

R E C E N Z J A
rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra MARCHELA pt.:
Modele niezawodnościowe jednostek wytwórczych
z ograniczeniami zdolności generacyjnej

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika prof. dr hab. inż. Tomasza Stareckiego z dnia 16.12.2021 r., dotyczące opracowania recenzji rozprawy doktorskiej.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra Marchela pod tytułem „Modele niezawodnościowe jednostek wytwórczych z ograniczeniami zdolności generacyjnej”.

Przedłożona rozprawa doktorska liczy łącznie 183 strony tekstu. W tej objętości wyróżniono 9 rozdziałów, bibliografię, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz spisy rysunków i tabel.

3. Ocena aktualności tematyki rozprawy

Rozprawa skupia się na temacie niezawodności wytwarzania energii elektrycznej. Szczególnym przedmiotem zainteresowania stają się w tym przypadku jednostki wytwórcze, których produkcja energii elektrycznej jest uwarunkowana ograniczeniami wynikającymi bądź z dostępności energii pierwotnej bądź uwarunkowań technologicznych.

W bieżących realiach kształtowania systemu elektroenergetycznego znaczącym stał się udział źródeł odnawialnych. Tendencja ta będzie podtrzymana z uwagi na wyczerpywanie łatwo dostępnych paliw kopalnych oraz z uwagi na politykę klimatyczną, w której zauważalne są odejście od spalania paliw i redukcja emisji m.in. dwutlenku węgla. Ten kierunek rozwoju został zaakceptowany w polityce Unii Europejskiej oraz przyjęty

w realizacji przez kraje członkowskie. Również w Polsce bieżące kierunki polityki, zakładając przyszłe struktury systemu elektroenergetycznego, kładą ogromny nacisk na rozwój zeroemisyjnych źródeł energii elektrycznej. Wytyczne w tym zakresie zawiera m.in. Polityka energetyczna Polski w aktualnych ramach czasowych.

Taki kierunek rozwoju podsystemu wytwórczego wiąże się ze wzrostem zainteresowania źródłami wykorzystującymi odnawialne zasoby energii pierwotnej bądź o zwiększonej sprawności przetwarzania prowadząc do oszczędności paliw i ograniczeniu emisji zanieczyszczeń. Tym samym w szczególnym obszarze zainteresowań znalazły się technologie wykorzystujące energię słońca, wiatru i wody oraz układy kogeneracyjne. Sytuacja ta znalazła również swoje odzwierciedlenie w komercjalizacji tych technologii, a tym samym nastąpiła poprawa ekonomiki ich wykorzystania. Jednak w tych realiach powstała obawa o skalę pewności co do dostępności zdolności wytwórczych i sprostania oczekiwaniom zbilansowania popytu użytkowników systemu elektroenergetycznego. To zagadnienie jest przedmiotem badań niezawodności podsystemu wytwórczego.

Przedmiotowa rozprawa wpisuje się w nurt badań teorii niezawodności i ujmuje problematykę wytwarzania energii elektrycznej w źródłach o losowej dostępności odnawialnej energii pierwotnej. Tym samym podjęta tematyka jest oczekiwanym krokiem w zakresie odpowiedzi na powstające wątpliwości związane z bezpieczeństwem i redundancją jednostek wytwórczych w systemie wytwórczym zawierającym znaczący udział źródeł odnawialnych. Wypracowane w rozprawie zasady tworzenia modeli niezawodnościowych zostają również adaptowane do kolejnej klasy źródeł w postaci jednostek kogeneracyjnych. Zatem rozpatrywany problem znajduje bieżące zastosowanie w aktualnych i przyszłych strukturach systemu elektroenergetycznego zarówno w horyzoncie operacyjnym jak i planistycznym pozwalając racjonalnie kształtować bliskie odbiorcy bezpieczeństwo elektroenergetyczne. Podjęte w rozprawie zagadnienie jest ważnym krokiem w kierunku poszukiwania zasad i rozwiązań formalnych jak i funkcjonalnych. 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

Przedmiotowa rozprawa doktorska wpisuje się w określony w tytule obszar badawczy dotyczący modelowania niezawodności jednostek wytwórczych. Tym samym rozprawa podejmuje zagadnienia, których wartość ma charakter bieżący (por. pkt. 3 recenzji) ale i istotny dla bezpieczeństwa bilansowania energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym. W rozprawie znaleźć można różnego charakteru informacje. Część treści rozprawy koncentruje się na przybliżeniu cech pewnych zjawisk i technologii, część skupia się na zbudowaniu stosownych modeli przybliżających a część stanowi element badawczy, w którym następuje implementacja zaproponowanych zasad modelowania. Taka konstrukcja rozprawy przybliży postawione zadanie i przedstawia sposoby jego rozwiązania, a także pozwala dowieść postawionej tezy.

