

System wykrywania i identyfikacji zanieczyszczeń gazowych atmosfery

Streszczenie. W przeciągu kilku ostatnich dziesięcioleci nastąpił gwałtowny wzrost poziomu zanieczyszczeń gazowych atmosfery. Jest on skutkiem szybkiego rozwoju produkcji przemysłowej i wykorzystania w niej coraz większej liczby i ilości substancji chemicznych. Wykrywanie, identyfikacja i monitorowanie poziomu zanieczyszczeń gazowych atmosfery, będących skutkiem emisji gazów przez zakłady przemysłowe, wymaga stosowania czułych i niezawodnych systemów sensorowych mających zdolność ciągłej długoterminowej pracy.

W pracy przedstawiono system wykrywania i identyfikacji zanieczyszczeń gazowych atmosfery umożliwiający monitorowanie poziomu zanieczyszczeń na wybranym obszarze. Głównymi elementami systemu są: Centrum Monitorowania Skażeń oraz, zbudowane w oparciu o lasery kaskadowe, detektory skażeń. Działanie systemu przedstawiono na przykładzie monitorowania poziomu zanieczyszczenia powietrza amoniakiem na terenie Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie.

Abstract. In the last few decades there has been a sharp increase in the level of gaseous pollution in the atmosphere. It is the result of the rapid development of industrial production and use of the growing number various types of chemicals. So, detection, identification and monitoring of atmospheric gaseous pollutants resulting from emissions from industrial plants is of great importance and for this purpose the sensitive and reliable sensor systems with the ability of continuous long-term operation are required.

This paper presents a system for the detection and identification of gaseous pollutants in the atmosphere that allows monitoring of pollution levels in the selected area. The main elements of the system are: Contamination Monitoring Centre and Contamination Detectors built using the cascade lasers. The operation of the system is exemplified by monitoring levels of pollution with ammonia in the air on the area of the Military Technical University in Warsaw (MTU). (**System of detection and identification of the atmosphere gaseous pollution**).

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia gazowe atmosfery, ochrona środowiska, lasery kaskadowe, wykrywanie, sensory.

Keywords: gaseous air pollutants, environment protection, quantum cascade lasers, detection, sensors.

Wstęp

Szybki rozwój poziomu produkcji przemysłowej, jaki nastąpił w ostatnich dziesięcioleciach, w połączeniu z wykorzystaniem w niej coraz większej liczby i ilości substancji chemicznych skutkuje emisją do atmosfery coraz większej ilości szkodliwych dla środowiska gazów przemysłowych. Emisja ta jest głównym źródłem zanieczyszczeń gazowych atmosfery i przyczynia się w decydującym stopniu do gwałtownego wzrostu stopnia skażenia atmosfery ziemskiej.

Poznanie wpływu zanieczyszczeń na degradację środowiska naturalnego, coraz bardziej odczuwalne przez ludzkość negatywne skutki skażenia atmosfery, wzrost poziomu edukacji ekologicznej społeczeństwa oraz proekologiczne zmiany w prawie międzynarodowym przyczyniają się do intensyfikacji wysiłków mających na celu ograniczenie emisji szkodliwych gazów do atmosfery. Jednocześnie dąży się do ciągłego monitorowania poziomu zanieczyszczeń atmosfery oraz przestrzegania przez zakłady przemysłowe coraz bardziej restrykcyjnych norm związanych z ilością emitowanych do środowiska naturalnego zanieczyszczeń.

