

dr hab. inż. Maciej Ławryńczuk, prof. uczelni
Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych
Politechnika Warszawska
ul. Nowowiejska 15/19
00-665 Warszawa

12.2.2021 r.

RAU	Biuro Dziekana	
	Wpłynęło dnia	16.02.2021
	Nr	113 / zał.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Karola Jabłońskiego pt. „Poprawa parametrów metrologicznych czujników gazów palnych”

wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Śląskiej w Gliwicach

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Dariusz Bismor, prof. uczelni
Promotor pomocniczy: dr inż. Tomasz Grychowski
Dyscyplina naukowa: automatyka, elektronika i elektrotechnika

1. Ogólna charakterystyka, zakres, cel i teza rozprawy

Tematyka pracy doktorskiej Pana mgr. inż. Karola Jabłońskiego dotyczy zagadnienia detekcji atmosfery wybuchowej, co jest bardzo ważne w wielu gałęziach przemysłu. Przykładami niech będą rafinerie, zakłady chemiczne, przetwórcze, spożywcze, lakiernie, stacje tankowania paliw oraz kopalnie. Różnego rodzaju gazy, pary oraz pyły, często bezbarwne i bezzapachowe, mogą być przyczyną wybuchu. Dlatego też, w przemyśle konieczne jest ciągłe monitorowanie składu powietrza w celu detekcji obecności substancji wybuchowych. Zastosowane czujniki muszą charakteryzować się dużą odpornością na zakłócenia, dużą czułością, krótkim czasem odpowiedzi, dużą niezawodnością oraz odpornością na uszkodzenia.

Celem prowadzonych pracy było wykazanie słuszności tezy pracy, podanej na s. 18: *Możliwa jest wyraźna poprawa parametrów metrologicznych czujnika gazów palnych, w szczególności czasu reakcji oraz odporności na warunki zewnętrzne, bez ingerowania w konstrukcję samego przetwornika pomiarowego, a jedynie poprzez modyfikację obudowy ognioszczelnej oraz przetwarzanie sygnału wyjściowego.*

Doktorant zauważa, że pomimo ciągłego rozwoju technologii czujników katalitycznych wykonywanych w technologii MEMS (ang. microelectromechanical system), wciąż rzadko są one stosowane na terenie obiektów przemysłowych. W porównaniu do klasycznych pelistorów, do ich zalet należy zaliczyć niższy pobór mocy i krótki czas reakcji. Pomimo tego, producenci i użytkownicy systemów bezpieczeństwa odnoszą się do nich z nieufnością. Doktorant widzi więc potrzebę badań, zmierzających do poprawy parametrów klasycznej konstrukcji czujnika katalitycznego.

Deklarowane przez Doktoranta cele recenzowanej pracy (wymienione na s. 18) są następujące:

- zbadać skuteczność działania dostępnych na rynku sensorów różnych producentów podczas pracy w różnych warunkach, podanie ich wad oraz zalet,
- opracowanie nowego modelu matematycznego czujnika gazów palnych,

- c) przeprowadzenie badań umożliwiających optymalizację konstrukcji osłony ognioszczelnej czujnika katalitycznego,
- d) przygotowanie algorytmów cyfrowych przetwarzających dane z czujnika katalitycznego,
- e) opracowanie metodyki badań czujnika katalitycznego pod kątem zgodności z normą PN-EN 60079-29.

W ramach prac przeprowadzono badania 12 typów różnych czujników. Zostały one poddane działaniu wpływu temperatury, wilgotności i przepływu powietrza. Zbadano czas reakcji czujników oraz stabilność pracy w dłuższym okresie.

Teza pracy oraz poszczególne jej cele są sformułowane w sposób jasny. Rozprawa ma charakter teoretyczno-eksperymentalno-konstrukcyjny: teoretyczny – w zakresie analizy zachodzących zjawisk i opracowania modeli matematycznych, eksperymentalny – w zakresie przeprowadzenia badań, konstrukcyjny – w zakresie optymalizacji konstrukcji osłony ognioszczelnej czujnika katalitycznego oraz opracowania metodyki badań czujnika katalitycznego pod kątem zgodności z ww. normą.

Bardzo wysoko oceniam podjęcie przez Doktoranta niezwykle ważnej z praktycznego punktu widzenia tematyki. Na potrzeby przeprowadzenia badań konieczne było zbudowanie przez Doktoranta odpowiednich układów pomiarowych i stanowisk laboratoryjnych.

