

## Możliwości zdalnego wykrywania par alkoholu w kabinie pojazdu

**Streszczenie.** Przy pomocy wykonanego modelu urządzenia nadawczo-odbiorczego i układu przetwarzania danych przetestowano możliwość wykrywania par alkoholu o stężeniu odpowiadającym poziomowi stężenia w wydychanym powietrzu przez osoby nietrzeźwe w odpowiednich kuwetach badawczych symulujących kabinę pojazdu. Ponadto przeanalizowano możliwość i zrealizowano praktycznie wytwarzanie w sposób kontrolowany par alkoholu o zadanym stężeniu we wspomnianych obiektach.

**Abstract.** Investigations of the developed model of the device for stand-off detection of alcohol vapours were carried out. To simulate the car cabins special glass tubes were used. Concentrations of the examined vapours in the tubes corresponded to the concentrations exhaled by a person under the influence of alcohol. To simulate appropriate concentration of the alcohol vapours a special device was built. (**Possibilities of stand-off detection of alcohol in car cabins**)

**Słowa kluczowe:** detekcja stand-off, detekcja alkoholu, DIAL, detekcja substancji chemicznych

**Keywords:** stand-off detection, alcohol detection, DIAL, chemical agents detection

doi:10.12915/pe.2014.08.13

### Wstęp

Zdalna detekcja skażeń chemicznych i biologicznych z użyciem wiązki laserowej o długości fali w obszarze absorpcji substancji została już opisana w wielu artykułach [1-6]. Równoległe do rozwoju metod detekcyjnych powstają coraz to nowsze konstrukcje laserowe o potencjalnym zastosowaniu w tego typu urządzeniach [7-12]. Na bazie tych technologii opracowano wiele gotowych urządzeń będących w fazie laboratoryjnej lub też już praktycznie zastosowane w ochronie środowiska do monitoringu powietrza czy w aplikacjach wojskowych.

Znając potencjalne możliwości zdalnej detekcji różnych substancji uwagę naukowców zwróciła potencjalna możliwość zdalnego wykrywania par alkoholu w przejeżdżających pojazdach [13-17]. Co prawda wykrywając pary alkoholu w kabinie pojazdu, nie możemy jednoznacznie stwierdzić, że kierowca jest nietrzeźwy gdyż pary alkoholu etylowego w kabinie pojazdu mogą mieć różne źródła; mogą pochodzić zarówno z powietrza wydychanego przez nietrzeźwego kierowcę jak i przez nietrzeźwego pasażera a ponadto mogą pochodzić z parowania rozmaitych roztworów alkoholu jak np. napojów alkoholowych znajdujących się w samochodzie w odkrytych naczyniach, płynu do spryskiwaczy szyb lub z wykorzystywanych perfum, ale wybierając z pośród wszystkich samochodów na drodze, samochody z parami alkoholu, bardzo mocno zmniejszamy populację samochodów wytypowanych do kontroli i tym samym wyraźnie zwiększamy szanse na wyeliminowanie nietrzeźwych kierowców.

Generalnie do zdalnego wykrywania par alkoholu wykorzystuje się różnicową absorpcję dwóch wiązek światła. Problem w tym przypadku polega jednak na tym, że silnie absorbowane przez pary alkoholu promieniowanie o długości fali 3,39  $\mu\text{m}$  jest również bardzo silnie absorbowane przez szkło szyb samochodowych [13]. Dlatego, gdy chcemy wykryć stosunkowo słabe stężenie par alkoholu w samochodzie, mamy bardzo duże tłumienie prześwietlającej wiązki laserowej przez szyby okien i bardzo słabe jej tłumienie przez ewentualne pary alkoholu, w rezultacie czego dokładność odczytu jest stosunkowo mała.