Wykrywanie, identyfikacja i monitorowanie poziomu zanieczyszczeń gazowych atmosfery wymaga stosowania szybkich, niezawodnych i czułych systemów pomiarowych. Systemy takie powinny umożliwiać monitorowanie poziomu zanieczyszczeń atmosfery na określonym obszarze i charakteryzować się możliwością nieprzerwanej, bezobsługowej pracy na przestrzeni wielu miesięcy. W przeciągu kilku ostatnich lat obserwuje się coraz szersze zastosowanie w monitoringu skażenia atmosfery optycznych systemów detekcji gazów, w których wykorzystuje się lasery kaskadowe i komórki wieloprzejściowe [1, 2, 3]. Systemy takie należą obecnie do najczulszych detektorów gazów i charakteryzują się czułością na poziomie pojedynczych ppt [4, 5]. Ich konstrukcja i parametry techniczne umożliwiają budowę rozbudowanych systemów detekcji skażeń atmosfery zdolnych do monitorowania poziomu zanieczyszczeń powietrza na dużych obszarach terenu lub wokół zakładów

przemysłowych.

Budowa i zasada działania systemu

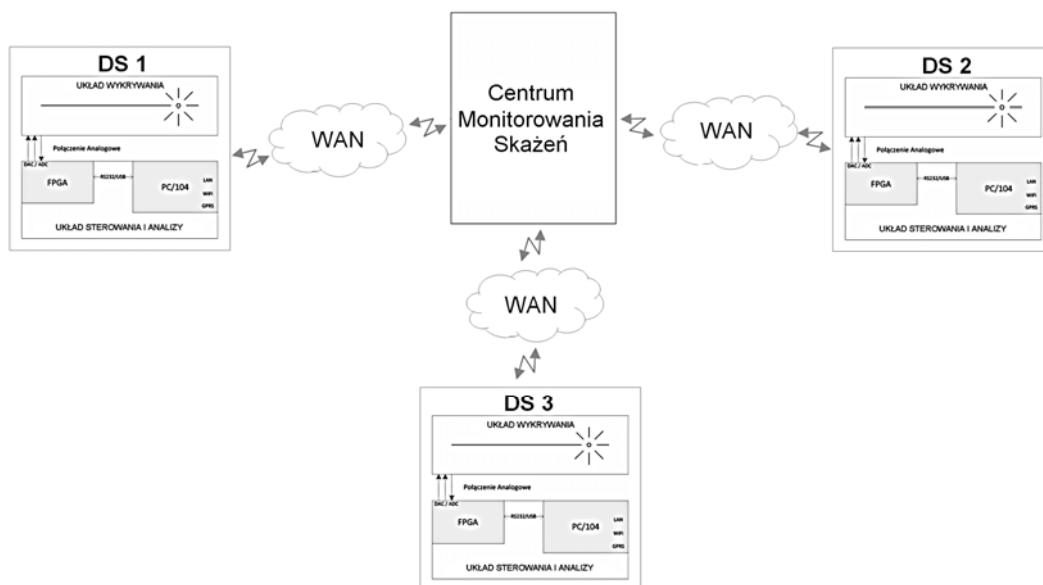
System umożliwiający wykrywanie i identyfikację zanieczyszczeń gazowych atmosfery został opracowany i wykonany we współpracy Instytutu Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej oraz firmy AM Technologies sp. z o.o. [6]. Schemat blokowy systemu przedstawiono na rysunku 1.

System składa się z Centrum Monitorowania Skażeń (CMS) oraz detektorów skażeń (DS). W skład systemu może wchodzić dowolna ilość detektorów skażeń. Ich liczba uzależniona jest od obszaru, na którym monitorowane ma być skażenie atmosfery i wymagań użytkownika. Widok detektora skażeń przedstawiono na rysunku 2.

Detektor skażeń zbudowany jest z układu wykrywania oraz układu sterowania i analizy. W układzie wykrywania generowana jest wiązka promieniowania IR, która poprzez komórkę wieloprzejściową zawierającą analizowane powietrze atmosferyczne, kierowana jest do detektora IR. Dokonuje on zamiany sygnału IR na sygnał elektryczny zawierający informację o rodzaju zanieczyszczeń gazowych oraz ich stężeniu.

