

Opole, 12.02.2021 r.

dr hab. inż. Mariusz R. Rząsa prof. PO

Politechnika Opolska

Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole

Tel.: [REDACTED]

e-mail: m.rzasa@po.edu.pl

MB 19 02 2021

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Karola Jabłońskiego

pt. **Poprawa parametrów metrologicznych czujników gazów palnych.**

### 1. PODSTAWA FORMALNA OPRACOWANIA RECENZJI

Formalną podstawą przygotowania niniejszej recenzji jest pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Automatyka, Elektrotechnika i Elektronika, Politechniki Śląskiej dr hab. inż. Monika Kwoka prof. PŚ, Nr RD/AEE/48/2020 z dnia 30.12.2020r. zlecające wykonanie recenzji w oparciu o uchwałę Rady Dyscypliny Automatyka, Elektrotechnika i Elektronika Politechniki Śląskiej z dnia 15 grudnia 2020r. oraz dostarczony egzemplarz rozprawy doktorskiej mgr inż. Karola Jabłońskiego pt. "Poprawa parametrów metrologicznych czujników gazów palnych".

Praca doktorska prowadzona była na Wydziale Automatyki, Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach, której promotorem jest dr hab. inż. Dariusz Bismor, prof. PŚ, a promotorem pomocniczym jest dr inż. Tomasz Grychowski.

### 2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Rozprawa doktorska wydana została w formie zwartej opracowania. Obejmuje 158 stron, wraz z czterema załącznikami. Podzielona jest na 6 rozdziałów merytorycznych oraz spis treści, spis rysunków i bibliografię. Bibliografia zawiera 112 pozycji literaturowych w tym dwie pozycje autorskie i jedną współautorską. Rozprawa doktorska rozpoczyna się od podziękowania.

Pierwszy rozdział składa się z dziewięciu podrozdziałów. Stanowi on wprowadzenie do tematyki pracy. W pierwszym podrozdziale opisano obszary w których gdzie występują gazy palne stanowiące zagrożenie dla bezpieczeństwa. W kolejnych przedstawiono definicje podstawowych pojęć. W podrozdziale 1.5 opisano rys historyczne praktyk jakie były stosowane w detekcji gazów palnych w przemyśle wydobywczym. Podrozdział 1.6 poświęcono opisowi zasady działania czujnika katalitycznego. Jest to uzasadnione ze względu na to, że badania przedstawione w dalszej części pracy dotyczą czujników tego rodzaju. Nie zupełnie rozumiem, dlaczego podrozdział 1.7 i 1.8 zatytułowane odpowiednio „Cel i tezy pracy” oraz „Zakres pracy” zostały zamieszczone jako podrozdziały w rozdziale pierwszym zatytułowanym „Wprowadzenie”, a nie jako oddzielne rozdziały, gdyż stanowią one ważny element rozprawy doktorskiej. Podobnie podrozdziały 1.8.2 1.9 stanowią opis elementów układu pomiarowego wykorzystanego podczas badań.

Drugi rozdział poświęcony jest opisowi modelu matematycznego czujnika. Autor powołuje się w nim na znany z literatury model czujnika katalitycznego zaproponowanego przez Firtha. Następnie wprowadza własny model szczegółowo go opisując.

Rozdział trzeci stanowi bardzo obszerne udokumentowanie badań laboratoryjnych. Doktorant opisuje w nim szereg badań dotyczących stabilności długoterminowej, własności temperaturowych, wpływu wilgotności oraz własności dynamicznych kalorymetrycznych

czujników gazu. Opisano w nim zarówno rezultaty przeprowadzonych badań oraz sposób ich przeprowadzenia. Dobrze udokumentowano stanowiska badawcze na których były prowadzone badania. Stanowi on jedną z istotniejszych części pracy.