Celem przedstawionej pracy było sprawdzenie możliwości zdalnego wykrywania par alkoholu w kuwetach badawczych symulujących kabinę pojazdu z zamkniętymi oknami przy podwójnym przejściu wiązki laserowej o długości fali 3,39  $\mu\text{m}$  przez te kuwety przy wykorzystaniu

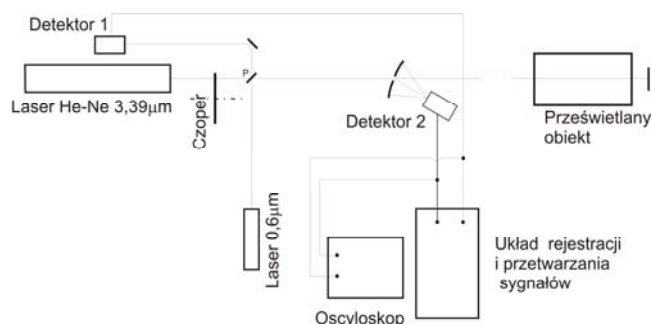
wykonanych do tego celu urządzeń: nadawczo-odbiorczego urządzenia laserowego i elektronicznego systemu przetwarzania danych.

Zadaniem naszym nie był dokładny pomiar stężenia par alkoholu, a jedynie wykrycie jak najmniejszej wartości tego stężenia.

Z uwagi na fakt, że źródłem par alkoholu, które nas interesują są płuca człowieka, w pracy starano się zasymulować to źródło, wykorzystując parowanie roztworu alkoholu w wodzie o określonym stężeniu i w określonej temperaturze. Zagadnienie dotyczące parowania tego roztworu zostało przedstawione w pracy [18], w której wykazano, że odparowując roztwór alkoholu w wodzie o znanym stężeniu i przy znanej temperaturze, można uzyskać określone stężenie par alkoholu w powietrzu. Z kolei to stężenie jest jednoznaczne ze stężeniem alkoholu w powietrzu wydychanym przez człowieka posiadającego w swojej krwi określone stężenie alkoholu. Wykazano, że odparowując roztwór wodny alkoholu o stężeniu  $C_a=2 \cdot 10^{-3}$ , otrzymujemy stężenie par alkoholu w powietrzu porównywalne ze stężeniem w powietrzu wydychanym przez człowieka w stanie „po spożyciu” (0,2 ‰ alkoholu we krwi).

### Stanowisko pomiarowe

Do badań wykorzystano stanowisko pomiarowe, którego schemat przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego do zdalnego wykrywania par alkoholu

W skład stanowiska wchodzi:

- laser He-Ne emitujący w sposób ciągły jednomodową wiązkę światła o długości fali 3,39  $\mu\text{m}$  i mocy  $\sim 2\text{mW}$ ,

- mechaniczny czoper przerywający wiązkę z częstotliwością 3,6 kHz,
- płytka światło-dzieląca wprowadzająca w tor pilotującą wiązkę diody laserowej (0,6  $\mu\text{m}$ ) i odbijająca część promieniowania lasera He-Ne na detektor 1 (PbSe firmy Hamamatsu),
- płaskie zwierciadło Z zawracające wiązkę po prześwietleniu badanego obiektu,
- zwierciadło sferyczne z otworem skupiające wiązkę powracającą na detektorze 2 (PbSe firmy Hamamatsu),
- dwukanałowy oscyloskop firmy Tektronix,
- układ rejestracji i przetwarzania sygnałów odbierający z detektorów co 0,5 sekundy sygnały na częstotliwości 3,6 kHz i pokazujący na monitorze komputera oraz zapisujący w excelu stosunek sygnału z detektora 2 do sygnału z detektora 1.

W układzie zdecydowano się na podwójne przejście wiązki laserowej przez prześwietlany obiekt. Dzięki temu zwiększono efekt absorpcji promieniowania przez pary alkoholu i wyeliminowano przesunięcie wiązki przez nachylone szyby ale jednocześnie tłumienie promieniowania przez szyby doprowadziło do znacznego obniżenia sygnału użytecznego z detektora. W związku z tym do detekcji trzeba było wykorzystać czułe detektory chłodzone.

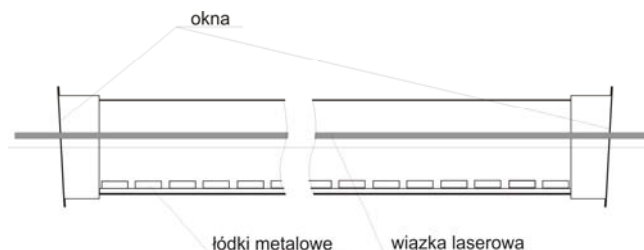
W celu obniżenia wpływu niestabilności lasera na wykonywane pomiary, zastosowano dwa detektory, z których jeden odbiera sygnał przed prześwietleniem obiektu natomiast drugi po jego prześwietleniu. Do analizy wykorzystywany jest stosunek amplitud tych sygnałów.

