

**Henryk Oracz*, Krzysztof Kalinowski*,
Andrzej Dąbrowski*, Dariusz Sobkiewicz***

NOWOCZESNE METODY WYKRYWANIA NIESZCZELNOŚCI W DIAGNOSTYCE GAZOCIĄGÓW PRZESYŁOWYCH

1. WSTĘP

Mając na uwadze aspekt bezpieczeństwa dostaw gazu operatorzy gazociągów regularnie prowadzą kontrolę gazociągów, zarówno nad-, jak i podziemnych w celu wykrycia wycieków gazu. Gazociągowe systemy przesyłowe są rozmieszczone na bardzo rozległym obszarze, przykładowo w Stanach Zjednoczonych szacuje się, że długość sieci wynosi ok. 400 000 mil gazociągów przesyłowych i 1,4 mln mil gazociągów rozdzielczych, a w Polsce odpowiednio: około 18 000 km gazociągów przesyłowych wysokiego i podwyższonego średniego ciśnienia oraz ponad 100 000 km sieci dystrybucyjnej (od ciśnienia niskiego do wysokiego).

Aby sprostać wymaganiom operatorów systemów przesyłowych na całym świecie opracowano wiele, mniej lub bardziej zaawansowanych technicznie, metod detekcji wycieków gazu ziemnego z gazociągów, poczynając od pieszych inspekcji przy użyciu tresowanych psów, a kończąc na technikach opartych o wizualizację hiperspektralną, z wykorzystaniem satelitów, jednakże wciąż wykrywanie wycieków zarówno w przypadku gazociągów nad- jak i podziemnych za pomocą obecnie stosowanych detektorów pozostaje operacją czasochłonną o niepewnych efektach.

Ponieważ metody optyczne zdalnej detekcji metanu w powietrzu to dziedzina stosunkowo młoda, gdzie wiele rozwiązań jest dopiero testowanych i tylko niektóre z nich osiągnęły już etap komercjalizacji. W referacie przedstawiono podstawy teoretyczne zastosowania nowych metod optycznych do zdalnej detekcji i wizualizacji obecności metanu w powietrzu oraz analizę nowych rozwiązań technicznych służących do wykrywania gazu ziemnego, które mogą być wykorzystane w przede wszystkim w sektorze przesyłu, ale niektórych z nich także w zakresie dystrybucji i użytkowania gazu.

Wobec powyższego w dalszej części referatu zostawiana przedstawiona analiza wybranych rozwiązań służących do wykrywania nieszczelności instalacji gazowych przy uży-

* Operator Gazociągów Przesyłowych Gaz-System S.A. Oddział w Rembelszczyźnie

ciu przenośnych detektorów metanu z zastosowaniem nowych metod optycznych detekcji metanu.

2. URZĄDZENIA DO BADANIA STANU TECHNICZNEGO GAZOCIĄGÓW

By sprostać wysokim wymaganiom dotyczącym ekonomiki i bezpieczeństwa eksploatacyjnego gazociągów, coraz częściej wykonuje się ich inspekcje prewencyjne, wykorzystując w tym celu tłoki pomiarowe (tzw. tłoki inteligentne) napędzane energią przepływającego w gazociągu medium gazowego. Bezpośrednim celem przebiegu inspekcyjnego jest detekcja i lokalizacja anomalii (miejsc dotkniętych korozją wad materiałowych) w ścianie rurociągu, które mogą stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa eksploatacyjnego. Inspekcje takie nabrały istotnego znaczenia z chwilą gdy w pierwszych rurociągach, będących w eksploatacji przez okres 20 lub 30 lat zaczęły pojawiać się w stale rosnącej liczbie różnego rodzaju uszkodzenia strukturalne, jak miejsca dotknięte korozją pęknięcia i dziury. Ponieważ równocześnie nabierały znaczenia aspekty ekologiczne, pojawiła się nowa filozofia bezpieczeństwa eksploatacyjnego: regularnie prowadzona inspekcje powinny umożliwić ciągłą kontrolę postępów procesów korozji w rurociągach. Tłoki inspekcyjne pierwszej generacji okazały się niewystarczające, ponieważ wskazywały jedynie na obecność ubytków korozyjnych, nic nie mówiąc o stopniu skorodowania materiału. Dokonywanie regularnych odkrywek w miejscach, gdzie pojawiała się korozja i zewnętrzne badanie stanu rur byłoby zbyt kosztowne. Powstała więc konieczność zaprojektowania i zbudowania narzędzi inspekcyjnych, które byłyby w stanie przekazywać dokładne dane dotyczące zarówno lokalizacji miejsc defektów, jak i stopnia skorodowania materiału, umożliwiając monitorowanie postępów procesów korozji w sposób ciągły w tym celu wykorzystano zjawisko fizyczne zwane upływnością strumienia magnetycznego (MFL – *magnetic flux leakage*), które stało się podstawą konstrukcji pierwszych tłoków typu Magne Scan. W rezultacie kolejnych ulepszeń poprawiono czułość urządzenia i jego zdolność detekcji. Tłok MagneScan HR wykrywa obecność ubytków metalu oraz określa ich rozmiary. Pozwala również na rozróżnienie między defektami wewnętrznymi i zewnętrznymi, a także wykrywa odchylenia od nominalnej grubości ścianki.