Układ sterowania i analizy steruje pracą układu wykrywania, dokonuje akwizycji sygnałów z detektora IR, czujników temperatury i ciśnienia mieszanki gazów w komórce wieloprzejściowej oraz dokonuje ich analizy. W wyniku tej analizy układ wykrywa i określa rodzaj zanieczyszczeń gazowych, ich stężenia oraz związany z nim poziom zagrożenia. Informacje te są przesyłane, poprzez układ bezprzewodowej transmisji danych, do CMS.

Centrum Monitorowania Skażeń zbudowane jest w oparciu o komputer klasy PC z zainstalowanym specjalizowanym oprogramowaniem. Odbiera ono dane pomiarowe z detektorów skażeń, umożliwia ich archiwizację i wizualizację. Przy rozbudowanej bazie DS Centrum stanowi miejsce centralizacji wszystkich danych, zobrazowania na mapie aktualnych pozycji detektorów oraz alarmowania o przekroczeniu dopuszczalnych progów stężeń zanieczyszczeń.

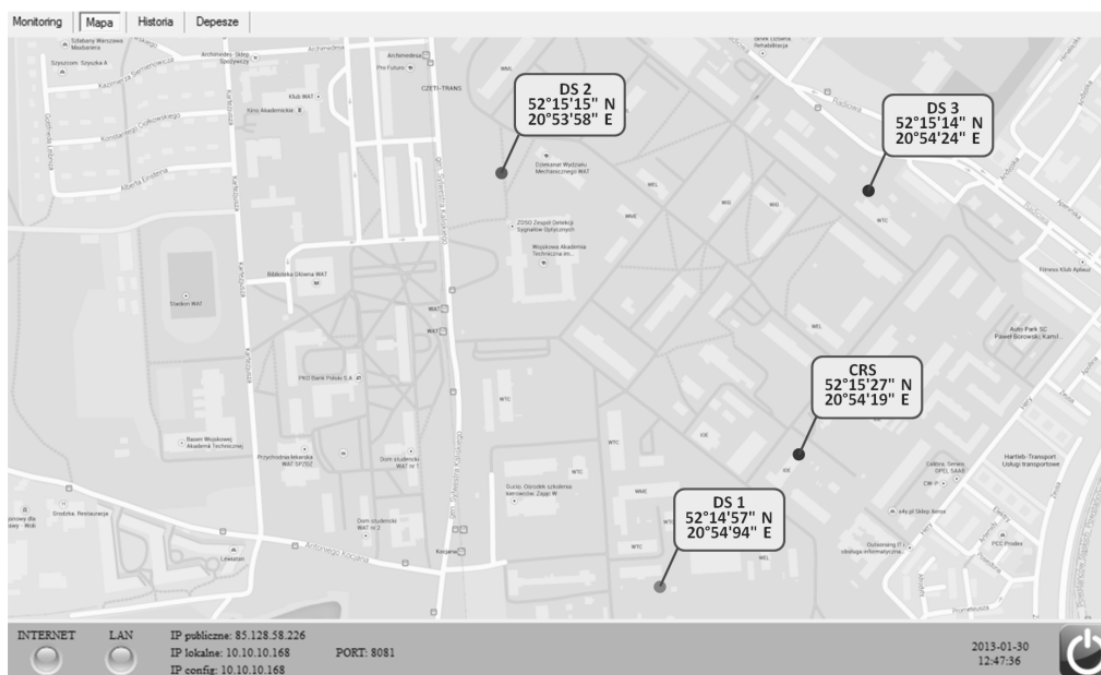


Rys. 1. Budowa systemu wykrywania i identyfikacji zanieczyszczeń gazowych atmosfery



