

Dr hab. inż. Michał Zeńczak, prof. ZUT
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Elektryczny
Katedra Wysokich Napięć i Elektroenergetyki

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Mgr. inż. Jacka Gumieli pod tytułem:

"Obliczeniowa identyfikacja pól elektromagnetycznych w otoczeniu obiektów elektroenergetycznych dla celów oceny narażenia ludności"

Opracowanie recenzji następuje na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika z dnia 16 lipca 2021 r (118/RDN_AEE/2021) z Politechniki Wrocławskiej.

1. Dane ogólne

Rozprawa obejmuje 207 stron wraz załącznikami i spisem literatury. Strukturę pracy tworzą strona tytułowa, spis treści, 8 rozdziałów, w tym wstęp i wnioski końcowe, bibliografia i załączniki. Bibliografia zawiera 89 pozycji.

2. Charakterystyka tematu, tezy i celu pracy

Pola elektromagnetyczne są obecne w środowisku naturalnym najprawdopodobniej od początku istnienia Świata, a ściślej mówiąc od początku istnienia przyczyn naturalnych je wywołujących. Wraz z rozwojem techniki pojawiły się pola elektromagnetyczne o częstotliwościach nie zawsze istniejących w naturze. Od wielu lat istnieje problem oddziaływania tych pól i ich ewentualnej szkodliwości dla żywych organizmów. Dlatego bardzo istotna jest sprawa oceny narażenia ludności przebywającej w zasięgu oddziaływania tych pól. Wśród całego widma częstotliwości pól elektromagnetycznych na szczególną uwagę zasługują pola elektromagnetyczne o częstotliwości 50 Hz lub 60 Hz. Towarzyszą one przesyłowi energii elektrycznej od wytwórcy do końcowego odbiorcy. U końcowego odbiorcy energia elektryczna często zmienia swoje parametry (napięcie, prąd, częstotliwość) i zamieniana jest na inny rodzaj energii. Jednak najsilniejsze pola elektryczne i magnetyczne 50 Hz występują przy urządzeniach wysokonapięciowych i wysokoprądowych. Przy częstotliwości 50 Hz obie składowe można analizować osobno i tak przy urządzeniach wysokonapięciowych powstają silne pola elektryczne, a przy urządzeniach wysokoprądowych

silne pola magnetyczne. Mimo, że w tytule pracy jest mowa o polach elektromagnetycznych, to obliczeniowa analiza dotyczy tylko pola elektrycznego.

Z narażeniem ludności są związane bezpośrednio problemy wykorzystywania gruntów w pobliżu linii elektroenergetycznych. Obecnie w związku z dynamicznym rozwojem budownictwa mieszkaniowego i przemysłowego coraz częściej inwestorzy zagospodarowują działki leżące nie tylko w pobliżu linii, ale także działki, przez które przechodzą linie i na których posadowione są słupy. Jest więc oczywiste, że w takim przypadku obliczeniowa identyfikacja pól w otoczeniu takich linii jest szczególnie przydatna. Mimo, że podstawą do określenia terenu nadającego się pod zabudowę są pomiary, to obliczeniowa identyfikacja jest bardziej uniwersalna, ponieważ można uwzględnić różne okoliczności, warunki i warianty. Natomiast pomiary są przeprowadzane w konkretnej, danej sytuacji i przez to nie uwzględniają najgorszych możliwych warunków.

Wraz z rozwojem nauki i techniki pojawiają się nowe możliwości pomiarowe i obliczeniowe. Mierniki do pomiaru pól elektrycznych i magnetycznych 50 Hz znane są od wielu lat, ale nowoczesne mierniki stwarzają znacznie większe możliwości pomiarowe.

Podobnie jest z metodami obliczeniowymi. Metody obliczania pól wokół linii elektroenergetycznych były znane od dawna, ale rozwój metod obliczeniowych i najnowszych komputerów stwarzają nowe możliwości.

Dlatego można stwierdzić, że tematyka pracy jest aktualna, ciekawa i bardzo ważna dla nauki. Natomiast wyniki analiz, a konkretnie ich praktyczne zastosowanie może mieć istotny wpływ na ochronę ludności przed polem elektrycznym, na bezpieczne użytkowanie obiektów elektroenergetycznych i optymalne wykorzystanie terenów wokół tych obiektów. Ma to ogromne znaczenie dla rozwoju całego kraju.

