

System kondycjonowania próbek gazowych do optoelektronicznego sensora markerów chorobowych

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych układu kondycjonowania próbek gazowych do optoelektronicznego sensora markerów chorobowych. Omówiono zasadę działania systemu do wykrywania biomarkerów chorobowych w wydychanym powietrzu wykorzystującego techniki spektroskopii laserowej. Wyjaśniono konieczność stosowania układów umożliwiających osiągnięcie odpowiednich parametrów próbek pomiarowych poddawanych badaniom oraz dostarczenie ich do czujników.

Abstract. This thesis presents the results of experimental studies of the gas sample's conditioning system for optoelectronic sensor disease markers. One discussed the principle of operation of the system for the detection of disease biomarkers in exhaled breath using laser spectroscopy techniques. There had been explained the need of using conditioning systems to achieve the relevant parameters of the measurement samples to be tested and to provide them to the sensors. (**Gas sample's conditioning system for optoelectronic sensors' disease markers**).

Słowa kluczowe: optoelektroniczne sensory gazów, osuszanie nafionowe, kondycjonowanie próbek gazowych.

Keywords: optoelectronic gas sensors, Nafion drying, gas sample conditioning.

Wprowadzenie

W ostatnich latach coraz bardziej zyskują na popularności badania nad urządzeniami umożliwiającymi bezinwazyjną ocenę stanu zdrowia pacjentów. Polegają one na analizie stężeń związków chemicznych charakterystycznych dla konkretnych chorób, zawartych w wydychanym przez człowieka powietrzu, tzw. biomarkerów. Jedną z metod ich wykrywania jest laserowa spektroskopia absorpcyjna. Detekcja markerów chorobowych przy użyciu tej metody polega na pomiarze absorpcji promieniowania optycznego na długościach fal charakterystycznych dla poszukiwanych biomarkerów. Zasada działania absorpcyjnej metody detekcji gazów została przedstawiona na rysunku 1.

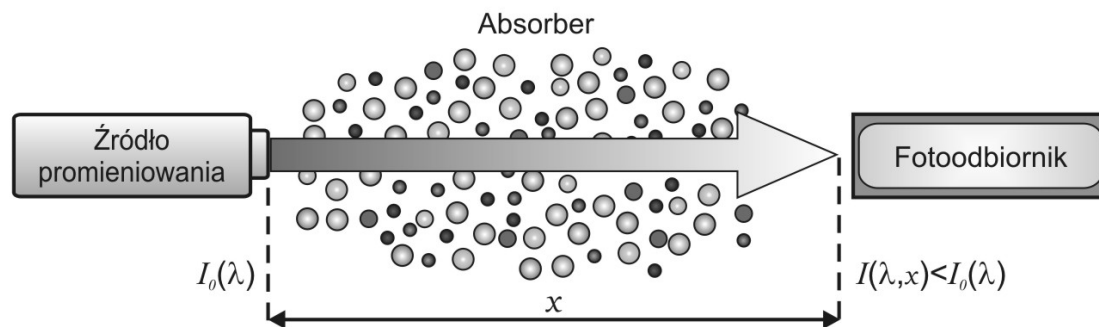
W Wojskowej Akademii Technicznej trwają prace nad opracowaniem optoelektronicznego sensora umożliwiającego wykrywanie lotnych markerów chorobowych. W sensorze tym wykorzystane zostały ultraczułe techniki absorpcyjnej spektroskopii laserowej, w szczególności spektroskopii w komórkach wieloprzejściowych oraz spektroskopii strat we wnęce optycznej (CEAS). W celu zapewnienia wiarygodnych wyników badań, konieczne było zbudowanie układu umożliwiającego pobranie od pacjenta próbki zawierającej maksymalne stężenieżądanego biomarkera oraz poddanie jej procesowi kondycjonowania. Ze względu na charakter prowadzonych badań, próbka pomiarowa musi być starannie przygotowana. Przed przystąpieniem do badań konieczna jest minimalizacja wpływu interferentów, jakimi są m.in. zawarta w wydychanym powietrzu woda czy

ditlenek węgla. W tym celu, przed rozpoczęciem badania, należy w komorze pomiarowej czujnika wytworzyć podciśnienie, a następnie dostarczyć do niej pozbawiony wilgoci biomarker w fazie lotnej. Wytworzenie podciśnienia jest niezbędne w celu „rozseparowania” linii widmowych komponentów zawartych w wydychanym powietrzu. Powyższe wymagania zapewnia układ kondycjonowania.