Zasilany silnikiem synchronicznym czoper przerywa wiązkę laserową ze stałą częstotliwością 3,6 kHz, umożliwiając prowadzenie detekcji sygnałów o amplitudzie mniejszej od amplitudy szumów.

Podłączony oscyloskop wykorzystywano jedynie przy justowaniu układu i w celach kontrolnych. Podstawowe informacje dotyczące amplitudy sygnałów były rejestrowane i przetwarzane w wykonanym do tego celu układzie elektronicznym podłączonym do komputera i pozwalającym odczytać te wielkości na bieżąco oraz obrabiać w programach komputerowych. Został zastosowany układ detekcji sygnału okresowego z zastosowaniem metody uśredniania koherentnego [19] przy wykorzystaniu czułych detektorów chłodzonych. Pozwoliło to na zarejestrowanie zmian amplitudy sygnałów mniejszych od amplitudy szumu.

### Pomiar transmisji par alkoholu w kuwecie zamkniętej oknami

Do badań wykorzystano kuwetę w postaci rury z PCV o długości 140 cm i średnicy 10cm zamkniętą oknami z szyb samochodowych o grubości 3,15 mm nachylonymi pod kątem  $\sim 5^\circ$ . Do kuwety wstawiano przed każdym pomiarem listwę z trzydziestoma łódkami metalowymi, do których wlewano roztwór alkoholu w wodzie o określonym stężeniu  $C_a$ . Schemat kuwety z listwą pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Schemat badanej kuwety z łódkami na listwie

Do łódek na listwie wlewano odpowiedni roztwór alkoholu w wodzie a następnie po zdjęciu jednego z okien

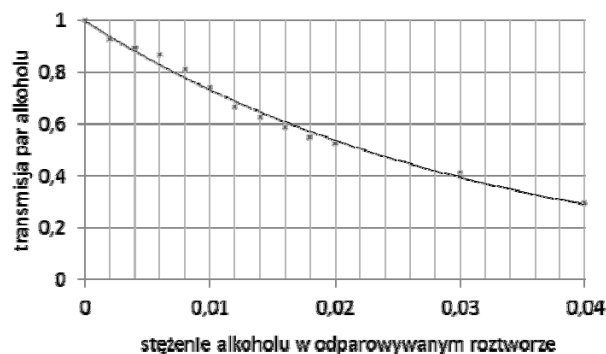
kuwety, wsuwano listwę z łódkami do kuwety i zamykano kuwetę oknem. Po kilkuminutowym odczekaniu, kuweta była wstawiana w tor wiązki laserowej. Przepuszczając dwukrotnie wiązkę przez kuwetę nad łódkami napełnionymi określonymi roztworami alkoholu w wodzie, rejestrowano wartość sygnałów z detektora 2, na który padało przechodzące promieniowanie. Jednocześnie rejestrowano na detektorze 1 sygnały odniesienia pozwalające zmniejszać błędy związane z niestabilnością mocy lasera. Pomiary przeprowadzono dla kolejnych coraz większych stężeń, eliminując tym samym błąd związany z ewentualnym uwalnianiem zaadsorbowanych par na ściankach kuwety.

Układ rejestracji i przetwarzania sygnałów z detektorów rejestrował co 0,5 s amplitudę sygnałów z detektorów. Średnia wartość tych sygnałów z ostatnich 64 pomiarów  $\bar{I}$  była wyświetlana na ekranie komputera.

Otrzymane wyniki pomiarów umieszczono w tabeli 1, gdzie dodatkowo zapisano wartość transmisji par alkoholu  $T_a$  otrzymaną w wyniku podzielenia wartości sygnału dla danego stężenia alkoholu przez wartość sygnału dla pustej kuwety. Na podstawie otrzymanych wyników wykonano wykres przedstawiony na rysunku 3.