3. METODY DETEKcji GAZU

Ogólnie metody detekcji gazu można podzielić na nieoptyczne i optyczne. Nieoptyczne metody obejmują monitoring akustyczny, oznaczanie zawartości metanu w próbkach powietrza pobieranych z atmosfery, monitoring gleby, monitoring przepływu i modelowanie dynamiczne. Techniki monitorowania akustycznego wykorzystują zmianę poziomu hałasu w gazociągu wywołwanego przez wypływ gazu przez nieszczelności. Konieczne jest stosowanie dużej ilości czujników akustycznych. Metoda nie wykrywa małych wycieków gazu, gdyż wtedy sygnał akustyczny nie różni się znacząco od poziomu tła. W tym zakresie stwierdza się wiele fałszywych alarmów.

Do oznaczania zawartości metanu w powietrzu pobranym z rejonu gazociągu wykorzystuje się detektory przewodności cieplnej gazu bądź płomieniowo – jonizacyjne, przenoszone ręcznie bądź montowane na platformach pojazdów. Próbobiorca pobiera próbkę bezpośrednio ponad gruntem. Próbką musi być pobrana blisko ujścia wycieku, aby zarejestrować wykry-

walne ilości gazu. Istotne w tym przypadku jest doświadczenie osoby pobierającej próbkę. Sprawy komplikują się, gdy następuje podziemna migracja gazu i gaz pojawia się w miejscach niedostępnych dla badającego. Za pomocą wykrywacza przenośnego można poddać inspekcji około 13–16 km dziennie, zaś nieco więcej za pomocą detektora zamontowanego na pojeździe. W tym wypadku możliwe jest wykrywanie bardzo małych wycieków gazu. Podstawową wadą omawianej metody jest mała szybkość detekcji i ograniczenie jej do niewielkiego obszaru oraz wysoki koszt.

W metodach monitorowania gleby, do gazociągu wprowadza się niewielką ilość chemicznej substancji wskaźnikowej. W przypadku wycieku gazu substancja ta przedostaje się do otaczającego gruntu. Obecność jej jest wykrywana przez detektor przesuwany wzdłuż linii gazociągu. Zaletami, podobnie jak w poprzedniej metodzie, są: wysoka czułość i bardzo mała ilość fałszywych alarmów, wadą – jak wyżej – mała szybkość detekcji i wysoki koszt.

W odniesieniu do sieci przesyłowej gazu ziemnego stosuje się obserwację rejonu gazociągu z powietrza, aby wykryć zmianę barwy roślin na danym obszarze spowodowaną wyciekami gazu. Oczywiście nie ma to zastosowania na terenach o niedostatecznej wegetacji, jak pustynie i stepy oraz w okresie zimowym.

Urządzenia monitorujące przepływ gazu rejestrują zmiany ciśnienia lub przepływu masowego w różnych miejscach w gazociągu. Jeśli wartości te w dwóch lokalizacjach w rurze znacznie się różnią, może to wskazywać na potencjalny wyciek. Główne zalety tej metody to niski koszt i nieingerowanie w pracę gazociągu. Wadą jest niemożność ustalenia położenia wycieku i duża ilość fałszywych alarmów.

W metodzie dynamicznego modelowania monitoruje się różne parametry przepływu gazu w różnych lokalizacjach w gazociągu. Parametry te są wprowadzane do modelu w celu określenia obecności wycieku. Główną zaletą jest możliwość ciągłego monitorowania i nieingerowania w pracę gazociągu, jednak w metodzie tej stwierdza się dużą ilość fałszywych alarmów i jest ona kosztowna w przypadku monitorowania dużej sieci gazociągów.

Przedstawione powyżej metody charakteryzują się bądź koniecznością wykonywania oznaczeń przy zbliżeniu czujnika do ewentualnego miejsca wycieku bądź znaczną niedokładnością pomiaru.

Możliwości wykrywania wycieków z dużą dokładnością, na terenie trudnodostępnym, stwarza wykorzystanie metod optycznych.

