

## ROZPOZNAWANIE ZAGROZEŃ NIESZCZELNOŚCI W TRANSPORCIE GAZU W INSTALACJI PRZEMYSŁOWEJ

### Streszczenie

Zagadnienia dotyczące wczesnego wykrywania nieszczelności w instalacjach przemysłowych do transportu mediów gazowych mają szczególne znaczenie dla bezpieczeństwa środowiska pracy jak również otoczenia zakładu przemysłowego. W artykule zaprezentowano przegląd wybranych technologii systemu wykrywania nieszczelności i napraw LDAR, wykorzystywanych w przemyśle w celu monitorowania i kontrolowania procesów produkcyjnych. Zaprezentowano wybrane rozwiązania ciągłego systemu stacjonarnego oraz nowoczesne mobilne urządzenia termowizyjne do detekcji gazów.

### WSTĘP

Jednym z istotnych aktualnie zagrożeń jest bez wątpienia zagrożenie chemiczne związane z niepożądanym kontaktem ludzi z niebezpiecznymi dla ich zdrowia i/lub życia substancjami chemicznymi [14]. Substancje te występują przede wszystkim w przemyśle i są wykorzystywane w bardzo różnych procesach technologicznych. Niepożądane działanie substancji chemicznych stanowi poważne i trudne do standardowego opanowania zagrożenie dla życia i zdrowia człowieka, ponadto może mieć charakter mnogi lub nawet masowy [14]. Wycieki z rurociągów do środowiska są głównym problemem, z dużymi skutkami ekonomicznymi i środowiskowymi [7]. W związku z powyższym bardzo istotne jest wczesne wykrywanie i zapobieganie możliwym do wystąpienia zagrożeniom szczególnie związanych ze szczelnością instalacji (kanałów, linii przesyłowych itp.) oraz urządzeń współpracujących. W instalacjach przemysłowych służących do produkcji, przesyłania i magazynowania substancji organicznych wykorzystywane są systemy detekcji występowania nieszczelności oraz kontroli szczelności instalacji przemysłowych. Terminowa ocena i reagowanie na wyciek, umożliwia właściwe zarządzanie konsekwencjami i skuteczny środek odwoławczy zagrożenia, który wymaga analizowania wydajności całego systemu transportowego i wywołanie alarmu przed wystąpieniem poważnej awarii [7].

Standard najlepszych dostępnych technik BAT (ang. Best Available Technique), służyć ma określeniu granicznych wielkości emisji dla zakładów przemysłowych działających na terenie Unii Europejskiej. Rozporządzenie to nie określa rodzaju urządzenia oraz nie narzuca konkretnej technologii monitorowania stanu instalacji przemysłowych. Obecnie w Dzienniku Urzędowym UE opublikowane zostały decyzje wykonawcze Komisji Europejskiej ustanawiające konkluzje BAT dla następujących rodzajów działalności przemysłowej:

- produkcji szkła (decyzja nr 2012/134/UE z dnia 28 lutego 2012 r.),
- produkcji żelaza i stali (decyzja nr 2012/135/UE z dnia 28 lutego 2012 r.),
- garbowania skór (decyzja nr 2013/84/UE z dnia 11 lutego 2013 r.),
- produkcji cementu, wapna i tlenku magnezu (decyzja nr 2013/163/UE z dnia 26 marca 2013 r.),
- produkcji chloro-alkaliów (decyzja nr 2013/732/UE z dnia 9 grudnia 2013 r.),

- produkcji masy włóknistej, papieru i tektury (decyzja nr 2014/687/UE z dnia 26 września 2014 r.),
- rafinacji ropy naftowej i gazu (decyzja 2014/738/UE z dnia 9 października 2014 r.).

W artykule zaprezentowano przegląd wybranych technologii systemu wykrywania nieszczelności i napraw LDAR (ang. Leak Detection And Repair), wykorzystywanych w przemyśle w celu monitorowania i kontrolowania procesów produkcyjnych. Zaprezentowano wybrane rozwiązania systemu stacjonarnego oraz mobilne urządzenia termowizyjne do detekcji gazów.

