

Dr hab. inż. Stanisław Czapp, prof. PG
Politechnika Gdańska
Wydział Elektrotechniki i Automatyki
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Kornelii Agnieszki Banasik

***pt. Analiza wpływu warunków atmosferycznych na niezawodność eksploatacji
urządzeń i obiektów w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych***

promotor: dr hab. inż. Andrzej Ł. Chojnacki, prof. Politechniki Świętokrzyskiej

1. Ocena wyboru tematyki rozprawy doktorskiej

Niezawodność dostawy energii elektrycznej jest jednym z kluczowych elementów, na który zwraca się uwagę przy eksploataowaniu sieci elektroenergetycznych oraz planowaniu ich rozwoju. Brak dostarczenia zasilania może spowodować znaczne straty finansowe/materialne, a nawet zagrożenie życia lub zdrowia ludzkiego. W tym kontekście istotne jest określenie przyczyn braku dostarczenia zasilania do odbiorców, aby w przyszłości na danym terenie zastosować rozwiązania (np. linię kablową zamiast linii napowietrznej o przewodach gołych), które pozwolą uniknąć przerw w zasilaniu i niejednokrotnie związanych z tym sytuacji krytycznych. Doktorantka podjęła się bardzo szerokiej analizy wpływu czynników atmosferycznych na awarie w sieciach elektroenergetycznych i związaną z tym niezawodność dostawy energii elektrycznej. Określenie przyczyn awarii elementów sieci elektroenergetycznej jest bardzo ważne dla ich operatorów. Są oni odpowiedzialni na dostawę energii elektrycznej i poszukują rozwiązań zwiększających niezawodność tej dostawy przy jak najmniejszych nakładach inwestycyjnych. Wybór tematyki jest trafny, praca ujmuje w sposób naukowy zagadnienia, które dotyczą praktyki. Wyniki uzyskane w ramach realizacji rozprawy doktorskiej mogą mieć zastosowanie w elektroenergetyce i przyczynić się racjonalnej modernizacji czy rozbudowy sieci dystrybucyjnych.

2. Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym omówienie jej poszczególnych części składowych

Recenzowana rozprawa doktorska liczy łącznie 459 stron i składa się z następujących głównych rozdziałów:

- „Wstęp”, w którym dokonano wprowadzenia w tematykę badawczą, wskazano, że w rozprawie podjęto próbę zbadania związków pomiędzy kwestiami technicznymi a zjawiskami środowiskowymi, aby uzyskać informacje na temat ilościowego wpływu tych drugich na pracę i zawodność urządzeń elektroenergetycznych. We „wstępie” omówiono też zwięźle zawartość poszczególnych rozdziałów rozprawy.
- „1. Przedstawienie problemu i przegląd literatury”, w którym przedstawiono syntetyczny przegląd kluczowej literatury związanej z rozprawą, zdefiniowano niezawodność urządzeń elektroenergetycznych w odniesieniu do warunków środowiskowych, opisano czynniki środowiskowe powodujące awarie sieci elektroenergetycznych oraz podano tezy i cel rozprawy.
- „2. Charakterystyka krajowych sieci dystrybucyjnych”, który opisuje sieci niskiego napięcia, sieci średniego napięcia oraz sieci 110 kV. Zawarto w nim informacje na temat stacji elektroenergetycznych, linii kablowych, linii napowietrznych zarówno o przewodach gołych, jak i izolowanych. Podano też szereg danych statystycznych odnoszących się do polskich sieci dystrybucyjnych. Informacje o poszczególnych elementach sieci elektroenergetycznych są bardzo szczegółowe, co z jednej strony jest zaletą, ale z drugiej strony odnosi się wrażenie, że niektóre opisy dotyczą zbyt elementarnych i oczywistych kwestii.
- „3. Narażenia środowiskowe obiektów elektroenergetycznych”, który charakteryzuje wpływ temperatury otoczenia, siły wiatru, wilgotności i ciśnienia powietrza, opadów atmosferycznych, zanieczyszczeń mechanicznych i chemicznych, promieniowania słonecznego i innych czynników na działanie urządzeń elektroenergetycznych. Opisy są przejrzyste i bardzo istotne dla zobrazowania przyczyn awarii tych urządzeń. Zwrócono też uwagę na jednoczesne oddziaływanie dwóch lub większej liczby czynników, co może prowadzić do awarii katastrofalnej.
- „4. Metody modelowania wykorzystywane w elektroenergetyce”, zawierającego opis trzech podstawowych metod modelowania wykorzystywanych w energetyce, w tym elektroenergetyce: ekonometrycznej, optymalizacyjnej oraz symulacyjnej. Najwięcej uwagi poświęcono modelowaniu ekonometrycznemu, ponieważ ten rodzaj modelowania zastosowano w recenzowanej rozprawie. Jest to rozdział o charakterze