Autor za zasadniczy cel swojej pracy podaje opracowanie modelu matematyczno-fizycznego przydatnego do obliczeniowej identyfikacji rozkładu natężenia składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego oraz bazującej na tym modelu aplikacji komputerowej umożliwiającej dokonanie oszacowań wpływu urządzeń i linii elektroenergetycznych na środowisko.

Autor na podstawie przeprowadzonej analizy literatury oraz po uwzględnieniu wyników wstępnych analiz i po dokonaniu identyfikacji potencjalnych możliwości obliczeniowych postawił w swojej rozprawie tezę:

„Istnieje możliwość i konieczność opracowania uniwersalnego modelu matematyczno-fizycznego oraz stworzenie na jego podstawie środowiska symulacyjnego do analizy rozkładu odkształconych pól elektromagnetycznych generowanych przez złożone układy przesyłowo-rozdzielcze z uwzględnieniem wpływu elementów obcych otoczenia. Zastosowanie nowych algorytmów zaadoptowanych do specyfiki numerycznych obliczeń polowych może zapewnić poprawę dokładności i efektywności symulacji w porównaniu do obecnie istniejących rozwiązań.”

Ogólnie można stwierdzić, że jest to precyzyjne przedstawienie celu pracy i problemów do rozwiązania. Informują one dokładnie o zamierzeniach Autora i o sposobie osiągnięcia celu rozprawy.

3. Wartość merytoryczna rozprawy

Ogólnie zauważyć można bardzo systematyczne podejście do tematyki rozprawy. Pracę czyta się bardzo dobrze. Autor stopniowo wprowadza czytelnika w tematykę pracy rozpoczynając od podstawowych informacji, poprzez podstawy teorii pól elektromagnetycznych, metody obliczeniowe, a skończywszy na analizie otrzymanych wyników.

We wstępie Autor przedstawił podstawowe problemy związane z wyznaczaniem pól elektromagnetycznych w pobliżu obiektów elektroenergetycznych. Zwrócił uwagę na istotne zjawiska towarzyszące przesyłowi energii elektrycznej oraz skutków ekspozycji organizmów żywych na pola elektromagnetyczne. Wskazał też na konieczność ograniczania natężeń pól elektrycznych i magnetycznych w środowisku. Następnie przedstawił cel pracy, tezę oraz zakres pracy.

Rozdział drugi zawiera charakterystykę pól elektromagnetycznych w środowisku. Autor zaczął ten rozdział od podania podstawowych informacji z zakresu elektromagnetyzmu, które są podstawą do dalszych analiz. W dalszej części opisał strukturę krajowego systemu elektroenergetycznego, podając podstawowe informacje o liniach elektroenergetycznych i elektrowniach. Stosunkowo dużo miejsca Autor poświęcił oddziaływaniu pól elektromagnetycznych na organizmy żywe, przytaczając wiele wyników badań epidemiologicznych i innych analiz. Wprawdzie nie ma to ścisłego związku z samym celem pracy, ale te informacje podkreślają wagę zagadnienia, a konfrontacja wyników obliczeń z obowiązującymi wartościami dopuszczalnymi przez przepisy środowiskowe obowiązujące w Polsce jest istotą oceny narażenia ludności.

Rozdział trzeci dotyczy identyfikacji pomiarowej. Na rynku jest wiele mierników do pomiaru pól elektromagnetycznych. Autor opisał dokładnie jeden z nich, którym posługiwał się w czasie pomiarów. W rozdziale tym opisano też źródła błędów pomiarowej identyfikacji pola elektromagnetycznego. Autor zwraca szczególną uwagę na praktyczne problemy związane z pomiarami oraz wyznaczaniem natężeń pól w najbardziej niekorzystnych warunkach.

Rozdział czwarty stanowi bardzo istotną część rozprawy, ponieważ opisane są tu podstawy teoretyczne zastosowanej metody obliczeniowej. Autor wymienił metody analityczne oraz numeryczne. Następnie przedstawił wiele zależności dla pól elektromagnetycznych, które mają istotne znaczenie w metodach obliczeniowych. Najistotniejsza część tego rozdziału stanowi opis zaimplementowanej metody obliczeniowej,

czyli zmodyfikowanej metody różnicowej stanowiącą połączenie klasycznej metody różnicowej oraz metody elementów skończonych. Metoda ta sprawdza się szczególnie w otoczeniu obiektów elektroenergetycznych.