### 1. TECHNOLOGIE WYKRYWANIA NIESZCZELNOŚCI

Pomimo ciągłego rozwoju metod pomiarowych, wprowadzania nowych rozwiązań sprzętowych i programowych oraz zwiększania zasięgu monitorowania zagrożeń naturalnych [12, 13], których skutki w szczególnych przypadkach mogą spowodować zdarzenia wypadkowe, nadal występują niebezpieczne miejsca nieobjęte monitorowaniem [9]. Bezpieczeństwo pracy instalacji przemysłowej w sektorze przemysłu chemicznego, petrochemicznego, gazownictwa czy energetyki jest nierozdzielnie związane z właściwym jej zarządzaniem i eksploatacją przez człowieka, jako organu nadzorującego i wykonawczego [5]. Wycieki z instalacji spowodowane są różnymi czynnikami, np. niedokładnością wykonania i montażu, korozją czy zużyciem się elementów instalacji procesowych. Częstymi miejscami nieszczelności są połączenia instalacji, filtry, zawory, regulatory lub zbiorniki. Łatwe do wykrycia i zlokalizowania są duże przecieki, natomiast określenie miejsca małych i bardzo małych przecieków jest trudne nawet przy wykorzystaniu czułych przyrządów pomiarowych [1]. Powszechnie używane detektory miejscowe (tradycyjne) identyfikują wyciek dopiero w momencie bezpośredniego natrafienia na chmurę gazu, co znacznie ogranicza pole prowadzonych kontroli instalacji oraz wymaga dużego nakładu pracy, a kontroler musi wykazać się dużym doświadczeniem. Obecnie stosowane są przenośne i stacjonarne urządzenia do pomiaru i wykrywania niebezpiecznych stężeń gazów. W przypadku stosowania urządzeń przenośnych konieczne jest utworzenie i przestrzeganie procedur pomiarowych. W procedurach powinny znaleźć się takie zagadnienia jak wymagana ilość sprzętu, odpowiednie warunki przechowywania i łatwość dostępu, sposób ładowania akumulatorów. Natomiast systemy stacjonarne działają w sposób ciągły, niezależnie od postępowania pracowników. W systemie stacjonarnym wszystkie przekroczenia ustalonych stężeń sygnalizowane są akustycznie i optycznie, mogą współpracować z innymi urządzeniami

(np. automatyczne włączenie wentylacji, odcięcie dopływu czynnika toksycznego lub wstrzymanie procesu technologicznego). Sygnały alarmowe są przekazywane do służb lub operatorów instalacji. Dodatkowo system stacjonarny pozwala na ciągłą archiwizację wyników pomiarów, co pozwala na lepsze zarządzanie i monitorowanie warunków na stanowisku pracy. Do prawidłowego funkcjonowania systemu stacjonarnej detekcji gazów wymagane jest spełnienie następujących warunków:

- właściwy dobór urządzeń do monitorowania,
- właściwa lokalizacja detektorów,
- prawidłowe wykonanie instalacji systemu,
- prawidłowa eksploatacja systemu.

Zadanie wczesnej detekcji niebezpieczeństwa stanowi przedmiot wielu prac naukowo-badawczych [2, 4, 6, 8, 10, 11, 15]. System stacjonarny jest znacznie lepszym rozwiązaniem przy projektowaniu systemu wykrywania zagrożeń w instalacjach procesowych. Pomimo poniesienia większych nakładów finansowych na montaż takiego systemu przez przedsiębiorstwo, zyskujemy dużo lepszą kontrolę a szybkość wykrycia wycieku jest dużo większa, co prowadzi do minimalizacji strat w wyniku awarii.