4. PODSTAWY TEORETYCZNYCH METOD OPTYCZNYCH DO ZDALNEJ DETEKCJI METANU

Metody zdalnej detekcji metanu posiadają następujące zalety w porównaniu z metodami tradycyjnymi polegającymi na pobraniu próbki atmosfery z rejonu przebiegu gazociągu:

- umożliwiają szybszy monitoring, częstszą inspekcję wycieków;
- przez wizualizację całego wycieku, a nie pobór cząstkowej próbki powietrza pozwalają na bardziej dokładne zlokalizowanie wycieku, obniżając koszty odsłonięcia rury w przypadku wykrycia wycieku;
- pozwalają na bardziej dokładne i efektywne wykrycie migracji gazu;
- mniej zależą od doświadczenia operatora i jego oceny;
- umożliwiają monitorowanie obszarów niedostępnych.

Do identyfikacji i oznaczenia metanu jak i innych węglowodorów alifatycznych wykorzystuje się analizę jego widma w podczerwieni.

Aby promieniowanie świetlne było absorbowane przez materię, energia fotonów musi odpowiadać różnicy energii poziomów energetycznych w atomach lub cząsteczkach, z którymi oddziałuje. Energia fotonów jest bezpośrednio związana z długością fali światła. Wykorzystuje się to do identyfikacji nieznanymi substancji poprzez badanie absorpcji światła o różnych długościach fali w próbkach tych substancji – jest to tzw. absorpcyjna analiza spektroskopowa.

O tym jak silnie światło jest absorbowane przez ośrodek decydują dwa czynniki:

- 1) własności materii, czyli to „jak chętnie” atomy lub cząsteczki absorbują światło;
- 2) ilość materii absorbującej światło.

Pierwszy czynnik opisywany jest tzw. współczynnikiem absorpcji α , drugi – koncentracją c , liczbą atomów lub cząsteczek znajdujących się w określonej objętości. Ilość materii, z którą oddziałuje światło zależy od drogi, którą światło przechodzi w ośrodku.

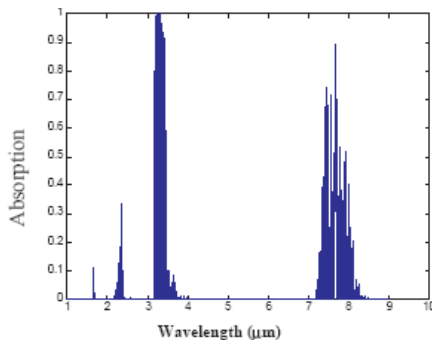
Natężenie światła zdefiniowane jako moc fali świetlnej padającej na jednostkę powierzchni – $[W/m^2]$ określa prawo Lamberta–Beera:

$$I(l) = I_0 e^{-\alpha c l}$$

gdzie:

- $I(l)$ – natężenie światła po przejściu przez ośrodek o grubości l , w którym znajduje się substancja absorbująca światło o współczynniku absorpcji α i koncentracji c ,
- I_0 – natężenie światła padającego na ten ośrodek.

Widmo absorpcyjne metanu wyznaczone w podczerwieni przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Widmo absorpcyjne metanu (100 ppm-m)

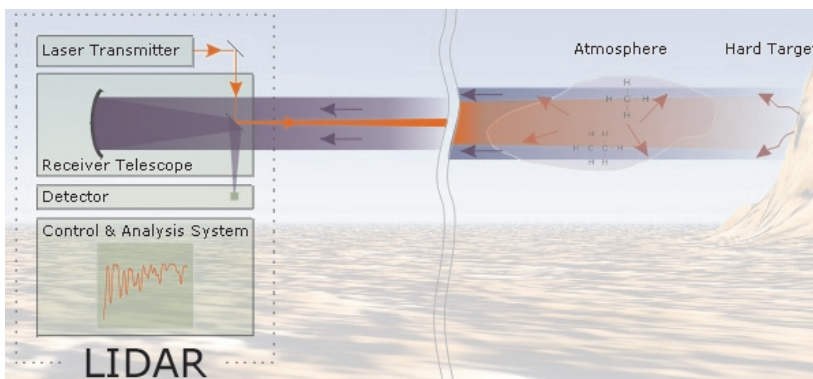
Obserwowane widmo absorpcyjne pokazuje w podczerwieni dwa silne pasma: przy długościach fali $\sim 3,33 \mu\text{m}$ (liczba falowa 3020 cm^{-1}) i $\sim 7,65 \mu\text{m}$ (liczba falowa 1306 cm^{-1}).

W zakresie podczerwieni linie adsorpcji na skutek podstawowych modów wibracyjnych występują jeszcze przy długościach fal $3,43 \mu\text{m}$ i $6,56 \mu\text{m}$, jednak są one słabsze. Obserwuje się także inne słabe linie absorpcji odpowiadające kombinacjom i owertonom drgań podstawo-

wych dla 1,3 μm , 1,6 μm i 2,3 μm . Przypadkowo położenie silnych pasm absorpcji metanu zbiega się z położeniem dwóch okien atmosferycznych (pomiędzy 3–5 μm i 8–14 μm), gdzie absorpcja składników powietrza jest słabsza. Przy wyborze linii dla zdalnej detekcji metanu preferuje się silne pasmo $\sim 3,33 \mu\text{m}$, ponieważ pasmo $\sim 7,65 \mu\text{m}$ znajduje się w obszarze tłumienia promieniowania przez parę wodną.

