

Możliwości wykrywania par alkoholu w kabinach samochodów z szybami o nieznanymi parametrach

Streszczenie. W pracy przeprowadzono analizę możliwości wykrywania par alkoholu w samochodach o nieznanymi szybami przy wykorzystaniu międzypasmowych laserów kaskadowych. Zwrócono szczególną uwagę na własności optyczne okien o różnym współczynniku absorpcji dla promieniowania pochłanianego przez wykrywane pary i promieniowania odniesienia. Przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych.

Abstract. In this article we present the analysis of the opportunity to detect alcohol vapours in cars with unknown windows using interband cascade lasers. Special attention was paid to the optical properties of windows that are usually characterized by different absorption coefficients for the radiation absorbed by the alcohol vapours and for the reference radiation. The results of the experimental studies were also described. (**Opportunities of detection of alcohol vapours in cars with unknown windows using cascade lasers.**)

Słowa kluczowe: pary alkoholu, zdalne wykrywanie, szyby samochodowe, lasery kaskadowe.

Keywords: Alcohol vapours, remote sensing, car windows, cascade lasers.

Wstęp

Zdalne wykrywanie par alkoholu w poruszających się pojazdach jest szczególnym przypadkiem wykrywania par i gazów opisywanym w literaturze [1-3]. Problematyka ta cieszy się bardzo dużym zainteresowaniem, ponieważ może przyczynić się do zwalczania nietrzeźwości kierowców. Istnieje wiele zgłoszeń patentowych zastrzegających zarówno sposoby zdalnego wykrywania par alkoholu w przejeżdżających pojazdach, jak i zgłoszeń dotyczących konkretnych rozwiązań w przeznaczonych do tego celu urządzeniach [4-7]. Często dąży się w nich do bardzo precyzyjnego pomiaru stężenia par alkoholu, nie zważając na fakt, że kabina samochodu jest komorą częściowo odkrytą, a ponadto najczęściej włączony jest ciągły nawiew. Dodatkowo, należy uwzględnić fakt, że pary alkoholu mogą być nie tylko wydychane przez nietrzeźwego kierowcę, ale mogą również pochodzić od nietrzeźwego pasażera, z płynu do wycieraczek, rozlanych perfum itp. Dlatego też precyzyjne określenie ich stężenia jest zbyt trudne. Bezsensowne jest również wykorzystywanie dwutlenku węgla jako znacznika, gdyż jest on wydychany przez wszystkie osoby w samochodzie, trzeźwe i nietrzeźwe.

W związku z przedstawionymi ograniczeniami, należy przyjąć, że poprzez zdalne wykrywanie par alkoholu w przejeżdżających samochodach, będziemy mogli jedynie wskazywać samochody podejrzane, a nie określać stan nietrzeźwości kierowcy. Tym niemniej tak sprecyzowana rola jest niezwykle przydatna, gdyż pozwala na zdecydowane zmniejszenie populacji samochodów przeznaczonych do kontroli, pozwalając na pełną kontrolę pojazdów nawet na ruchliwej ulicy bez większych zakłóceń ruchu.

Wydaje się, że na obecnym etapie prac nad zdalnym wykrywaniem par alkoholu w samochodach metodą pomiaru różnicowej absorpcji światła, najważniejszym problemem jest różnorodność szyb, w których każda z wykorzystywanych wiązek światła może mieć inną transmisję. Było to szczególnie istotne w sytuacji, gdy na rynku z pośród dostępnych komercyjnie w miarę prostych laserów, których promieniowanie nadawało się do wykrywania par alkoholu, był jedynie laser He-Ne emitujący promieniowanie 3,39 μm , a jednocześnie brakowało prostego lasera emitującego wiązkę odniesienia o zbliżonej długości fali.

