

prof. dr hab. inż. **Waldemar Nawrocki**
profesor zwyczajny Politechniki Poznańskiej
Wydział Elektroniki i Telekomunikacji PP
tel. 616 653 888, e-mail: nawrocki@et.put.poznan.pl

Poznań, 12 października 2016 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej **Pani mgr inż. Heli Garbaa „Gravitational solids flow parameters estimation by the use of electrical capacitance tomography and artificial neural networks”** na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej

Informacje ogólne, wybór tematu badań i teza rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska **Gravitational solids flow parameters estimation by the use of electrical capacitance tomography and artificial neural networks** (pol. Estymacja parametrów przepływu grawitacyjnego materiałów sypkich z zastosowaniem elektrycznej tomografii pojemnościowej i sztucznych sieci neuronowych) liczy 80 stron zasadniczego tekstu oraz obszerny wykaz literatury i oddzielny wykaz rysunków i tabel. Doktorantka zamieściła w rozprawie wykaz 92 pozycji cytowanej literatury, z którego 41 prac zostało opublikowanych w latach 2010 – 2016, zatem cytowane źródła to najnowsze publikacje w obszarze tematycznym rozprawy. Rozprawa jest napisana w języku angielskim.

Praca doktorska podejmuje temat parametrów obrazowania obiektów (te obiekty to strumienie materiałów sypkich, jak np. zboże lub materiały mineralne) mierzonych za pomocą elektrycznego tomografu pojemnościowego (w pracy oznaczono termograf akronimem ECT). Tomograf pojemnościowy służy do tworzenia obrazu wybranego fragmentu obiektu na podstawie zmian przenikalności dielektrycznej wynikających z niehomogenicznej struktury obiektu w całej jego objętości. Niejednorodność struktury wynika z rozkładu przestrzennego gęstości transportowanego materiału zależnej od jego koncentracji (materiał bardziej lub mniej ściśnięty). Niejednorodność struktury badanego materiału niekiedy bywa też powodowana przez zamierzone domieszkowanie materiału podstawowego, na przykład granulatem, lub jest skutkiem zanieczyszczeń, które w procesie produkcyjnym należy wykryć i usunąć.

Przy stosowaniu termografów w przemyśle lub medycynie, także elektrycznych termografów pojemnościowych, bardzo ważne są dwa parametry: rozdzielczość liniowa i szybkość obrazowania. Rozdzielczość liniowa to zdolność termografu do wykrywania obiektów o określonych rozmiarach liniowych, np. 0,1 mm lub 10 mm. Szybkość obrazowania to zdolność systemu termografu do odświeżania obrazu z określonym okresem; na przykład 100 ms. Szybkość przetwarzania bywa też podawana jako liczba ramek obrazowych w jednostce czasu, np. 10 ramek obrazowych na sekundę (fps). O ile generowanie sygnałów pomiarowych z czujników pojemnościowych w termografie pojemnościowym jest zadaniem z obszaru metrologii lub teorii obwodów, o tyle dalsze przetwarzanie tych sygnału, zakończone powstaniem obrazu i zapisaniem danych, jest zadaniem informatycznym. Jednym z głównych zadań Doktorantki było zbadanie możliwości zwiększenia szybkości estymowania (szacowania) parametrów procesu opróżniania silosów przez zastosowanie sztucznych sieci neuronowych (ANN) do przetwarzania sygnałów w systemie tomografu.

Badania naukowe prezentowane w rozprawie są badaniami stosowanymi, jak większość prac prowadzonych w Instytucie Informatyki Stosowanej PŁ. Obrazowane obiekty to strumienie materiałów sypkich obserwowane podczas napełnianiu lub opróżnianiu silosów z wylotem lejowym. Obrazowanie strumienia materiałów sypkich lub szacowanie ich parametrów (zgrubny pomiar) umożliwia utrzymywanie procesu opróżniania w granicach dopuszczalnych przez technologię.

Postawiono następującą tezę rozprawy: **Estimation of funnel parameters of gravitational solids flow using ANN is faster than state-of-the-art methods for ECT-based process monitoring at a similar accuracy level** (pol. Szacowanie parametrów przepływu grawitacyjnego cząstek stałych za pomocą ECT i przy użyciu sztucznych sieci neuronowych jest szybsze niż w termografii ECT przy wykorzystywaniu metod monitorowania stosowanych dotychczas, przy zachowaniu podobnego poziomu dokładności).

