych uzyskanych z rzeczywistego procesu produkcji energii elektrycznej.
3. Opracowanie modelu hybrydowego integrującego funkcjonalności różnych sieci neuronowych umożliwiającego budowę systemu wspomaganie decyzji w procesach zarządzania utrzymaniem ciągłości działania elektrowni systemowej.
4. Zaplanowanie oraz przeprowadzenie szeregu eksperymentów komputerowych weryfikujących przydatność opracowanego modelu hybrydowego wspomaganie decyzji dla elektrowni systemowej.

Reasumując uważam, że uzyskane rezultaty potwierdzają wysokie kwalifikacje Doktoranta umożliwiające Mu swobodne poruszanie się zarówno w obszarach zagadnień z zakresu zarządzania kryzysowego, bilansowania popytu i podaży energii elektrycznej, modelowania, programowania i symulacji sztucznych sieci neuronowych, obsługi systemów wspomaganie decyzji, a także technik programowania i planowania eksperymentów komputerowych. Potwierdzają również, że Doktorant potrafi podejmować i samodzielnie realizować zaplanowane cele badawcze.

4. Uwagi

Lektura rozprawy skłania do kilku uwag, tak ogólniejszej, jak i bardziej szczegółowej natury.

Uwagi ogólne:

1. Na tle bardzo licznych czaso- i pracochłonnych, rzetelnie przeprowadzonych analiz i eksperymentów odczuwalny jest brak próby całościowego uporządkowania uzyskanych wyników. Niedosyt ten, w szczególności, dotyczy ośmiu przeprowadzonych eksperymentów ilustrujących możliwości opracowanego systemu wspomagania decyzji, m.in. w zakresie predykcji krytycznych obciążeń, symulacji braku transmisji danych techniczno-ekonomicznych, modyfikacji danych biznesowych itp. Interesującą w tym kontekście byłaby lista przykładowych zapytań akceptowanych przez ten system.
2. Konsekwencją powyższego pytania jest kolejne: Z przeprowadzonych eksperymentów wynika, że opracowany system umożliwi prognozowanie sytuacji krytycznych powodowanych pojedynczo występującymi zdarzeniami np.: błędnymi decyzjami operatorów, aktami cyberterroryzmu, klęskami żywiołowymi itp. Rodzące się w tym kontekście pytanie dotyczy decyzji sugerowanych przez system w sytuacjach jednoczesnego pojawiania się, kilku różnych zagrożeń.
3. Implementowany w opracowanym systemie wspomagania decyzji model hybrydowy wspomagania decyzji dla elektrowni systemowej obejmuje jej wybrany fragment: turbogenerator BLOKU 10. Interesującą byłaby ocena możliwości rozwoju opracowanego podejścia zorientowana na jego implementację w systemie obejmującym kilka bloków, w szczególności umiejscowionych w różnych elektrowniach systemowych.

Uwagi szczegółowe

Oprócz wcześniej już wspomnianych wartościowych aspektów rozprawy warto również wskazać na:

- dobrze uzasadniony wybór formalizmu sztucznych sieci neuronowych jako formalizmu umożliwiającego predykcję szeregów czasowych oraz budowę modeli systemów, w zachowaniu których dominują procesy nieliniowe,
- przejrzystą, składającą na dobrze przemyślaną logiczną całość strukturę rozprawy, a w szczególności na konsekwentnie stosowane podsumowania głównych jej części – każdy z nich kończy punkt: „**Wnioski do rozdziału**”.