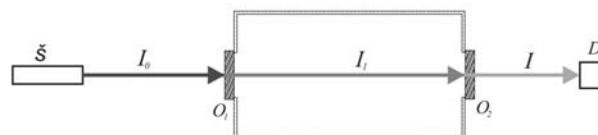
Trudności próbowano wówczas pokonać poprzez wprowadzenie dwóch wiązek odniesienia o różnym współczynniku absorpcji w szkle, w celu bieżącego określania grubości szyb, by wyeliminować ich wpływ na pomiar transmisji wykrywanych par [8-9]. W praktyce jednak

okazało się, że jest to niezwykle trudne ze względu na bardzo wysokie wymagania dotyczące dokładności pomiaru rejestrowanych sygnałów [10].

Obecnie, dzięki szybkiemu postępowi technologicznemu i wprowadzeniu na rynek międzypasmowych laserów kaskadowych z zakresu 3-4 μm , pojawiła się szansa przezwyciężenia tych trudności.

Analiza wpływu transmisji promieniowania w szybach na możliwości zdalnego wykrywania par w kabinach

Problem wykrywania par i gazów w kabinach z oknami metodą różnicowej absorpcji jest ogólnie znany [9-11]. Tym niemniej, ze względu na specyfikę poruszanych w pracy zagadnień, opisano go jeszcze raz, wykorzystując schemat przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat ideowy pomiaru transmisji promieniowania w kabinie z oknami

Emitowana przez źródło promieniowania S , skolimowana wiązka światła o natężeniu I_0 przechodzi przez okno O_1 , tracąc część energii na odbicie Fresnela r od obydwu powierzchni oraz na absorpcję w szkle. Następnie wiązka prześwietla diagnozowany ośrodek i po przejściu przez okno O_2 pada na detektor D .

Przyjmując założenie, że promieniowanie pada na okna pod niewielkimi kątami i pomijając zjawiska wielokrotnych odbić na powierzchniach okien, można przyjąć, że po przejściu przez pierwsze okno, do komory przechodzi wiązka o natężeniu:

$$(1) \quad I_1 = I_0(1-r)^2 e^{-\kappa_s d}$$

gdzie: κ_s – współczynnik absorpcji promieniowania w szkle szyby okiennej, d – grubość szyby.

Po przejściu przez komorę, na detektor D pada wiązka o natężeniu:

$$(2) \quad I = I_0(1-r)^4 e^{-2\kappa_s d} e^{-\kappa_a l}$$

gdzie: κ_a – współczynnik absorpcji promieniowania w diagnozowanym ośrodku l – długość sprawdzanego ośrodka.

Po podzieleniu przez I_0 , mamy:

$$(3) \quad \frac{I}{I_0} = (1-r)^4 e^{-2\kappa_s d} e^{-\kappa_a l}$$

Do wzoru (3) wprowadzamy oznaczenia:

$$(4) \quad T \equiv \frac{I}{I_0}$$

T – całkowita transmisja promieniowania w komorze.

$$(5) \quad T_a \equiv e^{-\kappa_a l}$$

T_a – transmisja w ewentualnych parach alkoholu w komorze.

$$(6) \quad T_k \equiv (1-r)^4 e^{-2\kappa_s d}$$

T_k – transmisja promieniowania w komorze z czystymi oknami bez par alkoholu.

Po wprowadzeniu tych oznaczeń oraz uwzględnieniu transmisji T_p przez zabrudzenia i pyły na szybach okien i w prześwietlanej przestrzeni, wzór (3) przyjmie postać:

$$(7) \quad T = T_k \cdot T_p \cdot T_a$$

Przyjmując liniową charakterystykę detektora, można założyć, że sygnał S z detektora jest proporcjonalny do natężenia oświetlającego go promieniowania I . Wzór (7) można wówczas zapisać:

$$(8) \quad T = T_k \cdot T_p \cdot T_a = \frac{S}{S_0}$$

gdzie: S – sygnał z detektora oświetlanego wiązką prześwietlającą komorę, S_0 – sygnał z detektora przy braku komory.

W celu zmniejszenia wykorzystywanego zakresu detektora, dla zagwarantowania jego liniowej charakterystyki, wykorzystywane jest dodatkowo okno wzorcowe, wstawiane w tor wiązki naprzemiennie z diagnozowaną komorą.

