

BADANIE WPLYWU PRĘDKOŚCI PRZEPLYWU GAZU NA SENSORY KATALITYCZNE**Karol JABŁOŃSKI**

Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Instytut Automatyki,
tel.: 32 237 23 76 e-mail: karol.jablonski@polsl.pl

Streszczenie: Czujniki katalityczne są bardzo istotną kategorią sensorów zapewniających bezpieczeństwo ludzi i mienia. Stosowane w wielu gałęziach przemysłu wydobywczego czy chemicznego, pozwalają zapobiec eksplozji, informując z wyprzedzeniem o podniesionym stężeniu gazów palnych w atmosferze. Mimo wielu zalet czujniki te wykazują pewną wadę charakterystyczną dla wielu typów sensorów gazów, jaką jest wrażliwość na parametry fizyczne gazu. Poza temperaturą, wilgotnością czy ciśnieniem na sensor może także wpływać prędkość przepływu mierzonego gazu. Niniejsza praca opisuje konstrukcję stanowiska umożliwiającego badanie wpływu prędkości przepływu gazu na sensory. Urządzenie charakteryzuje się stosunkowo niewielkimi rozmiarami i niskim kosztem budowy. Artykuł prezentuje również wyniki badań przykładowego czujnika pelistorowego.

Słowa kluczowe: stężenie gazów, czujniki katalityczne, prędkość przepływu, wiatr, błędy czujników.

1. WPROWADZENIE

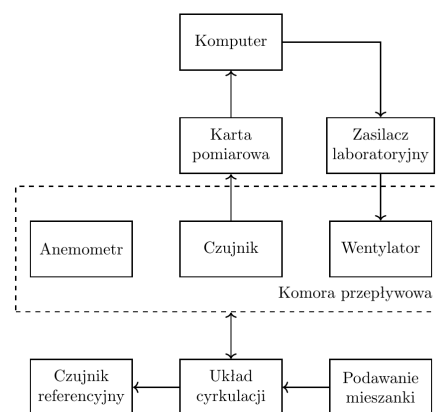
Jednym z istotnych zagrożeń w wielu dziedzinach przemysłu jest niebezpieczeństwo eksplozji wynikające z obecności atmosfery wybuchowej. Rafinerie, kopalnie, zakłady przetwórstwa chemicznego, a często również obiekty produkujące żywność i leki narażone są na stałe lub okresowe występowanie gazów palnych w powietrzu. Eksplozja może nastąpić, gdy dochodzi do koincydencji wystąpienia mieszanki gazowej o odpowiednim stężeniu oraz źródła zapłonu – iskry bądź wysokiej temperatury [1]. Obok minimalizowania ryzyka wystąpienia źródeł zapłonu (urządzenia iskrobezpieczne) istotne jest więc monitorowanie składu atmosfery, do czego wykorzystuje się czujniki gazów palnych. Jednym z najpopularniejszych typów tych urządzeń są sensory katalityczne. W tej konstrukcji na powierzchni platynowej spirali grzejnej pokrytej katalizatorem dochodzi do spalania gazów, co zmienia jej temperaturę, a więc także rezystancję, której pomiar pozwala określić ich stężenie [2]. Mimo stosowania układu mostkowego, który w dużej mierze kompensuje wpływ otoczenia, czujniki te pozostają wrażliwe na czynniki zewnętrzne, szczególnie takie, które wpływają na parametry termiczne oraz dynamikę gazów [3,4]. Zachodzi w związku z tym potrzeba testowania, selekcji oraz poprawy konstrukcji tych czujników w celu zwiększenia ich wiarygodności w niesprzyjających warunkach.

Jednym ze zjawisk wpływających na sensory jest prędkość przepływu gazu wokół wlotu sensora. O ile pomiar reakcji urządzenia na przepływ czystego powietrza może być stosunkowo prosty w realizacji, to aby dokonać pomiaru

reakcji na ruch gazu testowego, należy przygotować odpowiednią, umożliwiającą to komorę. Musi ona zapewniać laminarny i jednostajny przepływ, szczelność i mieścić wymagany osprzęt, a jednocześnie posiadać rozmiary możliwie niewielkie, by zminimalizować objętość potrzebnego gazu testowego. Ponieważ dostępne na rynku tunele aerodynamiczne nie zostały przystosowane do tego typu zastosowań, podjęto decyzję o przygotowaniu własnej konstrukcji.