Z nasuwających się uwag krytycznych warto zwrócić na te o charakterze redakcyjnym odnoszącymi się do stosunkowo nielicznych, błędów formalnych oraz typograficznych. Przykładowe z nich:

- błędy formalne np.: wiele spośród zamieszczonych rysunków i tabel bądź to nie ma załączonych „Legend” lub te, już załączone nie są kompletne: na Rys. 0.0.1 brakuje Z5 - warunki techniczne pracy bloku, zamieszczane w tekście formuły winny być numerowane, zamieszczony model hybrydowy nie jest funkcją $MHSWD = f(Z1, Z2, Z3, Z4, SOM, DSOM, SP, PD, M, T)$, a co najwyżej uporządkowaną n-tką $MHSWD = (Z1, Z2, Z3, Z4, SOM, DSOM, SP, PD, M, T)$, swoją drogą jeżeli funkcja „f” ma swoją przeciwdziedzinę to co składa się na odpowiedź modelu?, oznaczenia funkcji celu $knet = (ai+mlv)(8760dA(1-\varepsilon))-1 + \delta bZN kp + ke [zł/kWh]$ nie są zgodne z przyjętą legendą: *j - jednostkowe nakłady inwestycyjne (na budowę elektrowni, remonty, modernizacje) [zł/kW], w - średnia roczna płaca personelu [zł/os i rok]*, itd.
- usterki typograficzne np.: „...dość wcześnie zaczęły...” 133¹¹, „...co konsekwencji prowadzi do katastrofy...” 74¹⁰, „...niż ma miejsce to w rzeczywistości...” 89¹⁶, „...W oparciu przeprowadzone...” 146¹¹,
- niezręcznościach, skrótach myślowych i/lub błędach stylistycznych np.: „Wewnątrz ciała tej metody...” 233³, „Dlatego też punkty pracy bloku są w ciągłej dynamice.” 141¹, „W przypadku zanegowania odpowiedzi modelu przez użytkownika...” 97¹, „...uczy się w środowisku niepewności i wrażenia.” 90¹⁰, warto raz przyjętą terminologię stosować konsekwentnie a nie jak to np. ma miejsce w przypadku „...metodę ACM-2010...” 26³, „...autorski program ACM-2010...” 23²⁰, warto również pamiętać, że opieramy się „o” coś (o ścianę), ale urządzenia i rozwiązania są oparte „na” technologii lub idei.

Większość tego typu uwag przekazałem bezpośrednio Autorowi.

5. Konkluzja

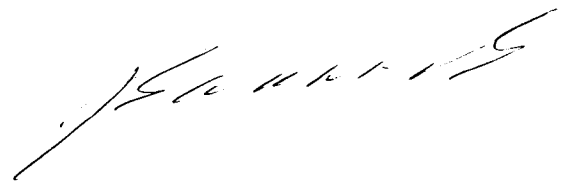
Stwierdzam, że w recenzowanej rozprawie doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Maja rozwiązany został oryginalny problem badawczy, polegający na opracowaniu autorskich modeli i algorytmów pozwalających na identyfikację symptomów umożliwiającą predykcję wybranych rodzajów sytuacji kryzysowych oraz implementacji tych modeli w metodzie ACM-2010, w systemie wspomagania decyzji dla elektrowni systemowej.

Uważam, że uzyskane rezultaty potwierdzają wysokie kwalifikacje Doktoranta umożliwiające Mu swobodne poruszanie się zarówno w obszarach zagadnień z zakresu zarządzania kryzysowego, modelowania problemów Krajowego Rynku Energii Elektrycznej, a także tech-

nik programowania i planowania eksperymentów komputerowych. Warto dodać, że opiniowana rozprawa wykonana została w ramach grantu promotorskiego N115 035235. Wymienione fakty potwierdzają, że Doktorant potrafi podejmować i samodzielnie realizować zaplanowane cele badawcze.

Na podstawie analizy materiału dysertacji Doktoranta stwierdzam, że opiniowana praca spełnia warunki stawiane przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytule naukowym w określeniu do rozpraw doktorskich (Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz.1789) oraz według Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. 2018 r. Poz. 261)) w dziedzinie nauk ekonomicznych, w dyscyplinie nauki o zarządzaniu i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

W uzupełnieniu do powyższego, uwzględniając rzadko spotykaną skalę przeprowadzonych badań, ponadprzeciętną aktywność naukowo-badawczą Doktoranta oraz praktyczną weryfikację uzyskanych wyników naukowych, wnioskuję o wyróżnienie tej rozprawy.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J. K. K. K. K.', written in a cursive style.