teoretycznym. Stopień szczegółowości opisów jest bardzo wysoki, ale ma to uzasadnienie – dalsze fragmenty rozprawy wykorzystują opisane zasady.

- „5. Modelowanie wpływu wybranych czynników środowiskowych na awaryjność oraz niezawodność sieci dystrybucyjnych oraz ich komponentów – wprowadzenie”, w którym scharakteryzowano klimat Polski, m.in. podano (z odniesieniem do regionów) najwyższe i najniższe temperatury, sumy opadów, prędkości wiatru, a także tendencje zmian klimatu w Polsce. Rozdział ten zawiera wiele tabel z danymi liczbowymi. Ich zebranie i opracowanie wymagało znacznego nakładu pracy – jest to ważny fragment rozprawy, będący bazą do zasadniczych analiz.
- „6. Wpływ temperatury otoczenia na wskaźniki niezawodnościowe urządzeń elektroenergetycznych”, „7. Wpływ gradientu temperatury na wskaźniki niezawodnościowe urządzeń elektroenergetycznych”, „8. Wpływ wilgotności otoczenia na wskaźniki niezawodnościowe urządzeń elektroenergetycznych”, „9. Wpływ prędkości wiatru na wskaźniki niezawodnościowe urządzeń elektroenergetycznych”, „10. Wpływ dobowej sumy opadów na wskaźniki niezawodnościowe urządzeń elektroenergetycznych”, które są kluczowe z punktu widzenia osiągnięć Doktorantki i wkładu do stanu wiedzy. W każdym z tych rozdziałów zawarto modele matematyczne wskaźników niezawodnościowych urządzeń elektroenergetycznych (linii napowietrznych, linii kablowych, stacji elektroenergetycznych), a także weryfikację opracowanych modeli ekonometrycznych. Rozdziały te mają charakter oryginalnego rozwiązania problemu naukowego.
- „11. Modelowanie jednoczesnego wpływu wielu czynników środowiskowych na awaryjność oraz niezawodność sieci dystrybucyjnych oraz ich komponentów”, stanowiący uzupełnienie rozważań przedstawionych w rozdziałach od 6 do 10 i zawierający oryginalne wyniki uzyskane przez Doktorantkę.
- „12. Podsumowanie i wnioski końcowe”, zawierający w szczególności syntetyczne zestawienie najważniejszych wniosków sformułowanych na podstawie wyników uzyskanych podczas realizacji badań, a także wyszczególnienie najważniejszych osiągnięć Autorki rozprawy.

Poza tymi głównymi rozdziałami rozprawa zawiera wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń, wykaz literatury oraz streszczenia: w języku polskim i w języku angielskim.

Konstrukcja rozprawy doktorskiej jest poprawna – przedstawia obszerne i szczegółowe odniesienie się do aktualnego stanu wiedzy, zawiera solidne podstawy teoretyczne oraz znaczny zbiór danych statystycznych, wyniki własnych analiz oraz wskazanie głównych

osiągnięć Autorki rozprawy. Podano również plany dotyczące dalszych prac w tym temacie. Można więc uznać, że rozprawa jest kompletnym opracowaniem naukowym.