2. KONSTRUKCJA UKŁADU

Schemat blokowy połączenia elementów układu przedstawia rysunek 1. Komora testowa w formie tunelu aerodynamicznego jest skonstruowana z rur kanalizacyjnych polipropylenowych o średnicy 110 mm. Wbudowane uszczelki zapewniają szczelność komory, a konstrukcja może być łatwo modyfikowana. Elementy rewizyjne z odkręcanymi pokrywkami oraz trójniki pozwalają na łatwe umieszczenie oprzyrządowania w komorze (wentylator, czujnik badany, czujnik prędkości, króćce do podawania gazu), a także szybką adaptację poszczególnych odcinków do różnych zastosowań. Aby ułatwić proces sporządzania mieszanki o odpowiednim składzie, oszacowano objętość urządzenia. W przypadku prostych elementów została ona wprost obliczona z ich wymiarów, a trójniki i kolanka zostały wypełnione wodą, przelaną następnie do naczynia z podziałką. Zmierzona w ten sposób pojemność całości to 30 dm³. Przykładowo dla uzyskania 40% DGW (dolnej granicy wybuchowości) propanu należy więc zmieszać powietrze z 200 cm³ czystego gazu.



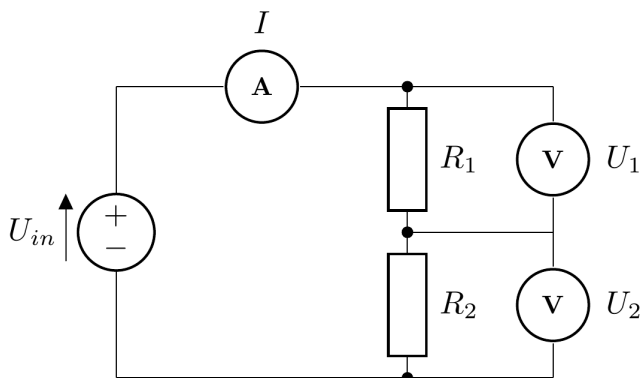
Rys. 1. Schemat blokowy układu do zadawania prędkości przepływu oraz stężenia mieszanki gazu

W celu ułatwienia podawania mieszanki z różnych źródeł oraz umożliwienia wykonywania pomiaru referencyjnego, gaz jest pobierany króćcami do układu zewnętrznej cyrkulacji. W jego skład wchodzi pompa, regulator przepływu, czujnik referencyjny oraz zawór do podawania gazu. Umożliwia on podawanie i pomiar stężenia gazu całkowicie niezależny od prędkości przepływu wewnątrz komory. Możliwe jest także podłączenie pojemnika do odparowywania substancji ciekłych, co umożliwia badania z udziałem oparów substancji, np. wyższych węglowodorów.



Rys. 2. Fotografia układu

Badany sensor jest zasilany z zewnętrznego zasilacza laboratoryjnego, co pozwala na testy modeli czujników o różnych wymaganiach elektrycznych. Sensor połączony jest w układzie półmostka rysunek 3 i podłączony przez filtry analogowe do karty pomiarowej, która mierzy napięcia na obu elementach oraz natężenia przepływającego przez nie prądu, a dane przekazywane są do aplikacji na komputerze PC. Aplikacja na podstawie zadanej rezystancji odniesienia poszczególnych elementów oraz zmierzonych wielkości i danych kalibracyjnych, oblicza rezystancje, temperatury, moce elementów oraz stężenie gazu. Pozwala to na pełną analizę zachowania sensora.



