

Recenzja rozprawy doktorskiej autorstwa mgr. inż. Krzysztofa Siekierskiego zatytułowanej:

„Optymalizacja wielonośnikowych sieci zakładowych w celu zwiększenia bezpieczeństwa w zakresie zarządzania energią elektryczną w wybranym zakładzie przemysłowym”

1. Podstawa wykonania recenzji

Niniejsza recenzja została wykonana na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej sformułowanego na podstawie uchwały Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej w piśmie nr RE 217/BD/16/17 z dnia 1 marca 2017 roku.

2. Przedmiot rozprawy

Przedmiotem rozprawy są rozważania związane z zapewnieniem bezpieczeństwa zasilania zakładów przemysłowych w nośniki energii. Autor definiuje pojęcie „bezpieczeństwo” jako „stan zbilansowania zasilania zakładu w energię umożliwiający pokrycie bieżącego zapotrzebowania wynikającego z potrzeb i planów produkcyjnych”. Naruszenie bezpieczeństwa będzie w pracy rozumiane jako deficyt niezbędnych pod względem ilości i parametrów czynników energetycznych zapotrzebowanych przez procesy produkcyjne. Praca w szczególności uwzględnia rangę energii elektrycznej w utrzymaniu tak rozumianego bezpieczeństwa, co skłoniło Autora do użycia w tytule pracy zwrotu „bezpieczeństwo w zakresie zarządzania energią elektryczną”.

Z brakiem pewności zasilania, a zatem z ryzykiem wystąpienia przerw w dostawach energii Autor wiąże możliwość powstawania znacznych strat finansowych wynikających ze strat w produkcji oraz możliwością uszkodzenia maszyn i urządzeń. W związku z tym proponuje zmianę struktury systemu energetycznego zakładu przemysłowego przez wprowadzenie własnych źródeł zasilania, w których w skojarzeniu wytwarzana jest energia elektryczna oraz inne nośniki, głównie ciepło. W celu wpasowania nowego źródła w istniejącą strukturę zakładu Autor formułuje model „sieci wielonośnikowej”, w której do wydzielonych węzłów są wprowadzane nowe elementy wytwórcze. Pod uwagę wzięto zespoły kogeneracyjne z silnikami gazowymi oraz agregaty zasilania awaryjnego zasilane paliwem ciekłym. Zawężono przez to zakres możliwości technologicznych, co jednakże w wystarczającym stopniu pozwala na przedstawienie i omówienie proponowanej przez Autora metodologii.

Stosowane w pracy określenie „sieć wielonośnikowa” jest tożsame z systemem energetycznym zakładu przemysłowego. Stosowanie pojęcia „sieć wielonośnikowa” Autor uzasadnia jednocześnie uwzględnianiem w obliczeniach wszystkich, występujących w danej lokalizacji nośników energii, jako jednej wspólnej sieci, ze wszystkimi możliwymi zależnościami i korzyściami, które mogą wypłynąć z efektu synergii. Na potwierdzenie zasadności stosowanego nazewnictwa autor przytacza liczne publikacje zagraniczne.

W treści pracy Autor poświęca uwagę opracowaniu odpowiednich procedur zarządzania dostawami energii elektrycznej do poszczególnych procesów i urządzeń produkcyjnych zakładu w sytuacji wystąpienia utraty zasilania ze źródła podstawowego, jakim rozległa sieć elektroenergetyczna. W sytuacji takiej zakład przechodzi do pracy wyspowej, w której następuje priorytetyzacja zasilania

poszczególnych węzłów sieci wielonośnikowej zakładu. Autor dokonuje klasyfikacji poszczególnych węzłów ze względu na wrażliwość na utratę zasilania i długość przerwy w zasilaniu. Opracowuje odpowiednie algorytmy, które przedstawia w formie graficznej. W kolejnym etapie pracy podjęta zostaje próba wartościowania bezpieczeństwa oraz sformułowania modelu deterministycznego na potrzeby optymalnego doboru rozwiązań technologicznych, które mają zapewnić pewność zasilania. Model oparty został na lokalnej efektywności finansowej wyrażonej kosztami dostaw energii oraz możliwych strat, które wystąpiłyby, gdyby zakładane zdarzenie utraty zasilania zaszło w rzeczywistości. W następnym etapie formułowana jest funkcja celu, szacowane są możliwe straty z tytułu przerwy w zasilaniu oraz rozwiązywane jest zadanie optymalizacyjne. W końcowej części Autor dokonuje podsumowania rozprawy i formułuje wnioski końcowe.

3. Zasadność podjęcia tematu

Autor rozprawy podjął się opracowania metodologii optymalizacji rozwiązań technologicznych w zakresie zwiększenia pewności zasilania zakładów w energię elektryczną, a wykorzystując do tego celu procesu skojarzone, również w inne media. Tematyka ta jest obecnie ważna w kontekście szeroko rozumianego bezpieczeństwa energetycznego. Badania w zakresie bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej do odbiorców nabierają obecnie znaczenia w wyniku możliwości utraty pewności zasilania związanej z rosnącym prawdopodobieństwem awarii systemu energetycznego spowodowanym zwiększoną cyklicznością pracy bloków wytwórczych elektrowni konwencjonalnych, co z kolei wynika z rosnącej podaży energii z elektrowni wiatrowych i słonecznych. Niewątpliwie opracowanie metodologii oceny bezpieczeństwa oraz wyboru rozwiązań technologicznych zwiększających pewność zasilania procesów produkcyjnych jest ważne z punktu widzenia zarówno poszczególnych przedsiębiorstw przemysłowych jak i całej gospodarki kraju.

4. Tezy i zakres rozprawy

Opiniowana praca ma charakter analizy teoretycznej prowadzącej do syntezy nowej struktury technologicznej systemu energetycznego wybranego zakładu przemysłowego, nazywanej przez Autora „siecią wielonośnikową”.