Transmisja promieniowania przez to okno wynosi:

$$(9) \quad T_w = \frac{S_w}{S_0}$$

gdzie: S_w – sygnał z detektora oświetlanego wiązką prześwietlającą okno wzorcowe.

Po podzieleniu stronami (8) przez (9), otrzymamy:

$$(10) \quad \frac{T}{T_w} = \frac{T_k}{T_w} \cdot T_p \cdot T_a = \frac{S}{S_w}$$

W przypadku absorpcji różnicowej, gdy komora jest prześwietlana dwoma połączonymi wiązkami światła o różnych długościach fal, zależność (10) przyjmie odpowiednio postać:

$$(11) \quad \frac{T_1}{T_{w1}} = \frac{T_{k1}}{T_{w1}} \cdot T_{p1} \cdot T_{a1} = \frac{S_1}{S_{w1}}$$

$$(12) \quad \frac{T_2}{T_{w2}} = \frac{T_{k2}}{T_{w2}} \cdot T_{p2} \cdot T_{a2} = \frac{S_2}{S_{w2}}$$

Po podzieleniu stronami (11) przez (12), otrzymamy:

$$(13) \quad \frac{T_{k1}}{T_{k2}} \cdot \frac{T_{w2}}{T_{w1}} \cdot \frac{T_{p1}}{T_{p2}} \cdot \frac{T_{a1}}{T_{a2}} = \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{S_{w2}}{S_{w1}}$$

Wprowadzimy pojęcie transmisji względnej τ i sygnału względnego s , które zdefiniujemy odpowiednio:

$$(14) \quad \tau_k \equiv \frac{T_{k1}}{T_{k2}}$$

τ_k – transmisja względna komory,

$$(15) \quad \tau_w \equiv \frac{T_{w1}}{T_{w2}}$$

τ_w – transmisja względna okna wzorcowego,

$$(16) \quad \tau_p \equiv \frac{T_{p1}}{T_{p2}}$$

τ_p – transmisja względna pyłów i zabrudzeń na szybach,

$$(17) \quad \tau_a \equiv \frac{T_{a1}}{T_{a2}}$$

τ_a – transmisja względna par alkoholu,

$$(18) \quad s \equiv \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{S_{w2}}{S_{w1}}$$

s – sygnał względny z detektora.

Równanie (13) przyjmie wówczas postać:

$$(19) \quad \frac{\tau_k}{\tau_w} \cdot \tau_p \cdot \tau_a = s$$

stąd:

$$(20) \quad \tau_a = \frac{I}{\tau_p} \cdot \frac{\tau_w}{\tau_k} \cdot s$$

Dla skrócenia zapisu, oznaczymy dodatkowo:

$$(21) \quad \alpha_k \equiv \frac{\tau_w}{\tau_k}$$

α_k – współczynnik transmisji komory czystej,

$$(22) \quad \alpha_p \equiv \frac{I}{\tau_p}$$

α_p – współczynnik transmisji zabrudzeń i pyłów,

$$(23) \quad \alpha \equiv \alpha_k \cdot \alpha_p = \frac{I}{\tau_p} \cdot \frac{\tau_w}{\tau_k}$$

α – współczynnik transmisji komory.

Po wprowadzeniu tych oznaczeń do (20), wzór przyjmie postać:

$$(24) \quad \tau_a = \alpha \cdot s$$

Dla konkretnego obiektu, współczynnik α możemy stosunkowo łatwo wyznaczyć eksperymentalnie, dokonując pomiaru sygnału s dla komory bez par alkoholu, dla której $\tau_a = 1$. Mamy wówczas:

$$(25) \quad \alpha = \frac{I}{s}$$

Problem występuje jednak wtedy, gdy chcemy zdiagnozować obiekty nieznane. Konieczna jest więc dokładniejsza analiza przyczyn ewentualnych różnorodności współczynników α dla tych obiektów. Przy założeniu, że szyby są czyste ($\alpha_p = 1$) oraz współczynniki załamania światła w szkle szyb w oknach komory i w oknie wzorcowym są jednakowe dla obydwu prześwietlających wiązek, wzór (23), po uwzględnieniu (6), (14) i (15), przyjmie postać:

$$(26) \quad \alpha = \frac{e^{-2d\kappa_2}}{e^{-2d\kappa_1}} \cdot \frac{e^{-2d_w\kappa_{w1}}}{e^{-2d_w\kappa_{w2}}} = e^{2[d(\kappa_1 - \kappa_2) - d_w(\kappa_{w1} - \kappa_{w2})]}$$