Głównymi metodami wczesnego wykrywania uszkodzeń w przemyśle i energetyce są metody wykorzystujące procesy towarzyszące takie jak efekty wibroakustyczne, emisje resztkowe czy zmiana pola temperatury. Na rynku spotykanych jest wiele rodzajów czujników stosowanych do wykrywania gazów i ich mieszanin. Wykorzystują one zjawiska fizyczne, łatwych do pomiaru wielkości (prądu, częstotliwości drgań, rezystancji stałoprądowej), zmieniających się pod wpływem składu atmosfery czujnika. Wśród dostępnych czujników gazów można wyróżnić [3]:

- czujniki rezystancyjne (TGS – Taguchi Gas Sensors),
- czujniki pojemnościowe,
- mikrowagi kwarcowe z aktywną chemicznie powierzchnią,
- czujniki z akustyczną falą powierzchniową,
- polimery przewodzące,
- tranzystory polowe,
- czujniki elektrolityczne.

Przykładem mobilnego urządzenia wykrywania wycieków gazów z instalacji może być zastosowanie specjalistycznej kamery termowizyjnej, uzbrojonej w specjalistyczny filtr i detektor gazowy. Dzięki zastosowaniu kamery termowizyjnej system stwarza możliwość detekcji gazów organicznych na odległość, co stanowi olbrzymią zaletę metod mobilnych i zdalnych oraz umożliwia cyfrowe udokumentowanie wizualizacji i lokalizacji wycieku. System termowizyjny w krótkim czasie dokonuje pojedynczego pomiaru co umożliwia przyspieszenie przebiegu kontroli szczelności instalacji lub rurociągu oraz może objąć dużo większy obszar kontroli.

Jeśli kamera jest skierowana na miejsce bez wycieku gazu, obiekty w polu widzenia będą emitować promieniowanie podczerwone które przez obiektyw i filtr trafi do kamery [16]. Wówczas filtr przepuści tylko określone długości promieniowania do detektora i w wyniku tego kamera utworzy nieskompensowany obraz natężenia promieniowania. W momencie wystąpienia wycieku gazu, który absorbuje promieniowanie w paśmie charakterystycznym dla filtra pasmowego, ilość promieniowania przechodzącego przez gaz do detektora zostanie zmniejszona, a żeby zobaczyć gaz w stosunku do tła, musi wystąpić różnica w promieniowaniu pomiędzy gazem a tłem w analizowanym obiekcie. W rzeczywistości ilość promieniowania odbitego od cząsteczek w chmurze gazu jest bardzo mała, więc kluczem do widzenia gazu jest różnica temperatur między chmurą gazu i tłem [16].

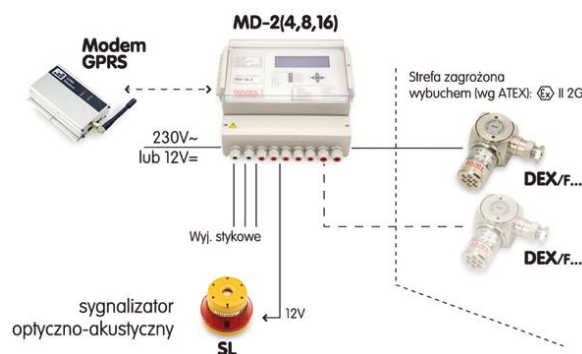
Na rysunku 1 przedstawiono porównanie postrzegania instalacji przez oko człowieka i postrzeganie poprzez system detekcji gazów wykorzystujący kamerę termowizyjną.



Rys. 1. Wizualizacja działania systemu do detekcji gazów z instalacji procesowej

Termowizyjny system stacjonarny ma przewagę nad operatorami pieszymi z detektorami tradycyjnymi w rejonach trudno dostępnych lub niedostępnych dla człowieka. System wykrywa zagrożenie, niestety nie może zidentyfikować rodzaju wycieku, do tego należy wykorzystać już specjalistyczne detektory. Do pomiaru stężenia substancji wydobywających się z nieszczelności wykorzystywany może być przenośny miernik PID do kontroli lotnych związków organicznych (LZO).

Przykładem stacjonarnego systemu detekcji gazów jest system nadzoru teleinformatycznego. Na rysunku 2 przedstawiono schemat działania systemu nadzoru teleinformatycznego detekcji gazów.