4.1. Aktywne układy detekcji metanu

W technice DIAL (*Differential Absorption Lidar*) – lidar absorpcji różnicowej, wykorzystuje porównawczą wiązkę promieniowania. Lidar (*Light Detection and Ranging*) jest optycznym odpowiednikiem radaru – urządzeniem służącym do detekcji i określania odległości między obserwatorem a badanym obiektem: działa na zasadzie zarejestrowania echa wyemitowanego wcześniej impulsu promieniowania, który został rozproszony lub odbity od badanego obiektu. Zasadę działania lidarów przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Zasada działania lidarów

W skład lidarów wchodzi następujące elementy:

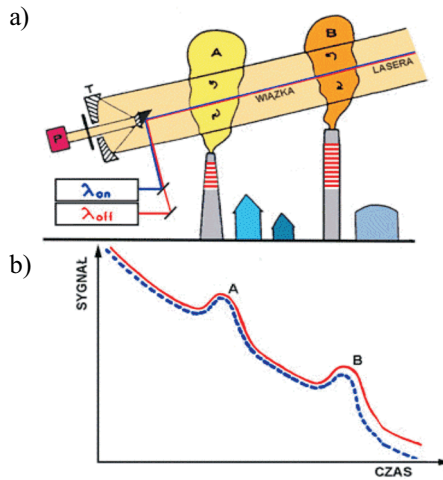
- laser impulsowy generujący krótkie i silne impulsy światła o wybranych długościach fali;
- układ optyczny, pozwalający kierować światło lasera w wybranym kierunku;
- teleskop zbierający światło laserowe rozproszone do tyłu;
- detektor promieniowania rejestrujący natężenie światła;
- układ elektroniczny synchronizujący pomiary;
- komputer sterujący.

Systemy lidarowe są od wielu lat stosowane do zdalnego wykrywania zanieczyszczeń powietrza i określania różnych parametrów meteorologicznych. Urządzenia doświadczalnie montowane na helikopterach dla detekcji dużych wycieków z gazociągów przesyłowych testowano m.in. w USA, Kanadzie, Niemczech, Szwajcarii, Rosji i na Ukrainie.

Lidar DIAL jest urządzeniem, w którym dwie wiązki promieniowania o różnej długości fali przechodzą przez chmurę gazową wzdłuż tej samej drogi. Jedna z nich, zwana λ_{on} jest dostro-

jona do linii absorpcji szukanej substancji. Druga, zwana λ_{off} jest odstrojona od linii absorpcyjnej i promieniowanie tej wiązki nie ulega absorpcji. Schematycznie przedstawiono to na rysunku 3. Rozproszona do tyłu w atmosferze wiązka laserowa dociera do teleskopu T, gdzie jest ogniskowana i kierowana do fotopowielacza P. Sygnał z fotopowielacza jest wizualizowany za pomocą oscyloskopu w postaci wykresu natężenia prądu w czasie (rys. 3b). Opóźnienie sygnału powrotnego wskazuje na odległość od obiektu rozpraszającego, zaś jego wielkość jest miarą wielkości centrów rozpraszających.

W przypadku pojawienia się w obszarze wiązki promieniowania gazu o linii absorpcyjnej odpowiadającej λ_{on} występuje różnica natężeń promieniowania obu wiązek (smuga dymu B na rys. 3a), co pozwala na wyznaczenie koncentracji badanej substancji.



Rys. 3. Zasada techniki DIAL. a) geometria pomiaru; b) rejestrowany sygnał

W celu wykrywania węglowodorów takich jak metan czy etan, obecnych w gazie ziemnym, laser musi emitować promieniowanie o długości fali odpowiadającej liniom absorpcji tych gazów. Jak wspomniano, linie absorpcji dla detekcji metanu są zlokalizowane w zakresie spektralnym od $1,6 \mu\text{m}$ do $4,0 \mu\text{m}$, z trzema znaczącymi pasmami ok. $1,6 \mu\text{m}$, $2,3 \mu\text{m}$ i $3,3 \mu\text{m}$. Najsilniejsze linie absorpcji odpowiadają długości fali ok. $3,3 \mu\text{m}$. Również etan wykazuje maksima absorpcji w tym zakresie. Obliczenia projektowe wskazały, że odpowiednio dobrany układ lidarowy będzie w stanie wykryć wymagane nawet bardzo małe wycieki gazu, o natężeniu przepływu poniżej $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ z odległości do 300 m. Metoda ta może być stosowana do detekcji wycieków gazu w czasie regularnych patroli powietrznych dokonywanych małymi helikopterami.