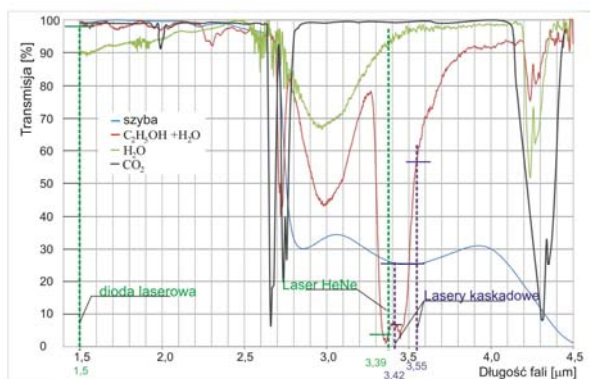
gdzie: d – grubość szyby w oknie komory, d_w – grubość pojedynczej szyby okna wzorcowego składającego się z dwóch szyb, κ_1, κ_2 – współczynniki absorpcji dla poszczególnych wiązek w szkle okien komory, κ_{w1}, κ_{w2} – współczynniki absorpcji dla poszczególnych wiązek w szkle okna wzorcowego.

Widać, że dobierając odpowiednio grubość i jakość szyby w oknie wzorcowym, możemy zbliżyć się ze współczynnikiem α do jedności.

Ponadto, z wzoru (26) i (14) wynika, że prześwietlając komory z oknami w celu wykrycia w nich poszukiwanych par lub gazów, powinniśmy tak dobrać długości fal połączonych wiązek światła, aby współczynnik absorpcji tych wiązek różnił się maksymalnie w diagnozowanym ośrodku i minimalnie w szklach okien sprawdzanych komór oraz okna wzorcowego. Jednak, nie znając parametrów okien w konkretnym sprawdzanym obiekcie, możemy jedynie przyjąć dla niego hipotetyczny współczynnik α opierając się na przypuszczeniach podbudowanych badaniami statystycznymi.

Charakterystyki widmowe szyb

W celu skonkretyzowania przeprowadzonych rozważań, na rysunku 2 zestawiono widmowe charakterystyki transmisyjne par substancji mogących występować w samochodzie – alkoholu etylowego, wody i dwutlenku węgla, charakterystykę transmisyjną szyby samochodowej i długości fal promieniowania wybranych laserów. Charakterystyki widmowe opisanych par wymienionych substancji i szyby samochodowej wykonano na spektrometrze FT-IR System Spectrum GX firmy Perkin Elmer.



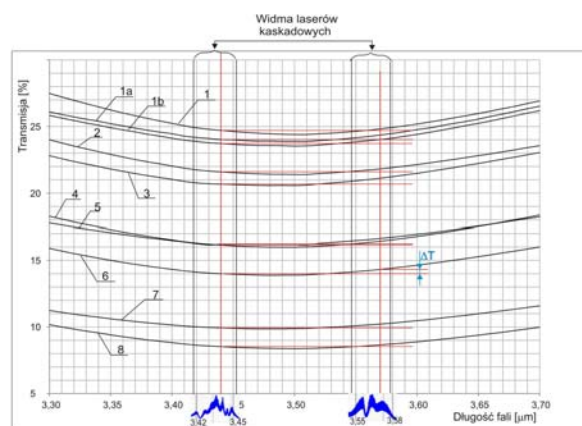
Rys. 2. Zestawienie charakterystyk transmisyjnych dla substancji mogących występować w samochodzie i transmisji szyby samochodowej firmy Pilkington z długościami fal promieniowania wybranych laserów