W rozdziale czwartym Doktorant przedstawił rozwiązanie poprawiające parametry dynamiczne czujników kalorymetrycznych. Zaproponował nowatorski sposób określania stężenia gazów palnych na podstawie przekształcenia odwrotnego, którym wielkościami mierzonymi są wartości wielkości elektrycznych zasilania mostka, a nie jak to ma miejsce w klasycznym rozwiązaniu napięcie różnicowe. Rozwiązanie to umożliwiło poprawę własności dynamicznych czujników.

Rozdział piąty zawiera wyniki badań związane z obudową przeciwybuchową. Budowa ma znaczący wpływ na dynamikę czujnika więc przeprowadzenie badań w tym zakresie jest celowe. Doktorant przeprowadził badania wpływu obudowy na parametry dynamiczne czujnika oraz zaproponował optymalne rozwiązanie konstrukcji.

W podsumowaniu Autor krótko streścił pracę oraz zwrócił uwagę na główne rezultaty swojej pracy. Podsumował istotne elementy które mają wpływ na czułość i dynamikę czujników. Nakreślił również kierunek dalszych badań mogących poprawić parametry czujników.

### 3. Szczegółowa ocena pracy

#### 3.1. Uzasadnienie podjętej tematyki

Problematyka detekcji i pomiaru stężenia gazów palnych, szczególnie w przemyśle wydobywczym jest wciąż aktualna i istotna ze względów bezpieczeństwa. Pomimo wielu lat doświadczeń w tym zakresie wciąż zdarzają się wypadki związane z wybuchem metanu w kopalniach węgla kamiennego. Zatem poszukiwanie lepszych lub precyzyjniejszych metod detekcji gazów palnych uważam jako temat istotny i potrzebny. Ponieważ na ostateczny wynik pomiaru oraz podjętą decyzję duży wpływ mają parametry metrologiczne zastosowanej aparatury pomiarowej, w związku z tym uważam, że podjęta w pracy tematyka jest uzasadniona i potrzebna.

Autor pracy podjął się analizy wpływu wybranych elementów układu pomiarowego oraz przeprowadził analizę jak wpływają one na parametry metrologiczne aparatury pomiarowej wskazując w ten sposób możliwości poprawy. Uważam, że opisanie i zbadanie tego rodzaju zagadnień przyczyni się do poprawy bezpieczeństwa w pewnych obszarach przemysłu nie tylko wydobywczego. Uzasadnia to podstawową tezę pracy.

**Biorąc powyższe pod uwagę, uważam wybór tematu rozprawy za uzasadniony.**

#### 3.2. Ocena wyników badań

Badania eksperymentalne przedstawiono w rozdziale 3 niniejszej rozprawy doktorskiej, są dobrze udokumentowane, a opis stanowisk na których były przeprowadzone badania świadczy o umiejętnościach Doktoranta w zakresie planowania eksperymentów. Autor w sposób przejrzysty przedstawił wyniki badań wraz z komentarzem uzyskanych wyników. W podrozdziale 3.1 przedstawił On wyniki badań długoterminowych które wynosiły aż 300 dni. Niewątpliwie tak długi okres prowadzenia badań z zachowaniem pewnych reżimów budzi podziw. **Szkoda, że autor nie opisał bardziej szczegółowo przebiegu tych badań i wyników monitorowania parametrów otoczenia. Niewątpliwie zmiany parametrów otoczenia mogą mieć wpływ na dryft czujników. Porównanie tych zmian z wynikami pomiarów mogłoby prowadzić do ciekawych wniosków.**

Na wykresach z rysunku 3.3 Doktorant przedstawił dryft długoterminowy dla różnych rodzajów czujników kalorymetrycznych pochodzących od różnych producentów. Wyniki przedstawione na wykresach są wartościami uśrednionymi dla pięciu egzemplarzy czujników tego samego rodzaju. **Wartości uśrednione nie umożliwiają dostrzeżenia rozbieżności w**

zrachowaniach czujników tego samego typu. Zwłaszcza, że Autor pisze, że zaobserwowano pewne różnice w dryfcie pomiędzy poszczególnymi egzemplarzami czujników. Uzupełnienie wykresów o słupki niepewności lub odchyłki średniokwadratowe znacząco poszerzyłyby wiedzę ułatwiając oceny jakości czujników pod względem dryftu długoterminowego.