Rys. 2. Schemat teleinformatycznego systemu detekcji gazów [17]

W przypadku alarmu system kieruje informację o alarmie do terminalu komputerowego użytkownika i do służb lub operatora instalacji aby ten mógł podjąć skuteczną akcję zaradczą. Istnieje możliwość wysłania poleceń do systemu i sterowania urządzeniami elektrycznymi w dozorowanym obiekcie. System wyposażony jest w urządzenie sygnalizacyjno-odcinające z zaworem odcinającym gazu. W przypadku gdy system detekcji gazu posiada czujnik przeciwpożarowy, to w sytuacji pożaru system automatycznie odcina dopływ gazu. Zaletą systemów on-line jest możliwość rejestracji i łatwości przetwarzania uzyskanych danych. Wyniki pomiarów i obserwacji (np. zdjęcia), mogą być wykorzystane do tworzenia przejrzystych i kompleksowych raportów z badań [16].

## PODSUMOWANIE

Nowe metody optyczne wykrywania wycieków gazu powinny szeroko wejść do użycia w przemyśle gazowniczym i to nie tylko w krajach przodujących obecnie w tej dziedzinie, ale także w innych krajach, w tym także i w Polsce [10]. Odpowiednio wczesne wykrycie, zlokalizowanie i usunięcie przecieków pozwala na uniknięcie strat energii elektrycznej, czynnika roboczego w instalacji, oraz samej instalacji procesowej. Ponadto podnosi poziom bezpieczeństwa pracującego personelu. Wdrożenie systemu typu LDAR umożliwia wczesne wykrycie nieszczelności, dzięki czemu operatorzy instalacji mogą uzyskać następujące korzyści:

- ograniczenie strat surowcowych i produktowych,

- redukcja wystąpienia awarii przemysłowej, związanej z niekontrolowanym wydobywaniem się substancji o charakterze toksycznym, palnym, wybuchowym lub złośliwym,
- zmniejszenie ryzyka wystąpienia emisji substancji chemicznych do środowiska,
- możliwość oszacowania emisji niezorganizowanej, w szczególności do powietrza,
- mniejsze oddziaływanie instalacji na stan atmosfery oraz ograniczenie kosztów korzystania ze środowiska,
- optymalizacja kosztów związanych z remontami oraz wymianą armatury przesyłowej,
- kontrola jakości remontów i modernizacji instalacji w zakresie ich szczelności.

Prowadzenie prac badawczo-rozwojowych w zakresie określenia przez komisje badające przyczyny i okoliczności wypadków o tragicznych skutkach daje szansę na wyeliminowanie w przyszłości tego typu zdarzeń lub na ograniczenie ich skutków [9]. Zagadnienia dotyczące wczesnego wykrywania nieszczelności zarówno w instalacjach przemysłowych jak również przesyłowych mediów gazowych jest szczególnie istotne ze względów bezpieczeństwa.

Przedstawione w artykule rozwiązania mobilne są interesujące ze względu na większy obszar monitorowania oraz szybkość identyfikacji zagrożeń w stosunku do tradycyjnych detektorów. Poszukiwanie nowych rozwiązań jest istotne przy podejmowaniu decyzji dotyczących modernizacji istniejących linii przesyłowych, jak również instalacji procesowych w przemyśle chemicznym. W przypadku systemów stacjonarnych pomimo większych nakładów finansowych poniesionych na zainstalowanie takiego systemu, korzyści są ujawniane w toku eksploatacji. W związku z tym autorzy uważają, że warto kontynuować poszukiwania i monitorowanie rynku oraz badania dostępnych już rozwiązań celem doskonalenia konstrukcji i dalszych aplikacji.