Rys. 2. Widok detektora skażeń

W systemie zaimplementowano bazę AEGL (*Acute Exposure Guideline Levels*), która definiuje graniczne wartości stężeń oraz dopuszczalne czasy ekspozycji dla wybranych gazów przemysłowych. W trakcie badań wykorzystywane są dane dotyczące aktualnie wykrywanego gazu (w naszym przypadku amoniaku). Baza AEGL uwzględnia kilka poziomów narażenia, poniżej których nie występują lub są mało prawdopodobne określone efekty zdrowotne dla ludzi oraz różne czasy ekspozycji na działanie toksycznych gazów, od 10 minut do 8 godzin. Stosuje się w niej trzy poziomy narażenia: AEGL-1, AEGL-2 i AEGL-3 dla każdego z pięciu czasów ekspozycji: 10 min, 30 min, 1 h, 4 h oraz 8 h. Poziomy te różnią się stopniem zagrożenia efektami oddziaływania na organizm ludzki przez dany gaz.



Rys. 3. Rozmieszczenie elementów systemu na terenie WAT podczas badań

Prezentowany system charakteryzuje się budową modułową umożliwiającą dostosowanie go do wykrywania dowolnych zanieczyszczeń gazowych. Rodzaj i liczba wykrywanych zanieczyszczeń uzależniona jest od wymagań użytkownika. Parametry dostępnych obecnie komercyjnie laserów kaskadowych, będących źródłem promieniowania IR w systemie, pozwalają na wykrycie praktycznie każdego ze znanych zanieczyszczeń gazowych atmosfery.

Konstrukcja i wymiary detektorów skażeń umożliwiają zbudowanie z ich wykorzystaniem mobilnego laboratorium wykrywania skażeń i wykonywanie map skażeń wokół zakładów przemysłowych lub na terenach miejskich oraz identyfikację źródeł (emitentów) skażenia atmosfery.

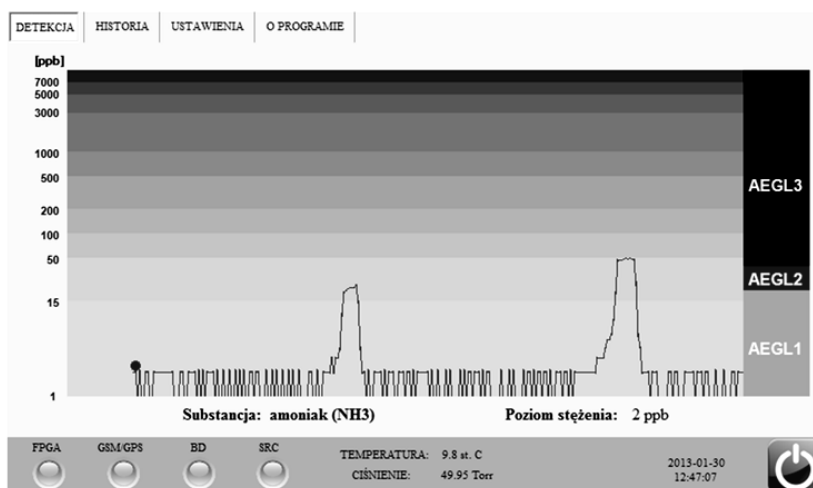
Wyniki badań

Działanie systemu przedstawiono na przykładzie monitorowania poziomu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego amoniakiem na terenie zamkniętym Wojskowej Akademii Technicznej. Stężenie tego gazu w powietrzu mierzone było w trzech punktach. Rozmieszczenie elementów systemu podczas badań, zobrazowane na mapie CMS, przedstawiono na rysunku 3.