Rozdział piąty zawiera szczegółowy opis obsługi aplikacji komputerowej EMF Calculations utworzonej przez Autora. Krok po kroku opisane są opcje z paska Menu. Niektóre rozwiązania są bardzo pomysłowe na przykład wgranie sylwetek słupów, ponieważ wprowadzanie parametrów geometrycznych położenia przewodów zwłaszcza dla linii dwutorowych jest czasochłonne. Z tego opisu można wyciągnąć wniosek, że utworzona przez Autora aplikacja jest przyjazna dla użytkownika.

W drugiej części rozdziału piątego przedstawione są wyniki obliczeń dla istniejących rzeczywistych linii elektroenergetycznych o różnych konfiguracjach i napięciach. W każdym przypadku wyniki obliczeniowe konfrontowane są z pomiarami.

W rozdziale tym zawarto też porównanie wyników symulacji natężenia pola elektrycznego przy zastosowaniu dostępnych aplikacji komputerowych. Zauważyć można dość duże różnice, dochodzące nawet do kilkudziesięciu procent dla natężenia pola elektrycznego i kilkunastu procent dla szerokości pasa, gdzie $E > 1 \text{ kV/m}$ w odniesieniu do wyników uzyskanych przy pomocy aplikacji EMF Calculations.

W rozdziale tym przeanalizowano też zapotrzebowanie na zasoby obliczeniowe dla aplikacji EMF Calculations.

Rozdział szósty zawiera analizę technicznych możliwości ograniczania natężeń pól elektrycznych wokół linii elektroenergetycznych. Autor przedstawił różne metody i przykłady obliczeniowe potwierdzające skuteczność danych metod.

W rozdziale siódmym zamieszczono podsumowanie pracy, w którym Autor przedstawia wymierne efekty swojej pracy i nawiązuje do przyczyn podjęcia takiej tematyki.

Rozdział ósmy zawiera wnioski końcowe, w których Autor stwierdza, że prawdziwość postawionej tezy została w pełni dowiedziona. Wyniki analiz przeprowadzonych dla prezentowanych przypadków zostały zweryfikowane pomiarowo. Autor stwierdza, że największe różnice pojawiały się dla wartości minimalnych natężeń pól, które są mniej istotne z punktu widzenia ochrony środowiska niż wartości maksymalne, gdzie wartości błędów były znacznie mniejsze. Autor zwraca też uwagę, na uniwersalność aplikacji, która umożliwia przeprowadzanie analiz dla różnego ukształtowania terenu, a także dla prac pod napięciem. Nie bez znaczenia jest też stworzenie możliwości racjonalnego gospodarowania gruntami, gdzie metody obliczeniowe umożliwiają dobór metod ochrony przed polem elektrycznym unikając kosztownych i kłopotliwych eksperymentów. Zdaniem Autora korzystne jest sadzenia drzew i krzewów w celu redukcji wartości natężenia pola elektrycznego. Za pomocą aplikacji EMF Calculations można też optymalnie dobrać specjalne konstrukcje mające na celu odgraniczenie natężenia pola elektrycznego. W ostatnim wniosku Autor stwierdza, że

efekt ograniczenia pola elektromagnetycznego uzyskuje się, gdy chroniony obiekt znajduje się w „elektromagnetycznym cieniu” ekranu osłaniającego.

Za bibliografią na końcu pracy zamieszczono dziesięć załączników przedstawiających komplet wyników analiz obliczeniowych i pomiarów.

Podsumowując można stwierdzić, że praca zawiera analizę naukową ważnego problemu, jakim jest rozkład pola elektrycznego wokół linii elektroenergetycznej w obszarze, w którym znajdować się mogą różne przedmioty mające wpływ na kształt pola elektrycznego i na wartość natężenia pola. Utworzył model obliczeniowy tego zagadnienia. Następnie Autor wykazał się umiejętnością utworzenia aplikacji komputerowej umożliwiającej wyznaczenie rozkładów pola elektrycznego w różnych skomplikowanych konfiguracjach. Wyniki swoich obliczeń zweryfikował z wynikami pomiarów. Zbieżność tych wyników świadczy o prawidłowym skonstruowaniu modelu obliczeniowego i prawidłowym funkcjonowaniu aplikacji obliczeniowej. Na podstawie uzyskanych rezultatów Autor udowodnił fakt, że efekt ograniczenia pola elektrycznego jest ściśle uzależniony od kształtu, wielkości oraz odległości bariery od źródeł pola elektrycznego.

Opracował wytyczne do projektowania konstrukcji służących do ekranowania, zalecenia dotyczące wykorzystywania roślinności, jako naturalnych ekranów oraz wytyczne dla racjonalnej gospodarki gruntami zlokalizowanymi w mocno zurbanizowanej przestrzeni w sąsiedztwie linii elektroenergetycznych.

Rozprawa napisana jest bardzo starannie. Nawet trudno dopatrzeć się drobnych literówek. Autor posługuje się poprawnym językiem. Ogólnie można stwierdzić, że rozprawa zawiera bardzo bogatą analizę i rozwiązanie bardzo ciekawego i ważnego problemu naukowego, a także bardzo istotnego problemu gospodarczego i społecznego.

4. Uwagi ogólne i szczegółowe

4.1. W czasie czytania pracy nasunęły mi się pewne spostrzeżenia natury ogólnej:

a. Pierwsza uwaga dotyczy tytułu pracy. Cała rozprawa dotyczy właściwie tylko pola elektrycznego. Oczywiście są podane równania Maxwell'a, są podane różne zależności wiążące składową elektryczną i magnetyczną, ale cały dorobek naukowy opisany w Rozprawie dotyczy tylko składowej elektrycznej. Można wtedy pojęcie pola elektromagnetycznego zastąpić pojęciem pola elektrycznego.

b. W podręcznikach, artykułach jest często zalecane, aby w tekście najpierw była wzmianka o rysunku, czy o tabeli, a potem dopiero pojawia się obiekt. Autor tego dobrego zwyczaju często nie przestrzega. Np. rys. 2.2, rys. 2.8, rys. 4.1.

c. Autor do obliczeń przyjął skok odległości 1 m. Z praktycznego punktu widzenia jest to dość duży skok. Jeśli obliczenia i pomiary są robione zwłaszcza w celu wyznaczenia obszaru,

gdzie $E < 1 \text{ kV/m}$, to lepiej przyjąć 0,5 m, a nawet 0,25 m. Zwłaszcza przy niskim zawieszeniu przewodu nad ziemią, w odległościach krytycznych (czyli na granicy $E = 1 \text{ kV/m}$) skok odległości nawet 0,5 m ma istotny wpływ na wartość natężenia pola elektrycznego.

d. W niektórych wzorach (na przykład wzór 4.59: $-\nabla^2 V = \frac{\rho_v}{\epsilon}$) i w wyjaśnieniach ($g = \rho v / \epsilon$) brak wyraźnego rozróżnienia pomiędzy indeksem, a znakiem mnożenia, co może prowadzić do nieporozumień. Tak jest w równaniach (4.1), (4.25C).

e. Bardzo istotnym problemem jest sposób wprowadzania danych oraz sposób wykorzystywania tych danych przez aplikację i komputer. W oknie katalogu słupów elektroenergetycznych „Poles catalog” są wprowadzone sylwetki słupów. W oknie „Wires catalog” można wybrać odpowiedni przewód fazowy lub odgromowy. Następnie są okna „Overhang of phase wires [m]” i „overhang of lighting wires [m]”. Nasuwa się pytanie, jak aplikacja oblicza natężenie pola elektrycznego: czy traktuje przewód jak walec równoległy do ziemi o nieskończonej długości umieszczony nad ziemią na wysokości wynikającej ze zwisu, czy jako krzywą łańcuchową (a właściwie to zbiór wielu różnych krzywych łańcuchowych z danego przęsła i sąsiednich przęseł)?

f. Jeśli chodzi o zwis, to powstaje pytanie, czy aplikacja go oblicza dla danych katalogowych i aktualnych warunków pracy przewodu (wiatr, temperatura powietrza, nasłonecznienie, prąd w linii), czy zostaje przyjęty na podstawie minimalnej wysokości wynikającej z normy lub z projektu linii?

g. Wszystkie prezentowane przypadki dotyczą równoległego usytuowania linii. Niestety w praktyce linie często nie przebiegają równoległe i na dodatek się krzyżują. Czy aplikacja EMF Calculations sobie z takimi przypadkami poradzi?

h. We wszystkich przykładach są słupy typu P. Czy aplikacja poradzi sobie z obszarem leżącym w pobliżu słupa typu np. ON120, gdzie jest wyraźny wpływ przewodów z obu przęseł i do tego nierównoległych?

i. Często spotyka się przęsła, gdzie na jednym końcu jest słup typu P, a na drugim słup typu ON. Są nawet przęsła, gdzie na jednym końcu jest na przykład słup serii D_{e2} (podwójny trójkąt), a na drugim końcu OS24 („beczka”). Czy aplikacja poradzi sobie z takim przypadkiem, zwłaszcza w środku przęsła?

j. Z praktycznego punktu widzenia pomiary i obliczenia natężeń pól elektrycznych powinny być przeprowadzane w terenie bez roślinności i wszelkich obiektów przewodzących, zwłaszcza, jak są przeprowadzane w celu wyznaczenia obszaru pod zabudowę mieszkaniową. Obliczenia Autora, które uwzględniają budynki i drzewa mają bardzo dużą wartość poznawczą. Budynki mogą być zbudowane z różnych materiałów o różnych parametrach elektrycznych. Podobnie drzewa, szczególnie w zależności od ich „stanu zdrowia” mogą być dobrymi przewodnikami (zwłaszcza rośliny liściaste), a mogą być nawet dobrymi izolatorami

(uschnięte drzewa). Czy parametry elektryczne tych obiektów są w aplikacji rozróżnione, czy są one traktowane jak doskonałe przewodniki?

k. Pomiary w terenie są przeprowadzane dla takich warunków, które aktualnie panują (napięcie w linii, symetria napięć, aktualna odległość przewodu od ziemi, rzeczywista odległość między przewodami, rzeczywiste ukształtowanie terenu, roślinność). Na przykład odchylenie napięcia o kilka procent spowoduje zmianę wartości natężenia pola elektrycznego o kilka procent. Takie dokładne skonfrontowanie danych do obliczeń, które można kształtować dowolnie z danymi rzeczywistymi w terenie, do których często nie mamy dostępu (np. wartość napięcia, prądu) jest dość trudne. Czy obliczenia przeprowadzane były dla takich samych warunków pracy linii, dla jakich przeprowadzane były pomiary i jak to sprawdzono?

l. Bardzo duży wpływ na wyniki pomiarów ma stan powierzchni gruntu. Wprawdzie aplikacja może uwzględniać nachylenie terenu i obecność drzew, ale nawet kilkunastocentymetrowe, kilkudziesięciocentymetrowe kępki roślinności lub „pagórki” mają wpływ na wyniki pomiarów składowej elektrycznej. Czy powierzchnia gruntu była odpowiednio przygotowana do pomiarów?

Powyższe uwagi ogólne mają wyłącznie charakter dyskusyjny i nie obniżają wartości pracy. Nie podważają też zawartości merytorycznej rozprawy.

4.2. Uwagi szczegółowe

W pracy są pewne fragmenty i sformułowania, które mogą budzić wątpliwości. Oto one w kolejności ukazania się:

a. Str. 18. 9 linia od dołu jest napisane: „Turbogeneratory wytwarzają prąd elektryczny zwykle o napięciu 5 – 12 kV”. W dużych elektrowniach generatory pracują przy większym napięciu: powyżej 15 kV, a nawet 25 kV.

b. Str. 38. 16 linia od dołu jest napisane, że warunek quasistacjonarności jest spełniony do częstotliwości $f = 100$ kHz. Lepszym kryterium jest chyba rozmiar rozpatrywanego obszaru w stosunku do długości fali. W strefie bliskiej można obie składowe pola analizować osobno, a w strefie dalekiej już nie.

c. Str. 42. We wzorze (3.1.) nie jest wyjaśnione oznaczenie „p”.

