

Prof. dr hab. inż. Artur Wilczyński
Politechnika Wrocławska
Wydział Informatyki i Zarządzania
Instytut Organizacji i Zarządzania
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

Wrocław, 20.08.2013

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Michała Wierzbowskiego pt.

Optymalizacja pracy sieci rozdzielczej w nowoczesnych systemach elektroenergetycznych

1. Podstawa formalna recenzji

Przedmiot recenzji stanowi rozprawa doktorska mgr inż. Michała Wierzbowskiego zatytułowana „*Optymalizacja pracy sieci rozdzielczej w nowoczesnych systemach elektroenergetycznych*” (*Optimization of distribution electrical networks in the modern power systems*). Promotorem rozprawy jest prof. dr. hab. inż. Władysław Mielczarski, profesor zwyczajny Politechniki Łódzkiej.

Recenzja została opracowana w następstwie uchwały Rady Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej z dnia 2 lipca 2013 roku, przekazaną pismem prof. dr hab. inż. Andrzeja Bartoszewicza (pismo z dnia 05.07.2013), na podstawie przedłożonego tekstu rozprawy. Recenzja ma być wykorzystana w postępowaniu o nadanie mgr inż. Michałowi Wierzbowskiemu stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

Rozprawa pod wyżej wymienionym tytułem obejmuje 271 stron tekstu zasadniczego, w języku angielskim, w tym zestawienie 255 pozycji literatury z przedmiotu pracy. W rozprawie zamieszczono liczne rysunki, tabele oraz zestawienia, prezentujące wyniki własnych obliczeń komputerowych.

2. Sformułowanie zagadnienia naukowego

Zarządzanie pracą systemów elektroenergetycznych odbywa się obecnie w warunkach dużej niepewności, zarówno po stronie popytowej, jak również podażowej. Wpływ na taką sytuację ma z jednej strony rozwój mechanizmów rynkowych w obrocie energią elektryczną, zaś z drugiej strony rozwój generacji rozproszonej (DG), w tym odnawialnych źródeł energii (OZE), wspierany przez politykę Unii Europejskiej. Oba te zjawiska powodują, że stopień ryzyka w procesie bilansowania energii elektrycznej jest niezwykle wysoki.

Każdy rynek jest miejscem ścierania się interesów podmiotów sprzedających i kupujących. Interesy strony podażowej różnią się od interesów strony popytowej, są wręcz sprzeczne. Rynek energii elektrycznej, ze względu na specyfikę towaru będącego przedmiotem obrotu, całkowicie różni się od rynków innych produktów. Energii elektrycznej nie można bowiem magazynować na większą skalę. Ta cecha energii elektrycznej sprawia, że w pewnym obszarze interesy jej dostawców i użytkowników są takie same. Dotyczy to takiego sposobu użytkowania energii elektrycznej, którego rezultatem będą minimalne koszty jej produkcji i dostarczenia, z tym wiąże się odpowiednie zarządzanie energią, zagadnienie, któremu już od wielu lat poświęca się wiele uwagi, a które nabiera jeszcze większej aktualności w związku z planami Unii Europejskiej związanymi z rozwojem odnawialnych źródeł energii, często cechujących się znaczną niepewnością pracy, co wymaga aktywnej koordynacji generacji i obciążeń elektrycznych.

Transformacja sieci dystrybucyjnych do sieci aktywnie zarządzanych, nazywanych powszechnie sieciami inteligentnymi, z pewnością zmieni obecny sposób funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. Wymagać to będzie monitorowania systemu, który dostarcza informacji na temat przepływów mocy i zmiennego zużycia energii elektrycznej, ale także bieżących parametrów systemu elektroenergetycznego. Taki monitoring jest niezbędny do optymalizacji systemu, który umożliwia wyznaczenie sygnałów sterujących dla jednostek wytwórczych, magazynów energii i sterowanych obciążeń. Ponadto wymagać to będzie zabezpieczenia przed niepowołanymi ingerencjami, zagrażającymi pracy systemu.