Opisane powyżej optyczne techniki detekcji zanieczyszczeń wykorzystują tzw. urządzenia aktywne, czyli wyposażone w nadajnik i odbiornik fali elektromagnetycznej. Odbiornik odbiera fale (wysłane przez nadajnik tego samego urządzenia) odbite od przeszkody terenuwej bądź retroreflektora. W zależności od wzajemnego położenia nadajnika i odbiornika można wyróżnić urządzenia monostatyczne lub bistatyczne.

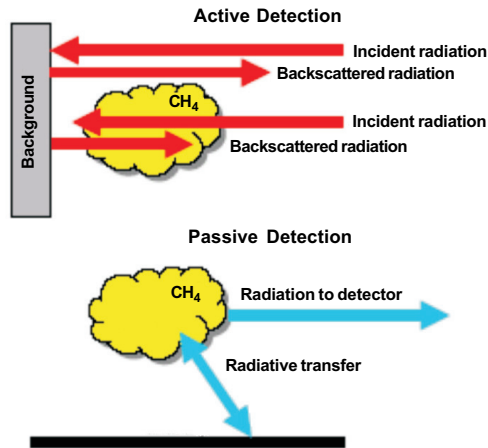
Opisywane powyżej aktywne układy detekcji metanu w powietrzu mogą być montowane na poruszających się pojazdach, statkach powietrznych lub mogą być umiejscowione. Do

ważnych zalet tych systemów należą: możliwość monitorowania obecności gazu w rozszerzonym zakresie i zdolność monitorowania wycieków nawet w przypadku braku różnic temperatury pomiędzy gazem a otoczeniem. Dwie wady tych metod to wysoki koszt ich wprowadzenia i stosunkowo wysoki poziom fałszywych alarmów. Poza tym układy te wymagają kwalifikowanego operatora i nie mogą być stosowane dla nienadzorowanego monitoringu ze względów bezpieczeństwa związanych z pracą laserów wysokiej mocy.

4.2. Detekcja pasywna

Detekcja pasywna (zwana też detekcją termiczną) polega na przenoszeniu promieniowania na skutek temperatury i/lub różnicy emisyjności, która zazwyczaj istnieje między tłem a chmurą gazową (rys. 3). Metody te pozwalają na zastosowanie stosunkowo nieskomplikowanych konfiguracji instrumentalnych, ale wymagają istnienia strumienia termicznego pomiędzy chmurą wycieku a powierzchnią gruntu.

Schemat układów detekcji aktywnej i pasywnej przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat układów detekcji aktywnej i pasywnej

Miarą czułości zdalnych detektorów gazu jest NECL (*noise equivalent concentration length*), zdefiniowany jako iloczyn CL (*concentration – length*) – stężenia gazu w chmurze gazowej i grubości chmury, przy którym stosunek sygnału do szumu jest równy jedności. Im niższy NECL, tym bardziej czuły jest układ detekcji.

Ograniczenie detekcji pasywnej jest ostatecznie wywołane wielkością przepływu energii pomiędzy pióropuszem gazu i powierzchnią gruntu. Przyjmując średnią typową różnicę temperatur pomiędzy gruntem i powietrzem ponad gruntem jako 5°C , eksperymentalnie potwierdzone obliczenia przewidują, że podejście aktywne będzie o rząd wielkości bardziej czułe do wykrywania wycieków gazu ziemnego w porównaniu do detekcji pasywnej. Większość z rozwijanych obecnie technologii wykrywania obecności gazów w powietrzu dotyczy stosowania właśnie technologii aktywnych.

W dalszej części opracowania zostały przedstawione nowe rozwiązania techniczne służące do wykrywania obecności metanu w powietrzu, w których zastosowano najnowsze metody optyczne detekcji metanu. Przedstawiono wybrane urządzenia przenośne montowane na statkach powietrznych (samolotach i helikopterach), stosowanych zarówno w terenie zabudowanym, jak i na obszarach otwartych.

Przedstawiono technologie i urządzenia najnowsze, dopiero opracowywane i urządzenia znajdując się w fazie testów. Należy podkreślić, że nowe metody optyczne detekcji metanu w powietrzu atmosferycznym należą do grupy technologii najszybciej rozwijających się w gazownictwie światowym. Nowe konstrukcje tworzone są najczęściej w Stanach Zjednoczonych, Kanadzie, Japonii, a z krajów europejskich – w Niemczech, Szwajcarii, Francji i Wielkiej Brytanii.

5. PRZENOŚNE DETEKTORY METANU

5.1. System pomiarowy CHARM

CHARM (*CH₄ Airborne Remote Monitor*) ADLARES GmbH (*Advanced Laser Remote Sensors*), Teltow, Niemcy. System pomiarowy CHARM (zdalny lotniczy detektor metanu CHARM).