Rys. 3. Podłączenie czujnika do układu pomiarowego

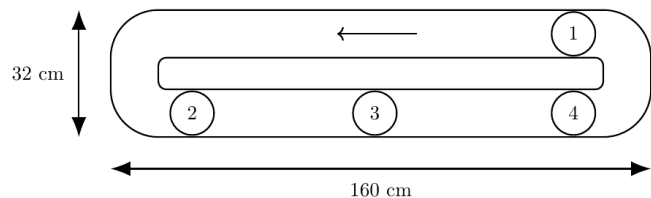
2.1. Zastosowane podzespoły

Gaz testowy osiąga prędkość docelową dzięki wentylatorowi DC o mocy 48 W i maksymalnej wydajności 309 m³/h, co w praktyce umożliwia uzyskanie przepływu rzędu 10 m/s. Jest to wartość wystarczająca do wykonania testów zgodności z normą PN-EN60079-29-1: *Atmosfera wybuchowe. Część 29-1: Detektory gazu*, która wymaga badań przy prędkościach 3 oraz 6 m/s [7]. Wentylator zasilany jest z zasilacza laboratoryjnego, co umożliwia płynną regulację jego obrotów. Ze względu na niejednostajny pobór prądu przez silniki tego typu, dołączony jest do niego układ filtrujący.

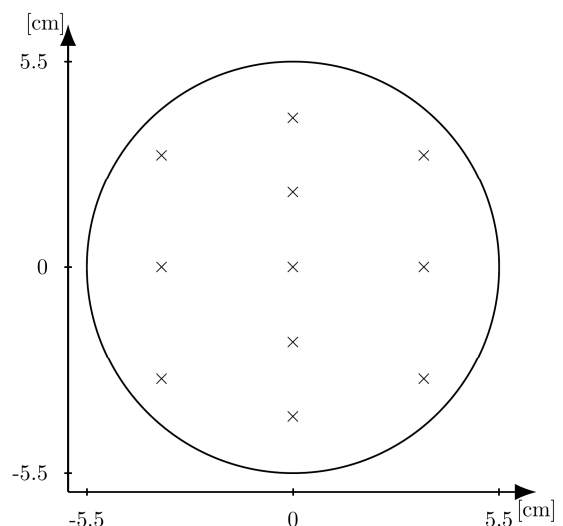
Przepływ wewnątrz komory jest mierzony za pomocą termooanemometru AM-4204 firmy Lutron o dokładności $\pm 5\% + 1$ cyfra odczytu lub $\pm 1\% + 1$ cyfra całego zakresu [5]. Pomiar parametrów sensora odbywają się z użyciem karty National Instruments DAQ USB-6211 BNC o dokładności wejść analogowych 2690 μ V [6]. Elementy sensora katalitycznego są podłączane zgodnie z rysunkiem 3, gdzie R_1 i R_2 to odpowiednio element aktywny i pasywny.

2.2. Umiejscowienie badanego czujnika

W konstrukcji stanowiska bardzo istotne było znalezienie odpowiedniego miejsca do umieszczenia badanego czujnika. Jako kryterium przyjęto tutaj rozkład prędkości gazu w przekroju poprzecznym tunelu. Przyjmując numerację z rysunku 4, wentylator znajdował się w otworze rewizyjnym nr 1. Naturalne więc było rozważenie otworów 3 i 4 jako potencjalne miejsca umieszczenia sensora. W tym celu spreparowano odpowiednią pokrywę otworu rewizyjnego, umożliwiającą umieszczenie termooanemometru w trzech pozycjach w poprzek tunelu — na środku oraz 3.5 cm od środka w obie strony. Ruchomy wysięgnik termooanemometru pozwolił także na badanie na różnych głębokościach. Ostatecznie pomiary wykonano w 11 punktach przedstawionych na rysunku 5.