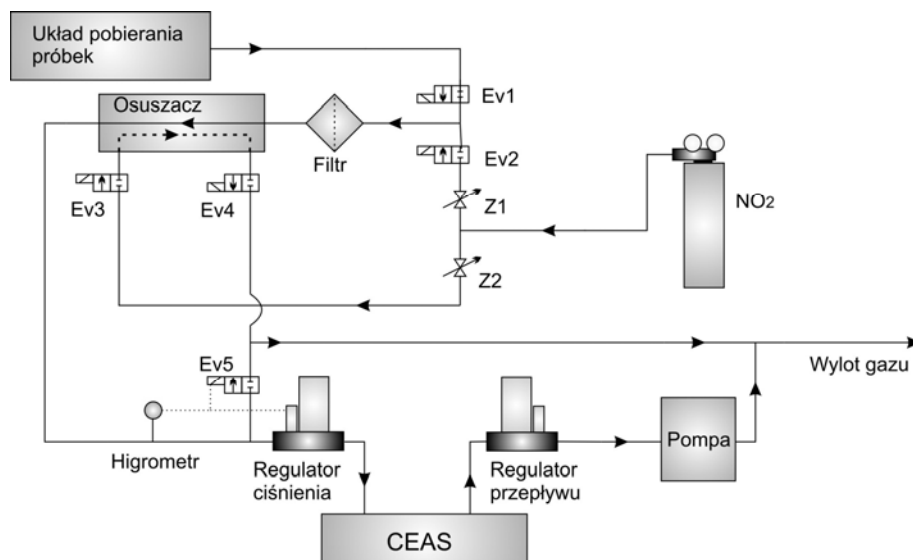
Opis układu kondycjonowania

Układ kondycjonowania zbudowany jest z: filtra koalescencyjnego, osuszacza nafionowego, pompy próżniowej, regulatora przepływu, regulatora ciśnienia, higrometru oraz zestawu elektrozaworów. Na rysunku 2 przedstawiono schemat blokowy tego układu.

Za osuszenie badanej próbki powietrza odpowiada osuszacz nafionowy. Urządzenie to umożliwia usuwanie wody z próbek gazowych w sposób ciągły, nie powodując przy tym strat w analizowanej próbce. Posiada ono kilka splotów rurek nafionowych umieszczonych w powłoce z łącznikami, przez które w kierunku przeciwnym do kierunku przepływu badanego powietrza, przepływa gaz osuszający [5]. Podczas przepływu badanego gazu przez rurkę nafionową, para wodna zostaje zaabsorbowana na jej ściankach. Po zewnętrznej stronie ścianki rurki przepływa gaz osuszający, który wyodrębnia parę wodną z badanego strumienia gazu.



Rys. 1. Zasada działania absorpcyjnej metody detekcji gazów



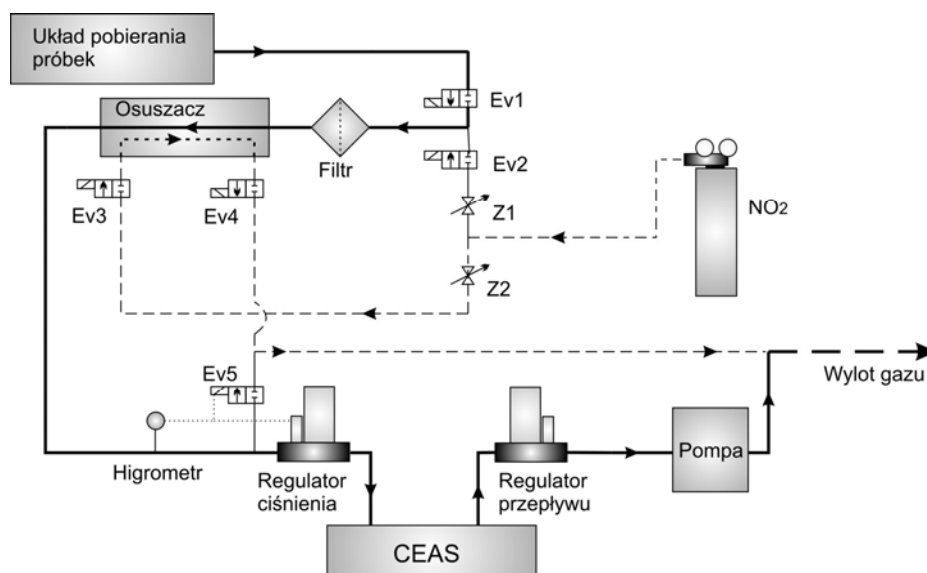
Rys. 2. Schemat blokowy układu kondycjonowania do czujnika CEAS