Opracowany przez firmy niemieckie: Adlares GmbH, specjalizującą się w technice laserowej, we współpracy z E.ON Ruhrgas AG i firmą lotniczą DLR (Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt) dla zdalnego (z helikoptera) monitorowania gazociągów przesyłowych. Pewne etapy prac były współfinansowane przez Unię Europejską w ramach projektu CHARM przez grupę GERG (European Gas Research Group).

Zasada działania: lidar absorpcji różnicowej (DIAL).

System wykonuje 100 pomiarów na sekundę w pasie o szerokości standardowo od 1 do 12 m położonym wzdłuż osi gazociągu, maksymalnie do 18 m, wyposażony jest system bezwładnościowy kontroli i pomiaru, który kompensuje ruch helikoptera. Poddawany inspekcji „korytarz” jest skanowany za pomocą wideokamery, obraz jest przekazywany do kabiny helikoptera. W przypadku podwyższonego stężenia metanu, jest to wizualizowane na ekranie, włącza się także sygnał dźwiękowy.

Zalecane parametry pracy:

- wysokość lotu helikoptera: 80 do 150 m,
- szybkość lotu: 70 do 100 km/h,
- wykrywalne wycieki gazu: 0,05÷10 m³/h.

Standardowo urządzenia są montowane na dwóch typach helikopterów (rys. 5):

- 1) BO 105 – gdzie zestaw pomiarowy jest umieszczany w przestrzeni ładunkowej, z której wystaje tylko część zawierająca głowicę optyczną, a czas pracy urządzenia wynosi 150 minut,
- 2) MD 500, pokazany na zdjęciu poniżej, gdzie układ montowany jest na zewnątrz helikoptera, zaś czas pracy wynosi 70 minut.

W obu przypadkach czas montażu układu detekcyjnego w helikopterze wynosi 15 minut.

Zaletą systemu jest możliwość jego montażu także na małych helikopterach, przydatnych szczególnie w kontroli szczelności gazociągów na obszarach zabudowanych.



MD 500 with measurement system

Rys. 5. Testy (system CHARM) z helikoptera MD500E

Jeśli znane są współrzędne geograficzne przebiegu gazociągu, to istnieje możliwość wprowadzenia ich do pamięci detektora i automatycznego pozycjonowania wiązki laserowej detektora dokładnie (z tolerancją $\pm 1,5$ m) wzdłuż korytarza nad gazociągiem. Bardzo przydatne jest korzystanie z systemu informacji geograficznej GIS. Współrzędne systemu rurociągów E.ON Ruhrgas są dostępne w systemie informacji geograficznej (GIS) z dokładnością od 1 do 3 m. Pozycja helikoptera może być określana za pomocą satelitarnego systemu GPS (amerykański *Global Positioning System*) z dokładnością większą od 1 m, a według najnowszych danych jeszcze lepszą: $\pm 0,5$ m. Wykorzystywany jest również rosyjski system nawigacyjny GLONASS (*Global Navigation Satellite System*). Przewiduje się natomiast, że w Europie wkrótce będzie dostępny nawigacyjny system Galileo, który pozwoli na dalsze podwyższenie dokładności lokalizacji źródła wycieku gazu. W Niemczech można już obecnie wykorzystywać także bardzo dokładny system informacji geodezyjnej: SAPOS, pozwalający na uzyskiwanie dokładności lokalizacji ± 2 cm. Dane dotyczące miejsca wycieku gazu są automatycznie wprowadzane do raportu z kontroli gazociągu. Istnieje zatem możliwość wysłania pojazdów z ekipami remontowymi bezpośrednio w bardzo precyzyjnie określony rejon, w którym stwierdzono nieszczelność gazociągu. Jednym z ważniejszych zagadnień w pracach nad opracowaniem systemu CHARM było zapewnienie odpowiedniej odporności układu na wibracje i wstrząsy, umożliwiające odpowiednie pozycjonowanie wiązki, niezależnie od turbulencji wstępujących podczas lotu.

5.2. System pomiarowy ALMA

ALMA (*Airborne Laser Methane Assesment* – lotniczy system wykrywania wycieków metanu, Pergam-Suisse AG, Zurich, Szwajcaria).

Interesujący system lotniczy wykrywania wycieków metanu z sieci gazowej montowany na helikopterze zaproponowała niedawno szwajcarska firma Pergam-Suisse AG z Zurichu.

Urządzenie dokonuje pomiarów w czasie rzeczywistym, cechuje je szeroki zakres dynamiczny pomiarów, w przypadku stwierdzenia nieszczelności gazociągu czy instalacji gazowej umożliwia jednocześnie wykonanie zdjęcia terenu, na którym zlokalizowano wyciek, opcjonalnie w systemie montowana jest kamera na podczerwień, system posiada certyfikat TÜV.