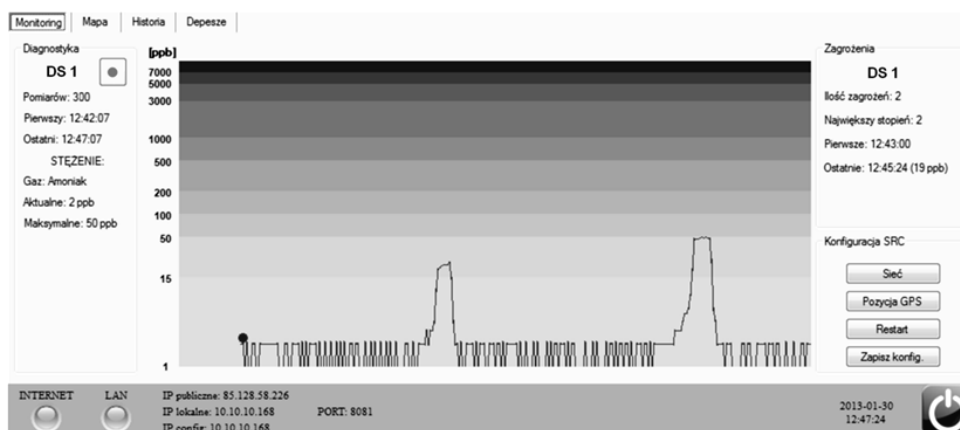
Centrum Rozpoznania Skażeń umiejscowiono w budynku Instytutu Optoelektroniki WAT, natomiast detektory skażeń rozmieszczono na terenie WAT. W trakcie pomiarów DS przesyłały bezprzewodowo w czasie rzeczywistym wyniki do CMS. Należy zaznaczyć, iż aktualna pozycja poszczególnych detektorów jest określana

z wykorzystaniem modułów GPS, które znajdują się na wyposażeniu każdego z nich.

Na podstawie pomiarów stwierdzono, że średnie stężenia amoniaku w powietrzu atmosferycznym na terenie WAT równe jest ~2 ppb. Należy dodać, iż człowiek, dzięki narządowi powonienia, wykrywa pary amoniaku o stężeniu w powietrzu na poziomie 5 ppm. Jest to dolna granica stężenia amoniaku w powietrzu, która nie wpływa jeszcze destruktywnie na stan ludzkiego zdrowia. W celu sprawdzenia działania systemu w trakcie badań, w pobliżu DS 1, dwukrotnie wyemitowano do atmosfery niewielkie ilości mieszanki wzorcowej azot-amoniak o stężeniu amoniaku równym 1 ppm. W obydwu przypadkach detektor wykrył zwiększone stężenie gazu w powietrzu i przesłał informację o przekroczeniu dopuszczalnego progu stężenia do CMS. Przykładowy widok przedstawiający zobrazowanie wyników pomiarów na ekranie DS 1 pokazano na rysunku 4. Na rysunku można zaobserwować dwukrotne chwilowe zwiększenie stężenia amoniaku spowodowane emisją mieszanki wzorcowej. Każdorazowe przekroczenie dopuszczalnego progu stężenia (o wartości możliwej do określenia przez użytkownika) powoduje wywołanie alarmu dźwiękowego i graficznego zarówno w detektorze skażeń, jak i w Centrum Monitorowania Skażeń. Informacje z Centrum mogą być przesyłane w czasie rzeczywistym do służb monitorujących i reagujących na skażenie powietrza toksycznymi gazami.



Rys. 4. Widok ekranu DS1 podczas pomiaru stężenia amoniaku na terenie WAT



Rys. 5. Widok ekranu CMS podczas pomiaru stężenia amoniaku na terenie WAT

Przykładowy widok przedstawiający zobrazowanie wyników pomiarów na ekranie CMS przedstawiono na rysunku 5. Na ekranie ukazane są dane przesyłane przez DS 1 w trakcie pomiarów w czasie pięciu minut. CMS odnotowało dwa zagrożenia związane z przekroczeniem dopuszczalnego progu stężenia amoniaku w powietrzu, pierwsze o godz. 12:43:00, drugie natomiast o godz. 12:45:24.