3. Ocena wykorzystanej literatury

Wykaz literatury jest obszerny, liczy 202 pozycje i jest mocną stroną rozprawy doktorskiej. Składa się z książek, referatów konferencyjnych, artykułów, norm i publikacji internetowych. Dominują publikacje krajowe, ale jest to uzasadnione zakresem badań prowadzonych przez Doktorantkę. Głównie skupia się ona na danych statystycznych odnoszących się do krajowych sieci elektroenergetycznych i z oczywistych względów wnioski opracowane na podstawie analiz dotyczą tych właśnie sieci. W wykazie tym jedna pozycja to publikacja współautorska Doktorantki, zawarta w materiałach konferencyjnych o zasięgu międzynarodowym (baza IEEE Xplore).

Literatura jest aktualna, licznie i prawidłowo cytowana. Na podstawie wykazu literatury oraz jej cytowań w rozprawie można stwierdzić, że rozpoznanie stanu wiedzy przez Doktorantkę jest bardzo dobre, a zatem Jej ogólna wiedza w podejmowanej tematyce jest na wysokim poziomie.

4. Ocena tez i celu rozprawy doktorskiej

Doktorantka w rozprawie doktorskiej sformułowała dwie tezy:

TEZA 1: „Niezawodność urządzeń oraz obiektów w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych powinna być analizowana w kontekście zmienności warunków środowiskowych.”

TEZA 2: „Istnieje możliwość realizacji modeli matematycznych wskaźników niezawodnościowych urządzeń i obiektów elektroenergetycznych pozwalających na określenie ich właściwości niezawodnościowych w różnych warunkach środowiskowych ich eksploatacji.”

Podano również główny cel rozprawy o następującej treści:

„Głównym celem pracy jest uzyskanie informacji na temat rzeczywistego ilościowego wpływu warunków pogodowych (reprezentowanych przez temperaturę powietrza, gradient temperatury, wilgotność powietrza, prędkość wiatru, opady) na pracę i zawodność urządzeń elektroenergetycznych eksploatowanych w sieciach dystrybucyjnych”.

Cel pracy jest precyzyjnie sformułowany, natomiast w przypadku tez drobne wątpliwości redakcyjne budzi TEZA 2. Zapisano w niej, że „Istnieje możliwość **realizacji** modeli matematycznych...”. Zgodnie ze Słownikiem Języka Polskiego PWN wyraz

realizacja oznacza *wprowadzenie czegoś w życie, zastosowanie w praktyce*. W kontekście rozprawy doktorskiej nie chodzi o **realizowanie** modeli matematycznych tylko o ich **opracowanie** lub **przygotowanie**.

Aby udowodnić postawione tezy i osiągnąć główny cel rozprawy Doktorantka dokonała szerokiego przeglądu literatury, opracowała obszerną bazę danych czynników klimatycznych i o awaryjności urządzeń elektroenergetycznych, wytypowała czynniki mające największy wpływ na awarię tych urządzeń, opracowała modele ekonometryczne, które opisują wpływ czynników klimatycznych m.in. na intensywność uszkodzeń, średni czas trwania awarii i współczynnik zawodności oraz dokonała weryfikacji zaproponowanych modeli, a także oceny ich jakości. Lektura rozprawy doktorskiej upoważnia do stwierdzenia, że wskazany w niej cel główny został osiągnięty, a tezy udowodnione.

5. Ocena zastosowanych metod badawczych

Fundamentem badań przeprowadzonych przez Doktorantkę jest obszerna i szczegółowa baza danych zawierająca informacje o przyczynach awarii urządzeń elektroenergetycznych, a także na temat warunków klimatycznych w Polsce. Jako pierwszą można więc wskazać metodę statystyczną – zbieranie, gromadzenie i opracowywanie danych statystycznych. Dzięki zebraniu i opracowaniu tych danych było możliwe wyselekcjonowanie czynników, które mają największy wpływ na awarie urządzeń elektroenergetycznych. Jako główny element badań należy wskazać modelowanie wpływu określonych czynników środowiskowych na awaryjność oraz niezawodność sieci dystrybucyjnych, wykorzystujące modele ekonometryczne. Badanie statystyczne i modelowanie ekonometryczne może być wykorzystywane w odniesieniu do tematyki podejmowanej w rozprawie doktorskiej. Wybór metod badawczych jest prawidłowy. Opracowane modele ekonometryczne i związane z nimi szczegółowe analizy są oryginalną propozycją Doktorantki.

6. Ocena wyników badań

W ramach realizacji rozprawy doktorskiej Doktorantka:

- utworzyła obszerną bazę danych dotyczącą awaryjności urządzeń elektroenergetycznych – są to dane na temat kilkudziesięciu tysięcy awarii, co jest liczbą pozwalającą na uzyskanie wartościowych wniosków;
- zgromadziła bardzo dużą liczbę danych pogodowych/klimatycznych w kontekście eksploatacji linii elektroenergetycznych;

- wykazała, jaki jest wpływ na intensywność uszkodzeń urządzeń elektroenergetycznych:
 - temperatury otoczenia i szybkości zmian tej temperatury,
 - wilgotności powietrza,
 - dobowej sumy opadów,
 - prędkości wiatru;
- wykazała, jak wpływa na intensywności uszkodzeń jednoczesność występowania wybranych powyższych czynników;
- opracowała zależności matematyczne opisujące wpływ czynników pogodowych/klimatycznych na intensywność uszkodzeń, czas trwania awarii, współczynnik zawodności oraz intensywność odnowy urządzeń elektroenergetycznych;
- opracowała oryginalne modele ekonometryczne związane ze wskaźnikami niezawodnościowymi urządzeń elektroenergetycznych.

Recenzowana rozprawa doktorska zawiera szereg wyników interesujących z naukowego i aplikacyjnego punktu widzenia. Wskazuje m.in., które czynniki pogodowe mają największy wpływ na intensywność uszkodzeń i czas trwania awarii. Część wniosków z badań może być wykorzystana przez operatorów sieci elektroenergetycznych.

Wyniki uzyskane w ramach badań i zawarte w rozprawie doktorskiej stanowią wkład w rozwój dyscypliny naukowej *automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne (elektrotechnika* wg poprzednich przepisów). Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dyscyplinie naukowej, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

7. Uwagi do rozprawy

7.1. Uwagi dyskusyjne

W niniejszym punkcie wyszczególniono uwagi (UD) o charakterze dyskusyjnym.

- UD1 – Niektóre opisy w części dotyczącej przedstawienia stanu wiedzy nie są jednoznaczne. Przykładowo – z podpisu rys. 1.5–1.8 i opisu w tekście nie wynika, czy wykresy na rysunkach dotyczą Polski, czy innego obszaru.
- UD2 (s. 26, drugi akapit) – Zdanie „Przyczynami, które występują sezonowo, ale mają znaczny wpływ na awaryjność linii kablowych nN są wyładowania atmosferyczne oraz oblodzenie i sadz.” jest niejasne i dyskusyjne. Linie kablowe są zwykle traktowane jako

ułożone w ziemi. W jaki zatem sposób oblodzenie i sadź wpływa na takie linie kablowe?
A może dotyczy to innego sposobu ułożenia linii/kabli?

- UD3 (s. 39, definicje struktur: „struktura otwarta” i „struktura wielokrotnie zamknięta”) – Jeżeli przyjrzeć się każdej z tych definicji, to w zasadzie wniosek jest taki sam: stacja odbiorcza może być zasilana z dwóch lub więcej stacji zasilających. Czym zatem różnią się te struktury?
- UD4 (s. 42, rozdział 2.2, pierwszy akapit) – Zapis „Sieci średnich napięć (SN) stosowane są do przesyłania na **średnie odległości** i rozdziału energii elektrycznej...” jest nieprecyzyjny. Jak należy rozumieć „średnie odległości”?
- UD5 (s. 64, przedostatni akapit) – Wyjaśnienia wymaga zapis „...Wzrost temperatury otoczenia o 10 °C **zmniejsza opór niektórych materiałów izolacyjnych** do połowy...”. Jak należy to rozumieć? Czy chodzi o rezystancję izolacji?
- UD6 (s. 131 i s. 137) – Na każdej z tych stron jest mowa o średniej rocznej prędkości wiatru w Polsce, ale dane nie są spójne. Na s. 131 podano, że jest to 3,5 m/s, natomiast na s. 137 podano, że prędkość ta jest w przedziale 2,8 m/s – 3,5 m/s. Jaka jest prawidłowa wartość/przedział?
- UD7 (tabele na s. 132–143) – Wszystkie dane dotyczące temperatury, opadów i prędkości wiatru pochodzą z jednej stacji meteorologicznej Kielce-Suków. Czy na tej podstawie można wyciągać uogólnione wnioski?
- UD8 – należałoby szerzej skomentować wysoką intensywność uszkodzeń linii kablowych przy wysokich temperaturach otoczenia (s. 156, rys. 6.1c oraz s. 172, rys. 6.4c), wysokim gradiencie temperatury otoczenia (s. 208, rys. 7.1c oraz s. 222, rys. 7.4c), dużej prędkości wiatru (s. 299, rys. 9.1c oraz s. 313, rys. 9.4c) i dużej sumie opadów dobowych (s. 344, rys. 10.1c oraz s. 357, rys. 10.4c). Zwykle przyjmuje się, że kable są ułożone w ziemi i ich narażenia na takie czynniki pogodowe są relatywnie niskie.

7.2. Uwagi redakcyjne

Rozprawa doktorska jest poprawnie zredagowana – tekst jest czytelny, zawartość odpowiada tytułowi, a następstwo rozdziałów właściwe. Doktorantka używa w większości poprawnej terminologii, ale zdarzają się sformułowania potoczne, których należy unikać w rozprawie naukowej. Błędów interpunkcyjnych/redakcyjnych nie ma dużo, co przy tak obszernej rozprawie należy docenić. Ważniejsze uwagi redakcyjne (UR) przedstawiono poniżej.

- UR1 – Doktorantka stosuje akronim „nN” do oznaczania napięcia niskiego. Prawidłowy akronim to „nn” (dwie małe litery „n”), co jest zawarte w słowniku IEV (IEV ref 601-01-26) oraz w polskiej wersji normy PN-EN 50160 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych.
- UR2 – W wykazie ważniejszych skrótów i oznaczeń podano, że napięcie niskie jest to „napięcie poniżej 1 kV”. Powinno być „nieprzekraczające 1 kV” – wartość AC 1 kV zalicza się do napięcia niskiego. Konsekwentnie, do napięcia średniego nie zalicza się więc wartości AC 1 kV.
- UR3 – Występuje błąd typowy dla prac dyplomowych inżynierskich/magisterskich oraz rozpraw doktorskich: w odniesieniu do rzeczowników policzalnych w niektórych miejscach zapisano „ilość” zamiast „liczba”.
- UR4 – Wykresy na rys. 1.4 i 1.17 nie mają opisanej osi pionowej. Poza tym rys. 1.17 powinien mieć numer 1.9.
- UR5 – Zdarza się wyrażenie „dostawa prądu”, np. na s. 28: „gromadzenie danych statystycznych w celu przewidywania możliwej przerwy w **dostawie prądu**”. To wyrażenie potoczne, niefortunne i w rozprawie doktorskiej dotyczącej elektrotechniki lub artykułach naukowych należy go unikać. Analogiczna uwaga odnosi się do wyrażenia „zużycie elektryczności” (s. 56, ostatni akapit: „W ostatnich dziesięciu latach wzrost **zużycia elektryczności** wyniósł...”).

8. Wniosek końcowy

W mojej ocenie rozprawa doktorska:

- stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego,
- wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dyscyplinie naukowej *automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne (elektrotechnika wg poprzednich przepisów)*,
- pozwala stwierdzić, że Kandydatka wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Rozprawa spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki – stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Stanisław Czapp