Wytworzenie podciśnienia w układzie możliwe jest dzięki zastosowaniu regulatora przepływu, regulatora ciśnienia oraz pompy próżniowej. Umieszczona na końcu układu pompa próżniowa zapewnia ciągłość przepływu badanego gazu przez układ. Umożliwia ona osiągnięcie dużych prędkości przepływu, dlatego też w układzie kondycjonowania zastosowano regulator przepływu gazu model SLA 5850. Regulator ten umożliwia sterowanie przepływem gazu w zakresie od 0 do 5 dm³/min. Natomiast regulator ciśnienia (model SLA 5810) umożliwia wytworzenie odpowiedniego podciśnienia, wynikającego z wymagań poszczególnych sensorów optoelektronicznych.

Kierunek przepływu gazu przez układ kondycjonowania zależy od zmian nastaw poszczególnych elektrozaworów. Sterowanie układem możliwe jest dzięki

specjalnie opracowanej aplikacji w języku programowania LabVIEW.

Praca układu kondycjonowania przebiega w trzech etapach. Pierwszy polega na przygotowaniu układu do badań, tzn. wprowadzeniu suchego gazu osuszającego. Jego zadaniem jest usunięcie z układu szczytkowych zanieczyszczeń oraz wilgoci, które mogłyby się w nim pojawić w przypadku, gdy układ kondycjonowania i czujnik przez długi czas nie były uruchamiane. Jeżeli higrometr wskaże spadek wilgoci poniżej 5%, świadczy to o gotowości układu do rozpoczęcia kolejnego etapu pracy, jakim jest wytworzenie żądanego podciśnienia w komorze pomiarowej czujnika. Po osiągnięciu tych parametrów rozpoczyna się trzeci etap, który został przedstawiony na rysunku 3.



Rys. 3. Przepływ gazu przez układ podczas trwania badania z użyciem czujnika CEAS

Trzeci etap pracy układu polega na pobraniu, z układu pobierania próbek, powietrza przeznaczanego do badań (linia pogrubiona). Linia przerywaną oznaczony został natomiast przepływ gazu osuszającego przez układ.

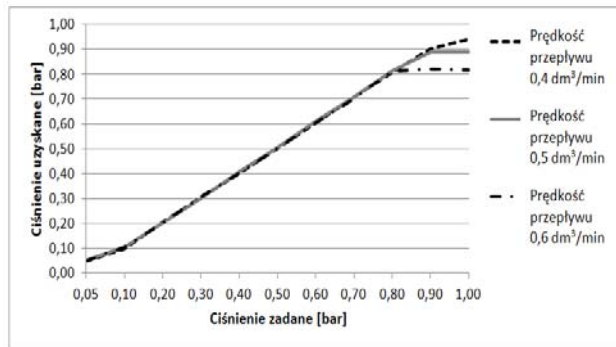
Wyniki badań

Podczas trwania prac nad układem kondycjonowania, przeprowadzono szereg badań cząstkowych pozwalających

na zbudowanie precyzyjnego układu umożliwiającego uzyskanie odpowiednich parametrów badanej próbki, zgodnych z wymaganiami sensorów spektroskopowych. Niezwykle ważne było zbadanie zakresu sterowania ciśnieniem, w komorze sensora CEAS, oraz weryfikacja stopnia osuszenia gazu.

Pierwsze badanie przeprowadzono zmieniając nastawy ciśnienia w zakresie od 50 mbar do ~1 bar. Badanie to

wykonano dla trzech wartości prędkości przepływu gazu: 0,4 dm³/min, 0,5 dm³/min oraz 0,6 dm³/min. Pomiar przeprowadzono z częstotliwością 1 Hz. Na rysunku 4 przedstawiona została charakterystyka ciśnienia uzyskanego w funkcji ciśnienia wymuszanego, dla trzech wartości prędkości przepływu gazu.