Główną tezą pracy jest stwierdzenie, że „wartościowanie bezpieczeństwa w zakresie zarządzania energią elektryczną w wybranym zakładzie przemysłowym umożliwia wyznaczenie optymalnego poziomu wykorzystania mediów energetycznych”. Teza ta kształtuje sposób prowadzenia pracy, ma wpływ na jej treść oraz postać formułowanych zadań cząstkowych.

Rozprawa doktorska ma formę zwartego maszynopisu. Praca obejmuje 7 ponumerowanych rozdziałów, spis literatury obejmujący 76 pozycji oraz 4 ponumerowane załączniki. Całkowita objętość tekstu wynosi 129 stron.

W rozdziale pierwszym przedstawiono w sposób ogólny zagadnienia związane z pewnością zasilania zakładów przemysłowych w nośniki energii. Sformułowano tu także cel pracy oraz postawiono tezy rozprawy. Drugi rozdział rozprawy ogólny opis zagadnień związanych z rozwojem wielonośnikowych układów zasilania nazywanych w pracy sieciami wielonośnikowymi. W rozdziale trzecim przedstawiony został liniowy model macierzowy systemu energetycznego zakładu przemysłowego.

Wprowadzono podstawowe koncepcje wykorzystywane w dalszej części pracy. Wprowadzono tu również podstawowe oznaczenia oraz w sposób graficzny zinterpretowano elementy modelu macierzowego. W rozdziale czwartym dokonano ogólnego omówienia problematyki optymalizacji sieci wielonośnikowych (lub inaczej struktur technologicznych) zakładów przemysłowych. Sformułowano ogólne postaci funkcji celu w zadaniach optymalizacji. W rozdziale piątym przedstawiony strukturę systemu energetycznego rzeczywistego zakładu przemysłowego, na przykładzie którego zademonstrowano wykorzystanie proponowanej metodologii. W rozdziale tym wprowadzono podstawowe, oryginalne wskaźniki bezpieczeństwa oraz zdefiniowano rodzaje strat. W szóstym rozdziale rozprawy sformułowano szczegółowe zadanie optymalizacyjne oraz rozwiązano je dla przypadku wybranego zakładu. Rozdział 7 rozprawy zawiera podsumowanie i wnioski końcowe. W załącznikach do pracy przedstawiono najbardziej istotne założenia, wartości cen i kosztów jednostkowych, tabele danych i wyników oraz część równań modelu matematycznego.

Rozprawa doktorska nie została opatrzona streszczeniem w języku angielskim co nie odpowiada wymaganiom art. 13 pkt. 6 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Autor powinien dołączyć wymagane streszczenie oddzielnie.

5. Ocena oryginalności pracy

Opiniowana rozprawa doktorska mgr. inż. Krzysztofa Siekierskiego stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Autor uzyskał wyniki na drodze rozważań własnych oraz praktyki inżynierskiej w przemyśle. Wiele danych do pracy zostało zaczerpniętych z rzeczywistego obiektu przemysłowego. Praca różni się w sposób znaczny od typowych prac teoretycznych właśnie z powodu znacznego udziału uproszczonych rozwiązań inżynierskich.

Doktorant wykazał się kreatywnością oraz dużą samodzielnością w rozwiązaniu postawionego problemu, a przedstawiona rozprawa potwierdza jego ogólną wiedzę teoretyczną oraz umiejętność prowadzenia pracy naukowej w zakresie nauk technicznych. Ponadto Autor wykazał się odwagą formułowania własnych definicji i wprowadzania własnych wskaźników na potrzeby prowadzonego wywodu.

6. Wartości użytkowe pracy

Praca wpisuje się w zagadnienia bezpieczeństwa energetycznego i ma szerszy wymiar użyteczny. Jako podstawową formę użytecznego wykorzystania wyników można wskazać możliwość wykorzystania opracowanej metodologii i algorytmów do projektowania rozwiązań zwiększających pewność zasilania procesów produkcyjnych w media energetyczne w zakładach przemysłowych. Możliwość ta wynika bezpośrednio z celu pracy.

Wyniki pracy, szczególnie w zakresie opracowanej metodologii, mogą również zostać wykorzystane w planowaniu celowych wyłączeń tj. wymuszonych przerw w dostawie energii elektrycznej od dostawców zewnętrznych. Usługi takie są obecnie kontraktowane zarówno przez operatora systemu przesyłowego jak i spółki dystrybucyjne.

W dobie rozwoju informatycznych systemów wsparcia decyzji eksploatacyjnych i inwestycyjnych (ang. Decision Support System – DSS) opracowana przez Autora metodologia, a w szczególności algorytmy mogą stanowić podstawę do budowy takiego systemu i jego implementacji w postaci odpowiedniego oprogramowania do istniejących systemów SCADA zakładów przemysłowych.

7. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

W rozdziale 1 pracy brak jest definicji pojęć wykorzystywanych przez Autora w dalszej części pracy. Z tego powodu wiele określeń, które występują w tekście, jest niezrozumiałych. Wprowadzenie takiej sekcji do tekstu znacznie ułatwiłoby czytelnikowi zrozumienie pracy. Szczególnie, że w Autor używa nomenklatury stosowanej w dyscyplinie elektrotechnika, głównie modelowania wektorowego, do opisu procesów z dziedziny szeroko pojętej gospodarki energetycznej. Odmienność nomenklatury istotnie wpływa na zmniejszenie komfortu czytania pracy.