Tabela 1. Wyniki pomiarów transmisji par alkoholu w kuwecie zamkniętej oknami

$C_a$	$\bar{I}$	$T_a$
0	0,608712	1
0,002	0,564022	0,926583
0,004	0,543074	0,892169
0,006	0,526587	0,865084
0,008	0,493883	0,811357
0,010	0,451911	0,742405
0,012	0,405695	0,666481
0,014	0,380099	0,624432
0,016	0,356867	0,586266
0,018	0,333414	0,547737
0,020	0,319013	0,524079
0,030	0,251186	0,412652
0,040	0,178834	0,293791



Rys. 3. Wykres transmisji par alkoholu w funkcji stężenia w parującym roztworze.

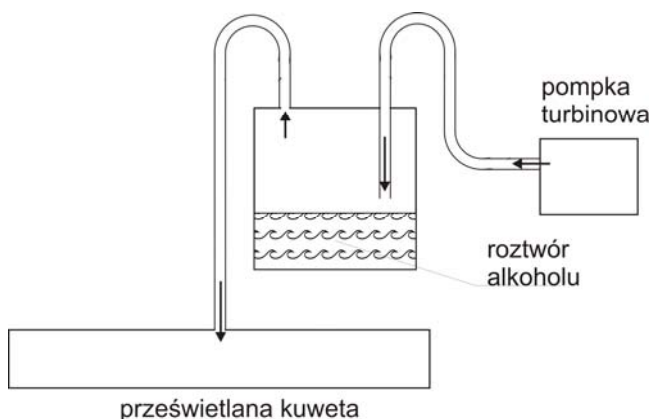
Przeprowadzony eksperyment pozwolił określić możliwości przygotowywania i zdalnego wykrywania stosunkowo niskich stężeń par alkoholu w powietrzu. Ponadto, badając jednorodny ośrodek o znanym stężeniu par alkoholu w ściśle określonych granicach, mamy w tym przypadku możliwość przeskalowania układu pomiarowego.

### Pomiar transmisji par alkoholu w „kuwecie otwartej”

Do badań transmisji par alkoholu w kuwecie otwartej (bez okien) oraz w większych przestrzeniach (np.

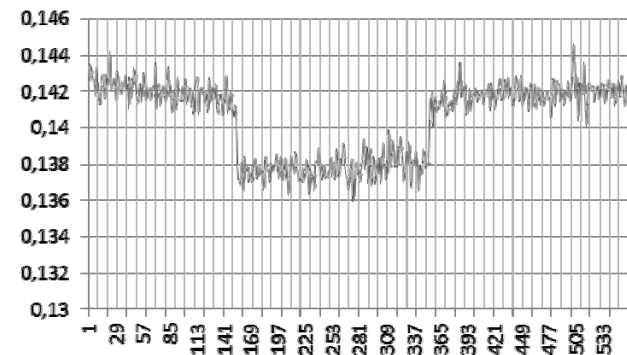
w samochodzie), zostało wykonane urządzenie do przyspieszonego parowania roztworu alkoholu o określonym stężeniu. Schemat tego urządzenia przedstawiono na rys. 4.

Urządzenie składało się z zamkniętego pojemnika, do którego wlewany był roztwór alkoholu o znanym stężeniu, oraz z pompki turbinowej wdmuchującej powietrze na powierzchnię cieczy w pojemniku poprzez odpowiednią rurkę. Poprzez drugi otwór w denku naczynia wprowadzony był wężyk, przez który wydmuchiwane było powietrze z parami roztworu znajdującego się w pojemniku. Pojemnik był podgrzewany a temperatura roztworu mierzona termometrem elektronicznym. Powietrze z parami alkoholu było wdmuchiwane do komory w postaci rury z PCV o długości 35 cm i średnicy 4,5 cm z otwartymi końcami. Analogicznie jak poprzednio, przez komorę przechodziła dwukrotnie wiązka laserowa. W celu zbliżenia warunków jak w przypadku prześwietlania samochodu, w tor wiązki laserowej wstawiono szyby tłumiące wiązkę na poziomie zbliżonym do tłumienia przez szyby samochodowe o grubości 4mm.