Treści rozprawy doktorskiej podzielono na 9 głównych rozdziałów.

Pierwszy, bardzo syntetyczny rozdział, stanowi wprowadzenie do obszaru badawczego rozprawy. W tym rozdziale Doktorant sformułował tezę, cel i zakres pracy. Zakres pracy został określony poprzez postawienie określonych zadań wynikających z postawionego celu i zamierzenia przeprowadzenia dowodu tezy. Wyszczególnione zadania stają się osnową dalszych rozdziałów pracy.

W rozdziale drugim została przedstawiona technika modelowania procesów losowych wykorzystana w pracy doktorskiej. W związku z powyższym zostały zdefiniowane procesy losowe, a w szczególności procesy stacjonarne, które znajdują zastosowanie w teorii niezawodności. Na tym tle wprowadzono pojęcie procesu Markowa z dyskretną liczbą stanów. Doktorant przytoczył opis matematyczny, którego postać została wykorzystana w dalszej części pracy do modelowania niezawodności jednostek wytwórczych oraz dostępności (w tym rozumieniu również ograniczeń) pierwotnych zasobów energetycznych wykorzystanych w procesie wytwarzania energii elektrycznej czynnej.

Rozdział trzeci zawiera opis podejścia do analizy niezawodności podsystemu wytwórczego. Wychodząc od pojęć funkcjonalnych poprzez praktykę analityki Doktorant przedstawił opis stochastyczny deficytu mocy oraz podał powszechnie stosowane wskaźniki oceny niezawodności podsystemu wytwórczego. Na tym tle zostały opisane stany pracy jednostki wytwórczej wykorzystane w modelach Markowa. Przedstawione zostały często używane w analizie niezawodności modele dwustanowe, a następnie rozszerzone modele wielostanowe. Również jako przykład modelu przytoczono czterostanowy model jednostki wytwórczej szczytowej pracującej w cyklu przerywanym. W rozdziale trzecim zostały również przywołane systemy testowe sformułowane przez podkomitet IEEE ds. Stosowania Metod Probabilistycznych. Jest to wykorzystany w pracy układ IEEE RTS-79/86 wraz z pierwotną wersją IEEE RTS-79 oraz wersją IEEE RTS-96.

Rozdział czwarty rozprawy zawiera krótkie wprowadzenie do modelowania niezawodności jednostek wytwórczych, dla których występują ograniczenia generacyjne. Rozdział ten stanowi logiczne przejście pomiędzy przedstawianą teorią niezawodności i jej modelami do wykorzystanych w dalszej części pracy sformułowań niezawodności strukturalnej i dostępności (niezawodności) produkcyjnej. Połączone obie kategorie niezawodności tworzą stosowany w dalszej części pracy wielostanowy model jednostki wytwórczej o ograniczonej dostępności pierwotnych zasobów energii.

Wraz z rozdziałem piątym Doktorant przechodzi do sformułowania przedmiotowych dla rozprawy modeli jednostek wytwórczych. W rozdziale piątym wprowadzony zostaje model elektrowni wiatrowej. W tym zakresie przedstawiona została technologia wytwarzania energii elektrycznej z wykorzystaniem energii kinetycznej wiatru. W rozdziale opisano budowę elektrowni wiatrowych z turbiną o poziomej osi obrotu oraz wprowadzono model niezawodności strukturalnej bazujący na dyspozycyjności poszczególnych elementów funkcjonalnych jednostki wytwórczej. Następnie Doktorant przedstawił opis matematyczny zasobów energetycznych wiatru, oraz przeanalizował parametry prędkości wiatru dla wybranych stacji meteorologicznych w Polsce. Uzyskane parametry zostały wykorzystane w modelowaniu prędkości wiatru oraz produkcji mocy czynnej przez elektrownię wiatrową. Wyprowadzone zależności i sformułowany model prędkości wiatru a także mocy generowanej zostały wykorzystane w analizie dla systemu IEEE RTS-79 oraz dla rozbudowanego o dodatkowe jednostki wytwórcze systemu IEEE RTS-79/86. Uzyskane wyniki zostały wykorzystane w ocenie wpływu generacji wiatrowej na niezawodność podsystemu wytwórczego. Rozdział ma charakter autorski. Jednocześnie rozdział stanowi wprowadzenie do przyjętych przez Doktoranta zasad modelowania wybranych dla potrzeb rozprawy jednostek wytwórczych.