W urządzeniu zastosowano laser diodowy pracujący przy długości fali pochłanianej przez metan $1,65 \mu\text{m}$. Głównymi elementami układu są: układ optyczny, w skład którego wchodzi laser wraz z układem generującym wiązkę odniesienia, odbiornik promieniowania i kamera cyfrowa, następnie układ elektroniczny złożony z: komputera, systemu kontroli i odbiornika GPS oraz laptop kontrolujący pracę całości systemu.

Główne dane techniczne urządzenia są następujące:

- maksymalna odległość pomiarowa: 150 m;
- czas pomiaru: 0,1 s; 0,5 s (równocześnie);
- zakres detekcji: 1–10 000 ppm;
- względna dokładność pomiaru: 1%;
- wymiary układu elektronicznego: $600 \times 600 \times 250$ mm (długość, szerokość, wysokość);
- ciężar układu elektronicznego: 20 kg.



Rys. 6. Urządzenie ALMA zamontowane na helikopterze

Do układu dołączone jest specjalistyczne oprogramowanie Pergam RETUIS i Pergam DAREMO umożliwiające kontrolowanie pracy systemu i obróbkę uzyskanych danych po zakończeniu oblotu trasy. Z systemem pomiarowym jest zintegrowana kamera cyfrowa ukazująca lokalizację helikoptera nad obiektem z widokiem terenu skanowanego laserem. W trybie automatycznym zdjęcia wykrytych miejsc wycieku gazu są wykonywane automatycznie, a w trybie ręcznym indywidualnie, na sygnał operatora.

Stosowana opcjonalnie kamera na podczerwień firmy Flir Systems pracująca w zakresie długości fal: $7,5 \mu\text{m} \div 13,5 \mu\text{m}$, z minimalną różnicą wykrywanych temperatur $0,085 \text{ K}$ umożliwia

zarejestrowanie dodatkowych informacji o kontrolowanym obszarze. System ALMA może być montowany na następujących helikopterach: Bell 206 Jet Ranger, Robinson R-44 i Eurocopter AS, a także: MI-8, MI-9 oraz Ka 26 (rys. 6).

Według przedstawiciela producenta systemu, firmy Pergam-Suisse AG, system ALMA z powodzeniem funkcjonuje już w Szwajcarii, a pierwsze urządzenia zostały sprzedane także za granicę, m.in. do Rosji, Arabii Saudyjskiej, a kolejne zamierzają kupić Austria, Katar i Egipt. Na zlecenie Operatora Gazociągów Przesyłowych Gaz-System S.A. w 2007 roku również przeprowadzono kontrolę tym systemem wybranych gazociągów przesyłowych.

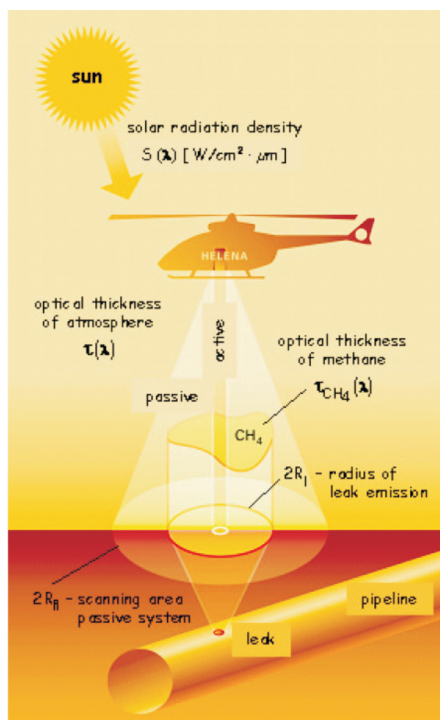
5.3. System pomiarowy HELPCOS

Helikopterowy układ detekcji wycieków HELPCOS, VNG – Verbundnetz Gas, AG, Leipzig, Niemcy.

Zasada działania: połączenie detekcji aktywnej i pasywnej:

- detekcja aktywna: źródło promieniowania – dioda laserowa, metoda absorpcji różnicowej przy linii absorpcji metanu; 1,6509 μm ;
- detekcja pasywna: źródło promieniowania: światło słoneczne odbite od gruntu badane w polichromatorze przez porównanie z uprzednio zarejestrowanym spektrum referencyjnym.

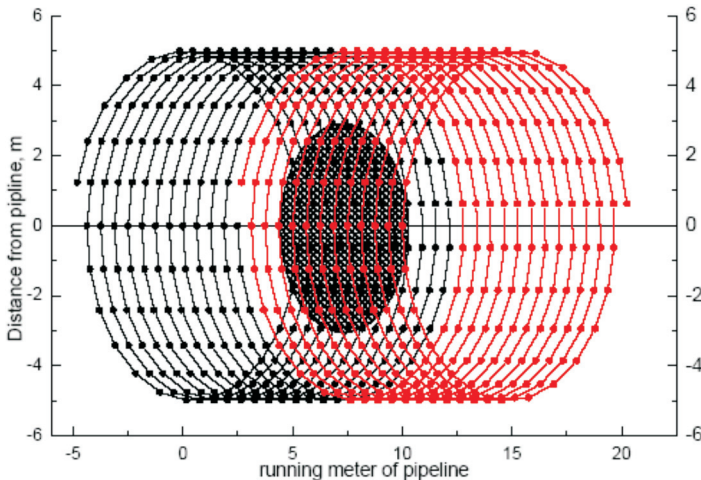
Zasadę zdalnego pomiaru z helikoptera przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Zasada pomiaru w układzie HELPCOS

Przy typowej wysokości lotu ok. 100 m, za pomocą metod pasywnych można objąć korytarz wzdłuż gazociągu o 20 m szerokości.

Przy skanowaniu trasy gazociągu punkty pomiarowe na ziemi pochodzące od wiązki laserowej mają 10 cm średnicy i są prowadzone przez skaner wzdłuż korytarza o szerokości 5 m od osi gazociągu. Rysunek 8 przedstawia wzór skanowania układu aktywnego, który jest wynikiem kołowego ruchu wiązki laserowej i przesuwania się helikoptera, gdzie zacinienie w środku wskazuje na obszar wycieku metanu.



Rys. 8. Układ skanowania za pomocą systemu aktywnego w systemie HELPCOS

W testach polowych uzyskano wyniki detekcji na poziomie 800 ppm·m przy systemie pasywnym i 50 ppm·m przy systemie aktywnym.

6. PODSUMOWANIE

W podsumowaniu można stwierdzić, że nowe metody optyczne wykrywania wycieków gazu ziemnego powinny szeroko wejść do użycia w przemyśle gazowniczym i to nie tylko w krajach przodujących obecnie w tej dziedzinie techniki, ale także w innych krajach, w tym także i w Polsce.

Dla systemu przesyłu gazu podstawowe znaczenie będzie miało zastosowanie metod detekcji lotniczej, a w dalszej przyszłości także metod detekcji wycieków gazu z gazociągów przesyłowych przy wykorzystaniu technik satelitarnych, i to zarówno do wykrywania wycieków gazu metodami optycznymi z wykorzystaniem selektywnej absorpcji promieniowania przez metan, jak i multispektralnej analizie zmiany szaty roślinnej na powierzchni ziemi w wyniku migracji metanu z miejsc nieszczelności do atmosfery (np. przyszłościowe projekty PRESENSE i PIPEMON realizowane w ramach grupy GERG). Wydaje się, że przedstawione optyczne metody zdalnej detekcji metanu mają przed sobą przyszłość i to zarówno w gazownictwie światowym, jak i krajowym.

Natomiast określenie efektów ekonomicznych zastosowania nowych optycznych metod zdalnego wykrywania wycieków gazu ziemnego z sieci i instalacji gazowych jest jeszcze w tej chwili sprawą dość trudną, i to nie tylko w odniesieniu do ewentualnego wykorzystania ich w gazownictwie krajowym, ale także w przypadku użytkowania ich w tych krajach, w których tworzone są nowe urządzenia przeznaczone do tego celu. Podstawowym powodem jest fakt, że nowe metody pomiaru są dopiero wprowadzane do użytku i producenci urządzeń nie chcą przedwcześnie wypowiadać się o cenach urządzeń, których produkcja seryjna zostanie uruchomiona w przyszłości. W przypadku wielu urządzeń przy ich upowszechnieniu się można spodziewać się istotnego obniżenia ceny, zwłaszcza przy znacznym zwiększeniu skali produkcji.

LITERATURA

- [1] *Analiza możliwości obniżania kosztów eksploatacji oraz dalszego zwiększania bezpieczeństwa użytkowania sieci gazociągów przesyłowych i obiektów należących do Operatora Gazociągów Przesyłowych Gaz-System S.A. poprzez zastosowanie metod wykrywania wycieków metanu.* Warszawa, Instytut Nafty i Gazu 2007
- [2] Kalinowski K., Oracz H., Olma T.: *Zarządzanie ryzykiem podczas realizacji zadań inwestycyjno remontowych na sieci przesyłowej gazu ziemnego.* VIII Międzynarodowa Konferencja Techniczna, Płock 2005
- [3] Oracz H.: *Zarządzanie ryzykiem wolumenu na polskim rynku gazu.* Gaz, Woda Technika Sanitarna, luty 2007 r. nr 02/2007, s. 2
- [4] Pergam-Suisse ALMA system: *Natural Gas Leak Inspection Final Report Gaz-System S.A.* Warszawa 2007
- [5] Savula S., i inni: *Monitoring Methods of Technical State of Oil and Gas Pipelines.* Wiertnictwo Nafta Gaz (rocznik AGH) 23/1, 2006
- [6] Woźniak P.: *Bezpieczeństwo dostaw gazu.* Rurociągi, nr 2–3/44/2006