## BIBLIOGRAFIA

1. Dindorf R., Woś P., Mazur S., *Pośrednie metody pomiaru przecieków sprężonego powietrza*. Hydraulika i Pneumatyka 2012, nr 3, s. 8-12.
2. Jankowska A., *Approach to early boiler leak detection with artificial neural networks*. Recent Advances in Mechatronics, Springer Verlag 2007 pp. 57-61.
3. Kotarski M., *Detekcja gazów za pomocą zjawisk fluktuacyjnych w czujnikach rezystancyjnych*. Rozprawa Doktorska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2012.
4. Kotarski M., Smulko J.: *Detekcja gazów za pomocą zjawisk fluktuacyjnych w rezystancyjnych czujnikach gazów*. Problemy Metrologii Elektronicznej i Fotonicznej, 2011, 4, s. 79-126.
5. Kozak A., *Bezpieczeństwo procesowe w obiektach przemysłowych*. Budownictwo i inżynieria Środowiska 2011 nr 2. s. 319-322.
6. Lia Ch., Krewerb G.W., Jic P., Schermd H., Kays S.J.: *Gas sensor array for blueberry fruit disease detection and classification*. Postharvest Biology and Technology, 2010 (55), 3, pp. 144-149.
7. Liang W., Kang J., Zhang L., *Leak detection for long transportation pipeline using a state coupling analysis of pump units*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 2013, no. 26, pp. 586-593.
8. Ngo K.A., Lauque P., Aguir K.: *High performance of a gas identification system using sensor array and temperature modulation*. Sensors & Actuators B, 2007, 124, pp. 209-216.
9. Nowrot A., Trenczek S., Krzysztanek Z., *System gazometryczny – wymaganie w przypadku nagłego wypływu metanu*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 2015, nr 8, s. 3-9.
10. Oracz H., Kalinowski K., Dąbrowski A., Sobkiewicz D., *Nowoczesne metody wykrywania nieszczelności w diagnostyce gazociągów przesyłowych*. Wiertnictwo, Nafta, Gaz 2008, zeszyt 2, tom 25, s. 559-571.
11. Szadkowski B., Jankowska A., *Detekcja nieszczelności kotła fluidalnego z użyciem modeli rozmyto-neuronowych*. Problemy Eksploatacji 2011, nr 2, s. 181-188.
12. Trenczek S., *Ukierunkowanie badań dla poprawy bezpieczeństwa pracy w świetle wniosków komisji powypadkowych*. EM-TECH 2010 – Zasilanie, informatyka techniczna i automatyka w przemyśle wydobywczym nt. Innowacyjność i Bezpieczeństwo. Ustroń 19-21 maja 2010 r. ITI EMAG, Katowice 2010, s. 39-43.
13. Trenczek S., Wojtas P., *Rozwój monitorowania zagrożeń naturalnych w okresie ostatniego 20-lecia*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 2014, nr 9, s. 3-10.
14. Węsierski T., Gałązkowski R., Zboina J., *Działania ratownicze w przypadku zagrożenia chemicznego*. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza 2013, Vol. 29 Issue 1, s. 19-27.
15. Xi S., Marquez H.J., Tongwen C., *An improved PCA method with application to boiler leak detection*. ISA Transactions 2005, no. 44, pp. 379-397.
16. <http://www.ekonorm.pl/sposob-w-jaki-dzialamy/>
17. [http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materialy\\_i\\_techнологie,artykul,zasady\\_stosowania\\_stacjonarnych\\_systemow\\_detekcji\\_gazow,4539](http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materialy_i_techнологie,artykul,zasady_stosowania_stacjonarnych_systemow_detekcji_gazow,4539)

## RECOGNIZING THREATS OF LEAKS IN THE GAS TRANSPORT IN INDUSTRIAL INSTALLATION

### Abstract

*Issues concerning early detection of leaks in industrial installations for the transport of gaseous media are of particular importance for the safety of the work environment as well as the surrounding of industrial plant. The article presents an overview of selected technologies of Leak Detection and Repair (LDAR) system used in the industry to monitor and control production processes. The selected solutions of stationary continuous system and modern infrared gas detection mobile devices were presented.*

### Autorzy:

mgr inż. **Jacek Caban** – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Maszyn Rolniczych i Transportowych, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, [jacek.caban@up.lublin.pl](mailto:jacek.caban@up.lublin.pl)  
Prof. dr hab. **Andrzej Marczuk** – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Maszyn Rolniczych i Transportowych, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin  
mgr inż. **Katarzyna Piotrowska** – Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Instytut Technologicznych Systemów Informatycznych, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin