



Lublin, 24.08.2017 r.

dr hab. inż. Piotr Miller, Prof. PL

p.miller@pollub.pl

tel. 502 180 550

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Wojciecha Lubickiego

„Analiza wybranych probabilistycznych elementów planowania rozwoju sieci
przesyłowej”

Promotor pracy: dr hab. inż. Maksymilian Przygodzki

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest uchwała Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej z dnia 27 czerwca 2017 r. oraz pismo Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej Pana Profesora Pawła Sowy z dnia 29 czerwca 2017 r.

1 Wybór tematu rozprawy

Proces planowania rozwoju sieci przesyłowej jest jednym z ważniejszych zadań realizowanych przez operatora systemu przesyłowego. Celem tego procesu jest utrzymanie długoterminowego bezpieczeństwa energetycznego kraju. Ujmując rzecz w wielkim skrócie planowanie rozwoju polega na podejmowaniu działań optymalizujących rozbudowę sieci przesyłowej w celu zachowania bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej do odbiorców, przy czym plany rozbudowy sporządzane są w różnych perspektywach czasowych (od planów krótkookresowych, przez średniookresowe aż do długookresowych). Obecnie zarówno w praktyce krajowej jak i zagranicznej w procesie planowania rozwoju sieci przesyłowej wykorzystywane są różnorodne narzędzia (programy komputerowe) wspierające przede wszystkim podejście deterministyczne. Opierają się one na analizie rozptyłów mocy, analizie zwarciowej oraz na badaniach równowagi statycznej i dynamicznej. Analizy przeprowadzane są dla różnych scenariuszy i różnych wariantów rozbudowy, przy czym w przypadku metod deterministycznych uwarunkowania mające charakter losowy reprezentowane są

w poszczególnych scenariuszach przez ich ekstremalne wartości. Może to, zdaniem Autora rozprawy, prowadzić do przeinwestowania w zdolności przesyłowe, w efekcie czego nakłady inwestycyjne ponoszone na rozwój sieci przesyłowej mogą za kilka lat pojawić się w kategorii kosztów osieroconych.

Tymczasem zarówno w kraju jak i za granicą obserwuje się wzrost znaczenia uwarunkowań o charakterze niedeterministycznym, które mogą mieć istotny wpływ na decyzje inwestycyjne podejmowane w procesie planowania rozwoju sieci przesyłowej. Rozwój rynku energii, wpływ uwarunkowań klimatycznych i środowiskowych, zmieniające się decyzje polityczne, rozwój odnawialnych źródeł energii i energetyki prosumenckiej czy też zmienność zapotrzebowania na moc i energię elektryczną, są to uwarunkowania trudne do ujęcia przy pomocy podejścia deterministycznego. Ich często trudny do przewidzenia charakter w sposób naturalny wskazuje na zasadność wykorzystania podejścia probabilistycznego.

Osobiście jestem zwolennikiem metod deterministycznych. Od lat zajmuję się obliczeniami technicznymi prowadzonymi na różnych modelach sieci systemu elektroenergetycznego. Obliczenia rozptyłów mocy, analiza zwarciowa czy badania stabilności dają konkretne wyniki, które mogą być łatwo zinterpretowane i poddane dalszym procesom decyzyjnym. Wyniki obliczeń plus doświadczenie inżynierskie osób zajmujących się planowaniem rozwoju sieci przesyłowej powinno wystarczyć do tego, by proces ten przeprowadzić w sposób prawidłowy. Na tym tle metody, które wykorzystują generatory liczb losowych do zamodelowania uwarunkowań niedeterministycznych wydają się być „mało poważne”. Wydają się, a w zasadzie powinienem napisać, że **wydawały się**, gdyż lektura recenzowanej pracy doktorskiej przekonała mnie, że podejście probabilistyczne może w sposób istotny zmienić proces planowania rozwoju sieci przesyłowej. Nadal bardziej skłaniam się ku temu, by metody deterministyczne i probabilistyczne traktować jako wzajemnie uzupełniające się, tym niemniej uznaję wzrost znaczenia i roli tych drugich.

Obecnie brak jest spójnych metod i narzędzi, które w sposób jednoznaczny pokazałyby, jak w procesie planowania rozwoju sieci przesyłowej uwzględnić uwarunkowania o charakterze niedeterministycznym. Autor rozprawy wskazał na doświadczenia zagranicznych operatorów sieci przesyłowych, na prace finansowane ze środków unijnych, w których uwzględniane są metody probabilistyczne. Nadal jednak brakuje ostatecznych rozwiązań w tym zakresie. Recenzowana rozprawa doktorska stanowi znaczący krok w kierunku uzyskania tych rozwiązań.

Biorąc powyższe pod uwagę uznaję tematykę rozprawy za ważną, aktualną oraz wybraną prawidłowo, zarówno pod względem naukowym jak i praktycznym.

2 Ogólna ocena rozprawy

Opiniowana rozprawa zawiera 136 stron tekstu wraz z ilustracjami, wzorami oraz spisem literatury obejmującym 153 pozycje. Uzupełniona jest trzema załącznikami, które stanowią integralną i ważną część pracy. Całość dokumentu liczy więc 217 stron.

Część główna rozprawy podzielona została na pięć rozdziałów plus rozdział podsumowujący. W rozdziale drugim, wprowadzającym, określono cel pracy, zakres badań oraz postawiono tezę rozprawy, która brzmi następująco: *„Wzrost udziału niedeterministycznych uwarunkowań procesu planowania rozwoju sieci przesyłowej wymaga stosowania modeli probabilistycznych uzupełniających proces planistyczny. Modele te umożliwiają podejmowanie racjonalnych decyzji inwestycyjnych.”*.

Sposób sformułowania tezy uważam za prawidłowy.

Przegląd literatury, obejmujący zagadnienia związane z modelowaniem, analizą rozptyłów mocy w tym analizą probabilistyczną oraz planowaniem rozwoju sieci przesyłowej został przeprowadzony rzetelnie. Daje się zauważyć faktycznie zaznajomienie się Doktoranta z treścią omawianych publikacji. W wykazie literatury znalazły się także pozycje dotyczące metod matematycznych oraz probabilistycznych. Osobną grupę stanowią broszury techniczne i raporty. Najstarsza pozycja w wykazie literatury datowana jest na rok 1974, najnowsza pochodzi z roku 2016. Dwadzieścia sześć pozycji literaturowych powstało przy współudziale Autora rozprawy.

Na podstawie literatury powstał zamieszczony w rozdziale pierwszym rozprawy krytyczny przegląd metod planowania rozwoju sieci przesyłowej w kraju i na świecie. Autor skrótowo (bardziej dokładny opis znalazł się w załączniku 1) opisał metody planowania rozwoju stosowane przez operatora Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (PSE S.A.) oraz przez operatorów systemów przesyłowych Australii, Francji, Kanady oraz Wielkiej Brytanii. Wybór operatorów zagranicznych nie był przypadkowy. Autor zwracał szczególną uwagę na to, czy w stosowanych metodykach planowania rozwoju sieci wykorzystywane są (przynajmniej potencjalnie) metody probabilistyczne. Okazuje się, że metody probabilistyczne nadal stosowane są w bardzo ograniczonym zakresie, chociaż daje się zauważyć, że operatorzy zwracają uwagę na potencjalne korzyści z ich wdrożenia. Poza tym w rozdziale pierwszym zaprezentowano projekty współfinansowane przez Unię Europejską związane z planowaniem rozwoju i planowaniem operacyjnym w sektorze przesyłu. W rozprawie omówiono efekty realizacji pięciu takich projektów, w których kosztem wielu milionów euro wypracowano metodyki i narzędzia mogące w znacznym stopniu wspomóc proces planowania rozwoju sieci przesyłowej. Niektóre z nich wykorzystują metody probabilistyczne. W końcowej części rozdziału pierwszego Autor zamieścił przegląd broszur i raportów technicznych opracowanych przez grupy: CIGRE oraz ENTSO-E, dotyczących problematyki planowania rozwoju systemów przesyłowych.

Wylania się z nich ogólnoswiatowy trend zmierzający do wykorzystywania zarówno podejścia deterministycznego jak i probabilistycznego w procesie planowania rozwoju sieci przesyłowej.

W rozdziale trzecim Autor rozprawy dokonał krytycznej analizy i oceny wpływu niektórych uwarunkowań na metodykę planowania rozwoju sieci przesyłowej. Autor zwrócił uwagę na fakt wzrostu znaczenia uwarunkowań o charakterze niedeterministycznym, takich jak: rozwój rynku energii, wpływ uwarunkowań klimatycznych i środowiskowych, zmieniające się decyzje polityczne, które mogą decydować o rozwoju wybranych „technologii” wytwarzania energii elektrycznej czy też zmienność zapotrzebowania na moc i energię elektryczną. Wzrost znaczenia powyższych uwarunkowań zdaniem Autora uzasadnia stosowanie metod probabilistycznych w procesie planowania rozwoju sieci przesyłowej. W rozdziale trzecim znalazły się także propozycje rozwiązań metodycznych w zakresie sposobów uwzględniania dostępności infrastruktury sieciowej, metod rozwiązywania rozplływów mocy (klasyczne, symulacyjne, analityczne i aproksymacyjne) oraz sposobów podejmowania decyzji inwestycyjnych. Ostatnią część rozdziału trzeciego stanowi przegląd dostępnego oprogramowania, przy czym Autor zwracał szczególną uwagę na dostępność metod probabilistycznych w poszczególnych narzędziach lub możliwość ich łatwej implementacji.

Rozdział czwarty to Autorska propozycja nowego, metodycznego ujęcia procesu planowania rozwoju sieci przesyłowej. Oczywiście zgodnie z wytyczonym celem rozprawy propozycja ta uwzględnia wykorzystanie metod probabilistycznych. Autor zwraca uwagę na konieczność wykorzystania superkomputerów, np. będących na wyposażeniu akademickich centrów obliczeniowych oraz scentralizowanych baz danych i narzędzi typu „data mining” w przypadku wdrożenia zaproponowanych przez Autora metod probabilistycznych do procesu planowania rozwoju sieci przesyłowej.

W rozdziale piątym zaprezentowano przykład obliczeniowy, w którym dla modelu sieci testowej obejmującej łącznie 35 węzłów oraz 50 gałęzi przeprowadzono proces planowania rozwoju sieci przesyłowej przy zastosowaniu zarówno podejścia deterministycznego jak i probabilistycznego. W przypadku podejścia probabilistycznego wykorzystano metodę aproksymacyjną 2PEM ze schematem $2m-1$ zmodyfikowaną o stany L_g-1 oraz metodę symulacyjną z wykorzystaniem algorytmu LHS do generowania stanów losowych. Niezależnie od stosunkowo niewielkiego rozmiaru analizowanego modelu w obliczeniach przyjęto szereg założeń upraszczających, które umożliwiły przeprowadzenie obliczeń na pojedynczym komputerze przy wykorzystaniu ogólnie dostępnych narzędzi. Kryterium wyboru optymalnej strategii rozwoju było minimum zdyskontowanych nakładów inwestycyjnych przy 8% stopie dyskonta. Wyniki obliczeń wykazały, że podejście probabilistyczne pozwala na uzyskanie strategii rozwoju o znacznie niższych nakładach inwestycyjnych w porównaniu do metody deterministycznej.

Ostatnie rozdziały rozprawy to podsumowanie i wnioski, w których znalazła się także informacja o planach i kierunkach dalszych prac badawczych, wykaz literatury oraz zestaw trzech załączników, w których znalazł się bardziej dokładny przegląd metodyk planowania rozwoju sieci przesyłowej w wybranych krajach (załącznik 1), opis implementacji makra realizującego metodę 2PEM w programie PLANS (załącznik 2) oraz tablice z wynikami obliczeń (załącznik 3).

Podsumowując, ogólna ocena rozprawy jest w moim odczuciu bardzo pozytywna.

3 Uwagi szczegółowe i krytyczne

Autor rozprawy nie ustrzegł się niestety błędów redakcyjnych.

Na stronie 7 w wykazie oznaczeń mamy:

L_i - długość linii i wyrażona w km

Nie jest to może błąd, ale zwykle długości linii oznaczane są małą literą l .

W pracy można znaleźć błędy interpunkcyjne. Przykładowo Autor metodycznie pomija znak przecinka przed skrótami „np.”, „m.in.” czy „tj.”, chociaż tam, gdzie skróty te otwierają wyrażenie wtrącone lub samodzielną listę przykładów przecinek powinien moim zdaniem wystąpić (str.13, akapit 1; str. 34, akapit 2, str. 35, akapit 3; str. 29, akapit ostatni; str. 70, akapit 2; itp).

Na stronie 19 w drugim akapicie pojawiła się literówka w zdaniu: „Opis rozważanych wariantów oraz uzyskane wyniki **przestawiane** są ...”. Oczywiście powinno być „... **przedstawiane** są ...”.

Na stronie 23 w przedostatnim akapicie w zdaniu „... wycena strat energii **powinna** następować **powinna** wg kosztu ...” niepotrzebnie powtórzono słowo **powinna**.

Literówek w pracy jest więcej, ale wykład jest na tyle jasny i czytelny, że nie będę ich dalej wykazywał w recenzji. Może tylko zwrócę uwagę Autora na pisownię wyrażenia „**tym niemniej**”, w którym „niemniej” powinno być pisane razem, a nie rozdzielnie jak to występuje w kilku miejscach rozprawy.

Na stronie 38 pojawiły się pierwsze wzory w pracy. Zabrakło natomiast wyjaśnienia symboli występujących w tych wzorach. Czy Autor ograniczył się tylko do spisu oznaczeń i symboli zamieszczonych na początku pracy? Czy w związku z tym symbol N we wzorach (1.1) oraz (1.2) to liczba symulacji? Wzór (3.7) na stronie 76 prezentuje kolejne oznaczenia, których bądź nie ma w wykazie symboli na początku pracy (δ_i, δ_j), bądź w wykazie oznaczeń mają zupełnie inne znaczenie

(μ_{ij} – wartość oczekiwana zmiennej losowej ij ? – raczej nie). W całej rozprawie brakuje wyjaśnień symboli bezpośrednio pod wprowadzonymi wzorami. Wygląda więc to na zamierzone działanie Autora. Gdyby wykaz symboli był kompletny, można by było zaakceptować ten fakt. Chyba, że założymy, że niektóre oznaczenia i symbole są na tyle oczywiste, że wyjaśniać ich nie trzeba. Ale czy takie założenie jest zawsze słuszne?

We wzorze (3.2) na stronie 62 mamy sumę iloczynu zablokowanych wartości mocy i czasów ich występowania po lewej stronie równania (czyli jest to energia), natomiast po prawej stronie mamy sumę mocy w poszczególnych godzinach. Mnożenie mocy godzinowych przez 1 (słownie jedną) godzinę daje liczbowo tą samą wartość energii, ale czy z formalnego punktu widzenia wzór tej można uznać za poprawny?

Są to tylko przykłady zauważonych przeze mnie błędów redakcyjnych. Było ich więcej, należy jednak stwierdzić, że nie są to bardzo rażące błędy i nie wpływają na odbiór całości rozprawy. Pracę czyta się dobrze, nie ma w niej błędów stylistycznych czy rzeczowych a wykład prowadzony przez Autora jest jasny i zrozumiały.

Poniżej kilka uwag o charakterze dyskusyjnym:

- Autor w pracy kilkakrotnie zwraca uwagę na fakt, że jakość zastosowanych generatorów liczb pseudolosowych może mieć wpływ na uzyskiwane wyniki symulacji. Zwraca też uwagę na to, że często zagadnienie to bywa pomijane w literaturze. Zostało to także pominięte w rozprawie. Czy Autor mógłby ocenić (może raczej oszacować) wpływ jakości generatorów liczb losowych na poprawności uzyskiwanych wyników? Czy jest to zagadnienie, którym warto by było zająć się w dalszych badaniach naukowych?
- Autor zakwalifikował program PSLF do pierwszej grupy oprogramowania, umożliwiającego wykonywanie wyłącznie analiz deterministycznych. Tymczasem podobnie jak inne programy z drugiej grupy, program PSLF posiada wbudowany język EPCL (dość rozbudowany, wzorowany na języku C), który jak najbardziej może być wykorzystany do implementacji metod probabilistycznych.
- W przykładzie obliczeniowym wykorzystano program PLANS, który w algorytmach obliczania rozptyłu mocy wykorzystuje mechanizm pokrywania przyrostu zapotrzebowania na moc z tzw. węzła bilansującego. Przy niewielkich zmianach mocy pobieranej czy generowanej nie budzi to zastrzeżeń, tymczasem zmiany te, szczególnie w perspektywie wieloletniej mogą być znaczne.

Pojęcie węzła bilansującego nie występuje w rzeczywistym systemie. W rzeczywistości na zmiany zapotrzebowania na moc w sieci reagują wszystkie zainstalowane w niej źródła, stąd powstaje pytanie, czy tak obliczony rozptył mocy może być uznany za wiarygodny i czy może stanowić podstawę do podejmowania decyzji planistycznych. Oczywiście uwaga ta w jednakowy sposób dotyczy metod deterministycznych jak i probabilistycznych.

- Największą moją wątpliwość budzi pracochłonność i czasochłonność metod probabilistycznych. Autor wskazuje na konieczność stosowania superkomputerów, scentralizowanych baz danych, wyrafinowanych metod obróbki uzyskiwanych wyników. Jakże jest niebezpieczeństwo wystąpienia tzw. eksplozji informacyjnej, z której trudno będzie wyłowić informacje istotne z punktu widzenia prowadzonych analiz.
- Przykład obliczeniowy pokazał znaczące różnice kosztów nakładów inwestycyjnych optymalnych strategii rozwoju uzyskanych metodą deterministyczną (162,2 mln zł) oraz metodami probabilistycznymi (odpowiednio 45,4 mln zł w metodzie analitycznej oraz 13,9 mln zł w metodzie symulacyjnej). Czy Autor jest przekonany o tym, że w przypadku omawianej sieci wystarczy ponieść nakłady inwestycyjne w wysokości 13,9 mln zł by zapewnić prawidłowy rozwój sieci przesyłowej? Czy będąc np. w zarządzie operatora sieci przesyłowej Autor podjąłby decyzję o ograniczeniu zadań inwestycyjnych do takiego właśnie poziomu?
- Jak zmieniłyby się koszty wymaganych nakładów inwestycyjnych, gdyby zastosowano podejście mieszane, np. metodę symulacyjną uzupełniono o deterministyczne obliczenia wykonane dla wybranych stanów pracy sieci?

Powyższe uwagi traktuję jako dyskusyjne i pozostające bez wpływu na moją, pozytywną ocenę rozprawy. Wszystkie ewentualne błędy i nieścisłości należy uznać za zrozumiałe, biorąc pod uwagę złożoność problemu badawczego.

4 Uwagi końcowe, podsumowanie, spełnienie wymogów ustawowych

Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (art.13) wymaga, aby rozprawa doktorska stanowiła oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Opiniowana rozprawa według mnie spełnia to wymaganie. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że sposób rozwiązania problemu naukowego przedstawiony w rozprawie daje możliwość jego praktycznego zastosowania. Zgodnie z wymogami Ustawy Doktorant, mgr inż. Wojciech Lubicki, wykazał się wiedzą, umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz umiejętnością prowadzenia badań i przedstawienia ich wyników.

Lista istotnych osiągnięć rozprawy, które powinny być uznane za oryginalny dorobek Doktoranta zawiera następujące, najistotniejsze elementy:

- dokonanie krytycznego przeglądu i oceny metod planowania rozwoju sieci przesyłowej (w tym metod probabilistycznych) oraz wskazanie metod możliwych do praktycznego wykorzystania,
- zbadanie istotności krajowych uwarunkowań, w tym tych o charakterze niedeterministycznym, mogących mieć wpływ na przebieg procesu planowania rozwoju sieci przesyłowej,
- modyfikacja tradycyjnej metody estymacji dwupunktowej opartej na schemacie $2m+1$ o stany awaryjne L_g-1 ,
- opracowanie nowego, metodycznego podejścia do procesu planowania rozwoju sieci przesyłowej uwzględniającego elementy probabilistyczne,
- opracowanie układu sieci testowej i wykonanie obliczeń zarówno metodą deterministyczną, jak i metodami probabilistycznymi (symulacyjną i aproksymacyjną),
- adaptacja programu komputerowego PLANS oraz arkuszy kalkulacyjnych MS Excel do implementacji metody estymacji dwupunktowej według schematu $2m+1$ z uwzględnieniem stanów awaryjnych L_g-1 .

Doktorant w rozprawie zmierza konsekwentnie do realizacji jej celu i udowadniania postawionej we wstępie tezy. Pomimo drobnych mankamentów wykład jest jasny i czytelny, zawiera także wszystkie istotne elementy: genezę, tezę, krytyczny przegląd aktualnego stanu wiedzy (przegląd aktualnie stosowanych metod planowania rozwoju sieci przesyłowej), sformułowanie problemu, jego rozwiązanie, prezentację wyników, podsumowanie oraz wykaz literatury.

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej ocenę stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Wojciecha Lubickiego odpowiada wymaganiom ustawowym stawianym przed rozprawami doktorskimi (Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. – Dz. U. z 2003 r. nr 65, poz. 595 ze zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Piotr Młk