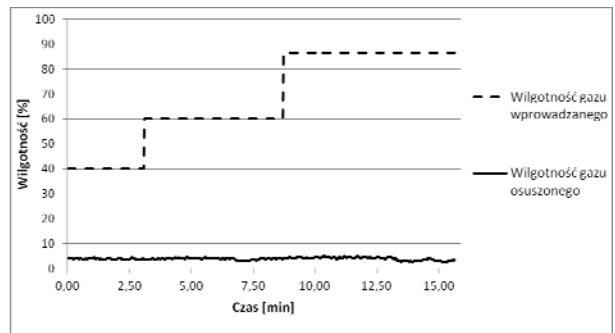


Rys. 4. Charakterystyka zależności ciśnienia uzyskanego od ciśnienia zadanego

Z powyższej charakterystyki wynika, że opracowany układ umożliwia wytworzenie ciśnienia w zakładanym, szerokim zakresie od 50 mbar do 900 mbar. Od około 100 mbar do 800 mbar sterowanie układem odbywa się w sposób liniowy. Powyżej wartości 800 mbar, wytwarzane ciśnienie zależne jest od prędkości przepływu gazu przez układ. Zależność ta wskazuje, że dla większych prędkości przepływu, np. 0,6 dm³/min, maleje maksymalne możliwe do osiągnięcia ciśnienie gazu. Ze względu na wykorzystanie różnych rodzajów sensorów w systemie detekcji markerów chorobowych, konieczny jest dobór takiej prędkości przepływu, aby umożliwić osiągnięcie ciśnienia w pełnym zakresie pomiarowym, tj. od 50 mbar do ~1 bar. Z przeprowadzonych badań wynika, że zakres regulacji zwiększa się wraz ze spadkiem prędkości przepływu gazu. Jednak powolny przepływ, wiąże się również z wydłużeniem czasu pobierania gazu z układu pobierania próbek. Założono, że optymalną prędkością przepływu jest 0,5 dm³/min.

Celem drugiego badania była weryfikacja stopnia osuszania gazu przez układ. Badanie przeprowadzone zostało przy użyciu generatora gazów wzorcowych Kintek. Do wcześniej przygotowanego, suchego układu wprowadzany był gaz o ściśle określonej wilgotności. Wartość wilgotności gazu zmieniano stopniowo od 40% do 88%. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 4.

Z powyższej charakterystyki wynika, że natychmiast po wprowadzeniu gazu wilgotnego układ rozpoczyna osuszanie. Minimalna uzyskana w układzie wilgotność waha się w granicach 2,9 - 4,2%. Wartość ta utrzymuje się na tym poziomie niezależnie od stopnia zawilgocenia wprowadzanego gazu. Oznacza to, że układ działa poprawnie i umożliwia osuszenie badanej próbki pomiarowej z niepewnością pozwalającą na przeprowadzenie badań z czujnikami spektroskopowymi.



Rys. 5. Charakterystyka określająca stopień osuszania gazu

Podsumowanie

W pracy omówiono zasadę działania systemu służącego do wykrywania biomarkerów. Wykazano, że istnieje konieczność opracowania odpowiedniego podsystemu umożliwiającego przygotowanie próbek pomiarowych przed ich przesłaniem do czujników spektroskopowych. Przeprowadzono badania eksperymentalne układu kondycjonowania. Na podstawie osiągniętych wyników można stwierdzić, że układ działa poprawnie. Umożliwia on przygotowanie próbek gazowych do badań z sensorami spektroskopowymi.

Wyniki badań osiągnięto w ramach Projektu Sensormed realizowanego w ramach Programu Badań Stosowanych (ID 179900) finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Projektu Badawczego finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (ID 170927).

LITERATURA

- [1] Buszewski B., Grzywiński D., Ligor T., Stacewicz T., Bielecki Z., Wojtas J., Detection of volatile organic compounds as biomarkers in breath analysis by different analytical techniques. *Bioanalysis*, 5(18), 2287-306, 2013
- [2] Bielecki Z., Wojtas J., Stacewicz T., Zastosowanie laserów kaskadowych do detekcji śladowych ilości gazów, *XIII Krajowa Konferencja Elektroniki* (2014)
- [3] Szabra D., Prokopiuk A., Majsterek D., Zając A., Mikroprocesorowy układ pobierania próbek powietrza z oddechu ludzkiego, *Elektronika* (LV), nr 12/2014, 29
- [4] Optoelektroniczny sensor ditlenku azotu – analiza i wymagania konstrukcyjne. Praca zbiorowa pod red. Z. Bieleckiego i T. Stacewicza, Warszawa, WAT, 2011
- [5] <http://www.atut.lublin.pl/plk/nafion.pdf>

Autorzy: mjr dr inż. Dariusz Szabra, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: dariusz.szabra@wat.edu.pl; mjr mgr inż. Artur Prokopiuk, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: artur.prokopiuk@wat.edu.pl; prof. dr hab. inż. Zbigniew Bielecki, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa; inż. Anna Zając, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa; inż. Dominika Majsterek, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa.