

DOI: 10.5604/20830157.1148049

## PROBLEMY ZDALNEGO WYKRYWANIA PAR ALKOHOLU W ZAMKNIĘTYCH KABINACH

**Jarosław Młyńczak, Krzysztof Kopczyński, Jan Kubicki, Jadwiga Mierczyk**

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono sposoby rozwiązywania problemów związanych z transmisją okien dla wykorzystywanego promieniowania przy wykrywaniu par alkoholu w kabinach. Zaprezentowano zmodyfikowaną metodę absorpcji różnicowej polegającą na wprowadzeniu dwóch wiązek odniesienia o różnym współczynniku absorpcji w szkło. Zwrócono szczególną uwagę na własności optyczne okien dla wykorzystywanych wiązek promieniowania o różnej długości fali. Przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych i pokazano możliwości praktycznego wykorzystania przedstawionej metody do wykrywania par alkoholu w kabinach z oknami zwłaszcza w pojazdach samochodowych przy wykorzystaniu zaprezentowanych opisów.

**Słowa kluczowe:** zdalne wykrywanie, pary alkoholu, absorpcja różnicowa

### POSSIBILITIES OF STAND-OFF DETECTION OF ALCOHOL IN CAR CABINS WITH WINDOWS

**Abstract.** The paper presents methods of solving the problems associated with the transmission of windows for radiation used in the detection of alcohol vapor in the car cabins. A method of differential absorption modified by introducing two reference beams characterized by different absorption in the windows was presented. Special attention was paid to the optical properties of car windows. The experimental results and the possibility of practical use of the method were described.

**Keywords:** stand-off detection, alcohol vapours, difference absorption

#### Wstęp

Problemy związane z nietrzeźwymi kierowcami są powszechnie znane. Przy zwalczaniu istniejącej patologii wykorzystywana jest znana aparatura [1] ale możliwości kontrolowania przy jej pomocy są jednak ograniczone, gdyż konieczne jest każdorazowe zatrzymywanie pojazdu i w związku z tym kontrola może być tylko wrywkowa.

Potrzebne jest więc zdalne wykrywanie par alkoholu w przejeżdżających pojazdach bez potrzeby ich zatrzymywania. Obecnie znane są możliwości zdalnego wykrywania różnych par i gazów przy pomocy wiązek monochromatycznego światła [2, 9, 12, 13] i istnieje realna szansa wykorzystania ich do rozwiązania przedstawionego problemu.

Zdalnym wykrywaniem par alkoholu w przejeżdżających pojazdach zajęli się w 2000 roku Japończycy [11], proponując wykorzystanie do prześwietlania samochodów promieniowania z diod laserowych. W 2003 roku Rosjanie opatentowali w Stanach Zjednoczonych urządzenie do wykrywania par alkoholu w przejeżdżających pojazdach [3], nazywając je alkolaserem. W urzędzeniu tym, podobnie jak w poprzednim, wykorzystywane jest promieniowanie z zakresu 1,3 $\mu\text{m}$  bardzo słabo absorbowane przez pary alkoholu, ale dobrze przechodzące przez szkło szyb samochodowych. W 2007 roku w Wojskowej Akademii Technicznej zgłoszono do Urzędu Patentowego wniosek dotyczący urządzenia do wykrywania par alkoholu w poruszających się pojazdach [5] z wykorzystaniem lasera He-Ne emitującego promieniowanie o długości fali 3,39 $\mu\text{m}$  bardzo silnie pochłanianego przez pary alkoholu. Zdalne wykrywanie par alkoholu w poruszających się pojazdach przy pomocy metody wykorzystującej absorpcję różnicową DIAL zostało również opisane w pracy [6], gdzie zwrócono uwagę m. in. na widmo absorpcyjne alkoholu etylowego. Jednak przy dokładniejszym rozpoznaniu tematu okazało się, że przy wykrywaniu alkoholu etylowego w kabinach przejeżdżających pojazdów tą metodą, napotyka się na szereg problemów związanych nie z szybkością poruszania się pojazdów, lecz z transmisją szyb w oknach kabin. Stosunkowo złożona struktura widma par alkoholu etylowego wynikająca z szeregu wzajemnych oddziaływań pomiędzy atomami poszczególnych pierwiastków w molekule powoduje, że poszczególne poziomy oscylacyjne są dodatkowo rozszczepione na podpoziomy rotacyjne, które z uwagi na stosunkowo duży moment bezwładności molekuly, leżą blisko siebie i przy ciśnieniu atmosferycznym na skutek poszerzenia ciśnieniowego, łączą się ze sobą, tworząc jedno stosunkowo szerokie pasmo.

Zjawisko takie jest korzystne przy doborze promieniowania pochłanianego w tych parach, ale jednocześnie przy wykorzystaniu metody różnicowej absorpcji, zmusza do zastosowania wiązki promieniowania odniesienia o długości fali znacznie różniącej się od długości fali promieniowania pochłanianego. Przy bardzo urozmaiconym widmie transmisyjnym szyb w oknach kabiny dla wykorzystywanego promieniowania występuje sytuacja, gdy nie wiemy czy wzrost absorpcji prześwietlającego promieniowania wynika z występowania par alkoholu w kabinach, czy ze wzrostu grubości szyby w oknie kabiny. W związku z tym, w pracy przedstawiono sposoby rozwiązywania tych problemów [7, 8] oraz przedstawiono analizę możliwości ich użycia, korzystając dodatkowo z wyników przeprowadzonych badań eksperymentalnych.

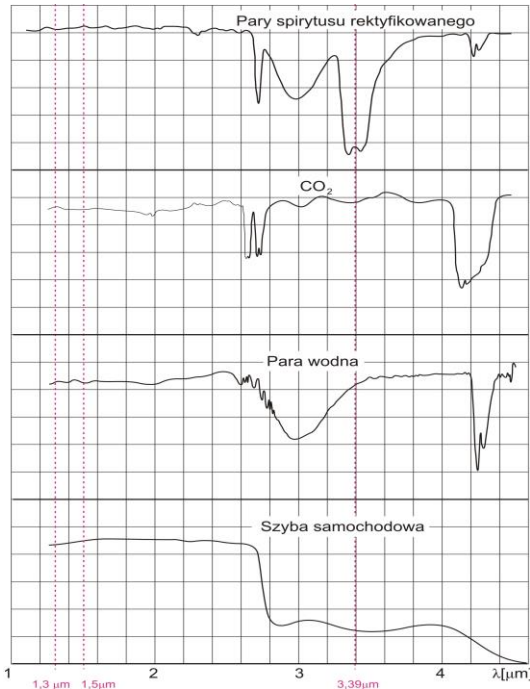
#### 1. Spektroskopia kabin samochodowych

Do wykrycia metodą różnicowej absorpcji określonych par lub gazów w zamkniętych kabinach, niezbędna jest znajomość ich widma transmisyjnego oraz widma transmisyjnego okien, przez które przepuszczana jest wiązka światła, jak również widma transmisyjnego par i gazów towarzyszących wykrywanej substancji. W przypadku wykrywania par alkoholu wydychanych do prześwietlanej przestrzeni przez nietrzeźwe osoby, zawsze będziemy mieli dodatkowo do czynienia z parą wodną i dwutlenkiem węgla. Dlatego w pracy sprawdzono na spektrofotometrze widmo transmisyjne bocznej szyby samochodowej a następnie widmo transmisyjne odpowiedniej kувety w postaci rury o długości 12 cm zamkniętej oknami z cienkich szyb kwarcowych napełnianej kolejno parami spirytusu rektyfikowanego, dwutlenkiem węgla i parami wody. Poziomem odniesienia dla substancji w kувecie była pusta kувeta a w przypadku szyby - powietrze. Wyniki przedstawiono na rysunku 1.

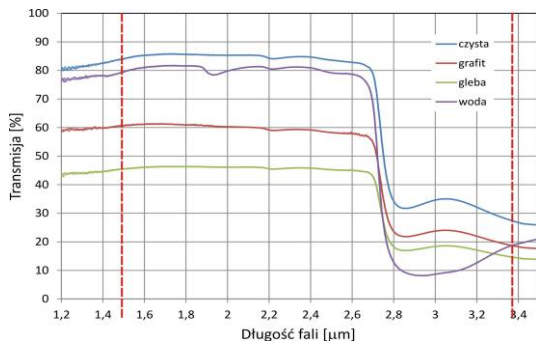
Po przeanalizowaniu otrzymanych wyników ze spektrofotometru oraz możliwości wykorzystania dostępnych laserów komercyjnych, zdecydowano się na wykorzystanie lasera He-Ne emitującego promieniowanie o długości fali 3,39 $\mu\text{m}$  pochłanianego przez pary alkoholu oraz diody laserowej emitującej promieniowanie o długości fali 1,5 $\mu\text{m}$  jako promieniowanie odniesienia.

Jednak, na podstawie przedstawionego zestawienia widać, że transmisja szyby samochodowej jest dużo większa dla promieniowania odniesienia (1,5 $\mu\text{m}$ ) niż dla wiązki pochłanianej przez pary alkoholu (3,39 $\mu\text{m}$ ). Wynika stąd, że metoda absorpcji różnicowej może być w tym przypadku

wykorzystywana jedynie dla samochodów o takiej samej grubości szyb. W przypadku, gdy grubość szyb jest różna w różnych samochodach lub szyby te są ustawione pod różnymi kątami w stosunku do osi wiązki sondującej, konieczny jest każdorazowy pomiar drogi przejścia światła przez szkło szyby. Jest to możliwe poprzez wykorzystanie dodatkowej wiązki światła z lasera emitującego promieniowanie, dla którego transmisja szyb jest różna niż dla promieniowania 1,5 $\mu\text{m}$  i które nie jest absorbowane przez pary alkoholu, dwutlenek węgla i przez parę wodną [10]. Do tego celu został wytypowany laser diodowy 1,3 $\mu\text{m}$  a zagadnienie zostało opisane w rozdziale 4 w pracy [4].



Rys. 1. Zestawienie charakterystyk spektralnych substancji mogących występować w sprawdzanym samochodzie



Rys. 2. Transmisja promieniowania przez płytki szklane w funkcji długości fali dla: płytki czystej, pokrytej pyłem grafitowym, pokrytej pyłem z gleby, „zaparowanej” parą wodną

Przy sprawdzaniu pojazdów samochodowych należy się liczyć z zapyleniem i zaparowaniem okien. Transmisja okna jest wówczas równa iloczynowi transzysji okna czystego i transzysji osadzonych na nim substancji. Bardzo ważna jest odpowiedź na pytanie, jak najczęściej osadzane na oknach substancje absorbują wykorzystywane przez nas promieniowanie. W związku z tym przeprowadzono eksperyment, w którym wykorzystano cztery identyczne szyby szklane a następnie na spektrofotometrze zmierzono transzysję odpowiednio szyby czystej, zaparowanej parą wodną, pokrytą cienką warstwą pyłu z gleby oraz pyłu grafitowego. Wyniki przedstawiono na wykresach (rys. 2).

Na podstawie tych pomiarów określono transzysję pyłu grafitowego  $T_{gr}$ , transzysję pyłu z gleby  $T_{gl}$  oraz transzysję „zaparowania” parą wodną  $T_w$  dla długości fal promieniowania emitowanego przez poszczególne lasery. Wyniki przedstawiono w tabeli 1.

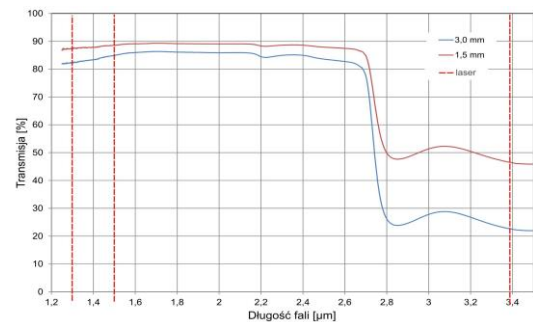
Tabela 1. Transmisja możliwych zabrudzeń szyb

$\lambda[\mu\text{m}]$	$T_w$	$T_{gl}$	$T_{gr}$
1,3	0,951	0,541	0,728
1,5	0,945	0,541	0,722
3,39	0,710	0,535	0,682

Z przedstawionych danych widać, że drobne zabrudzenia szyb przez suchy pył z gleby lub z grafitu nie powinny wprowadzać istotnych zniekształceń pomiarów transzysji par alkoholu w sprawdzanych kabinach, gdyż transzysja tych warstw dla wykorzystywanego promieniowania jest zbliżona dla wszystkich trzech długości fal natomiast wilgoć na szybach spowoduje zaniżenie transzysji dla promieniowania 3,39 $\mu\text{m}$  w stosunku do promieniowania 1,3 $\mu\text{m}$  i 1,5 $\mu\text{m}$ , dając efekt identyczny, jak w przypadku obecności par alkoholu w sprawdzanej kabinie.

## 2. Badanie własności optycznych szyb samochodowych

Do badań wykorzystano najczęściej stosowane w samochodach szyby produkcji firmy Pilkington. Na spektrofotometrze zmierzono transzysję szyby hartowanej o grubości 3,15mm wykorzystywanej w oknie bocznym samochodu i identycznej szyby przed obróbką cieplną (hartowanie i gięcie). Wyniki przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Transmisja hartowanej i niehartowanej szyby bocznej samochodu w funkcji długości fali promieniowania prześwietlającego

Z zapisów numerycznych odczytano transzysję  $T_\lambda$  dla interesujących nas długości fal  $\lambda$ , przedstawiając ją w tabeli 2.

Tabela 2. Wpływ hartowania na transzysję światła

Rodzaj szyby	$T_{1,3}$	$T_{1,5}$	$T_{3,39}$
Hartowana	0,8092	0,8391	0,2229
Niehartowana	0,8136	0,8407	0,2138

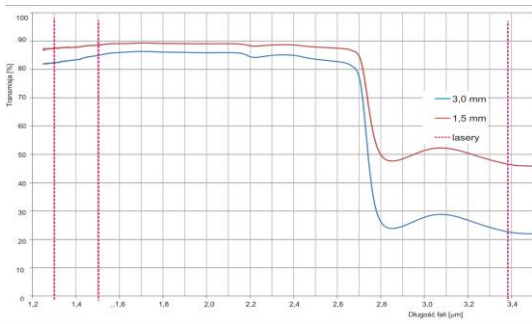
Na podstawie otrzymanych wyników przyjęto, że hartowanie nie wpływa w sposób istotny na transzysję szyby samochodowej dla wykorzystywanego promieniowania. W związku z tym do dalszych badań wykorzystywano szybę niehartowaną, którą w przeciwieństwie do niehartowanej, można było obrabiać mechanicznie (ciąć, zmieniać grubość poprzez szlifowanie).

W literaturze trudno jest znaleźć parametry optyczne szkła flot dla interesującego nas zakresu spektralnego promieniowania, gdyż najczęściej przyjmuje się, że szkło jest dla tego zakresu nieprzezroczyste. W związku z tym w niniejszej pracy parametry te zostały zmierzone w przedstawionych zestawach laboratoryjnych.

### 2.1. Współczynnik absorpcji

Z niehartowanej szyby samochodowej (szkło flot) wykonano dwie płytki o grubościach odpowiednio 3mm i 1,5mm. W wyniku przeprowadzonych pomiarów na spektrofotometrze, otrzymano wyniki przedstawione na rys. 4.

Na podstawie odczytów numerycznych, dla promieniowania o długości fali odpowiednio 1,3 $\mu\text{m}$ , 1,5 $\mu\text{m}$  i 3,39 $\mu\text{m}$ , określono transzysję płytek  $T_\lambda$  przedstawioną w tabeli 3.



Rys. 4. Wyniki pomiarów na spektrofotometrze płytek ze szkła flot o grubościach 1,5mm i 3,0mm

Tabela 3. Transmisja badanych płytek

Grubość płytki [mm]	T1,3	T1,5	T3,39
1,50	0,87514	0,88497	0,46484
3,00	0,82892	0,85193	0,22747

W warunkach laboratoryjnych przy badaniu czystej płytki szklanej możemy przyjąć, że nie ma zanieczyszczeń na powierzchni i nie ma rozpraszania w szkłe płytki.

Przyjmując, że promieniowanie jest niekoherentne, wartość transmisji płytki można zapisać przybliżonym wzorem:

$$T = (1 - r)^2 e^{-\kappa d} \quad (1)$$

gdzie  $r$  – współczynnik odbicia na powierzchni;  $\kappa$  – współczynnik absorpcji w szkłe;  $d$  – grubość płytki.

Dla płytki o grubości  $d$  przez którą przechodzi promieniowanie o długości fali  $\lambda$ , wzór (1) można zapisać w postaci:

$$T(d, \lambda) = T_{0,\lambda} \cdot e^{-\kappa_\lambda \cdot d} \quad (2)$$

gdzie

$$T_{0,\lambda} \equiv (1 - r(\lambda))^2 \quad (3)$$

Oznaczając przez:  $T_{1,5\lambda}$  – transmisję płytki o grubości 1,5mm dla promieniowania o długości fali  $\lambda$ ,  $T_{3,0\lambda}$  – transmisję płytki o grubości 3,0mm dla promieniowania o długości fali  $\lambda$ , na podstawie (2) można napisać:

$$\kappa_\lambda = \frac{1}{1,5} \cdot \ln \left( \frac{T_{1,5\lambda}}{T_{3,\lambda}} \right) \quad (4)$$

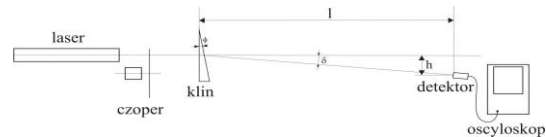
Po podstawieniu danych z tabeli 3 do wzoru (4), dla wykorzystywanego szkła flot otrzymamy:

$$\kappa_{1,3} = 0,0384 \text{ mm}^{-1}, \kappa_{1,5} = 0,0266 \text{ mm}^{-1}, \kappa_{3,39} = 0,4785 \text{ mm}^{-1}$$

## 2.2. Współczynnik załamania światła

Do pomiaru współczynnika załamania światła został wykorzystany układ eksperymentalny zestawiony według schematu przedstawionego na rysunku 5.

W wyniku przejścia wiązki światła przez wstawiony klin o kącie łamiącym  $\phi = 9^\circ 40'$ , wykonany ze szkła flot (z niehartowanej szyby), wiązka ta ulegała odchyleniu od pierwotnego kierunku o kąt  $\delta$ . Pomiar tego kąta odbywał się w następujący sposób. Przy braku klina, ustawiony został detektor na stoliku przesuwalnym tak by na oscyloskopie był maksymalny sygnał. Następnie w odległości  $l=390\text{mm}$  w kierunku lasera, został wstawiony klin tak, by pierwsza powierzchnia była prostopadła do osi wiązki a kąt łamiący  $\phi$  był w płaszczyźnie poziomej. Przesuwając detektor w kierunku odchylenia wiązki, umieszczono go w miejscu, dla którego sygnał na oscyloskopie był znowu największy. Odczytana odległość  $h$  pozwoliła na określenie kąta odchylenia  $\delta$ . Powtarzając eksperyment dla laserów emitujących promieniowanie 1,3 $\mu\text{m}$ , 1,5 $\mu\text{m}$  i 3,39 $\mu\text{m}$ , zmierzono odpowiednio wartości:  $h_{1,3}=34,3\text{mm}$ ,  $h_{1,5}=33,8\text{mm}$ ,  $h_{3,39}=31,5\text{mm}$ . Wartościom tym odpowiadają kąty odchylenia:  $\delta_{1,3}=5^\circ 2'$ ,  $\delta_{1,5}=4^\circ 58'$ ,  $\delta_{3,39}=4^\circ 37'$ .



Rys. 5. Schemat układu eksperymentalnego do pomiaru współczynnika załamania światła

Na podstawie przeprowadzonej analizy, można napisać wzór określający zależność pomiędzy kątem łamiącym  $\phi$ , kątem odchylenia wiązki  $\delta$  i współczynnikiem załamania  $n_\lambda$  dla przypadku przedstawionego na schemacie (rys. 5):

$$n_\lambda = \frac{\sin(\phi + \delta)}{\sin \phi} \quad (5)$$

Po podstawieniu wartości kąta łamiącego  $\phi$  i określonych wartości kątów  $\delta$ , wyliczono:  $n_{1,3} = 1,51$ ,  $n_{1,5} = 1,50$ ,  $n_{3,39} = 1,47$ .

Otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 4.

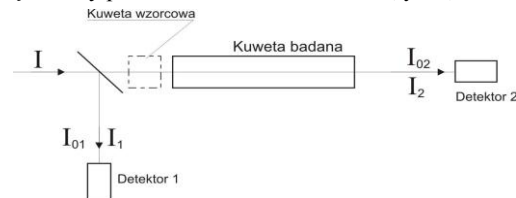
Tabela 4. Współczynniki absorpcji i załamania światła

$\lambda[\mu\text{m}]$	1,3	1,5	3,39
$\kappa_\lambda[\text{mm}^{-1}]$	0,0384	0,0266	0,4785
$n_\lambda$	1,51	1,50	1,47

## 3. Opis metody pomiaru transmisji kabin

Wykorzystując dostępne lasery komercyjne, należy się liczyć z niestabilną pracą tych urządzeń a ponadto ze względu na stosunkowo duże tłumienie promieniowania o długości fali 3,39 $\mu\text{m}$  przez okna kuwety, konieczne jest wykorzystanie detektorów o stosunkowo dużej czułości, w konsekwencji czego przy braku kuwety następuje nasycenie detektora i silne zniekształcenie wyniku pomiaru. Problemy te można rozwiązać, stosując metodę porównawczą polegającą na zastosowaniu dwóch detektorów rejestrujących jednocześnie promieniowanie przed kuwetą symulującą badany pojazd i za nią, a ponadto wykorzystując przed prześwietleniem kuwety badanej dodatkowo kuwetę wzorcową o znanych parametrach optycznych zbliżonych do parametrów optycznych kuwety badanej.

Ideę metody przedstawiono na schemacie (rys. 6).



Rys. 6. Schemat układu badawczego wykorzystującego metodę porównawczą

Przy braku jakiegokolwiek kuwety w układzie, wiązka  $I$  zostaje rozdzielona przy pomocy światło-dzielącej płytki na wiązkę  $I_{01}$  padającą na detektor 1 i wiązkę  $I_{02}$  padającą na detektor 2. Moc wiązki na skutek niestabilności lasera może w czasie wykonywania pomiaru zmienić się  $k$  razy i w związku z tym po wstawieniu badanej kuwety:

$$I \rightarrow I \cdot k$$

Transmisję kuwety należy więc opisać wzorem:

$$T_k = \frac{I_2}{k I_{02}} \quad (6)$$

Zakładając, że rozkład poprzeczny i polaryzacja wiązki nie ulegają zmianie w czasie, można przyjąć:

$$k = \frac{I_1}{I_{01}}$$

Po podstawieniu do (6):

$$T_k = \frac{I_2 I_{01}}{I_{02} I_1} = \frac{I_{01} I_2}{I_{02} I_1} \quad (7)$$

Wprowadzając oznaczenia:

$$\frac{I_2}{I_1} \equiv i, \quad \frac{I_{02}}{I_{01}} \equiv i_0 \quad (8)$$

wzór (7) zapiszemy w postaci:

$$T_k = \frac{i}{i_0} \quad (9)$$

Wstawiając w układ kuwety wzorcową o znanej transmisji  $T_{wk}$  i odczytując odpowiednio sygnały  $I_{2w}$  i  $I_{1w}$  oraz wprowadzając oznaczenie  $i_w = \frac{I_{2w}}{I_{1w}}$ , wzór (9) przyjmie postać:

$$T_{wk} = \frac{i_w}{i_0} \quad \text{stąd} \quad i_0 = \frac{i_w}{T_{wk}}.$$

Po podstawieniu do (9), otrzymamy wzór na transmisję kuwety badanej:

$$T_k = T_{wk} \cdot \frac{i}{i_w} \quad (10)$$

Założmy, że kuweta wzorcową jest zamknięta dwoma czystymi, prostopadłymi oknami o grubości  $d$  i jest wewnątrz pusta. Jej transmisja będzie wówczas wynosić:

$$T_{wk} = (T_0)^2 \cdot e^{-2\kappa \cdot d} \quad (11)$$

Natomiast transmisja kuwety badanej z parami alkoholu o transmisji  $T_a$  zamkniętej oknami z identycznego szkła jak w kuwecie wzorcowej, przy długości drogi przejścia przez okno  $l$  i pokrytymi substancją o transmisji  $T_p$ , wynosi:

$$T_k = (T_0)^2 \cdot T_a \cdot T_p \cdot e^{-2\kappa \cdot l} \quad (12)$$

Po podstawieniu (11) i (12) do (10), otrzymamy:

$$T_a \cdot T_p = \frac{i}{i_w} \cdot e^{2\kappa \cdot (l-d)} \quad (13)$$

Dla promieniowania o konkretnej długości fali  $\lambda$  możemy napisać:

$$T_a(\lambda) \cdot T_p = \frac{i_\lambda}{i_{w\lambda}} \cdot e^{2\kappa_\lambda \cdot (l-d)} \quad (14)$$

Na podstawie przeprowadzonych oszacowań [12], stwierdzono że dla kątów nachylenia szyby  $\alpha < 20^\circ$ , można przyjąć:  $l(1,3) \approx l(1,5) \approx l(3,39) = l$

Równanie (14) przyjmie więc postać:

$$T_a(\lambda) \cdot T_p = \frac{i_\lambda}{i_{w\lambda}} \cdot e^{2\kappa_\lambda \cdot \Delta} \quad (15)$$

gdzie  $\Delta = l - d$

Zakładając, że długość drogi w oknie kuwety badanej nie odbiega zbyt mocno od grubości szyby w kuwecie wzorcowej, możemy przyjąć, że  $2\kappa_\lambda \cdot \Delta \ll 1$  (dla szyby odchylonej od pionu o kąt  $\alpha = 20^\circ$ ,  $2\kappa \Delta = 0,08$ ) i napisać:

$$e^{2\kappa_\lambda \cdot \Delta} \approx 1 + 2 \cdot \kappa_\lambda \cdot \Delta \quad (16)$$

Dla rozpatrywanych długości fal promieniowania 3,39  $\mu\text{m}$ , 1,5  $\mu\text{m}$  i 1,3  $\mu\text{m}$ , równanie (15) przyjmie postać układu równań:

$$T_p \cdot T_a = \frac{i_{3,39}}{i_{w3,39}} \cdot (1 + 2\kappa_{3,39} \cdot \Delta) \quad (17)$$

$$T_p = \frac{i_{1,5}}{i_{w1,5}} \cdot (1 + 2\kappa_{1,5} \cdot \Delta) \quad (18)$$

$$T_p = \frac{i_{1,3}}{i_{w1,3}} \cdot (1 + 2\kappa_{1,3} \cdot \Delta) \quad (19)$$

Rozwiązując go otrzymamy:

$$\Delta = \frac{1}{2 \cdot \kappa_{1,3}} \cdot \frac{1 - \frac{i_{w1,3}}{i_{w1,5}} \cdot \frac{i_{1,5}}{i_{1,3}}}{\frac{\kappa_{1,5}}{\kappa_{1,3}} \cdot \frac{i_{w1,3}}{i_{w1,5}} \cdot \frac{i_{1,5}}{i_{1,3}} - 1} \quad (20)$$

$$T_p = \frac{(\kappa_{1,5} - \kappa_{1,3})}{\kappa_{1,3}} \cdot \frac{\frac{i_{1,5}}{i_{w1,5}}}{\frac{\kappa_{1,5}}{\kappa_{1,3}} \cdot \frac{i_{w1,3}}{i_{w1,5}} \cdot \frac{i_{1,5}}{i_{1,3}} - 1} \quad (21)$$

$$T_a = \frac{\kappa_{1,5} - \kappa_{3,39}}{\kappa_{1,5} - \kappa_{1,3}} \cdot \frac{i_{3,39}}{i_{w3,39}} \cdot \frac{i_{1,3}}{i_{1,3}} - \frac{\kappa_{1,3} - \kappa_{3,39}}{\kappa_{1,5} - \kappa_{1,3}} \cdot \frac{i_{3,39}}{i_{w3,39}} \cdot \frac{i_{w1,5}}{i_{1,5}} \quad (22)$$

Wprowadzimy oznaczenie:

$$t_\lambda \equiv \frac{i_\lambda}{i_{w\lambda}} \quad (23)$$

Wzory (20) - (22) przyjmą wówczas odpowiednio postać:

$$\Delta = \frac{1}{2} \cdot \frac{t_{1,3} - t_{1,5}}{\kappa_{1,5} \cdot t_{1,5} - \kappa_{1,3} \cdot t_{1,3}} \quad (24)$$

$$T_p = t_{1,3} \cdot t_{1,5} \cdot \frac{\kappa_{1,5} - \kappa_{1,3}}{\kappa_{1,5} \cdot t_{1,5} - \kappa_{1,3} \cdot t_{1,3}} \quad (25)$$

$$T_a = \frac{\kappa_{1,5} - \kappa_{3,39}}{\kappa_{1,5} - \kappa_{1,3}} \cdot \frac{t_{3,39}}{t_{1,3}} - \frac{\kappa_{1,3} - \kappa_{3,39}}{\kappa_{1,5} - \kappa_{1,3}} \cdot \frac{t_{3,39}}{t_{1,5}} \quad (26)$$

Podstawiając do powyższych wzorów wyznaczone wartości współczynników absorpcji, otrzymamy:

$$\Delta = \frac{1}{2} \cdot \frac{t_{1,3} - t_{1,5}}{0,0266 \cdot t_{1,5} - 0,0384 \cdot t_{1,3}} \quad (27)$$

$$T_p = t_{1,3} \cdot t_{1,5} \cdot \frac{0,0118}{0,0384 \cdot t_{1,3} - 0,0266 \cdot t_{1,5}} \quad (28)$$

$$T_a = 38,297 \cdot \frac{t_{3,39}}{t_{1,3}} - 37,297 \cdot \frac{t_{3,39}}{t_{1,5}} \quad (29)$$

#### 4. Kryteria dokładności pomiarów

Na podstawie (29) przy uwzględnieniu (23), transmisję par alkoholu w kabinie z oknami ze szkła flot o grubości zbliżonej do standardowych szyb samochodowych 3,15mm, można opisać wzorem:

$$T_a = 38,297 \cdot \frac{i_{w1,3}}{i_{w3,39}} \cdot \frac{i_{3,39}}{i_{1,3}} - 37,297 \cdot \frac{i_{w1,5}}{i_{w3,39}} \cdot \frac{i_{3,39}}{i_{1,5}} \quad (30)$$

Po podstawieniu danych z tabeli 5 (do określenia parametrów komory wzorcowej), wzór (30) przyjmie postać:

$$T_a = 57,900 \cdot \frac{i_{3,39}}{i_{1,3}} - 60,727 \cdot \frac{i_{3,39}}{i_{1,5}} \quad (31)$$

Zachodzi podstawowe pytanie, z jaką dokładnością powinniśmy przeprowadzić odczyty sygnałów z detektorów, aby uzyskać możliwość wykrycia określonego stężenia poszukiwanych par.

Zgodnie z teorią błędów, dla wzoru (31) możemy napisać:

$$\Delta T_a = \sqrt{\left(\frac{\partial T_a}{\partial i_{1,3}} \cdot \Delta i_{1,3}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_a}{\partial i_{1,5}} \cdot \Delta i_{1,5}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_a}{\partial i_{3,39}} \cdot \Delta i_{3,39}\right)^2} \quad (32)$$

Na podstawie przeprowadzonych oszacowań, określono wartości pochodnych i po podstawieniu do (32), otrzymano:

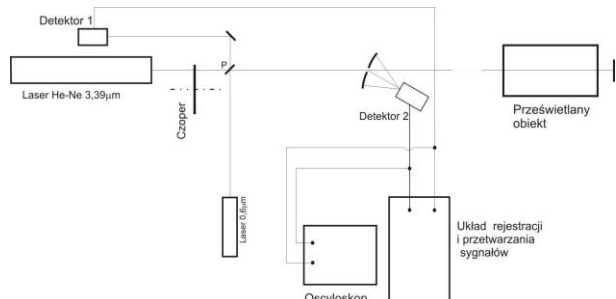
$$\Delta T_a = \sqrt{(242,58 \cdot \Delta i_{1,3})^2 + (197,33 \cdot \Delta i_{1,5})^2 + (0,45 \cdot \Delta i_{3,39})^2} \quad (33)$$

Przyjmując, że  $\Delta i_{1,3} \approx \Delta i_{1,5} \approx \Delta i_{3,39} = \Delta i$ , na podstawie (33) możemy napisać:  $\Delta T_a \approx 21 \cdot \Delta i$ , stąd

$$\Delta i \approx 0,05 \cdot \Delta T_a \quad (34)$$

## 5. Pomiar transmisji par alkoholu w kuwecie

Do badań eksperymentalnych wykorzystano stanowisko pomiarowe, którego schemat przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. 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 3,39µm i mocy ~ 2 mW,
- mechaniczny czoper przerywający wiązkę z częstotliwością 3,6 kHz,
- płytka światło-dzieląca wprowadzająca w tor pilotującą wiązkę diody laserowej (0,6µm) i odbijająca część promieniowania lasera He-Ne na detektor 1 (PbSe firmy Hamamatsu),
- płaskie zwierciadło Z zwracające 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 firmy INTSOL 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 celu obniżenia wpływu niestabilności lasera na wykonywane pomiary, zastosowano dwa detektory, z których jeden odbierał sygnał przed prześwietleniem obiektu natomiast drugi po jego prześwietleniu. Do analizy wykorzystywany był stosunek amplitud tych sygnałów.

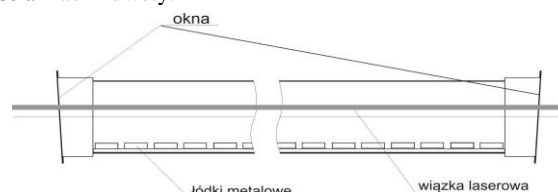
Zasilany silnikiem synchronicznym czoper przerywał wiązkę laserową ze stałą częstotliwością 3,6 kHz, umożliwiając prowadzenie detekcji sygnałów o amplitudzie mniejszej od amplitudy szumów.

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.

Do badań wykorzystano kuwotę w postaci rury z PCV o długości 140 cm i średnicy 10 cm zamkniętą oknami z szyb samochodowych o grubości 3,15mm nachylonymi pod kątem ~ 5°. Do kuwoty wstawiano przed każdym pomiarem listwę z trzydziestoma łódkami metalowymi, do których wlewano roztwór alkoholu w wodzie o określonym stężeniu. Schemat kuwoty z listwą pokazano na rys. 8.

Do łódek na listwie wlewano odpowiedni roztwór alkoholu w wodzie a następnie po zdjęciu jednego z okien kuwoty, wsuwno listwę z łódkami do kuwoty i zamykano kuwotę oknem. Po kilku minutach, kuweta była wstawiana w tor wiązki laserowej. Przepuszczając dwukrotnie wiązkę przez kuwotę nad łódkami napełnionymi określonymi roztworami alkoholu w wodzie, rejestrowano wartość sygnałów z detektora 2, na który padało

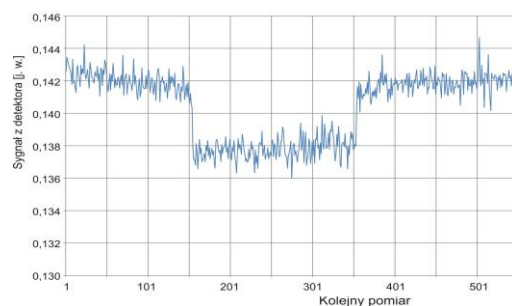
przechodzące promieniowanie. Jednocześnie rejestrowano na detektorze 1 sygnały odniesienia pozwalające zmniejszać błędy związane z niestabilnością mocy lasera. Pomiary przeprowadzano dla kolejnych coraz większych stężeń, eliminując tym samym błąd związany z ewentualnym uwalnianiem zaadsorbowanych par na ściankach kuwoty.



Rys. 8. Schemat badanej kuwoty z łódkami na listwie

W układzie zastosowano detekcję sygnału okresowego z zastosowaniem metody uśredniania koherentnego [13] przy wykorzystaniu czułych detektorów chłodzonych.

Układ rejestracji i przetwarzania sygnałów rejestrował co 0,5s amplitudę sygnałów z detektorów. Średnia wartość tych sygnałów z ostatnich 64 pomiarów  $\bar{I}$  była wyświetlana na ekranie komputera i przedstawiana w postaci cyfrowej w Excelu. Przykładowy wykres transmisji w funkcji kolejnych pomiarów dla stężenia alkoholu w roztworze  $C_a = 0,002$  pokazano na rys. 9.



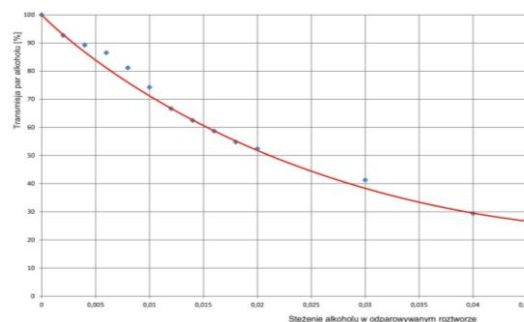
Rys. 9. Wykres transmisji par alkoholu w funkcji kolejnych pomiarów dla stężenia  $C_a = 0,002$

Otrzymane wyniki pomiarów umieszczono w tabeli 5, gdzie dodatkowo zapisano wartość transmisji par alkoholu  $T_a$  otrzymaną w wyniku podzielenia wartości sygnału dla danego stężenia alkoholu przez wartość sygnału dla pustej kuwoty.

Tabela 5. Wyniki pomiarów i obliczeń

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

Na podstawie otrzymanych wyników wykonano wykres przedstawiony na rysunku 10.



Rys. 10. Wykres transmisji par alkoholu w funkcji stężenia alkoholu w parującym roztworze

Przeprowadzony eksperyment pozwolił określić możliwości zdalnego wykrywania stosunkowo niskich stężeń par alkoholu w powietrzu.

Na podstawie nachylenia wykresu na rysunku 10, dla stosunkowo małych stężeń alkoholu w roztworze, określono wartość

$$\frac{\Delta T_a}{\Delta C} = -26 \quad (35)$$

Zakładając, że w płucach odparowywanie alkoholu zachodzi analogicznie jak w przedstawionej kuwecie i przyjmując, że dla człowieka w stanie „po spożyciu” mamy 0,2 promila alkoholu we krwi, możemy przyjąć  $\Delta C = 2 \cdot 10^{-4}$ .

Po podstawieniu do (35), otrzymamy wartość transmisji par alkoholu, którą powinniśmy wykryć:

$$\Delta T_a = 26 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 52 \cdot 10^{-4} \leq 10^{-2}$$

Po podstawieniu do (34), otrzymamy:  $\Delta i \leq 0,05 \cdot 10^{-2} = 5 \cdot 10^{-4}$

Otrzymana wartość oznacza dokładność pomiaru sygnału z detektora, jaką powinniśmy dysponować przy wykrywaniu par alkoholu wydychanych przez osobę „po spożyciu”.

## 6. Wnioski końcowe

Rezultatem przeprowadzonych prac są wyniki pozwalające odnieść się do tezy dotyczącej możliwości zbudowania prostego i taniego urządzenia do wykrywania substancji lotnych a zwłaszcza par alkoholu etylowego w kabinach z oknami. Przedstawiona metoda różnicowej absorpcji, poprzez wprowadzenie dodatkowej wiązki odniesienia i dodatkowego pomiaru natężenia promieniowania wychodzącego z nadajnika a także wykorzystywania kuwety wzorcowej, aczkolwiek komplikuje nieco układ, to jednak pozwala na wykrywanie par alkoholu w sprawdzanych pojazdach nawet przy oknach bocznych lekko przybrudzonych i przy niewielkim ich pochyleniu.

Z przeprowadzonej analizy i wniosków z wykonanych badań wynika, że niezwykle ważny jest układ detekcji i przetwarzania danych, który powinien zapewnić odbiór sygnałów i przetworzenie otrzymanych informacji ze stosunkowo dużą dokładnością. Dużo uwagi należy również poświęcić rozkładowi przestrzennemu wykorzystywanych wiązek laserowych, aby była zapewniona skuteczność podwójnej detekcji promieniowania odpowiednio przed i po przejściu przez badany obiekt.

## Podziękowania

Praca była finansowana przez NCBiR w ramach projektu INNOTECH-K1/IN1/24/153656/NCBR/12.

Autorzy dziękują za opracowanie i wykonanie wykorzystywanego w pracy układu sterowania i przetwarzania danych pracownikom firmy INTSOL: Ł. Kołaszewskiemu, P. Pruszyńskiemu i K. Zamorzyńskiemu

## Literatura

- [1] Awiukiewicz G. Mikulski T.: Badanie stanu trzeźwości w służbie przy użyciu urządzeń kontrolno-pomiarowych, materiał opracowany w Zakładzie Interwencji Policyjnych Szkoły Policji w Słupsku, Słupsk 2013r.
- [2] Beil A., Daum R., Johnson T.: Detection of chemical agents in the atmosphere by passive IR remote sensing, in Internal Standardization and Calibration Architectures for Chemical Sensors, Ronald E. Shaffer, Radislav A. Potyriailo, Editors, Proceedings of SPIE Vol. 3856, 2000, 44-56.
- [3] Ershov O., Nadezdinskii A., Berezin A.: Remote Gas Molecule Detector, patent no US2003/0160173A1 Aug. 28, 2003.
- [4] Kubicki J., Mlynczak J., Kopczyński K.: Application of modified difference absorption method to stand-off detection of alcohol in simulated car cabins, Journal of Applied Remote Sensing, Vol. 7, No. 1, 2013, 073529-1 - 073529-13, DOI: 10.1117/1.JRS.7.073529.
- [5] Kubicki J., Mierczyk Z., Kopczyński K., Kopicia M.: Urządzenie do wykrywania par alkoholu w poruszających się pojazdach. Zgłoszenie patentowe nr P. 389627.
- [6] Kubicki J., Mierczyk Z., Kopczyński K., Kopicia M., Mierczyk J.: Zdalne wykrywanie par alkoholu w poruszających się samochodach, Prace Instytutu Elektrotechniki 244, 2010, 211-228.
- [7] Kubicki J., Mierczyk Z., Kopczyński K., Mlynczak J.: Urządzenie do zdalnego wykrywania par i gazów metodą DIAL w kabinach i komorach z oknami, Zgłoszenie patentowe nr P-398513.

- [8] Kubicki J., Mierczyk Z., Kopczyński K., Mlynczak J.: Urządzenie do zdalnego określania kąta nachylenia szyby bocznej poruszającego się samochodu - Zgłoszenie patentowe nr P-399366.
- [9] Mierczyk Z., Maziejuk M., Mielczarek G., Kwaśny M., Kopczyński K., Kałdoński G.: Optoelektroniczny monitoring emisji zanieczyszczeń w instalacjach utylizacji odpadów, Konferencja EKOMILITARIS 2004.
- [10] Lyons R.G.: Understanding Digital Signal Processing, Addison Wesley Longman, Inc.
- [11] Nishida S.: Alcohol detector in vehicle, patent JP2000230900(A), 2000, 8-22.
- [12] Organic Compound Identification Using Infrared Spectroscopy, Walt Volland, Bellevue Community College, Bellevue, Washington, 1999.
- [13] Silverstein R.M., Bassler G.C., Morrill T.C.: Spectrometric identification of organic compounds, Wiley, New York, 1991.

**Dr inż. Jarosław Mlynczak**  
e-mail: jmlynczak@wat.edu.pl

Dr inż. Jarosław Mlynczak jest adiunktem naukowo dydaktycznym w Instytucie Optoelektroniki WAT. Opublikował kilkadziesiąt artykułów w recenzowanych czasopismach naukowych oraz wiele referatów i komunikatów na konferencjach krajowych i zagranicznych. Jest także współautorem 3 patentów. Otrzymał 6 nagród na międzynarodowych i krajowych wystawach wynalazków SIIF, IWIS, IENA, BRUSSELS INNOVA. Obecnie dr inż. Jarosław Mlynczak prowadzi badania w takich dziedzinach jak ośrodki aktywne i pasywne modulatory dobroci rezonatora, optoelektroniczna detekcja skażeń chemicznych i biologicznych, głowice laserowe do dalmierzy, zdalna detekcja alkoholu w pojazdach samochodowych, urządzenia do biometrycznej identyfikacji osób. Jest współautorem kilku urządzeń wdrożonych do produkcji seryjnej oraz kilku urządzeń będących w fazie wdrażania.

**Dr inż. Krzysztof Kopczyński**  
e-mail: jkopczyński@wat.edu.pl

Dr inż. Krzysztof Kopczyński jest dyrektorem Instytutu Optoelektroniki WAT. Poza kierowaniem Instytutem zaangażowany jest w prace badawcze i dydaktykę. Kierował wieloma projektami krajowymi i zagranicznymi w ramach KBN, NCBiR, UE i EDA. Obecnie prowadzi badania związane z optoelektronicznymi systemami w zakresie bezpieczeństwa i obronności. Zdobył wiele złotych medali i wyróżnień na Międzynarodowych Wystawach Innowacji w Moskwie, Genewie i Wystawach EUREKA w Brukseli oraz puchary i dyplomy Ministra Nauki. Jest autorem ponad 100 publikacji w polskich i zagranicznych czasopismach naukowych. Członek SPIE International Society for Optics and Photonics, OSA Optical Society of America i EOS European Optical Society.

**Dr inż. Jan Kubicki**  
e-mail: jkubicki@wat.edu.pl

Dr inż. Jan Kubicki jest absolwentem Wydziału Fizyki Technicznej WAT. W 1980 r. obronił pracę doktorską z dziedziny laserów molekularnych. Obecnie pracuje w Instytucie Optoelektroniki WAT. Jest autorem lub współautorem kilkadziesiątu publikacji naukowych z dziedziny fizyki laserów, układów laserowych dużej mocy, spektroskopii laserowej, oddziaływania promieniowania laserowego z materią oraz wykorzystania impulsowych wyładowań elektrycznych do modyfikacji powierzchni metalowych. Autor lub współautor opracowań technologicznych i patentów z zakresu wykorzystania impulsów laserowych dużej mocy, impulsowych wyładowań elektrycznych w gazach i w cieczy oraz zagadnień dotyczących zdalnego wykrywania par alkoholu. Obecnie zajmuje się zdalną detekcją par i gazów w przestrzeniach otwartych i zamkniętych.

**Mgr Jadwiga Mierczyk**  
e-mail: jmierczyk@wat.edu.pl

Mgr Jadwiga Mierczyk jest absolwentką Wydziału Matematyki – Fizyki – Chemii na Uniwersytecie Śląskim w Katowicach. Asystent naukowej w Instytucie Optoelektroniki WAT w Warszawie. Realizuje prace naukowo-badawcze z zakresu spektrofotometrii dotyczące materiałów optycznych, ośrodków aktywnych laserów, nieliniowych elementów optycznych, cienkich warstw i filtrów optycznych.