Głównym celem opiniowanej rozprawy doktorskiej jest zaproponowanie i zbadanie mechanizmu aktywnego zarządzania pracą dystrybucyjnej sieci średniego

napięcia, z uwzględnieniem lokalnego bilansowania energii elektrycznej oraz optymalizacji pracy systemu, z zachowaniem wszystkich wymagań stawianych systemom elektroenergetycznym, w tym wymagań technicznych, ekonomicznych i prawnych.

Zdaniem recenzenta zagadnienie naukowe zostało sformułowane poprawnie.

Tematyka rozprawy cechuje się dwoma walorami, do których należą:

- *poznawcze* – proponowanie podejścia do ustalania zasad postępowania technicznego i ekonomicznego w działaniach planistycznych rozwoju i eksploatacji systemu elektroenergetycznego,
- *użytkowe* – przydatność rozważań nad kształtowaniem zasad eksploatacji systemu elektroenergetycznego, które winny być uwzględniane w regulacjach prawnych.

3. Teza rozprawy

Na stronie 17 rozprawy Autor formułuje następującą tezę:

Możliwe jest zarządzanie pracą sieci dystrybucyjnej średniego napięcia z generacją rozproszoną, w oparciu o koordynację przepływu mocy i usług systemowych, prowadzonych przy wykorzystaniu metod optymalizacji nieliniowej, w warunkach zdecentralizowanego rynku bilansującego energii elektrycznej.

W dalszym rozwinięciu tej tezy Autor pisze, że możliwe jest:

- przeprowadzenie ekonomicznego rozdziału obciążeń w sieci dystrybucyjnej średniego napięcia, przy wykorzystaniu mechanizmu rynku bilansującego
- uwzględnienie usług systemowych w procesie ekonomicznego rozdziału obciążeń w lokalnej sieci średniego napięcia, w postaci kontraktowania mocy biernej
- zapewnienie optymalnego rozpyływu mocy w lokalnej sieci dystrybucyjnej średniego napięcia (uwzględniając przepływy zarówno mocy czynnej i biernej), prowadzącego do redukcji strat mocy w sieci oraz pozwalającego na minimalizację kosztów operacyjnych pracy sieci
- uwzględnienie w procesie rozdziału obciążeń nowych jednostek, takich jak magazyny energii oraz odbiory aktywne (sterowalne) do bilansowania zarówno mocy czynnej jak i biernej
- wykorzystanie metod śledzenia rozpyłów mocy (Power Flow Tracing) w celu określenia cen energii na potrzeby bilansowania i wyznaczenia rzeczywistych kosztów strat.

Zadania szczegółowe, służące weryfikacji i wykazaniu słuszności tak postawionej tezy rozprawy to:

1. przeprowadzenie analizy funkcjonowania sieci elektroenergetycznych w warunkach rynkowych (przy zachowaniu m. in. zasady unbundlingu i TPA) oraz w warunkach wykorzystywania odnawialnych źródeł energii (OZE) i generacji rozproszonej (DG),
2. wyznaczenie modelu sieci testowej średniego napięcia, uwzględniającego możliwość kontroli przyłączonych źródeł, w tym: generatorów, magazynów energii oraz sterowalnych odbiorów (tzw. odbiorców aktywnych),
3. sformułowanie zadania dla lokalnych obszarów bilansowania w węzłach sieci WN/SN – koordynacja produkcji mocy czynnej i biernej, z jednoczesnym zapewnieniem minimalizacji strat przesyłowych oraz definiując funkcje Operatora Koordynacyjnego Sieci oraz sposób ich realizacji, biorąc pod uwagę dostępne zasoby oraz regulacje prawne,
4. specyfikacja modeli optymalizacyjnych, w tym funkcji celu i ograniczeń technicznych oraz analiza i wybór nieliniowych metod optymalizacji,
5. wykonanie obliczeń symulacyjnych dla różnych scenariuszy, w tym:
 - a/ sieć bez źródeł generacji rozproszonej (wariant bazowy),
 - b/ sieć z generacją rozproszoną (bez rozdziału obciążeń),
 - c/ uwzględnienie rozdziału obciążeń:
 - sieć ze sterowaną generacją rozproszoną,
 - sieć ze sterowaną generacją rozproszoną, zasobnikiem energii i odbiorami sterowanymi,
 - d/ uwzględnienie rozdziału obciążeń i systemu regulacyjnych usług systemowych dla wariantów jak w scenariuszu c/.
6. Analiza wyników i sformułowanie zaleceń w zakresie praktycznego wdrożenia uzyskanych rezultatów oraz dalszych badań.

4. Ważność rozważanego zagadnienia naukowego

Globalna tendencja rozwoju generacji rozproszonej, w tym niekonwencjonalnych źródeł energii zmusza do wypracowania nowego podejścia do zarządzania systemem elektroenergetycznym. Niezwykle ważnym problemem, jaki wyłania się w tej sytuacji jest bilansowanie podaży i popytu na rynku energii elektrycznej i to w taki sposób, aby zapewnić niezawodną i efektywną pracę systemu elektroenergetycznego. Operator systemu przesyłowego, odpowiedzialny za bilansowanie podaży i popytu na energię elektryczną, nie jest w stanie zarządzać pracą dużej ilości małych źródeł, w tym nawet mikroźródeł. Praca źródeł niekonwencjonalnych jest niestabilna, cechuje się znacznym poziomem niepewności, co powoduje dodatkowe problemy w

bilansowaniu produkcji i zapotrzebowania na energię elektryczną w systemie elektroenergetycznym. Taki stan wpływa na niską efektywność ekonomiczną wytwarzania energii elektrycznej w tych źródłach, co przy wysokich kosztach inwestycyjnych tych źródeł jeszcze bardziej zwiększa koszt pozyskiwania energii.

Dobrym sposobem stymulującym racjonalne, czyli wpływające na minimalizację kosztów dostawy energii elektrycznej są taryfy energii elektrycznej. Jednakże taryfy stosowane w kraju są dalekie od doskonałości, dotyczy to, zarówno taryf za energię, jak również przesyłowych. Obecnie stosowany system rozliczeń jest mało skutecznym narzędziem do kształtowania efektywnych zachowań podmiotów korzystających z sieci elektroenergetycznej. W szczególności dotyczy to zasady obciążania za przesył energii elektrycznej jedynie odbiorców tej energii oraz stosowanie metody, tzw. „miedzianej płyty”. Rozliczenia za przesył energii elektrycznej, według metody "miedzianej płyty", polegające na stosowaniu jednakowych dla całego obszaru zasilania stawek opłat, nie wpływają stymulująco na efektywne, z punktu widzenia całego systemu, zachowania użytkowników energii elektrycznej, bądź inwestorów w źródła energii.

Autor rozprawy zakłada, słusznie zdaniem opiniodawcy, że możliwością rozwiązania wspomnianych problemów jest rozwijanie koncepcji lokalnego bilansowania podaży i popytu na energię elektryczną, w przypadku opiniowanej pracy - na poziomie sieci średniego napięcia.

Praca niniejsza wychodzi zatem naprzeciw powstałym problemom, na obecnym i przyszłościowym poziomie rozwoju systemów elektroenergetycznych, prezentując koncepcję odpowiedniej koordynacji wytwarzania energii elektrycznej, przepływów energii i poziomu zużycia energii w sieciach rozdzielczych średniego napięcia.

5. Wykorzystanie źródeł literaturowych

Spis literatury zawiera 255 pozycji bibliograficznych, w tym pozycje książkowe, monografie, artykuły, referaty. Większość tych pozycji stanowią publikacje anglojęzyczne, dotyczące rozwijanych w rozprawie zagadnień. Zestawienie literaturowe obejmuje wiele specjalistycznych zagadnień, wszystkie one są bezpośrednio związane z tematyką rozprawy.

Wybór cytowanych w rozprawie pozycji literaturowych świadczy o dobrym rozeznaniu Doktoranta w przedmiocie rozprawy, a równocześnie dobrze uzasadnia podjęcie realizowanego tematu. Wykorzystanie załączonej literatury jest właściwe.

6. Oryginalność rozwiązania zagadnienia naukowego

Oryginalność rozprawy doktorskiej polega na wskazaniu i weryfikacji metodyki badawczej, dotyczącej optymalizacji pracy sieci dystrybucyjnych, a w szczególności bilansowania mocy czynnej i biernej, z uwzględnieniem przepływów mocy, strat mocy oraz technicznych ograniczeń i wymagań odnośnie jakości energii.

W rozprawie zaprezentowano możliwość wykorzystania metody śledzenia przepływów mocy w sieci, co pozwala na określenie, w jaki sposób jednostki produkujące energię, pokrywają zapotrzebowanie każdego odbiorcy oraz straty mocy. Śledzenie przepływów mocy daje możliwość poprawy zarządzania pracą sieci oraz może stanowić narzędzia do przypisywania kosztów bilansowania konkretnym odbiorcom energii.

Dorobek Autora wnosi elementy oryginalności do obszernego nurtu badań funkcjonowania systemu elektroenergetycznego w warunkach rozwijania mechanizmów rynkowych oraz zwiększającego się udziału generacji rozproszonej, a także dla efektywnego zarządzania systemem elektroenergetycznym, poprzez wprowadzenie bilansowania na obszarach zasilanych niskim i średnim napięciem, stosując sterowanie pracą małych, lokalnych źródeł i zasobników energii, a także wpływając na stronę popytową.

7. Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Zadanie badawcze, postawione Doktorantowi do rozwiązania wymagało znacznego pogłębienia wiedzy z wielu dziedzin, np. technicznej, prawnej (w zakresie regulacji unijnych oraz krajowych, dotyczących elektroenergetyki) i ekonomicznych. Rozmiar tej problematyki był dla Niego niewątpliwie sprawdzianem umiejętności prowadzenia pracy naukowej. W moim przekonaniu Doktorant wykazał, że potrafi samodzielnie rozwiązywać wyznaczone zadanie badawcze, opracować odpowiednią metodykę postępowania, przeprowadzić badania symulacyjne oraz dokonać właściwej

interpretacji i podsumowania uzyskanych rezultatów, a także opracować zalecenia postępowania w przypadku wdrażenia przedstawionych koncepcji.

8. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

- 8.1 Rozprawa jest bardzo obszerna, niektóre zagadnienia mogłyby zostać przedstawione bardziej skrótowo (syntetycznie). Dotyczyć by to mogło rozdziałów 2 i 3 omawiających europejskie regulacje prawne, związane z polityką energetyczną i klimatyczną oraz zagadnienia rynkowe. Sądzę, że taki skrót nie wpłynąłby na jakość rozprawy.
- 8.2 Rozwój mechanizmów rynkowych w obrocie energią elektryczną uruchomił wiele inicjatyw, pomysłów, które mogą posłużyć do tworzenia różnych modeli biznesowych. Można to odnieść do wypowiedzi na s. 15. „Zarządzanie pracą sieci, według zasad rynkowych wraz z nowymi usługami systemowymi zredukowałoby bariery inwestycyjne oraz zwiększyło konkurencyjność rozproszonych źródeł energii.” Co Doktorant sądzi o tym pomysle?
- 8.3 Istotnym elementem z punktu widzenia możliwości ograniczenia kosztów bilansowania była koncepcja bilansowania grupowego. W Europie spotyka się bilansowanie w ramach lokalnych i wirtualnych grup. Tworzenie grup bilansujących, spośród uczestników rynku energii elektrycznej, może w konsekwencji przyczyniać się do obniżenia kosztów uczestnictwa w rynku bilansującym i sprzyjać rozwojowi zasady TPA. Problem ten rozwijał dr inż. Maciej Sołtysik, w ramach rozprawy doktorskiej. Czy Doktorantowi znane są te prace, jeśli tak, to czy pewne rozwiązania mogłyby zostać wykorzystane w dalszych pracach?
- 8.4 W strukturze zarządzania sieciami dystrybucyjnymi Doktorant wskazuje trzy główne elementy: monitorowanie z zastosowaniem liczników elektronicznych lub systemów SCADA, optymalizacji oraz bilansowania i kontroli. Do tego niezbędny jest układ sterujący pracą źródeł oraz tzw. aktywnych odbiorców. A to przecież kosztuje. Czy uzyskane korzyści zniwelują w pewnym stopniu wysokie koszty generacji w źródłach niekonwencjonalnych i aparatury pomiarowej?
- 8.5 W rozprawie występuje sporo sformułowań, z którymi trudno się zgodzić, lub niezręcznych, np. Autor pisze, że nowoczesne (modern) (s. 10) systemy działają zgodnie z zasadą unbundlingu i TPA, wskazanymi przez odpowiednie regulacje prawne. Nie wszystkie systemy elektroenergetyczne państw członkowskich Unii są nowoczesne, a muszą funkcjonować zgodnie z tymi zasadami. Inny przykład to - uczestnicy rynku, może działać na różnych poziomach napięcia (s. 11).
- 8.6 Trudno się zgodzić ze stwierdzeniem, że „Każdy system zarządzania ma do czynienia z równoważeniem produkcji i konsumpcji.” (s. 14). Jeśli chodzi o zarządzanie systemem elektroenergetycznym to zgoda, ale zdanie wyraża ogólne sformułowanie o systemie zarządzania, co już nie musi być prawdziwe.
- 8.7 Słusznie Autor zauważa (s. 15), że sektor elektroenergetyczny funkcjonuje w warunkach rynkowych, jednak trzeba dodać, iż mamy w tym przypadku do

czynienia z rynkiem bardzo ułomnym. Rozwój mechanizmów rynkowych w obrocie energią elektryczną ograniczają oczywiście warunki techniczne, ale także administracyjne, czego przykładem może być zamiar wprowadzenia, tzw. backloadingu. Należy się spodziewać, że intensywniejszy rozwój rynku energii elektrycznej nastąpi w Polsce po utworzeniu jednolitego rynku energii w Unii Europejskiej. Rynek emituje oczywiście sygnały dla racjonalnego zachowania podmiotów na nim występujących, trzeba mieć jednak na uwadze fakt, że raczej to nie dotyczy długich horyzontów czasowych. Bieżące racjonalne zachowania, np. dostawców energii, inwestorów, itp. nie muszą przyczynić się do osiągnięcia optymalnego stanu systemu elektroenergetycznego w dalszej przyszłości.

- 8.8 Autor stwierdza na s. 16, że zastosowane nowe podejście do przepływu Mocy może poprawić zarządzanie eksploatacją sieci i stanowić podstawę dla nowych metod przypisywania kosztów bilansowania dla użytkowników energii. Czy przewiduje uwzględnienie tych kosztów w taryfie za przesył. Jaka jest zmienność tych kosztów? Czy Autor rozważył ewentualność wprowadzenia zróżnicowania (np. dobowego) stawek w taryfie za przesył, jeśli uzasadniałaby to zmienność kosztów?
- 8.9 Autor stwierdza (s. 109), że pomiędzy użytkownikami i producentami przyłączonymi do lokalnych obszarów bilansowania i lokalnych systemów dystrybucyjnych powinien być prowadzony wolny handel energią, tak samo jak pomiędzy podmiotami przyłączonymi do systemów przesyłowych. Píše dalej „Handel energią powinien być dodatkowo prowadzony bez żadnych ograniczeń, podczas gdy Operatorzy Systemów Dystrybucyjnych, działający poprzez Operatorów Koordynacyjnych Sieci i Operatorów Obszarów Węzłowych zapewniąliby, fizyczne bilansowanie energii produkowanej i zużywanej.” Nie jest to do końca słuszne – uwzględniając ograniczenia techniczne i legislacyjne, np. obowiązek zgłaszania transakcji operatorowi. On przecież odpowiada za bilansowanie.
- 8.10 Każdy odbiór, w przyjętym modelu sieci testowej był przez Autora zamodelowany za pomocą profili obciążenia, udostępnionych przez PTPIREE. Profile te zostały opracowane dla obszaru Wielkopolski, prawdopodobnie dla innych obszarów będą miały inny nieco kształt. Ponadto te profile ulegają pewnej ewolucji, czasem dość znaczącej na skutek działań, tzw. DSM, zatem istnieje potrzeba wykorzystania prognoz lub pogodzenia się, że bilans zostanie wykonany z pewną, ograniczoną dokładnością, zaś niezbilansowanie zostanie pokryte z systemowego rynku bilansującego, co i tak jest nieuchronne. Celem natomiast, jaki postawił sobie Doktorant jest zminimalizowanie tego. Nasuwa się zatem pytanie, czy Doktorant rozważył problem dokładności przyjętych profili obciążenia?
- 8.11 Lokalne bilansowanie wiąże się z ponoszeniem dodatkowych kosztów (np. monitoringu, przystosowania lokalnej sieci, zatrudnienia dodatkowego personelu itp.). Interesujący byłby całkowity bilans korzyści z wdrożenia propozycji zawartych w rozprawie.

Przedstawione uwagi krytyczne, zarówno o charakterze ogólnym, jak i szczegółowe, mają często charakter polemiczny. Obszar zagadnień poruszanych w rozprawie może mieć niewątpliwie wpływ na pewien subiektywizm oceny recenzenta, co nie podważa jednak ogólnie bardzo pozytywnej jej oceny. Zawarte uwagi wynikają czasami ze zbyt pobieżnego potraktowania niektórych problemów. Wytłumaczyć to może i tak już chyba zbyt duża objętość rozprawy.

9. Wniosek końcowy

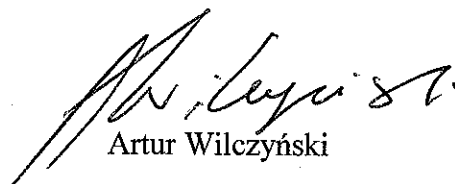
Stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgra inż. Michała Wierzbowskiego stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, polegające na zaproponowaniu metodyki badawczej, która pozwoliła na opracowanie narzędzia do lokalnego bilansowania produkcji i zapotrzebowania na energię elektryczną w sieci dystrybucyjnej.

Zagadnienie, będące przedmiotem rozprawy, jest aktualne i ma duże znaczenie teoretyczne oraz praktyczne, dla zapewnienia efektywnej pracy systemu elektroenergetycznego, poprawy pozycji rynkowej źródeł niekonwencjonalnych, co pośrednio ma również wpływ na poprawę bezpieczeństwa elektroenergetycznego.

Przedstawiona w rozprawie koncepcja zarządzania siecią dystrybucyjną może stanowić realny sposób na tworzenie rynków lokalnych. Pomysł na tworzenie takiego rynku istniał od samego początku wprowadzenia rynków energii elektrycznej, ale występował problem, jak to zrobić. Pewnym rozwiązaniem jest tutaj pomysł zaprezentowany przez Doktoranta.

W moim przekonaniu opiniowana rozprawa doktorska spełnia wymagania sformułowane w obowiązującej ustawie, z dnia 14 marca 2003 roku, o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. Nr 65, poz. 595 oraz Dz. U. z 2005 r. Nr 164, poz. 1365).

Wnoszę zatem o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie mgra inż. Michała Wierzbowskiego do jej publicznej obrony.


Artur Wilczyński