d. Str. 43. 6 linia od góry jest napisane: „...przy obliczeniach rozkładu pola elektrycznego rozpatruje się najczęściej tzw. największy zwis normalny t.j. występujący w temperaturze $+60^{\circ}\text{C}$ ”. Obecnie jest tendencja do zwiększania temperatury przewodów do 80°C .

e. Str. 46. 3 kolumna, nagłówek: nie jest wyjaśnione oznaczenie „ h_f ”.

f. Str. 57. 8 linia od dołu: Autor odnosi się do równania (4.30d), którego nie ma.

g. Str. 81. Rys. 4.9. Zamiast Py_1 na dodatniej osi OY powinno być Py_2 .

h. Str. 116. Przypadek 5.23. Czy została uwzględniona linia 20 kV?

i. Str. 125. 6 linia do góry. Błąd pomiaru tłumaczony jest obecnością osoby obsługującej aparaturę pomiarową. Dlaczego tutaj jest akurat wpływ osoby obsługującej aparaturę pomiarową, a gdzie indziej nie ma tego wpływu. Każdy pomiar powinien to uwzględniać.

j. Str. 130. Ze zdjęcia 5.38 widać, że linia po prawej stronie jest typu PAS z przewodami w osłonie izolacyjnej o znacznie mniejszej szerokości niż linie na słupach ŻN-12. Czy to zostało uwzględnione?

k. Str. 142 i w punkcie 6.1.2. Autor operuje pojęciami „optymalne” i „nieoptymalne” rozmieszczenie przewodów fazowych. Tu można mieć wątpliwości, co optymalizujemy. W liniach dwutorowych zmniejszając wartość natężenia pola elektrycznego bezpośrednio w osi linii powodujemy, że większe wartości występują w pewnej odległości od osi linii i może poszerzać się strefa $E > 1 \text{ kV/m}$. Można było dla rysunków 6.2 i 6.3 zrobić obliczenia i wykresy. Nie byłoby wątpliwości, na czym polega ta optymalizacja. Na rys. 6.2 oznaczono jako optymalny układ, który ma mniejszą wartość natężenia pola elektrycznego w osi linii (sąsiedztwo różnych faz (L1, L3) na dole słupa), a na rys. 6.3 oznaczono jako optymalny układ, który ma większą wartość natężenia pola w osi linii (sąsiedztwo faz jednakowych (L2, L2) na dole w pobliżu osi linii). Najprawdopodobniej na rysunku 6.3 jest pomyłka?

l. Str. 146. 8 linia od dołu jest napisane: „Można zauważyć, że maksymalna wartość natężenia pola elektrycznego dla obu wariantów przekracza 5 kV/m i oba maksyma zlokalizowane pod skrajnymi przewodami są na wysokości 2 m nad ziemią”. Jest to pewne przybliżenie. Maksyma natężenia pola elektrycznego przy układzie płaskim przewodów zlokalizowane nie są bezpośrednio pod przewodami, ale minimalnie „wychodzą na zewnątrz” od osi linii. Dla dużej odległości między fazami („Efekt samotnej fazy”) tak by było, ale dla typowej konfiguracji na słupie Y52 tak nie będzie. Im wyżej są przewody nad ziemią w układzie płaskim, tym większe „odchylenie wartości maksymalnej na zewnątrz”. Tak samo jest dla linii 220 kV na słupach typu H52.

Większość uwag to drobne nieścisłości niewpływające istotnie na jakość pracy.

5. Podsumowanie

Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością tematyki dotyczącej obliczeń pól elektrycznych wokół urządzeń elektroenergetycznych, umiejętnością tworzenia aplikacji komputerowych i umiejętnością przeprowadzania badań terenowych. Przeanalizował wnikliwie literaturę. Bardzo biegle posługuje się aparatem matematycznym i nowoczesnymi technikami informacyjnymi. Wykazał się umiejętnością systematycznego analizowania i przedstawiania dużej ilości otrzymanych wyników. Autor rozwiązał samodzielnie oryginalny problem naukowy zarówno z dyscypliny elektrotechnika, dziedziny nauk techniczny, jak i z dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych o dużym znaczeniu praktycznym i potrafił to przekonująco pokazać i uzasadnić.

Uważam, że rozprawa mgr. inż. Jacka Gumielemi spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Michał Zeńczak