W rozdziale piątym Autor przedstawił stanowisko badawcze do badania wpływu obudowy czujnika na jego parametry dynamiczne. Głównym elementem stanowiska jest przepływowy kanał powietrzny. Autor przeprowadził analizę ruchu gazu kanale i na tej podstawie określił optymalne miejsce umieszczenia czujników badanych. W analizie pominął określenie liczny Reynoldsa, która jest wskaźnikiem rodzaju przepływu. **Jest to istotne ze względu na to, że czujniki w kopalni niejednokrotnie są montowane z korytarzach, gdzie najprawdopodobniej będzie występował przepływ laminarny, dlatego badania prowadzone dla przepływów turbulentnych nie koniecznie muszą być wiarygodne. Proszę o przedyskutowanie tej kwestii podczas publicznej obrony.** Drugą bardzo zaskakującą kwestię stanowi wybór miejsca usytuowania czujnika badanego. Zgodnie z dotychczasową wiedzą czujniki na działanie których ma wpływ profil prędkości ruchu gazu montuje się na odcinkach prostych, dla których zachowuje się odległości minimum 5 średnic rurociągu przed czujnikiem i 3 średnice za czujnikiem prostego odcinka rurociągu. Uważam, że montaż czujników w punkcie 4 bezpośrednio przed kolaniem wymaga szczegółowego uzasadnienia. Zwłaszcza, że uzyskane z pomiarów profile prędkości znacząco odbiegają od wyników uzyskiwanych przez większość badaczy. W przepływach gazu w przewodach o przekroju kołowym typowe jest to, że profil prędkości jest osiowo symetryczny, dlatego na rysunku 5.13 występuje tak duża asymetria. Ponadto brakuje oznaczenia na rysunku 5.12 która oś to x a która y.

### 3.3. Ocena merytoryczna pracy

Praca jest logicznie uporządkowana i zawiera część teoretyczną oraz badawczą. Przeprowadzono szereg badań eksperymentalnych, które stanowiły podstawę walidacji modelu matematycznego. Zaproponowanie modelu matematyczny stanowi wkład naukowy w niniejszej pracy. Jednak rozdział 2 w którym został opisany autorski model wprowadza pewną dezorientację. Rozdział ten w tytule wyraźnie wskazuje, że jest to model matematyczny czujnika katalitycznego. Autor na wstępie powołuje się na model zaproponowany przez Firtha, jednak w dalszej części przedstawia własny model przetwornika pomiarowego zbudowanego w oparciu o mostek Wheatston'a. Model ten w prawidłowy sposób odzwierciedla zachowanie się przetwornika. W modelu tym opisano zmiany rezystancji w oparciu o znane modele dla platynowych czujników temperatury. Jest to niewątpliwie słuszna założenie. Zgodnie z dyskusją jaka przeprowadził autor w podrozdziale 1.2 pod pojęciem czujniki należałoby oczekiwać, że wielkością wejściową do takiego modelu będzie stężenie gazu a nie temperatura. Zmiany temperatury są funkcją zmian stężenia gazu, jednak model ten nie uwzględnia zjawisk fizykochemicznych zachodzących podczas takiego pomiaru. Zakłada on jedynie zmiany rezystancji pod wpływem temperatury.

Zaproponowane w rozdziale 4 nowatorskie rozwiązanie określenia stężenia gazów palnych stanowi naukowy wkład Doktoranta. Rozdział ten potwierdza umiejętności wykorzystania wiedzy teoretycznej w praktykach inżynierskich. Stanowi on wkład naukowy.

Opracowanie własnej konstrukcji obudowy przeciwybuchowej czujnika stanowi element który wiąże się z poprawą własności metrologicznych czujników stanowiący główny temat rozprawy doktorskiej. Biorąc pod uwagę wcześniejsze wątpliwości związane z badaniami odpisanymi w rozdziale 5 uważam, że prawidłowo wybrano optymalną konstrukcję obudowy pod względem jakościowym. Do oceny ilościowej należałoby uwzględnić charakter przepływu i uzupełnić badania o przepływy dla różnych liczb Reynoldsa.



### 3.4. Uwagi do pracy

Przedmiotowa praca doktorska jest napisana poprawnym językiem. Posiada prawidłowy podział treści. W trakcie jej czytania nasunęły mi się jednak następujące uwagi:

1. Autor w pracy zamieszcza w nagłówku każdej strony tytuł rozdziału i podrozdziału, jest to bardzo pomocne dla czytelnika jednak zachowanie numeracji, szczególnie podrozdziałów powoduje pewną dezorientację podczas czytania, gdyż na niektórych stronach ma się wrażenie, że od nowej strony zaczyna się nowy podrozdział. Uważam, że pozostawienie tytułów bez numeracji w tym przypadku byłoby znacznie korzystniejsze.
2. W podrozdziale 1.2 Autor wyjaśnia pojęcia czujnik, przetwornik i sensor. Zabrakło mi w tym rozdziale powiązania czujnik-przetwornik jako układ pomiarowy, oraz jednoznacznego zdefiniowania co poszczególne pojęcia będą oznaczały w niniejszej pracy.
3. Wzór 1.4 na zastosowanie głównie przy definiowaniu stężenia cząstek stałych w płynach. Jego wykorzystanie podczas określania stężenia gazów palnych w powietrzu jest wątpliwe.
4. **Na stronie 7 Autor pisze „...czujniki stężenia gazu można zdefiniować jako interfejs przetwarzający dane analityczne ze środowiska chemicznego na informacje zdolną do dalszego przetwarzania przez komputer ...”.** Tego rodzaju czujniki są coraz bardziej popularne i rozwijane. W tym miejscu należałoby wspomnieć o inteligentnych czujnikach w technologii IoT. Proszę o uwzględnienie tej uwagi podczas prezentacji.
5. W podrozdziale 1.4 pojawia się pojęcie selektywnych i nieselektywne. W praktyce czujników gazu które reagowałyby tylko i wyłącznie na jeden rodzaj gazu praktycznie nie ma. Najczęściej reagują one na kilka rodzajów gazu, lecz wykazują znacznie większą czułość dla konkretnego gazu. Proszę o rozszerzenie pojęć selektywne i nieselektywne czujniki gazu.
6. W podrozdziale 1.9.1 pojęcie „wyjście mostka” jest nieprecyzyjne. W pełnym mostku Wheatstone’a mierzy się napięcie różnicowe pomiędzy dwiema gałęziami mostka zatem wyjścia są dwa.
7. W pracy wkradły się pewne żargonowe zwroty np. „Czujnik, będący jego sercem”.
8. Rys. 3.9 pomijając brak oznaczeń a) i b) przedstawia przebiegi zmian wybranych wielkości w czasie 60 dni. **Na wykresach tych dostrzegalne są wyraźne uskoki wartości (charakterystyczne piki).** Proszę o skomentowanie tych wyników.
9. W podsumowaniu zabrakło mi zwięzłego wypunktowania głównych osiągnięć. Mam nadzieję że podczas prezentacji Doktorant w kilku punktach wymieni główne osiągnięcia opisane w pracy.

## 4. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Pomimo pewnych błędów i usterek rozprawa rzetelnie dokumentuje szeroko zakrojone i przeprowadzone badania. Praca dowodzi zrozumienia istoty działania analizowanego układu oraz zachodzących w nim zjawisk, a Doktorant wykazał się umiejętnością interpretacji wyników.

W rozprawie opisano rozwiązanie problemu badawczego, co potwierdza wiedzę teoretyczną Doktoranta oraz umiejętność prowadzenia badań. **Opiniowana praca spełnia zatem wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z Ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki (D. U. 2003, Nr 65, poz. 595 z późn. zm.). Wnioskuje o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

Marin R. Pssz