W kolejnym rozdziale Doktorant wprowadza model elektrowni fotowoltaicznej. Układ rozdziału szóstego jest podobny do układu przyjętego w rozdziale piątym. Wprowadzeniem do treści rozdziału jest przedstawienie technologii wytwarzania energii elektrycznej za pomocą ogniwa fotowoltaicznego. Następnie Doktorant przedstawia charakterystyki ogniwa oraz układy pracy elektrowni fotowoltaicznej. W przypadku tej technologii istotnym jest wprowadzenie modelu pierwotnego zasobu energii jakim jest promieniowanie słoneczne.

Zagadnienie to zostaje szczegółowo opisane począwszy od parametrów promieniowania poprzez jego natężenie do oceny dostępności na terenie Polski. W ramach analiz zgromadzonych danych pomiarowych Doktorant przedstawia analizę wskaźnika bezchmurności, który stanowi element stochastyczny procesu modelowania natężenia promieniowania słonecznego. Od modelu dostępności promieniowania słonecznego Doktorant przechodzi do opisu mocy elektrycznej czynnej produkowanej przez elektrownię fotowoltaiczną oraz do oceny niezawodności tego typu jednostki wytwórczej. Tu ponownie zostaje wykorzystany system IEEE RTS-79 rozbudowany o dodatkowe źródła. Przeprowadzone obliczenia pozwalają na ocenę zdolności elektrowni fotowoltaicznych do pokrywania obciążenia w systemie elektroenergetycznym. Przeprowadzone analizy i rozważania mają charakter autorski.

Rozdział siódmy kontynuuje pracę Doktoranta w zakresie budowy modeli niezawodności dla jednostek wytwórczych z ograniczeniami produkcyjnymi. W tym rozdziale zostaje sformułowany model dla małej elektrowni wodnej. Kontynuując przyjęty schemat rozważań Doktorant przedstawia typowe rozwiązania technologiczne stosowane w małych elektrowniach wodnych. Następnie zostaje wprowadzony model wytwarzania energii elektrycznej czynnej w elektrowni wodnej oraz następuje analiza dostępności zasobów hydrologicznych na przykładzie Polski. Doktorant wykorzystuje klasyfikację według reżimu odpływu rzeczno i na tej podstawie analizuje dane o przepływach rzek z wybranych stacji hydrologicznych. Uzyskane wnioski pozwalają na sformułowanie modelu natężenia przepływu wody w rzece z wykorzystaniem procesu Markowa. Rezultatem są modele sparametryzowane z wyróżnieniem przepływu studniowego dla różnych reżimów odpływów.

W rozdziale ósmym Doktorant przedstawia propozycję zastosowania opracowanego podejścia modelowania niezawodności do jednostek wytwórczych kogeneracyjnych. W tym przypadku wyróżnikiem staje się uwarunkowanie technologiczno-ekonomiczne wykorzystania kogeneracji. Czynnikiem ograniczającym jest zapotrzebowanie na ciepło grzewcze wykorzystywane przez odbiorców komunalnych.

Rozdział dziewiąty zamyka treści rozprawy. Stanowi on podsumowanie opisanych w rozprawie zagadnień i osiągnięć Doktoranta. Rozdział zawiera również wnioski Doktoranta wyciągnięte na podstawie opracowanych modeli i przeprowadzonych analiz. Wnioski te stanowią ważne spostrzeżenia praktyczne i wpisują się w aktualne problemy systemów wyciecznych źródłami odnawialnymi.

Do rozprawy należy również rozdział zatytułowany Bibliografia, który zawiera pozycje literaturowe przywołane w rozprawie. W rozdziale tym przytoczono łącznie 129 pozycji o różnym charakterze (artykuły i referaty, książki, monografie, opracowania, raporty, katalogi).

Zgodnie z wytycznymi formalnymi rozprawę opatrzone streszczeniem w języku polskim i angielskim.

Przyjęta struktura rozprawy doktorskiej, w tym wyróżnione rozdziały jest związana z realizacją postawionego celu pracy oraz służy udowodnieniu sformułowanej tezy.

5. Ocena osiągnięć naukowych Autora rozprawy

Przedmiotowa rozprawa skupia się na niezawodności podsektora wytwórczego, a w szczególności na sformułowaniu modeli źródeł z ograniczeniami generacyjnymi. To zadanie zostało ujęte w celu pracy oraz tezie, które stanowią oś rozprawy. Przeprowadzone przez Autora rozważania i dobrane środki stały się podstawą przeprowadzenia dowodu tezy pracy.

Formułując tezę Doktorant wyszedł z założenia, że stosowane powszechnie w analizie niezawodności klasyczne modele niezawodnościowe jednostek wytwórczych nie odzwierciedlają prawidłowo funkcjonowania i generacji w jednostkach z ograniczoną zdolnością wytwórczą. Dlatego też Doktorant założył, że „wykorzystanie aparatu matematycznego procesów Markowa pozwala zbudować adekwatne modele niezawodności źródeł o losowej lub ograniczonej zdolności generacyjnej lub z innymi ograniczeniami zdolności generacyjnej”. W tezie ujęte zostało również praktyczne oczekiwanie, że dzięki uzyskanej jakości wypracowane modele znajdą zastosowanie w analizach i ocenie niezawodności systemu elektroenergetycznego.

Z powyższego wynika zatem potrzeba wprowadzenia procesów Markowa jako techniki właściwej do budowy modeli niezawodnościowych oraz analiza zjawisk i cech technologii wytwarzania energii elektrycznej posiadających właściwości ograniczonej zdolności generacyjnej. Wychodząc naprzeciw tym potrzebom Doktorant rozpoczął rozprawę od przybliżenia wykorzystania procesów Markowa w analizie niezawodności. Do tego celu posłużył się redakcją rozdziału 2. Zastosowanie procesów Markowa w ocenie niezawodności podsystemu wytwórczego, w tym odwzorowanie jego składowych w postaci jednostek wytwórczych jest zagadnieniem dobrze rozpoznany i opisanym, o czym świadczy przytaczana przez Doktoranta literatura. Należy jednak podkreślić, że praktyka wykorzystania tego narzędzia matematycznego sprowadza się zwykle do modelu dwustanowego jednostki wytwórczej. Model ten znalazł powszechne zastosowanie w wielu narzędziach analitycznych zbudowanych dla potrzeb obliczeń stanów operacyjnych i planistycznych systemu elektroenergetycznego. Podejście to jest z reguły wystarczające dla odwzorowania pracy jednostki konwencjonalnej. Jednak rozwój systemów elektroenergetycznych, w tym upowszechniające się technologie źródeł odnawialnych przyniosły nowe wymagania dla budowanych modeli. Należy zauważyć, że w tym przypadku poza niezawodnością strukturalną związaną z awaryjnością podzespołów jednostki wytwórczej pojawia się jeszcze problem dostępności zasobów energii pierwotnej. To zagadnienie staje się kluczowym elementem rozwijanym przez Doktoranta w rozprawie w odniesieniu do dostępnych technologii źródeł odnawialnych i kogeneracji.

Doktorant wybrał trzy technologie źródeł odnawialnych obecne w krajowym systemie elektroenergetycznym. Są to odpowiednio elektrownie wiatrowe (rozdział 5), elektrownie fotowoltaiczne (rozdział 6) oraz elektrownie wodne, reprezentowane przez grupę małych elektrowni wodnych (rozdział 7). Poza powyższymi technologiami źródeł odnawialnych Doktorant rozważył źródła kogeneracyjne (rozdział 8), które również znalazły wsparcie w rozwoju nowoczesnych systemów elektroenergetycznych. Dla wymienionych rozwiązań jednostek wytwórczych można przyjąć wspólny mianownik źródeł z ograniczeniami generacyjnymi, odpowiednio bądź po stronie podaży energii pierwotnej bądź popytu na produkt skojarzony w postaci ciepła.

Doktorant w przytoczonych powyżej rozdziałach rozprawy formułuje modele, bądź tworzy zasady ich formułowania zgodnie z postawionym celem i tezą pracy.

Na podstawie przedstawionych treści można zatem zauważyć przyjęty przez Doktoranta schemat postępowania, w którym ujawnia się procedura postępowania sfinalizowana

modelem niezawodnościowym danego typu źródła. Przyjęty schemat zawiera zasadniczo trzy podstawowe kroki: analiza zasobów pierwotnych, zasady konwersji energii oraz dobór parametrów modelu niezawodnościowego dla potrzeb odwzorowania w postaci łańcucha Markowa. Poza tymi krokami w przypadku źródeł wiatrowych oraz fotowoltaicznych Doktorant przytacza wyniki przeprowadzonych analiz, które pozwalają na wyciąganie praktycznych wniosków w zakresie wystarczalności systemów elektroenergetycznych wysyconych tymi technologiami.

Formułowane modele zostały oparte na bogatym studium literaturowym i stanowią dobre kompendium wiedzy o procesach konwersji w danych technologiach oraz zawierają właściwą charakterystykę pierwotnych zasobów energii. Poddane analizie elementy stochastyczne charakterystyczne dla określonych zasobów energii pierwotnej pozwoliły na właściwe powiązanie techniki procesów Markowa z cechami i parametrami danych technologii w obszarze odwzorowania dostępności produkcyjnej. Sformułowane modele są adekwatne dla warunków krajowych z uwagi na analizę parametrów szeregów danych pochodzących z pomiarów prowadzonych w stacjach meteorologicznych rozsianych po Polsce. Tym samym spełniają postawione przez Doktoranta praktyczne oczekiwania, co do możliwości wykorzystania w ocenie niezawodności krajowego systemu elektroenergetycznego. W tym wypadkowym zakresie można upatrywać nie tylko zastosowania budowanych modeli ale już nawet ważnych wniosków, co do kształtowania struktury wytwórczej oraz rezerw w systemie elektroenergetycznym.

Przyjęte przez Doktoranta zasady i wynikające z nich podejście metodyczne pozwoliło na osiągnięcie celu pracy. Uzyskane wyniki potwierdzają możliwości uniwersalnego podejścia do tworzenia modeli niezawodnościowych jednostek wytwórczych z ograniczeniami generacyjnymi.

Opracowane przez Doktoranta modele niezawodnościowe wykorzystujące technikę procesów Markowa przedstawione w rozdziałach 5 do 8 rozprawy stanowią dorobek autorski.

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

- wiedzą teoretyczną w zakresie definiowania, oceny i parametrów niezawodności podsektora wytwórczego,
- wiedzą teoretyczną w zakresie formułowania opisu i praktyką wykorzystania dla techniki łańcuchów Markowa,
- umiejętnością tworzenia koncepcji rozwiązań niezawodnościowych modeli wielostanowych jednostek wytwórczych sprzyjających postawionym celom wyartykułowanym w rozprawie,
- rozumieniem i umiejętnością modelowania dostępności energii pierwotnej przy uwzględnieniu adekwatnych do przypadku czynników stochastycznych technologii odnawialnych (prędkości wiatru, wskaźnika bezchmurności, parametrów przepływu wody) czy też modelowaniem zapotrzebowania na ciepło grzewcze w przypadku źródeł kogeneracyjnych,
- praktycznym wykorzystaniem posiadanej wiedzy poprzez realizację budowanych modeli w układzie testowym,
- umiejętnością wnioskowania na podstawie uzyskanych wyników, a w szczególności rozumieniem potrzeb prowadzenia badań i poszukiwania odpowiedzi.

Uzyskane przez Doktoranta wyniki wypełniają postawiony w rozprawie 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. Autor rozprawy w sposób precyzyjny formułuje już w pierwszym rozdziale tezę rozprawy. Wychodzi z przekonania o potrzebach wynikających z nowych technologii rozpowszechniających się w podsektorze wytwórczym i wynikających stąd wyzwaniach dla oceny bezpieczeństwa systemu elektroenergetycznego. Dlatego też teza stanowi o wykorzystaniu techniki procesów Markowa do budowy modeli niezawodnościowych dla źródeł z ograniczeniami zdolności generacyjnej. Nasuwa się pytanie dlaczego jednoznacznie wybrano ten aparat matematyczny? Jakie inne techniki można byłoby rozpatrywać i jakie argumenty przemawiają za ich odrzuceniem?
2. Przytaczając definicję niezawodności (str. 27) Doktorant wyróżnia dwa aspekty funkcjonalne: niezawodność operacyjną i wystarczalność. Następnie precyzuje obie kategorie. Wynika stąd, że niezawodność (operacyjna) może być powiązana ze stanami przejściowymi powodowanymi zakłóceniami funkcjonowania systemu, a wystarczalność jest związana ze zdolnością do pracy w związku z pokryciem zapotrzebowania na moc w systemie. Odnosząc się do tytułu i treści rozprawy można zadać pytanie, dlaczego używa się pojęcia niezawodności, a nie pojęcia wystarczalności (zdolności produkcyjnej)? Tym bardziej, że przeprowadzone analizy wykazują, iż w przypadku badanych jednostek wytwórczych z ograniczeniami to właśnie zdolność produkcyjna ma decydujący wpływ na dostępność (wystarczalność) technologii dla pokrycia zapotrzebowania.
3. Przeprowadzone w rozprawie rozważania dobrze zostały wpisane w tezę, cel i zakres pracy. Całość przeprowadzonych rozważań zmierza w kierunku modelowania niezawodności źródeł wytwórczych z ograniczeniami generacyjnymi, co też jest spełnione. Dla porządku i podsumowania wypracowanych modeli zabrakło wyróżnionego fragmentu, w którym przedstawiona zostałaby uniwersalna (zgodnie z celem rozprawy) procedura formułowania modelu niezawodnościowego. Wprawdzie ogólny schemat postępowania został przedstawiony na rys. 4.2, ale zabrakło w nim oddania bogatego doświadczenia Doktoranta wynikającego z wykonanych analiz i treści rozprawy. To właśnie doświadczenie powinno skutkować wprowadzeniem elementów decyzyjnych i warunkowych do przedstawionego schematu. Warto zatem pochylić się powykonawczo nad tym schematem i rozwinąć go o wspomniane elementy. Nasuwa się również pytanie, w jakich przypadkach jest uzasadnione stosowanie takiego schematu formułowania modelu niezawodnościowego.
4. Spośród prezentowanych modeli w najmniejszym stopniu przedstawiony został model jednostki wytwórczej kogeneracyjnej uwarunkowanej produkcją ciepła. W tym przypadku nie zostały już przeprowadzone analizy ilościowe oraz nie przeprowadzono wnioskowania o wpływie wysycenia tych źródeł w podsektorze wytwórczym na ocenę niezawodności systemu elektroenergetycznego. Jakich wniosków można byłoby się spodziewać? Czy zasadnym byłoby uwzględnianie

ciepła technologicznego jako rozszerzenie zagadnienia przyczyn produkcji skojarzonej – jeśli tak to jakie cechy należy uwzględnić?

5. Rozprawa koncentruje się na modelach niezawodnościowych w obszarze podsystemu wytwórczego. Temat ten zostaje w rozprawie dobrze zilustrowany. Niemniej dla całości oceny bezpieczeństwa pokrycia zapotrzebowania pojawia się jeszcze wpływ podsystemów przesyłu i rozdziału (poziom hierarchiczny II i III). Na ile budowane w rozprawie modele będą istotnie wpływały na ocenę niezawodności w ujęciu HLII oraz HLIII?

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

- i. Na stronie 61 wykazuje się, że moc strugi powietrznej jest funkcją trzeciego stopnia potęgi prędkości wiatru. Dlaczego zatem na stronie 66 przytacza się tylko model liniowy i kwadratowy funkcji prędkości wiatru.
- ii. We wzorze (5.17) występuje współczynnik argumentowany jako zależny od układu farmy wpływającego na „przysłanianie” wzajemne turbin wiatrowych. Skąd wynika jego wartość 0,95? Gdzie zostały ulokowane straty w sieci wewnętrznej farmy wiatrowej?
- iii. W tabeli 5.9 przedstawiono parametry modeli niezawodności produkcyjnej farmy wiatrowej dla różnej liczby stanów (N) procesu Markowa. Czy można wyznaczyć optymalną liczbę N i co będzie ją warunkowało? Prośba o rozwinięcie wniosków sformułowanych w ostatnim akapicie na stronie 77.
- iv. Wielokrotnie w treści rozprawy pojawia się pojęcie „zdolność systemu”. Z uwagi na różnorodne potoczne rozumienie proszę o precyzyjne zdefiniowanie tego pojęcia.
- v. Jak należy rozumieć wniosek który mówi, że „w przypadku dokładniejszych obliczeń i jednostek wiatrowych o stosunkowo dużej niezawodności warto uwzględnić i odwzorować w stosownych modelach również niezawodność strukturalną” (str. 89, ostatni akapit).
- vi. W rozdziale 6 przedstawiono model niezawodnościowy elektrowni słonecznej. Jaki jest wpływ niezawodności strukturalnej na model jednostki wytwórczej fotowoltaicznej?
- vii. Dlaczego w rozprawie używa się określenia „irradiacja” a nie „irradiancja” dla oddania natężenia promieniowania słonecznego? Słownik PWN podaje irradiację w fizyce jako kategorię złudzenia optycznego.

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 jest właściwa i dobrze przyczynia się do prezentacji problemu oraz przyjętego sposobu podejścia do tworzenia tytułowych modeli. Postępujące rozdziały rozprawy wprowadzają kolejne treści poczynając od podstaw po wynikowe modele niezawodnościowe jednostek wytwórczych. Przekaz treści jest klarowny. Użyte terminy są zgodne z nomenklaturą zagadnienia.

Podział treści pomiędzy rozdziałami jest zróżnicowany. W szczególności rozwinięte są rozdziały 5 i 6 oraz rozdział 7. Rozdziały te, wraz z rozdziałem 8, są wkładem autorskim zmierzającym do uzasadnienia tezy rozprawy. Przede wszystkim rozdziały 5 i 6 wnoszą opisy zgodnie z przyjętym schematem postępowania oraz przedstawiają wyniki analiz ilościowych. Podział rozdziałów odpowiada przedstawianym zagadnieniom.

Redakcja jest staranna, co czasem nawet może wprowadzić kłopot wykonawczy. W tym przypadku wprowadzona przez Doktoranta „twarda spacja” stosowana do połączenia przyimków spowodowała zaburzenia podziału treści w wydruku. Również w treści rozprawy można znaleźć nieliczne błędy w słowach, opisach zmiennych we wzorach (np. wzór (5.30) do (5.32)) czy oznaczeniach (np. str. 28). Również niektóre odwołania nie znajdują adresata (np. tab. 5.11 i powiązanie z 5.10). Są to jednak przypadki bardzo nieliczne i nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy.

Literatura zestawiona w rozdziale Bibliografia jest wystarczająca dla przedstawienia tła rozprawy. Przywoływane pozycje pochodzą z szerokiego przedziału czasowego, co może dowodzić ugruntowania rozważań niezawodności w systemie elektroenergetycznym oraz ciągłości prac ośrodka, z którego wywodzi się Autor rozprawy. Niemniej jednak zestawiając literaturę przedmiotu warto równie często sięgać do bieżących pozycji, co ugruntowuje aktualną wartość przedmiotu rozprawy.

8. Podsumowanie i wniosek końcowy

1. Oceniając zawartość przedstawionej rozprawy doktorskiej stwierdzam, że Doktorant w sposób wystarczająco jednoznaczny sformułował oryginalny problem naukowy, który następnie rozwiązał przy użyciu metod naukowych.
2. Postawiony cel rozprawy był konsekwentnie realizowany i zostały osiągnięte oczekiwane wyniki o charakterze naukowym, jak i praktycznym. Przekaz pracy Doktoranta potwierdza sformułowaną tezę rozprawy.
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. Piotra Marchela pt.: „Modele niezawodnościowe jednostek wytwórczych z ograniczeniami zdolności generacyjnej” 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. Piotra Marchela do publicznej obrony recenzowanej rozprawy doktorskiej.**

Maxymilian Puzgocinski