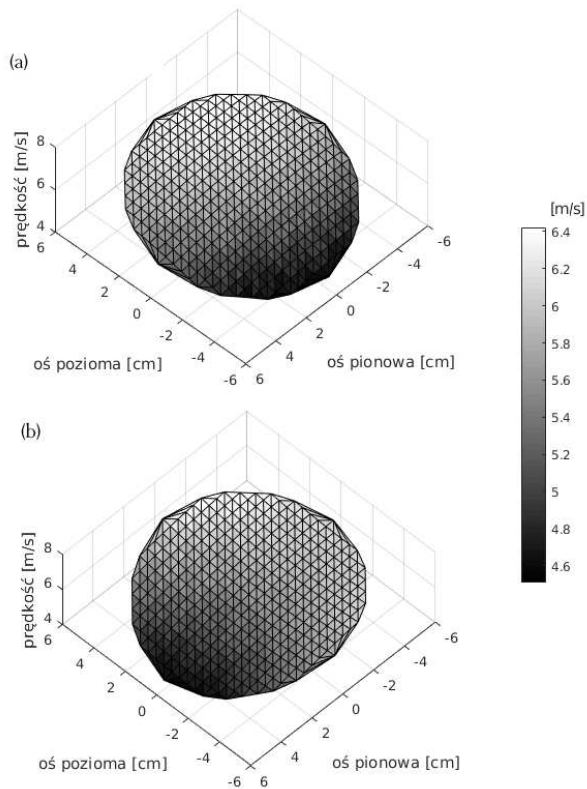


Rys. 4. Rozkład analizowanych otworów rewizyjnych w stanowisku



Rys. 5. Punkty, w których dokonano pomiaru prędkości

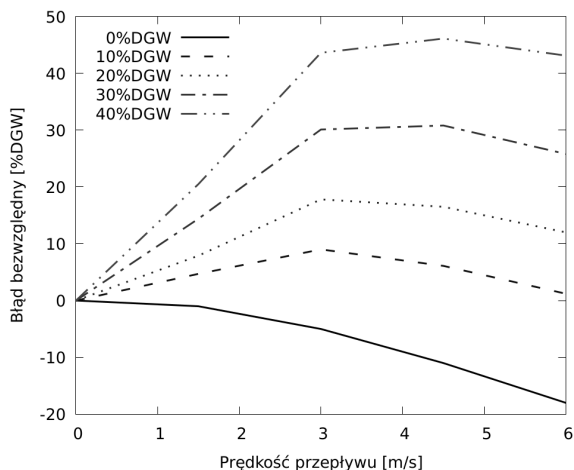
W celu zilustrowania rozkładu przepływów w przekroju poprzecznym, do punktów pomiarowych dopasowano płaszczyzny przedstawione na rysunku 6. Ponieważ rozrzut wartości przepływu w obu otworach był bardzo zbliżony (do 1.6 m/s), decyzję podjęto na podstawie kierunku gradientu prędkości. W związku z faktem, że wloty czujników były umieszczone poziomo, jako otwór pomiarowy przyjęto otwór nr 4.



Rys. 6 Rozkład prędkości w otworach nr 3 (a) oraz nr 4 (b)