Przeprowadzone badania potwierdziły bardzo dużą czułość systemu i możliwość wykrywania przez niego skażeń na poziomie pojedynczych ppb. Konfiguracja systemu: rodzaj wykrywanych gazów, liczba detektorów oraz ich rozmieszczenie może być dobrana zgodnie z wymaganiami użytkownika. Konstrukcja detektorów, ich rozmiary oraz możliwość zasilania z wykorzystaniem akumulatorów umożliwiają rozmieszczenie systemu w terenie bez konieczności dostępu do stacjonarnej sieci zasilania. System może zostać także wykorzystany do ostrzegania przed przekroczeniem dozwolonego poziomu zanieczyszczeń lub wyciekami chemikaliów w zakładach przemysłowych, w których wykorzystuje się w procesie produkcji toksyczne gazy przemysłowe.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono system umożliwiający wykrywanie, identyfikację i monitorowanie poziomu zanieczyszczeń gazowych atmosfery na wybranym obszarze. Zbudowany on został z wykorzystywaniem detektorów skażeń, w których zastosowano lasery kaskadowe i komórki wieloprześciowe. Liczba detektorów w systemie uzależniona jest od wielkości obszaru, na którym ma być monitorowany poziom skażenia atmosfery.

Działanie systemu zaprezentowano na przykładzie monitorowania poziomu skażenia powietrza atmosferycznego amoniakiem na terenie Wojskowej Akademii Technicznej. Na podstawie pomiarów stwierdzono, iż średnie stężenia amoniaku w powietrzu na badanym obszarze wynosi ~ 2 ppb.

Prezentowany system charakteryzuje się bardzo dużą czułością i umożliwia nieprzerwane, długoterminowe monitorowanie poziomu wybranych zanieczyszczeń gazowych atmosfery. Rodzaj wykrywanych skażeń można dostosować do wymagań użytkownika poprzez

zastosowanie laserów kaskadowych o odpowiednich parametrach technicznych.

Praca została wykonana w ramach Projektu Badań Stosowanych Nr PBS1/B3/2/2012 pod tytułem: „Emitery i detektory podczerwieni nowej generacji do zastosowań w urządzeniach do detekcji śladowych ilości zanieczyszczeń gazowych” finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

LITERATURA

- [1] Kosterev A., Wysocki G., Bakhirkin Y., So S., Lewicki R., Fraser M., Tittel F., Curl R.F., *Application of quantum cascade Lasers to trace gas analysis*, Applied Physics B, No.90, 165-176, 2008
- [2] Xiang B., Nelson D.D., McManus J.B., Zahniser M.S., Wehr R.A., Wofsy S.C., *Development and field testing of a rapid and ultra-stable atmospheric carbon dioxide spectrometer*, Atmos. Meas. Tech., 7, 4445-4453, 2014
- [3] McManus J.B., Zahniser M.S., Nelson Jr. D.D., Shorter J.H., Herndon S., Wood E., Wehr F., *Application of quantum cascade lasers to high-precision atmospheric trace gas measurements*, Opt. Eng. 49, 111124, 2010
- [4] Tuzson B., Zeyer K., Steinbacher M., McManus J.B., Nelson D.D., Zahniser M.S., Emmenegger L., *Selective measurements of NO, NO₂ and NO_y in the free troposphere using quantum cascade laser spectroscopy*, Atmos. Meas. Tech. Discuss., 5, 8969-8993, 2012
- [5] Wojtas J., Mikołajczyk J., Bielecki Z., *Aspects of the Application of Cavity Enhanced Spectroscopy to Nitrogen Oxides Detection*, Sensors, 13(6), 7570-7598, 2013
- [6] Miczuga M., Kopczyński K., Pietrzak J., Owczarek R., *Measuring system for detection and identification of hazardous chemicals*, SPIE Proceedings Vol. 8703, Laser Technology 2012: Applications of Lasers, Editors: Wiesław L. Woliński; Zdzisław Jankiewicz; Ryszard S. Romaniuk, 87030E, 2013

Autorzy: dr inż. Marcin Miczuga, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: mmiczuga@wat.edu.pl; dr inż. Krzysztof Kopczyński, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa; dr inż. Jan Pietrzak, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: j.pietrzak@wat.edu.pl.