2. Zawartość merytoryczna rozprawy

Rozprawa liczy 158 stron, zawiera 6 rozdziałów oraz 4 załączniki. Spis literatury zawiera 112 pozycji bibliograficznych. Na początku rozprawy podano spis tabel oraz rysunków.

Pierwszy rozdział pracy jest wprowadzeniem do tematyki wykrywania obecności niebezpiecznych gazów w przemyśle. Wprowadzone zostało odpowiednie nazewnictwo oraz podano różne definicje stężenia. Podano klasyfikację czujników gazu, krótko omówiono ich cechy. W dalszej części rozdziału podano przegląd stosowanych w przeszłości i obecnie metod detekcji gazów palnych, załączono przegląd literatury. Następnie omówiono budowę, zasadę działania i cechy czujnika katalitycznego. W końcowej części rozdziału przedstawiono tezę i cele pracy. Podano typy rozważanych czujników elektrycznych oraz ich wybrane parametry.

W drugim rozdziale pracy Doktorant omawia dynamiczny model matematyczny czujnika katalitycznego. Podano model o stałych parametrach, omówiono możliwe nieliniowości, w tym zależność rezystancji od temperatury, zależność pojemności cieplnej od temperatury, straty ciepła oraz zakłócenia zewnętrzne.

W trzecim rozdziale pracy omówiono wyniki badań mających na celu wyznaczenie własności czujników katalitycznych. Badano stabilność długoterminową na długim horyzoncie czasowym, własności temperaturowe, takie jak błędy temperaturowe czujników w czystym powietrzu oraz w metanie. Omówiono kwestię kompensacji błędów temperaturowych. Omówiono wyniki badań wpływu wilgotności gazu, przy czym Doktorant zaprojektował i zbudował własny systemu regulacji zawartości pary wodnej w mieszankach gazowych. W celu uproszczenia procesu dobierania parametrów układu oraz strojenia regulatora, opracowano model matematyczny komory mieszania. Omówiono błędy wilgotnościowe czujników w czystym powietrzu oraz w metanie. Porównano czujniki różnych producentów.

W czwartym rozdziale rozprawy Doktorant rozważa kwestie odtwarzania sygnałów pomiarowych. Kwestią kluczową jest opracowanie modelu odwrotnego polistora, który ma na celu wyznaczenie wartości stężenia na podstawie napięcia zasilania oraz napięcia wyjściowego mostka. Omówiono odpowiedni schemat obliczeniowy, a także kwestię identyfikacji pa-

rametrów modelu. Podano wyniki badań eksperymentalnych, świadczące o skuteczności zaproponowanego modelu odwrotnego.

W piątym rozdziale pracy omówiono konstrukcję obudowy przeciwybuchowej. Autor rozprawy w pierwszej kolejności rozważa spieki, w tym omawia eksperymentalne badanie porowatości, a także badanie wpływu porowatości i grubości spieku na czas reakcji. Zamieszczono i omówiono uzyskane wyniki. W dalszej części rozdziału rozważana jest kwestia bariery ognioszczelnej i jej wpływ na reakcję czujnika podczas przepływu gazu. Autor opisuje zaprojektowane i zbudowane przez siebie stanowisko laboratoryjne. W dalszej części rozdziału Autor omawia badanie wytrzymałości obudowy przeciwybuchowej oraz badanie ognioszczelności. W ostatniej części rozdziału omówiono zaprojektowaną obudowę czujnika SmArt-Gas 4, który jest aktualnie dostępny na rynku. Charakteryzuje się on dwukrotnie krótszym czasem reakcji w porównaniu do czujnika bazowego. Do zaprojektowania obudowy czujnika zostały wykorzystane omówione w rozprawie badania dotyczące spieków, wpływu czynników zewnętrznych oraz kształtu obudowy głowicy. Osłona ognioszczelna głowicy została zaprojektowana w taki sposób, aby obniżyć czas reakcji, zachowując przy tym wytrzymałość mechaniczną i odporność na przepływ gazu. Urządzenie przeszło pozytywnie testy, otrzymując stosowny certyfikat.

W szóstym rozdziale pracy zawarto podsumowanie oraz wnioski. Sformułowano możliwe kierunki przyszłych badań.

3. Ocena rozprawy

3.1. Ocena merytoryczna rozprawy

Stwierdzam, że Doktorant wykazał słuszność tezy rozprawy, podanej na s. 18. Udało się mianowicie wykazać, że istnieje możliwość istotnej poprawy parametrów metrologicznych czujnika gazów palnych, w szczególności czasu reakcji oraz odporności na warunki zewnętrzne, bez ingerowania w konstrukcję samego przetwornika pomiarowego, jedynie przez modyfikację obudowy ognioszczelnej oraz przetwarzanie sygnału wyjściowego. Doktorant zrealizował cele pracy, ponieważ wykonał zarówno prace analityczne, np. opracował nieliniowy model czujnika katalitycznego, ale również zaprojektował i wykonał odpowiednie układy pomiarowe oraz stanowiska laboratoryjne, które następnie posłużyły do wykonania badań. Warto podkreślić, że czujnik wyposażony w obudowę zaprojektowaną w oparciu o uzyskane wyniki otrzymał certyfikat zgodności z europejskimi normami Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej (IEC), który został wydany przez Instytut FTZU.

Bardzo pozytywnie oceniam niezwykle praktyczny charakter pracy. Przede wszystkim, praca dotyczy konkretnego problemu technicznego o kolosalnym znaczeniu, nie jest to problem akademicki. Doktorant zrealizował wyznaczone cele, proponując bardzo dobre rozwiązania techniczne. Przeprowadzone badania zostały wykorzystane do zaprojektowania obudowy czujnika SmArtGas 4, który jest produktem rynkowym.

Pomimo bardzo wysokiego poziomu merytorycznego pracy oraz bardzo dobrej redakcji (o czym piszę w dalszej części recenzji), w trakcie lektury rozprawy nasunęły mi się następujące wątpliwości i drobne uwagi krytyczne:

- a) Model o stałych parametrach (rozdział drugi): w niektórych przypadkach widoczna jest niezbyt duża, ale wyraźna różnica między pomiarami a wyjściami modelu (szczególnie rys. 2.6). Co ciekawe, różnice te dotyczą zarówno stanów statycznych, jak i dynamicznych. W tekście brakuje szczegółowego wytłumaczenia obserwowanych zjawisk.
- b) Na końcu podrozdziału omawiającego model matematyczny warto by umieścić komplet równań modelu. Dobrze, że Doktorant przedstawił te równania na rys. 2.11 w postaci

- schematu obliczeniowego. Podpis pod rys. 2.11 powinien brzmieć: schemat obliczeniowy opracowanego modelu (albo kolejność obliczeń modelu).
- c) Rys. 3.9: brak oznaczeń (a oraz b) poszczególnych części rysunku. Domyślam się, że (a) oznaczać ma górną część, natomiast (b) – dolną. Wówczas kolejność rysunków jest odwrotna niż ta, którą podano w podpisie rysunku (wynika to z opisów osi y wykresów).
- d) Podpis pod rys. 4.3 powinien brzmieć: schemat obliczeniowy opracowanego dynamicznego modelu odwrotnego (albo kolejność obliczeń opracowanego dynamicznego modelu odwrotnego).
- e) Rys. 4.9, na którym porównano mierzoną moc wydzieloną na pelistorze z wyjściem modelu: model jest bardzo dobry, ale zwykle od modeli matematycznych oczekujemy uśredniania, dobrego odtworzenia trendu. W tym przypadku model bardzo dobrze odwzorowuje drobne zmiany mocy (fluktuacje), natomiast nie ma właściwości uśredniających i wygładzających. Jak można interpretować ten fakt? Zwykle do oceny poprawności modeli stosujemy kilka zbiorów danych. Czy porównano działanie modelu dla innego zestawu danych? Jak wówczas wygląda zgodność modelu z danymi?
- f) Ocena jakości modelu odwrotnego (rys. 4.12, 4.13 i 4.14): widzimy, że zaproponowany algorytm oblicza sygnał, charakteryzujący się dość dużym przeregulowaniem. Eliminacja tego zjawiska wydaje się dość prosta. Czy były wykonane takie modyfikacje?
- g) Rozdział czwarty (model odwrotny pelistora): Doktorant omawia dokładność proponowanego modelu w sposób jakościowy, prezentując serię wykresów. Warto by było również przedstawić jakość modelu w sposób ilościowy, definiując odpowiednie wskaźniki jakości (np. błędy) i podając ich wartości.

Pomimo wymienionych wątpliwości, całą pracę oceniam bardzo pozytywnie. Proszę jedynie Doktoranta, aby przed obroną odniósł się na piśmie do wymienionych powyżej uwag.

3.2. Poprawność językowa rozprawy

Rozprawa napisana jest bardzo dobrym językiem technicznym. Co warto podkreślić, Doktorant nie stosuje żargonu, pisze w sposób jasny i zrozumiały, nawet dla osób, które nie są ekspertami w tematyce pracy. Bardzo to doceniam. Znalazłem właściwie jeden drobny błąd (w podziękowaniach). Zamiast: Dziękuję firmie Atest-Gaz A.M. Pachole, która dostarczyła dużej części sprzętu laboratoryjnego..., powinno być: Dziękuję firmie Atest-Gaz A.M. Pachole, która dostarczyła dużą część sprzętu laboratoryjnego...

W rozprawie znalazłem bardzo nieliczne błędy interpunkcyjne (nadmiarowe przecinki): s. 51 – zależność pomiędzy temperaturą T , a rezystancją; s. 65 błąd pomiędzy wartością wskazaną przez sensory, a wartością wynikającą z równania; s. 73 – czas pomiędzy wystąpieniem skoku wartości mierzonej, a osiągnięciem przez wartość pomiaru; s. 77 – pomiędzy odwzorowywanymi przez wzorzec pomiarowy wartościami wielkości wraz z ich niepewnościami pomiaru, a odpowiadającymi im wskazaniem; s. 89 – różnica między całkowitą mocą wydzieloną na elemencie aktywnym, a dostarczoną do niego mocą elektryczną, s. 89 – pomiędzy dodatkową mocą na pelistorze, a stężeniem gazu palnego. W kilku miejscach brak jest przecinka po słowie Niestety, które rozpoczyna zdanie: s. 14, 27, 37, 41, 43, 57, 125.

3.3. Poprawność redakcyjna rozprawy

Praca zredagowana jest poprawnie. Wszystkie wzory, rysunki i tabele są bardzo czytelne. Formatowanie tekstu jest prawidłowe. Znalazłem jedynie drobne uchybienia, których lista znajduje się poniżej.

W recenzowanej pracy brak jest streszczenia, spisu użytych symboli oraz skrótów. Uważam to za niedopatrzenie.

Tytuł drugiego rozdziału podany w spisie treści (Model matematyczny czujnika) jest różny od rzeczywistego tytułu (Dynamiczny model matematyczny czujnika katalitycznego). Taka niekonsekwencja jest niezrozumiała uwzględniając możliwości współczesnych edytorów tekst i systemów składu.

W rozdziale pierwszym spodziewałem się znaleźć podrozdział zatytułowany „Organizacja pracy” (lub podobnie), w którym krótko opisano najważniejsze zagadnienia omówione w kolejnych rozdziałach. Taki podrozdział jest konieczny w rozprawach doktorskich. Niestety, w recenzowanej pracy nie ma takiego podrozdziału.

Pierwszy rozdział zawiera zarówno wprowadzenie do tematyki, rys historyczny, sformułowanie tezy i celów pracy, a także omawia konkretne typy czujników i układy pomiarowe (pełny mostek Wheatstone’a oraz półmostek). Moim zdaniem znacznie korzystniejsze byłoby jednak napisanie dwóch osobnych rozdziałów, z czego pierwszy byłby klasycznym wstępem ogólnym, zawierającym wprowadzenie do tematyki, przegląd literatury, sformułowanie tezy i celów pracy, natomiast drugi omawiałby szczegółowo wstępne kwestie techniczne, czyli wykorzystywane czujniki, ich parametry oraz układy pomiarowe.

Nie wiadomo dlaczego Doktorant konsekwentnie stosuje anglosaskie normy dotyczące składu publikacji, a mianowicie: przenoszenie wyrazów w tytułach (tytuł podrozdziału 1.1), brak kropek po numerach rozdziałów i podrozdziałów, wielkie litery w skrótach odnoszących się w tekście do rysunków (Rys.) oraz tabel (Tablica), a także kropki po krótkich (jednozdanowych) podpisach rysunków. Praca napisana jest w języku polskim, a więc powinny być zachowane wszystkie polskie normy i zwyczaje dotyczące składu publikacji.

Załączniki 6.1, 6.2 i 6.3: na każdym z rysunków znajduje się kilka krzywych, każda z nich ma inny kolor. Niestety, na wszystkich rysunkach zabrakło legendy. Oczywiście, znaczenie poszczególnych krzywych można poznać czytając główną część pracy, od tekstu technicznego wymagamy jednak, aby nie było takich wątpliwości. Renomowane wydawnictwa naukowe żądają, aby każdy rysunek miał odpowiedni podpis (lub legendę), nawet wówczas, gdy legendy te powtarzają się w serii rysunków.

Bibliografia podana jest w kolejności cytowania. Choć taka organizacja jest dopuszczalna, to jednak według mnie jest do zaakceptowania jedynie w artykułach naukowych, w których mamy ograniczoną liczbę pozycji literatury. W dłuższych pracach, a taką jest właśnie recenzowana rozprawa doktorską, układ literatury w sposób alfabetyczny znacznie ułatwia lekturę, natomiast układ w kolejności cytowania niestety ją utrudnia.