Strona 6, rysunek 2 i tekst pod nim. Na rysunku 2 Autor przedstawia „Warstwy zapewnienia bezpieczeństwa dostaw energii do zakładu”. Nie jest jasne czy podane definicje zostały zaczerpnięte z literatury czy są to własne definicje autora. Czy „poziom bezpieczeństwa” nie byłby tu bardziej właściwym określeniem? Nazwa poszczególnych warstw na podstawie długości przerw w zasilaniu, tj. „bezpieczeństwo bieżące” do „bezpieczeństwo długoterminowe” wydaje się być nietrafiona. Raczej Autor powinien być użyć tu pojęcia ryzyka. Inaczej mówiąc ryzyko bieżące to ryzyko wystąpienia krótkookresowych przerw i odpowiednio ryzyko długoterminowe to ryzyko wystąpienia długookresowych przerw. Mówiąc o bezpieczeństwie oczekujemy, że przerwy w zasilaniu nie wystąpią. Zatem przykładowo w zakładzie zakwalifikowanym do warstwy I spodziewamy się, że nie wystąpią przerwy krótkookresowe (ryzyko jest minimalne). W kontekście treści pracy, wydaje się również słusznym, by poza długością przerwy w zasilaniu do określenia warstwy bezpieczeństwa wykorzystać również informację o liczbie możliwych przerw. Z jakiej przyczyny Autor nie wziął tego pod uwagę? Możliwym jest, że Autor pisząc o bezpieczeństwie miał na myśli tolerancję na przerwy w zasilaniu o odpowiednim czasie trwania. Nie zostało to jednak czytelnie przedstawione w pracy. Można się tego domyślać na podstawie analizy tabeli 11.

Autor formułuje następujący cel pracy: „opracowanie modelu sieci wielonośnikowych w obrębie zakładu przemysłowego, sformułowanie i rozwiązanie zadania wykorzystania nośników energetycznych z uwagi na optymalizację bezpieczeństwa zarządzania energią elektryczną w wybranym zakładzie przemysłowym. Co autor rozumie pod pojęciem „optymalizacja bezpieczeństwa zarządzania energią elektryczną”? Tak sformułowany cel pracy nie jest zgodny z tematem pracy. Temat pracy wskazuje na optymalizację sieci wielonośnikowej z czego czytelnik może wnioskować, że optymalizowane będą fizyczne cechy tej sieci, co znajduje potwierdzenie w dalszej części pracy. Tymczasem w celu pracy wskazuje się na optymalizację bezpieczeństwa co jest niejasne. Typowe zadanie optymalizacyjne polega na takim wyborze wartości zmiennych decyzyjnych by w efekcie uzyskać maksymalną lub minimalną wartość przyjętego kryterium jakości (funkcji celu). Pisząc o „optymalizacji bezpieczeństwa” Autor sugeruje, że zmienną decyzyjną jest bezpieczeństwo co nie jest prawdą. Ze sformułowania tezy pracy wynika, że chodzi o „optymalny poziom wykorzystania mediów energetycznych”. Zatem celem pracy jest sformułowanie i rozwiązanie zadania optymalnego wykorzystania nośników energetycznych z uwagi na maksymalizację bezpieczeństwa zasilania zakładu w energię elektryczną. Czy Autor zgodzi się z tym stwierdzeniem?

Co Autor rozumie pod pojęciem „poziom wykorzystania mediów energetycznych” ? Czy chodzi tutaj o wykorzystanie energii w poszczególnych odbiornikach i zarządzanie procesami produkcyjnymi w zakładzie czy o ilość energii dostarczonej w stosunku do wynikającej z mocy zamówionej, mocy zainstalowanej w odbiornikach i czasu pracy ?

W pracy pojawiają się określenia: „bezpieczeństwo zarządzania energią elektryczną” oraz „bezpieczeństwo w zakresie zarządzania energią elektryczną”. Czy według autora są one tożsame ?

Co Autor rozumie pod pojęciem „konwersja energii w mediach” (str. 10) ?

Co Autor rozumie pod pojęciem „konwergencja mediów” (str. 10) ?

Strona 11. Wśród mediów energetycznych nie uwzględniono paliw stałych i ciekłych. Paliwa te są obecnie powszechnie wykorzystywane w przemyśle w elektrociepłowniach i kotłowniach zakładowych. Czym spowodowane jest pominięcie tych paliw w wykazie ?

Na rysunku nr 3 Autor nie uwzględnił faktu, że w ogólnym przypadku z gniazd obróbczych mogą być również wyprowadzane media, jak np. podgrzany czynnik chłodzący, spaliny o wysokiej temperaturze czy wreszcie palne gazy odpadowe. Na rysunku nie przedstawiono również magazynów międzyoperacyjnych, które mają kluczowe znaczenie w analizowanym problemie. W przypadku linii technologicznej bez magazynów międzyoperacyjnych dostawa mediów do każdego gniazda obróbczego ma taki sam wpływ na funkcjonowanie linii. Czy schemat przedstawiony na rysunku 3 był w jakikolwiek sposób uwzględniany w obliczeniach czy też stanowi on jedynie uogólnioną ilustrację podejmowanej problematyki ?

Na stronie 15 w wykazie infrastruktury sieciowej Autor nie wymienia akumulatorów energii elektrycznej, ciepła, pary, gazów, co jest znaczącym ograniczeniem w kontekście prowadzonych rozważań. Czy według Autora wprowadzenie do systemu energetycznego Zakładu akumulacji energii może mieć wpływ na wnioski z przeprowadzonej analizy ? Ponadto w układach przepływowych gazów i cieczy występują elementy takie jak stacje pomp czy stacje sprężarek, których zadaniem jest wymuszanie przepływu czynnika w sieci. Elementy te również nie zostały uwzględnione w wykazie.

Na stronie 15 rozprawy Autor pisze, że istnieją „możliwości przeprowadzenia analizy obwodów sieci gazowych, sprężonego powietrza i cieplnych, za pomocą tych samych praw, które wykorzystywane są przy analizie sieci elektroenergetycznych.” Na uzasadnienie twierdzenia przytacza Tabelę 1, która zaczerpnięta została z literatury. Istotny wpływ trudności w zrozumieniu tego podejścia ma brak schematu analizowanych obwodów z naniesionymi odpowiednimi oznaczeniami. O ile można zgodzić się z wzorami analogicznymi do I i II prawa Kirchhoffa o tyle przedstawione równania przepływu nie mogą być uważane za analogię, a przedstawione w tabeli 1 budzą wątpliwości. Odstępstwa od analogii elektrycznej wynikają z akumulacyjności i bezwładności czynnika w sieci, ściśłości oraz możliwości zmian parametrów stanu, do których zaliczamy ciśnienie, temperaturę i objętość właściwą. Przedstawione równanie przepływu gazów jest znacznym uproszczeniem. Równanie ruchu gazu jako płynu ściśłego to równanie Naviera-Stokesa, natomiast w przypadku ruchu cieczy, traktowanej jako płyn nieściśliwy zastosować można równie Bernoulliego. Ruch cieczy i gazów jest w

dużym stopniu uzależniony od właściwości samego płynu. Przedstawione w tabeli równanie przepływu ciepła jest nieadekwatne. Faktycznie opisuje ono straty ciepła z sieci ciepłowniczej a nie strumień ciepła transportowanego do węzła. Strumień ciepła transportowanego w sieci powinien zostać wyrażony entalpią czynnika, którego przepływ w sieci jest wymuszony różnicą ciśnień. Proszę o wyjaśnienie, czy przedstawione równania przepływu były wykorzystywane w modelowaniu przepływów energii w analizowanym przypadku czy też stanowią jedynie ilustrację przyjętych założeń.

W przeglądzie literatury brak jest omówienia zagadnienia będącego przedmiotem rozprawy. Autor nie przytoczył prac związanych z optymalizacją sieci w aspekcie bezpieczeństwa. Nie omówiono również żadnych prac, w których prowadzono analizy związane z poprawą bezpieczeństwa zasilania a w szczególności takich, które pokazywałyby próby wartościowania bezpieczeństwa. Nie odniesiono się również obecnemu stanowi wiedzy w zakresie szacowania strat produkcji, algorytmów przywracania zasilania. W spisie literatury brak jest również pozycji podejmujących tematykę gospodarki energetycznej jak np. Szargut J., Ziębik A. Podstawy gospodarki energetycznej. PWN, Warszawa, 2000 r.

Kolejna uwaga krytyczna w odniesieniu do przeglądu literatury dotyczy podawania jednego zbiorowego cytowania wielu pozycji literaturowych na początku paragrafu. Autor nie omawia wkładu poszczególnych prac w rozwój wiedzy w zakresie omawianej problematyki. Nie jest możliwe również zidentyfikowanie prac przedstawiających poszczególne zagadnienia szczegółowe.

Rysunek 4 na stronie 21 jest nieczytelny. Na osi odciętych znajduje się sprawność całkowita. Jakiej mocy układu elektrycznej układu dotyczy ten rysunek? Sprawność całkowita jest niezależna od mocy zatem przedstawione dane mogą dotyczyć zarówno małych jak i dużych obiektów w różnych technologiach. Ponadto nie podano odnośnika do źródła danych. Skąd Autor zaczerpnął informacje o kosztach?

W pierwszym akapicie Autor pisze, że „obecnie koszty inwestycji Wynoszą około 500 tys. euro za 1 MW znamionowej mocy”. Ponownie nie podano źródła danych. Czy podany nakład dotyczy zakupu urządzeń czy całkowity nakład inwestycyjny? Co Autor rozumie pod stwierdzeniem „...uzasadniona jest inwestycja, w wyniku której osiągnięta zostanie wydajność ponad 75%”?

Nie podano źródeł, z których zaczerpnięto rysunki 5 oraz 6.

Na stronie 27 znajduje się określenie „temperatura energii cieplnej”. Jest ono wynikiem znacznego skrótu myślowego i jego stosowanie jest niepoprawne. Zarówno temperatura jak i energia są parametrami stanu układu termodynamicznego i odnoszą się do właściwości substancji w tym układzie zawartej. Parametr taki jak „temperatura energii” nie istnieje.

Co oznacza stwierdzenie, że „praca węzła może być rozbudowana i wspomagana poprzez przyłączanie lokalnych źródeł energii”? Czy lokalne źródła energii nie stanowią odrębnych węzłów sieci? Jeżeli nie do dochodzimy do pojęcia struktury technologicznej węzła a zatem do utworzenia podsystemu lub zgodnie z terminologią używaną w pracy podsieci. Zdaje się to potwierdzać rysunek 8. Podejście takie wymaga rozwiązania hierarchicznego, w którym w pierwszym etapie optymalizowana jest struktura węzła a w drugim całej sieci. Czy tak prowadzone były obliczenia w pracy?

Równanie 2 na stronie 34. Co określa macierz przejścia M i na jakiej podstawie określane są współczynniki macierzy? Autor pisze, że wynikają one z „ilościowego podziału doprowadzonej energii do węzła i sprawności przemiany (w obrębie węzła) natomiast nie odzwierciedlają strat energii węzła”. Wyjaśnienie to nie jest w pełni zrozumiałe. Pierwsza wątpliwość dotyczy sposobu określania sprawności przemiany. Autor nie podaje żadnego algorytmu w tym zakresie. Po wtóre, czy występują ograniczenia w wartościach przyjmowanych oraz czy wszystkie współczynniki mogą przyjmować wartości niezerowe? Przykładowo, czy możliwa jest zamiana energii elektrycznej na gaz? Formułując równania macierzowe modelu Autor abstrahuje od cech fizycznych modelowanych obiektów a przede wszystkim od ich charakterystyk energetycznych co jest zbyt dużym uproszczeniem.

Kolejna uwaga krytyczna dotyczy założenia, że „procesom przemian energetycznych w węzłach nie towarzyszą straty energii”. Założenie to jest zbytnim uproszczeniem. Straty energii w procesie konwersji są nieuniknione a ich wartość zależy od zastosowanej technologii. Mogą to być również straty wymuszone, wynikające z chwilowego braku zapotrzebowania na nośniki energii w odbiorach, zwykle niezależnych. Przykładem może tu być zespół z silnikiem tłokowym lub kocioł w których występuje emisja gorących spalin do toczenia oraz straty ciepła z powierzchni urządzenia. Co Autor miał na myśli przyjmując to założenie?

Rysunek 14, strona 36. Jakie wartości mogą przyjmować współczynniki $m_{\alpha\delta}$ oraz $m_{\alpha\gamma}$ określające, zgodnie z przyjętą w pracy nomenklaturą konwersję i transformację pomiędzy energią elektryczną a gazem oraz sprężonym powietrzem? Czy Autor nie miał na myśli zużycie energii elektrycznej na dostawę gazu i sprężonego powietrza do odbiorników o obciążeniach L_α i L_γ ? Taki opis byłby zgodny z klasycznym modelem liniowym gospodarki energetycznej zakładów przemysłowych Leontiefa z 1973 r., który został opisany między innymi w pracy Szargut J., Ziębik A. Podstawy gospodarki energetycznej. PWN, Warszawa, 2000 r. Jeżeli nie, to jakie są różnice pomiędzy zastosowanym w pracy podejściem a klasycznym modelem przepływów międzygałęziowych?

Rysunek 15, strona 36. Symbol Z nie został objaśniony. Model obwodowy dla przepływu ciepła jest błędny. Jako potencjał dla przepływu ciepła w sieci wskazano temperaturę T , jako opór wskazano opór hydrauliczny H . Jeżeli rysunek dotyczy przepływu sieciowego jako potencjał należy wskazać ciśnienie.

Z równania macierzowego (6) wynika, że ciśnienie jest iloczynem oporu hydraulicznego i strumienia gazu lub powietrza a temperatura iloczynem temperatury i strumienia ciepła. Zapis równia (6) nie ma sensu fizycznego.

Cele techniczne optymalizacji przedstawione na stronie 38 nie zostały zapisane w postaci kryterium jakości, jak to uczyniono w przypadku celów ekonomicznych. Zamiast „poprawa sprawności” powinno być „maksymalizacja sprawności”. Zamiast „bezpieczeństwo” powinno być „maksymalizacja bezpieczeństwa” lub „minimalizacja ryzyka”.

Rysunek 16, strona 41. Co określają pojęcia: „zapotrzebowanie bieżące netto” oraz „zapotrzebowanie bieżące brutto”? Autor nie podaje stosownych definicji.

Rysunki 16 (str. 41) oraz 17 (str. 43). Na jakiej podstawie są określane moce chwilowe dostępne w sieci? Jak jest prawdopodobieństwo zaistniałych sytuacji? W szczególności jakie jest

prawdopodobieństwo wystąpienia deficytów. Zagadnienia oceny bezpieczeństwa i ryzyka wymagają analizy probabilistycznej, której w pracy nie podjęto.

W punkcie 4.3 pracy Autor formułuje zadanie optymalizacyjne. Funkcja celu przyjmuje postać opisaną ostatecznie równaniem (9). Przedstawione zadanie jest zadaniem z ograniczeniami o czym Autor nie wspomina. Nie zostaje przedstawiony model matematyczny, który służy do rozwiązania zadania. W szczególności nie przedstawiono zmiennych decyzyjnych ani ograniczeń równościowych i nierównościowych. Autor pisze wyłącznie o kosztach i efektywności (w domyśle czytelnika finansowej) podczas gdy nie określony jest przedmiot optymalizacji. Podana jest jedynie ogólnikowa informacja że „zadaniem optymalizacji jest zatem znalezienie rozwiązania, pozwalającego na minimalizację kosztów...” Czego dotyczy to rozwiązanie ? Jakimi parametrami się charakteryzuje ? Ile stopni swobody można przypisać do branego pod uwagę rozwiązania ?

Koszt strat K_4 w równaniu (7) oraz K_{pde} w równaniu (9) nie jest kosztem rzeczywistym a jedynie kosztem prawdopodobnym. Inaczej mówiąc nie jest to informacja deterministyczna a Może on wystąpić z określonym prawdopodobieństwem. Z tego powodu praca dotyczy optymalizacji z wykorzystaniem informacji probabilistycznej. W zadaniu optymalizacyjnym zmienne o charakterze stochastycznym powinny być zadane odpowiednim rozkładem prawdopodobieństwa.

Strona 47. Autor pisze: „Na wstępie analizie poddano wszystkie parametry kosztów...” Co autor rozumie pod pojęciem „parametr kosztów”? Z dalszej części tekstu można wywnioskować, że chodzi o składniki sumy. Czyli prawdopodobnie chodzi o składowe koszty.

Wzór (10). Czy współczynniki k_{ij} są wartościami średnimi ? Jeżeli tak to jakiego okresu dotyczą.

Tabela 9, strona 60. Zgodnie z opisem przedstawionym w punkcie 3.3. Wektory P oraz L zawierają strumienie energii. Z jakiej przyczyny w tabeli 9 przedstawiono udziały strumieni w węzłach i sprowadzono model do postaci bezwymiarowej ?

Strona 58. Czy macierz sprzężenia to to samo co macierz przejścia ? Z jakiej przyczyny wartości obciążeń i współczynników przejścia macierzy M są identyczne ?

Tabela 9 na stronie 60 oraz macierz przejścia pokazana w Załączniku 3 zawierają te same wartości. Pokazują one, że opracowany model sprowadza się do klucza podziału zużywanych mediów. Autor nie pokazuje wartości macierzy przejścia po zmianach, tj. po wprowadzeniu dodatkowych elementów systemu energetycznego zakładu.

Strona 62. Jaka jest jednostka miary dla strat $S(a)$ do $S(d)$?

Wprowadzony przez Autora wskaźnik Bze (22), nazwany „bezpieczeństwo zarządzania energią” jest miarą wykorzystania maksymalnej (lub znamionowej) zdolności produkcyjnej Zakładu. Może on być wskaźnikiem przerw w dostawach mediów, jednakże nie może być nazywany „bezpieczeństwem”. Bezpieczeństwo, podobnie jak ryzyko jest wielkością, która nie ma miary i może być definiowana w postaci opisu słownego lub wyrażona przez prawdopodobieństwo zajścia zdarzeń. Wielkość Wpr , występująca w liczniku wzoru (22) jest wielkością prawdopodobną i powinna być zadana w postaci odpowiedniego rozkładu prawdopodobieństwa. Wykorzystanie informacji deterministycznej nie dostarcza pełnego zbioru informacji do podejmowania racjonalnych decyzji inwestycyjnych. Ponadto

w kontekście optymalizacji sieci wielonośnikowej wskaźnik Bze powinien być definiowany dla poszczególnych nośników energii oznaczanych przez α , β , γ , δ .

Algorytm przedstawiony na rys. 27 kończy się podjęciem działań minimalizujących koszty $S(a)$ do $S(d)$. Nie uwzględnia się nakładów inwestycyjnych, a co się z tym wiąże późniejszego kosztu amortyzacji majątku, kosztów obsługi i kosztów osobowych związanych z proponowanymi działaniami. Inaczej mówiąc minimalizacja kosztów $S(a)$ do $S(d)$ powinna znajdować uzasadnienie w rachunku finansowym oraz wartości funkcji celu (9).

Algorytm na rys. 27 jest nieczytelny. Przykładowo, co oznacza decyzja „Poziom pokrycia aktualnego zapotrzebowania na czynniki energetyczne” z wartościami T/N ? Decyzja „Odporność na mogące zaistnieć przerwy w dostawie czynników” nie ma wyjścia T .

Algorytm na rysunku 29 wydaje się być zbyt dużym uproszczeniem. Nie uwzględnia on bezwładności urządzenia, możliwości wprowadzenia urządzenia w stan czuwania, informacji o możliwości uszkodzenia w przypadku niedostarczenia mediów. Wrażliwość urządzenia określana jedynie na podstawie odpowiedzi na pytanie „czy czynniki jest niezbędny do realizacji procesu na urządzeniu” nie może być określona. W obecnej postaci algorytm określa jedynie rozptył czynników dostarczanych awaryjnie do poszczególnych urządzeń. Trudno go zatem nazywać „algorytmem określania wrażliwości”.

Strona 78. Co autor rozumie pod pojęciem „uwarunkowania funkcji celu” ? Czy chodzi o warunki ograniczeń ? Jeżeli tak to jakie one są konkretnie. Lista na stronie 78 jest bardzo ogólnikowa. Natomiast w dalszej części pracy pokazano jedynie nierówność (34) oraz wynikające z niej (35), (36) oraz (37). Autor nie wspomina o podstawowych ograniczeniach równościowych jakimi są równania bilansu substancji i energii oraz równania przemian termodynamicznych i energetycznych. Nie jest jasne w jaki sposób Autor uwzględnił w pracy ograniczenia technologiczne.

Strona 79. Wprowadzona tu wprowadzona nowa funkcja celu (33), która nie odpowiada poprzednio zdefiniowanej funkcji (9). Jest to suma ważona „wskaźnika stopnia nieuniknięcia kosztów strat” oraz okresu zwrotu DPP. Autor nie podaje jak określane są wartości wag w_1 oraz w_2 . Podana jest jedynie informacja, że wartość wagi w_1 jest dużo większa od wagi w_2 . Czy takie zróżnicowanie wartości wag ma za zadanie skompensować wpływ różnych wartości wskaźnika x (od 0 do 1) oraz DPP (w latach; od 1 do ∞) ? Co dzieje się w przypadku, gdy okresu zwrotu nie da się wyznaczyć ?

Ponownie Autor nie podaje zmiennych decyzyjnych w zadaniu optymalizacyjnym.

Jaki związek ma wskaźnik nieuniknięcia kosztów x_{ij} w nierówności (34) z dopuszczalnymi poziomami strat określonych przez firmy ubezpieczeniowe. Teoretycznie wskaźnik może przyjmować wartości z przedziału 0 do 1. Nielogicznym wydaje się ograniczanie zakresu do poziomu strat ubezpieczonych, co wynika z faktu że straty te zostaną zrekomensowane przez ubezpieczyciela. Zatem wypłacone ubezpieczenie stanowić będzie wpływ, który powinien zostać uwzględniony w obliczeniach przepływów finansowych.

Str. 83, rys. 38. Co Autor rozumie pod pojęciem „stan wyjściowy” ? Ubytki czego brane są pod uwagę w „stanie pracy stabilnej z ubytkami” ?

Str. 87, czwarty punkt: „Przy analizie....” Co stoi na przeszkodzie wydłużenia czasu pracy zespołów zasilania awaryjnego z silnikami wysokoprężnymi ? Obecnie tego typu rozwiązania brane są pod uwagę jako możliwość wykorzystania biopaliw ciekłych w kogeneracji rozproszonej.

Str. 87. Autor przyjmuje założenie, że zespoły z silnikami gazowymi będą eksploatowane w sposób ciągły a zespoły z silnikami wysokoprężnymi jedynie w stanach awarii. Następnie wykonywana jest analiza, która wskazuje korzyści płynące z zastosowania zespołów gazowych. Jednakże porównywanie rozwiązań technologicznych przy różnych założeniach co do sposobu eksploatacji nie jest uzasadnione, szczególnie, że ograniczenie czasu pracy nie wynika z cech urządzenia a jedynie arbitralnie przyjętych założeń. Zatem poprawnym podejściem jest przeprowadzenie analizy przy założeniu takiego samego czasu pracy. Kolejna wątpliwość dotyczy ograniczenia liczby możliwych rozwiązań technologicznych jedynie do dwóch. Z jakiej przyczyni nie były brane pod uwagę inne możliwości, jak np. turbiny, mikroturbiny, ogniwa paliwowe, silniki dwupaliwowe i inne.

Autor zakłada pracę ciągłą zespołów poligeneracyjnych. Jednakże zespoły takie wymagają przestoju planowanych, jak również występuje prawdopodobieństwo wystąpienia nieplanowanych wyłączeń. Obecnie maksymalny wskaźnik dyspozycyjności wynosi 95% co oznacza około 8300 godzin pracy w roku. Co wydarzy się, gdy przerwa w zasilaniu zakładu wystąpi w czasie przestoju zespołu poligeneracyjnego ?

Str. 90. Autor pisze: „... eksploatowane układy kogeneracyjne umożliwiają zwrot zaangażowanego kapitału...” Stwierdzenie to jest nie zawsze słuszne. Wręcz przeciwnie, przy obecnej relacji ceny energii elektrycznej do ceny gazu większość projektów w zakresie kogeneracji nie jest opłacalna o czym świadczy mała liczba realizacji tego typu przedsięwzięć inwestycyjnych. Nie można z góry zakładać, że proponowane rozwiązanie jest opłacalne.

Strona 91. We wzorze (38) wprowadzono opis słowny zamiast zapisu symbolicznego. Poza tym Autor nie precyzuje, że zaproponowana wielkość to nic innego jak $(1-x)*100\%$, gdzie wskaźnik x został zdefiniowany w pracy wcześniej.

Str. 92, rys. 43. Zespół poligeneracyjny na schemacie wytwarza jedynie energię elektryczną. Nie pokazano sposobu integracji tego zespołu z siecią wielonośnikową zakładu, przez co utracono związek prowadzonych rozważań z wcześniejszą częścią pracy.

Tabela 16, str. 105. W tabeli pojawia się tzw. „warunek funkcji celu” przedstawiony jako „ $x_1 + x_2 + x_3 = \min$ ”. Jak ten warunek ma się do wcześniej zdefiniowanych kryteriów jakości (9) oraz (33) ?

Jaką liczbę przerw w zasilaniu w roku Autor bierze pod uwagę ? Nie podano tej informacji chociaż ma ona istotne znaczenie dla prezentowanych wyników, a przede wszystkim dla szacowania wartości unikniętych strat.

W pracy nie podjęto tematu przerw w dostawach gazu. Nie podjęto też tematyki przerw w zasilaniu ciepłem i sprężonym powietrzem spowodowanych awariami. Z jakiego powodu ?

W rozdziale 6.5 pracy zostało sformułowane zadanie optymalizacyjne jako: „optymalizacja poziomu wykorzystania mediów”. Autor nie formułuje wniosków w tym zakresie. Jako zmienne decyzyjne w ostatecznie rozwiązywanym problemie występują dane o mocy i technologii zespołów z silnikami tłokowymi. Inaczej mówiąc jest to zdania doboru urządzenia. Nie wiadomym natomiast pozostaje

optymalny poziom wykorzystania mediów. Czy Autor jest w stanie określić jaki on jest ? Sformułowane w pracy wnioski dotyczą jedynie efektów finansowych zabudowy zespołów z silnikami tłokowymi.

Jaki jest związek pomiędzy modelem macierzowym przedstawionym w rozdziałach 4 i 5 oraz w załączniku 3 z rozważaniami prowadzonymi w rozdziale 6 ? Czy jedyne zmienne decyzyjne w zadaniu: „optymalizacja wielonośnikowych sieci” to parametry techniczne zespołów poligeneracyjnych ? Przedstawiony w pracy model sieci wielonośnikowej wydaje się być jedynie kluczem podziału zużywanych nośników energii pomiędzy poszczególne jednostki funkcjonalne zakładu.

W pracy nie pokazano wartości współczynników macierzy przejścia M po zabudowie poszczególnych rozwiązań technologicznych. Autor nie podaje na jakiej zasadzie dokonywany jest podział zużycia gazu na produkcję ciepła i energii elektrycznej w zespole kogeneracyjnym. Literatura podaje w tym zakresie co najmniej kilka możliwych kluczy podziału. Nie jest wiadomym, który został zastosowany.

8. Uwagi redakcyjne

- a) Język pracy jest jej słabą stroną. Praca zawiera wiele skrótów myślowych oraz określeń kolokwialnych. W pracy brakuje definicji części z wprowadzanych pojęć, co czasami utrudnia jej czytanie.
- b) Podstawowe oznaczenia i skróty
 - brak jednostek miary, przez co zrozumienie niektórych symboli jest niemożliwe,
 - - cp – powinno być: „ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu”,
 - $S(a)$ do $S(d)$ – nie podano czego dotyczą definiowane straty,
 - DPP – wskaźnik ten tradycyjnie przedstawiany jest symbolami DPB, DPBP lub DPBT i dotyczy okresu zwrotu nakładów inwestycyjnych nie zaś kosztów jak podaje Autor.
- c) Rysunki przedstawione w pracy wydrukowanej w odcieniach szarości są nieczytelne. Ze sposobu opracowania legendy wynika, że w manuskrypcie rysunki zostały opracowane w kolorach. Tak też praca powinna być zostać wydrukowana i dostarczona do recenzentów.
- d) Rys. 1. Symbole R_1 , R_{\min} nie zostały wyjaśnione w tekście ani też w spisie oznaczeń.
- e) Str. 14, pierwszy wiersz. Jest: „związanych z wytwarzania”, powinno być: „związanych z wytwarzaniem”.
- f) Na rysunku 7 na stronie 30 znajdują się gałęzie P_1 do P_j , których opisu brak pod rysunkiem.
- g) Rysunek 11 na stronie 30 pojawia się przed rysunkami 9 (str. 31) oraz 10 (str. 32).
- h) Równie (1). Symbole j , n , m , α , β powinny stanowić indeksy dolne, zgodnie z oznaczeniami we wzorze (2).
- i) Strona 47. Jest „funkcje optymalizacji”, powinno być „funkcje celu” lub „parametry jakości”.
- j) Strona 50. Autor pisze: „Część zapotrzebowania energii cieplnej, przedsiębiorstwo wytwarza u siebie. Jest to przykład skrótu myślowego. Domyślam się, że powinno być: „Część zużywanego ciepła przedsiębiorstwo wytwarza we własnym zakresie”.
- k) Strona 53, tabela 4. Brak jednostki miary w odniesieniu do obciążenia. Mówiąc o równomierności obciążenia Autor powinien być przedstawić profil dobowy na wykresie mocy wymaganej w funkcji czasu. Ponadto nie jest jasne czy wartości przedstawione w tabeli 4 to średnie roczne, czy też wartości uzyskane w przykładowej dobie.
- l) Rysunek 22, strona 54. Przedstawiono niejednolite jednostki ciśnienia: bar, kPa.
- m) Prawdopodobnie zamieniono parametry sieci ciepłowniczych ciepła technologicznego i do celów grzewczych.