Rys. 4. Schemat urządzenia do przyspieszonego parowania roztworu alkoholu.

Do rejestracji i przetwarzania sygnałów z detektorów podobnie jak poprzednio wykorzystano ten sam układ elektroniczny wzbogacony o program umożliwiający zapis odczytów w programie Excel. Zmieniając stężenie alkoholu w roztworze (przy stałej temperaturze 25°C), rejestrowano wartości sygnałów z detektorów i odpowiednie wartości przeliczeń. Przykładowy Wykres transmisji par alkoholu i płyt tłumiących w funkcji kolejnych pomiarów dla stężenia  $C_a = 0,002$  przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Wykres transmisji par alkoholu i płyt tłumiących w funkcji kolejnych pomiarów dla stężenia  $C_a = 0,002$

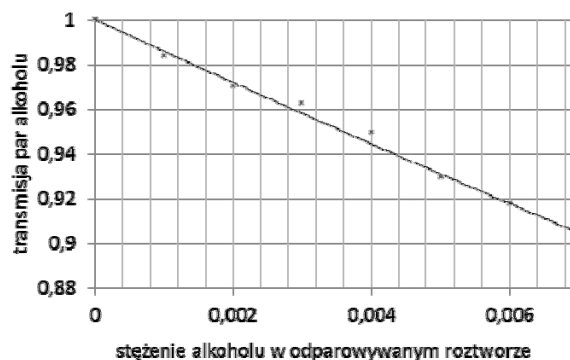
Do obliczeń wykorzystywano populacje z części ustabilizowanej a jednocześnie będące w jak najbardziej krótkich odstępach czasowych, by zminimalizować

niestabilności pracy lasera. Dla wybranych populacji odczytano średnie wartości sygnału  $\bar{I}$ .

Na podstawie średnich wartości zarejestrowanych odczytów dla próbek  $70 \div 120$ , określono średnią wartość sygnałów  $\bar{I}_2=0,141893$ , natomiast dla odczytów z próbek  $170 \div 250$ ,  $\bar{I}_1=0,137637$ . Transmisja par alkoholu wynosi w tym przypadku  $T_a=\bar{I}_2/\bar{I}_1=0,97001$ . Otrzymane w ten sposób wyniki kolejnych pomiarów zapisano w tabeli 2. Na ich podstawie został wykonany wykres zależności transmisji par alkoholu od stężenia alkoholu w parującym roztworze co zostało przedstawione na rysunku 6.

Tabela 2. Wyniki pomiarów transmisji par alkoholu w „kuwecie otwartej”

$C_a$	$T_a$
0,00	1,00
0,001	0,9836
0,002	0,97001
0,003	0,96242
0,004	0,94925
0,005	0,92926
0,006	0,91743
0,007	0,90309



Rys. 6. Wykres transmisji par alkoholu w kuwecie otwartej w funkcji stężenia w parującym roztworze

Przy stosunkowo szybkim przygotowaniu ośrodka, uzyskano analogicznie jak w poprzednim eksperymencie, możliwość wykrywania małego stężenia par alkoholu w powietrzu. Należy przy tym zauważyć, że prześwietlany obszar był w tym przypadku stosunkowo mały, porównywalny z obszarem wydychanego powietrza przez osobę przebywającą dużym pomieszczeniu lub wręcz w przestrzeni otwartej.

### Podsumowanie

Na podstawie otrzymanych wyników eksperymentalnych, można stwierdzić iż pomimo stosunkowo małej transmisji przez szyby samochodowe promieniowania o długości fali 3,39  $\mu\text{m}$  silnie absorbowanego przez pary alkoholu etylowego, istnieje realna szansa zdalnego wykrywania tych par poprzez pomiar absorpcji wspomnianego promieniowania w przejeżdżających samochodach z zamkniętymi oknami.

Należy również zauważyć że temperatura w płucach człowieka ma wartość  $\sim 37^\circ\text{C}$  czyli jest znacznie wyższa niż temperatura odparowywanego w naszych doświadczeniach roztworu. Tym samym w realnych warunkach przy takim samym stężeniu alkoholu we krwi nietrzeźwego człowieka w prześwietlanym samochodzie jak stężenie w naszym roztworze, stężenie par alkoholu w samochodzie powinno być większe a tym samym łatwiejsze do wykrycia.

#### LITERATURA

- [1] Silverstein R. M., Bassler G. C., Morrill T. C., Spectrometric Identification of Organic Compounds, John Wiley & Sons, New York (1991)
- [2] Demtröder W., Laser Spectroscopy, Springer-Verlag, Berlin (2002)
- [3] Farsund Ø., Rustad G., Skogan G., Standoff detection of biological agents using laser induced fluorescence—a comparison of 294 nm and 355 nm excitation wavelengths,” *Biomed. Opt. Express*, 3 (2012), n.11, 2964–2975
- [4] Wlodarski M. et al., Fluorescence excitation-emission matrices of selected biological materials, *Proc. SPIE*, 6398 (2006), 639806
- [5] Feugnet G. et al., Improved laser-induced fluorescence method for bio-attack early warning detection system, *Proc. SPIE*, 7116 (2008), 71160C
- [6] Mierczyk Z. et al., Fluorescence/depolarization LIDAR for mid-range stand-off detection of biological agents, *Proc. SPIE*, 8031 (2011), 80371J
- [7] Sotor J., Sobon G., Abramski K. M., Er-doped fibre laser mode-locked by mechanically exfoliated graphene saturable absorber, *Opto-Electron. Rev.*, 20 (2012), n.4, 362–366
- [8] Mlynczak J., Kopczynski K., Mierczyk Z., Investigations of optical and generation properties of Yb-Er laser glasses (SELG) designed for 1.5µm microlasers, *Proc. SPIE*, 6599 (2007), 65990D
- [9] Mlynczak J., Kopczynski K., Mierczyk Z., Optimization of passively repetitively Q-switched three-level lasers, *J. Quantum Electron.*, 44 (2008), n.12, 1152–1157
- [10] Mlynczak J., Kopczynski K., Mierczyk Z., Generation investigation of ‘eye-safe’ microchip lasers pumped by 974 nm and 939 nm wavelength, *Optica Applicata*, 38 (2008), n.4, 657–668
- [11] Mlynczak J., et al., Comparison of cw laser generation in Er<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup>: glass microchip lasers with different types of glasses, *Opto-Electron. Rev.*, 19 (2011), n.4, 87–91
- [12] Mlynczak J. et al., Pulse generation at 1.5µm wavelength in new EAT14 glasses doped with Er<sup>3+</sup> and Yb<sup>3+</sup> ions, *Opto-Electron. Rev.*, 20 (2012), n.1, 14–17
- [13] Kubicki J., Mlynczak J., Kopczynski K., Application of modified difference absorption method to stand-off detection of alcohol in simulated car cabins, *Journal of Applied Remote Sensing*, 7 (2013), n. 1, 073529-1 - 073529-13
- [14] NISHIDA SHUJI, *Alcohol detector in vehicle*, patent no JP2000230900 (A) – 2000-08-22
- [15] Ershov O., Nadezdinskii A., Berezin A., Remote Gas Molecule Detector, patent no US2003/0160173A1 Aug. 28,2003.
- [16] Urządzenie do zdalnego wykrywania par i gazów metodą DIAL w kabinach i komorach z oknami, Patent No. P-398513
- [17] Urządzenie do zdalnego określania kąta nachylenia szyby bocznej poruszającego się samochodu, Patent No. P-399366
- [18] Mlynczak J., Kubicki J., Kopczynski K., Stand-off detection of alcohol in car cabins, *Journal of Applied Remote Sensing*, 2014 (w druku, po pozytywnej recenzji)
- [19] Lyons R. G., Understanding Digital Signal Processing, Addison Wesley Longman, Inc., 1997

**Autorzy:** dr inż. Jarosław Młyńczak, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [jmlynczak@wat.edu.pl](mailto:jmlynczak@wat.edu.pl); dr inż. Krzysztof Kopczyński, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [kkopczynski@wat.edu.pl](mailto:kkopczynski@wat.edu.pl); dr inż. Jan Kubicki, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [jkubicki@wat.edu.pl](mailto:jkubicki@wat.edu.pl);