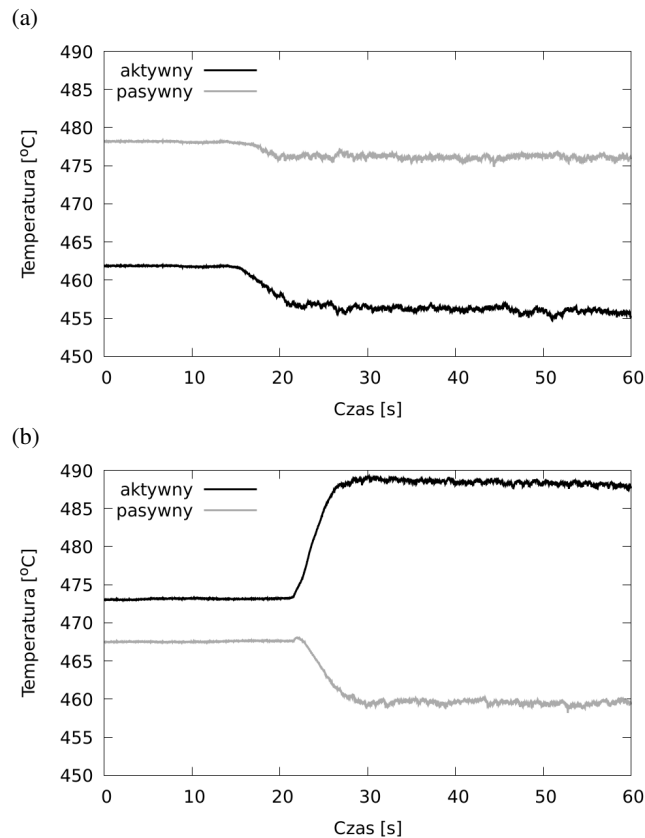
3. POMIARY

Pomiary przeprowadzono z wykorzystaniem czujnika katalicznego MI-02 firmy Hankook Gaskiki. Pierwsze badanie polegało na poddaniu odsłoniętego sensora działaniu mieszanki powietrza i propanu o stężeniach 0–40% DGW. Zarówno czujnik badany, jak i referencyjny zostały skalibrowane taką samą mieszkanką 40% DGW propanu. Badanie to miało niewielkie znaczenie praktyczne, ze względu na fakt, że czujniki kataliczne bez osłony przeciwybuchowej prawie nie są stosowane, pozwoliło jednak zaobserwować zjawiska zachodzące w sensorze pod wpływem przepływu medium. Wyniki przedstawia rysunek 7. Z uzyskanych wykresów oraz zasady działania sensora można wnioskować, że taki kształt przebiegów jest wynikiem działania więcej niż jednego zjawiska. W celu identyfikacji zachodzących procesów, przeanalizowano przebiegi czasowe temperatury elementów pelistora widoczne na rysunku 8.



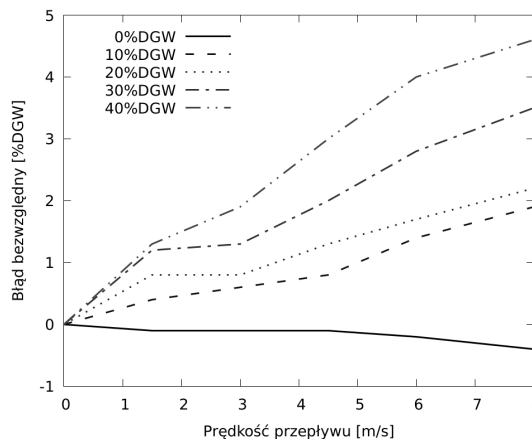
Rys. 7 Wpływ prędkości przepływu gazu na sensor bez osłony

W czystym powietrzu temperatura obu elementów spada, gdyż są skuteczniej chłodzone przez przepływający gaz, a na efekt ten bardziej wrażliwy jest element aktywny, co powoduje ujemny błąd. Natomiast po podaniu mieszanki z propanem pojawia się przyspieszenie dyfuzji i poprawa transportu gazu do elementu czulego, przez co wartość pomiaru jest zawyżana, ale zjawisko to dominuje jedynie w pewnym zakresie przepływów. Przy ich dalszym wzroście większą rolę zaczyna odgrywać chłodzenie, co widać na rysunku 7.



Rys. 8 Przebiegi temperatury elementów podczas skoku prędkości przepływu: (a) powietrza; (b) mieszanki z propanem

Następnie badanie powtórzono, tym razem zamykając sensor w odpowiedniej osłonie ze stali nierdzewnej, ze stanowiącym barierę ognioszczelną spiekem o grubości 5 mm osłoniętym odpowiednią konstrukcją. Wyniki przedstawia rysunek 9, natomiast osłona widoczna jest na rysunku 10. Rezultaty badania dla 6 m/s prezentuje tablica 1



Rys. 9 Wpływ prędkości przepływu gazu na sensor w osłonie



Rys. 10 Zastosowana osłona sensora

Tablica 1. Błędy badanego sensora przy przepływie gazu 6 m/s

	Stężenie przy 0 m/s [% DGW]	Stężenie przy 6 m/s [% DGW]	Błąd bezwzględny [% DGW]	Błąd względny [%]
Bez osłony	0	-18	-18	-
	11.3	12.5	1.2	10.6
	19.3	31.3	12	62.2
	29.7	55.5	25.8	86.9
	42.3	85.4	43.1	101.9
W osłonie	0	-0.2	-0.2	-
	11.3	12.7	1.4	12.4
	21.4	23.1	1.7	7.9
	31.3	34.1	2.8	8.9
	42.6	46.6	4	9.4

Norma poniżej 20% DGW wymaga błędu mniejszego niż 10% zakresu lub 20% wskazania, przy 20–100% DGW odpowiednio 5% i 10%. Badany czujnik spełnia więc jej wymagania pod kątem odporności na przepływ gazu.

4. PODSUMOWANIE

W niniejszym artykule przedstawiono system umożliwiający badanie czujników gazów pod kątem odporności na prędkość przepływu mierzonego medium. Konstrukcja posiada względnie niewielkie rozmiary, jest łatwa w modyfikacji i stosunkowo tania w konstrukcji, a przy tym spełnia swoje zadanie. Ponieważ norma PN-EN60079-29-1 w punkcie 5.4.9 dopuszcza wykorzystanie oprzyrządowania nieobejmującego całej obudowy czujnika, zbudowana instalacja może służyć nawet do zgodnych z nią testów. Również wymagania w kwestii dokładności regulacji przepływu, dzięki zastosowaniu odpowiedniego termoanemometru oraz sterowanego zasilacza laboratoryjnego do regulacji prędkości wentylatora, spełniają wspomnianą normę.

Wykonano badania na pelistorowym czujniku gazu ilustrujące wpływ przepływu gazu na jego działanie. Przykładowe konfiguracje zostały zestawione z wymaganiami normatywnymi. Okazało się, że czujniki katalityczne nie mogą

być używane bez osłon nie tylko ze względu na przeciwybuchowość, ale także na bardzo dużą wrażliwość na ruchy powietrza. Natomiast w połączeniu z badaną osłoną czujnik spełnił wymagania dla urządzeń grupy II zdefiniowane w normie. Przy doborze osłony należy jednak także pamiętać o zwróceniu uwagi na wprowadzony przez nią błąd dynamiczny pomiaru.

Badania wykazały użyteczność skonstruowanego urządzenia przy sprawdzaniu wpływu przepływu na czujniki gazów. Posiada ono także potencjał jako stanowisko dydaktyczne, pozwalając podczas zajęć laboratoryjnych nie tylko obserwować błędy czujników gazów, ale także badać anemometrię. Aktualnie urządzenie jest stosowane do projektowania oraz testowania zgodności z normą nowych prototypów osłon różniących się kształtem, rodzajem zabezpieczeń mechanicznych oraz grubością i porowatością spieków.

5. PODZIĘKOWANIA

Badania zostały częściowo sfinansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Laboratoria, część aparatury i materiały eksploatacyjne zostały zapewnione przez firmę Atest-Gaz A. M. Pachole sp. j.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Frączek J.: Aparatura przeciwybuchowa w wykonaniu iskrobezpiecznym. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, 1995.
2. Goepel W., Jones T., Kleitz M., Lundström I., Seiyama T., Hesse J., and Zemel J.: Sensors, Chemical and Biochemical Sensors, vol. 2. John Wiley & Sons, 1991.
3. Jabłoński K., Grychowski T.: The Method for Easy Identifying Zero Temperature Drift of Catalytic Bead Sensor. XV International Scientific Conference on Optoelectronic and Electronic Sensors (COE) 2018, s. 1-4.
4. Bogacz R.: Model matematyczny dyfuzji metanu przez osłonę ognioszczelną czujnika pelistorowego. Zeszyty Naukowe. Elektryka/Politechnika Śląska 181, 2002, s. 25-34.
5. Lutron: Hot Wire Anemometer, Model: AM-4204.
6. National Instruments: DAQ M Series: NI USB-621x User Manual.
7. Polski Komitet Normalizacyjny: PN-EN60079-29-1 atmosfery wybuchowe część 29-1: Detektory gazu wymagania metrologiczne i funkcjonalne detektorów gazów palnych, Polska Norma, listopad 2017.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GAS FLOW SPEED ON CATALYTIC SENSORS

Catalytic sensors are a very important category of sensors that ensure the safety of people and property in industry. Used in many branches of the mining and chemical industries, they help to prevent explosions by informing about the increased concentration of flammable gases in the atmosphere. Despite many advantages, these sensors have a certain disadvantage characteristic for many types of gas sensors, which is sensitivity to physical gas parameters. In addition to temperature, humidity or pressure, the sensor can also be affected by the flow rate of the measured gas. This paper describes the construction of a test bench which allows testing of the influence of gas flow velocity. The device is characterized by relatively small size and low construction cost. The article also presents the results of examinations of an exemplary catalytic sensor. The tests of uncovered sensors allows to interpret the physical phenomena accompanying the gas flow and results from sensor with housing ware referenced to the standard.

Keywords: gas concentration, catalytic sensors, flow velocity, wind, sensor errors.