- n) Wzór (10). Symbole i oraz j powinny wystąpić jako indeksy dolne.
- o) Jako, że wektor obciążeń L przedstawia wielkości fizyczne wzory (11) do (14), które przedstawiają wartości liczbowe powinny przedstawiać również jednostkę miary.
- p) Tabela 9 strona 60. Jest „zapotrzebowywane”. Słowa takiego nie ma w słowniku języka polskiego.
- q) Str. 62. Jest „nie rozpoczęcia”; powinno być „nierozpoczęcia”. Jest „nie dokończenia”; powinno być „niedokończenia”.
- r) Str. 83. Sformułowanie: „znaczných ilości zapotrzebowania na czynniki energetyczne...” jest logicznie niepoprawne. Powinno być: „znacznego zapotrzebowania na czynniki energetyczne...”
- s) Str. 83. Ostatni wiersz. Jest „rysunek 36”, powinno być „rysunek 39”.

9. Ostateczna ocena pracy

Autor postawił sobie bardzo ambitny cel rozwiązania zadania optymalizacji struktury systemu energetycznego zakładu przemysłowego w celu zapewnienia bezpieczeństwa zasilania maszyn i urządzeń produkcyjnych w nośniki energii a tym samym minimalizacji ryzyka wystąpienia strat finansowych przy jednocześnie akceptowalnym poziomie poniesionych nakładów inwestycyjnych. Zadania to jest trudne do rozwiązania przy uwzględnieniu wszystkich rzeczywistych zjawisk zachodzących w systemie energetycznym zakładu przemysłowego oraz stochastycznego ich charakteru. Do rozwiązania problemu Autor odważnie zaproponował uproszczony model deterministyczny.

Przeprowadzona analiza jest interesująca oraz ważna z punktu widzenia poznawczego oraz praktyki przemysłowej. Autor wykazał się dużą znajomością procesów produkcyjnych oraz uwarunkowań technologicznych i ekonomicznych ich realizacji. Do zalet pracy, jak również osiągnięć Autora, zaliczyć należy opracowanie algorytmów klasyfikacji maszyn i urządzeń w aspekcie odporności na przerwy w zasilaniu oraz algorytmów postępowania w przypadku utraty zasilania. Istotnym elementem pracy jest zwrócenie uwagi na wartościowanie strat ekonomicznych wynikających z przerw w zasilaniu w energię elektryczną a także podjęcie próby dokonania szacowania strat finansowych w wybranym zakładzie przemysłowym. Wartościowym elementem pracy jest również opracowanie algorytmów realizacji dostaw i rozdziału rezerwowych czynników energetycznych na potrzeby urządzeń wrażliwych na przerwy w zasilaniu.

W przedstawionej postaci praca posiada pewne niedociągnięcia wskazane w uwagach krytycznych. Do słabych stron pracy można zaliczyć również stosunkowo słaby warsztat Autora w zakresie zapisu symbolicznego modeli matematycznych. Zamiast wzorów Autor stosował jednak rozbudowane opisy słowne, w których wykazywał zrozumienie analizowanych procesów.

Po zapoznaniu się z treścią pracy stwierdzam, że Autor przedstawił w niej spójny wywód potwierdzający postawioną tezę, a cel pracy został osiągnięty. W szczególności opracowany został model sieci wielonośnikowej w obrębie przykładowego zakładu przemysłowego, przyjęto odpowiednie założenia oraz sformułowano i rozwiązano zadanie optymalizacji, w wyniku którego znaleziono rozwiązanie technologiczne umożliwiające wykorzystanie nośników energetycznych w sposób zapewniający optymalny poziom bezpieczeństwa.

Po uwzględnieniu wkładu pracy Autora, oryginalności założeń oraz sposobu rozwiązania postawionego problemu a także silnych i słabych stron przedstawionego opracowania oceniam pracę pozytywnie. Stwierdzam również, że pracę można zakwalifikować dzieło jako osiągnięcie naukowe a co się z tym wiąże praca spełnia wymogi art. 13 pkt. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, a w szczególności stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata dyscyplinie naukowej elektrotechnika. W moim przekonaniu praca może zostać przyjęta jako ukończona rozprawa doktorska. Przedstawione uwagi krytyczne nie podważają ogólnej wartości rozprawy, a ich celem jest przeprowadzenie dyskusji z Autorem. Umiejętność prowadzenia dyskusji naukowej oraz zajmowania stanowiska wobec uwag krytycznych jest ważna w kontekście prowadzenia samodzielnej pracy naukowej. Wyrażam nadzieję, że wykaże takową umiejętność i pomyślnie przejdzie publiczną obronę rozprawy.

10. Wniosek końcowy

Stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej autorstwa mgr. inż. Krzysztofa Siekierskiego zatytułowanej: „Optymalizacja wielonośnikowych sieci zakładowych w celu zwiększenia bezpieczeństwa w zakresie zarządzania energią elektryczną w wybranym zakładzie przemysłowym” przez prowadzącą sprawę Komisję Rozpraw Doktorskich oraz dopuszczenie mgr. inż. Krzysztofa Siekierskiego do publicznej obrony.

Gdańsk 17.05.2017r.

Jan Kukuła