Rozważane problemy mają spore znaczenie praktyczne i dlatego recenzent z uznaniem odnosi się do tematu rozprawy i podjętych w niej do problemów. Wybór tematu badań uważam za uzasadniony ze względów poznawczych i użytkowych.

Zawartość rozprawy i ocena wyników naukowych

Recenzowana rozprawa jest podzielona na 6 rozdziałów. Wartościowy jest rozdział 2, w którym Doktorantka nie tylko opisała system elektrycznego termografy pojemnościowego oraz sztuczne sieci neuronowe, ale też dokonała rzetelnego przeglądu obecnego stanu wiedzy na ich temat, zgodnie z tytułem rozdziału „State of the Art”. W ramach tego przeglądu, w rozdziale 2 omawia krótko metody i algorytmy rekonstrukcji obrazu w systemie tomografii ECT: liniową projekcję zwrotną LBP (ang. linear back projection), algorytm Landwebera oraz metodę iteracyjną Levenberga & Marquarda LM. Z lektury rozdziału 2 można się też dowiedzieć jakiego wkładu w badaniach nad termografem ECT oraz nad wykorzystaniem sieci neuronowych ANN dokonał zespół badawczy pod kierunkiem Pani prof. Jackowskiej-Strumiłło, w którym Doktorantka prowadziła badania i przygotowała rozprawę.

Rozdziały od 3 do 5 zawierają wyniki badań Doktorantki. Obszerny rozdział 3 jest poświęcony estymacji trzech parametrów procesu przepływu materiałów sypkich w czasie opróżniania silosa oraz analizie czasu potrzebnego na te estymacje. Estymowane parametry to średnica strumienia materiału (mniejsza od średnicy leja), przenikalność dielektryczna materiału oraz rozmiary pozostałej części przekroju poprzecznego masy materiału wypływającego z leja silosa. Najważniejszym wynikiem naukowym przedstawionym w tym rozdziale i najważniejszym wynikiem całej pracy doktorskiej jest nowa metoda estymacji parametrów procesu przepływu materiałów sypkich, który jest monitorowany za pomocą termografu pojemnościowego. W tej nowej metodzie, oznaczonej akronimem MLP (ang. multi-layer perceptron), do przetwarzania danych pomiarowych z termografu ECT wykorzystano sztuczne sieci neuronowe. Syntetyczne wyniki wielu symulacji procesu estymowania uzyskane za pomocą trzech znanych metod przetwarzania sygnałów: LBP, LM, Landwebera oraz metodą MLP zamieszczono w ostatniej części rozdziału 3. Stosując własną metodę MLP Doktorantka przeprowadziła symulację estymowania parametrów przepływu znacznie szybciej, w czasie 9 ms, niż za pomocą metody projekcji wstecznej LBP – 120 ms lub metody Landwebera – 26 s, lub metody Levenberga & Marquara – 39 s. W tabeli 3.13. zamieszczono wyniki estymacji trzech parametrów przepływu materiału sypkiego oraz

estymacji współczynnika przenikalności względnej materiału. Estymacja tego ostatniego parametru była możliwa, zdaniem Doktorantki, jedynie za pomocą metody MLP, proponowanej przez nią. Z porównania wyników estymacji można wnioskować o dużych zaletach metody przetwarzania sygnałów zaproponowanej przez Doktorantkę.

W rozdziale 4 przedstawiono wyniki pomiarów procesu przepływu materiałów sypkich za pomocą termografu pojemnościowego zainstalowanego w laboratorium tomografii Instytutu Informatyki Stosowanej PŁ. Wyniki te pozytywnie weryfikują analizy i symulacje zaprezentowane w rozdz. 3. Należy zauważyć, że uzyskana niepewność pomiaru, np. przenikalności względnej $\varepsilon_r = 1,8$ zamiast rzeczywistej $\varepsilon_r = 2$, jest bardzo dobrym rezultatem w pomiarach przemysłowych.

W rozdziale 5 podjęto problem przewidywania (predykcji) parametrów przepływu materiału w silosie na podstawie danych dostarczanych przez tomograf ECT. Przetwarzanie danych odbywa się za pomocą systemu sztucznych sieci neuronowych ANN, których struktura i parametry były przedmiotem badań Doktorantki. W ich wyniku wybrano najlepsze parametry sieci neuronowej ANN: [28-10-2] przy sprawdzaniu błędu testowania oraz [12-2-2] przy doborze struktury sieci dla różnych wartości opóźnienia. Warto jednak zauważyć, że rozbieżności między wartościami założonymi (training error) a uzyskanymi w testach (testing error) są na poziomie 10^{-4} , zatem znacznie poniżej niepewności danych pomiarowych dostarczanych przez termograf i zdaniem recenzenta nie mają praktycznego znaczenia.

Sumując ocenę wyników naukowych przedstawionych w rozprawie uważam je za wartościowe, uzyskane za pomocą nowoczesnych i odpowiednich narzędzi badawczych i warte szerszego rozpowszechnienia w formie publikacji, niż to zrobiono. Doktorantka cytuje swoje dwie opublikowane prace. Z drugiej strony, Doktorantka przebywa w Polsce i w zespole dopiero od kilku lat, zatem potrzebowała najmniej 2-3 lata na adaptację, właściwe rozpoczęcie badań i pisanie publikacji. Nie byłoby to żadnym usprawiedliwieniem dla słabych wyników naukowych, ale jest wytłumaczeniem dla opublikowania tylko dwóch dobrych prac.

Uwagi dyskusyjne i krytyczne

Recenzowana praca doktorska ma dobrą strukturę i jest napisana klarownie. Moje krytyczne uwagi dotyczą tylko kilku uchybień redakcyjnych. Uwaga dyskusyjna dotyczy estymacji przenikalności dielektrycznej przedstawionej w rozdz.3. Doktorantka nie wyjaśniła, dlaczego estymacja tego parametru jest możliwa za pomocą metody MLP a nie jest możliwe za pomocą metod dotychczas znanych – tabela 3.13. Dane wejściowe do obliczeń (estymacji) są przecież takie same.

Uwagi krytyczne dotyczące edycji pracy: Tabele w rozprawie nie zawierają podpisów z objaśnieniem zawartych w nich wielkości fizycznych. Zdefiniowanie opisów tych wielkości w tekście jest niewystarczające. Co więcej w kilku tabelach, np. 4.1 lub 5.3, nie podano jednostek wielkości fizycznych wymiarowych. Symbol ε_0 jest w literaturze naukowej zarezerwowany dla przenikalności dielektrycznej próżni, natomiast w rozprawie służy do wyrażenia przenikalności dielektrycznej względnej. „Capacitance voltage” (str. III oraz 10), czyli napięcie pojemnościowe, jest niepotrzebnym neologizmem. Lepiej napisać napięcie na

kondensatorze. Doktorantka nie podała wystarczających danych na temat miejsca swoich publikacji. Należałoby rozwinąć skróty zawarte w cytowanych swoich pracach.

Ocena rozprawy i wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa jest oryginalną pracą naukową w dziedzinie nauk technicznych. Opisano podjęty problem naukowy, jego rozwiązanie i wreszcie dokonano weryfikacji doświadczalnej korzystając z rzeczywistych danych pozyskanych z elektrycznego tomografu pojemnościowego w laboratorium IIS. Pani Hela Gaarba wykazała się dobrą znajomością warsztatu naukowego. Korzystała przy tym ze swojego dobrego rozeznania obszaru badań: sztucznych sieci neuronowych i przetwarzania danych w tomografii pojemnościowej oraz z doświadczeń zespołu badawczego, w którym prowadziła badania. Zamieszczone w rozprawie wyniki były prezentowane na konferencjach naukowych i wydane drukiem. Doktorantka wykazała, że opracowana przez nią metoda przetwarzania danych z tomografu pojemnościowego i z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych jest znacznie lepsza od metod znanych dotychczas. Tym samym dowiodła postawioną tezę. Uznanie budzi znacznie skrócenie czasu estymacji parametrów przepływu materiałów (skrócenie do 4000 razy), co może mieć bardzo duże znaczenie dla zastosowań przemysłowych tomografu ECT. Ocena wartości rozprawy jest pozytywna.

Po lekturze rozprawy i przy uwzględnieniu wyżej podanych faktów stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Heli Garbaa „Gravitational solids flow parameter estimation by the use of electrical capacitance tomography and artificial neural networks” spełnia wymagania „Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym” i dlatego **wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