Forma niektórych pozycji bibliografii jest niekonsekwentna, występują błędy interpunkcyjne. Zastosowanie znaków cudzośćowu do tytułów artykułów jest niepotrzebne. Cudzośćowy anglosaskie (“...”) przy tytułach prac w języku polskim są nieporozumieniem.

Podany w rozdziale czwartym schemat obliczeniowy identyfikacji (s. 88 i 89) byłby bardziej czytelny, gdyby w poszczególnych krokach algorytmu podane zostały odwołania do odpowiednich wzorów.

4. Ocena dorobku publikacyjnego Doktoranta

Baza Scopus podaje, że w dorobku Doktoranta znajduje się 5 prac (dostęp 8.2.2021):

- a) jedna praca zamieszczona w czasopiśmie *Indoor and Built Environment* (obecny współczynnik wpływu IF=1,9, 70 pkt. na liście MNiSW),
- b) dwie prace konferencyjne opublikowane jako rozdziały w książkach w serii *Advances in Intelligent Systems and Computing*,

- c) jedna praca konferencyjna zamieszczona w materiałach konferencji *International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*,
- d) jedna praca konferencyjna zamieszczona w materiałach konferencji *International Scientific Conference on Optoelectronic and Electronic Sensors*.

Dodatkowo, Doktorant jest współautorem jednej pracy opublikowanej w czasopiśmie *Journal of KONES Powertrain and Transport* (nieobecna na liście MNiSW) oraz kilku innych prac w języku polskim.

Dorobek publikacyjny Doktoranta oceniam pozytywnie. Spełnia on wymagania ustawowe (co najmniej jeden artykuł opublikowany w czasopiśmie naukowym lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowej, które są ujęte wykazie MNiSW).

5. Przydatność rozprawy dla nauk technicznych

Przedstawione w recenzowanej rozprawie doktorskiej osiągnięcia naukowe i konstrukcyjne są ciekawe oraz bardzo istotne dla dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika. Podkreślam bardzo duże znaczenie praktyczne przeprowadzonych badań i możliwość ich zastosowania w wielu gałęziach przemysłu, w których istnieje zagrożenie wybuchem.

6. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a/ nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy,
- b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,
- c/ spełniająca wymagania,
- d/ spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem,
- e/ wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.

7. Podsumowanie

Pan mgr inż. Karol Jabłoński w pełni zrealizował podane na wstępie cele rozprawy, wykazał słuszność sformułowanej tezy. Wykazał się wiedzą i umiejętnością samodzielnego rozwiązywania trudnych problemów technicznych. Skuteczność opracowanych rozwiązań zademonstrował w praktyce, co wymagało przeprowadzenie wielu badań eksperymentalnych, również przy wykorzystaniu zaprojektowanych i zbudowanych przez Doktoranta układów pomiarowych i stanowisk laboratoryjnych. Wymienione w recenzji drobne uwagi krytyczne nie wpływają na wysoką ogólną ocenę rozprawy. Doktorant wykazał, że posiada dużą wiedzę i umiejętności w zakresie dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika.

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr. inż. Karola Jabłońskiego pt. *Poprawa parametrów metrologicznych czujników gazów palnych* spełnia wymagania ustawowe, określone w ustawie z dnia 3 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce, (Dz. U. 30.08.2018 r. Poz. 1669), oraz wnioskuję o jej przyjęcie, a także dopuszczenie do publicznej obrony.

8. Wniosek o wyróżnienie

Wnoszę o wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Karola Jabłońskiego. Argumenty przemawiające za wyróżnieniem są następujące:

1. Tematyka badań prowadzonych przez Doktoranta jest bardzo ważna z praktycznego punktu widzenia. Otrzymane wyniki prac posłużyły do opracowania konkretnych rozwiązań technicznych, które uzyskały odpowiednie certyfikaty i są dostępne na rynku.
2. Recenzowana rozprawa doktorska reprezentuje wysoki poziom merytoryczny i jest napisana bardzo dobrze.
3. Doktorant jest pierwszym (z dwóch) autorów publikacji posiadającej współczynnik wpływu (zamieszczonej w czasopiśmie *Indoor and Built Environment*).

Podkreślam, że osiągnięcia Doktoranta spełniają wymagania wystarczające do wyróżnienia rozprawy doktorskiej, które zostały podane w Uchwale Senatu Politechniki Śląskiej nr 126/2019. Dlatego wnioskuję jak na wstępie.

Maciej Ławrynowicz