Na rysunku widać, że dla wybranej wiązki lasera He-Ne (3,39 μm) absorbowanej w parach alkoholu i wiązki odniesienia z diody laserowej 1,5 μm , wykorzystywanych do pomiaru różnicowej absorpcji promieniowania w tych parach, transmisja promieniowania przez szybę samochodową jest bardzo różna dla obydwu wiązek. Wynika z tego, że zmiana grubości szyby lub jej kąta nachylenia wpływającego na długość drogi optycznej w tej szybie, doprowadzą do odczytu identycznego, jak zmiana stężenia par alkoholu w samochodzie.

W przeciwieństwie do wyżej opisanej sytuacji, dla promieniowania laserów kaskadowych z zakresów obejmujących fale o długości odpowiednio 3,42 μm i

3,55 μm , transmisja dla par alkoholu różni się znacznie, natomiast dla szyby samochodowej jest zbliżona. Nie oznacza to jednak, że jest identyczna. Należy się w dalszym ciągu liczyć z drobnymi różnicami w wartościach współczynnika absorpcji dla każdej z tych wiązek w poszczególnych szklach.

Przy stosunkowo małym stężeniu par alkoholu w samochodzie, absorpcja promieniowania w nich może być bardzo mała i nawet stosunkowo małe błędy w odczycie całkowitej transmisji mogą mieć istotne znaczenie dla wykrywania tych par. Pod uwagę musimy wziąć również fakt, że w sprawdzanych samochodach możemy mieć dużą różnorodność szyb bocznych, a tym samym istnieje możliwość występowania różnych współczynników α . W związku z tym, w celu sprawdzenia wiarygodności wyników pomiaru transmisji dla par alkoholu w różnych nieznanach obiektach, przeprowadzono badania ośmiu różnych przypadkowych szyb (w tym czterech samochodowych). Spektrometrem zmierzono w interesującym nas zakresie ich widma. Charakterystyki transmisyjne dla tych szyb przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Charakterystyki transmisyjne dla szyb: 1 – szyba o grubości 2 mm (wykorzystywana do obrazków ściennych), 2 – boczna szyba samochodowa Pilkington o grubości 3,15 mm, 3 – niehartowana szyba samochodowa Pilkington o grubości 3,15 mm, 4 – szyba okienna o grubości 2,9 mm, 5 – przyciemniona boczna szyba samochodowa Pilkington o grubości 3,15 mm, 6 – szyba okienna o grubości 3,9 mm, 7 – przyciemniona szyba samochodowa Soliver o grubości 4 mm, 8 – szyba okienna o grubości 4 mm, 1a, 1b – szyba 1 zaparowana parą wodną

Na podstawie załączonych przez producenta widm wykorzystywanych laserów kaskadowych przyjęto średnie wartości długości fal, odpowiednio 3,44 μm i 3,57 μm . Następnie z charakterystyki widmowej odczytano dla tych długości fal wartości transmisji dla badanych szyb oraz na ich podstawie określono wartości transmisji promieniowania przechodzącego przez dwie szyby. Wyniki przedstawiono w tabeli 1. Widać wyraźnie różnice w transmisji promieniowania dla obydwu wiązek, które dla poszczególnych szyb przyjmują różne wartości.

Tabela 1. Transmisja szyb i okien dla promieniowania o długościach fal odpowiadających promieniowaniu laserów kaskadowych

Rodz. szyby	1	2	3	4	5	6	7	8	1a
T_{p1}	0,2470	0,2159	0,2067	0,1614	0,1620	0,1400	0,0993	0,0852	0,2402
T_{p2}	0,2482	0,2181	0,2112	0,1643	0,1664	0,1432	0,1022	0,0865	0,2436
T_1	0,0610	0,0466	0,0427	0,0261	0,0262	0,0196	0,0099	0,0073	0,0577
T_2	0,0616	0,0476	0,0446	0,0270	0,0277	0,0205	0,0104	0,0075	0,0594

W tabeli 1 wprowadzono dodatkowo oznaczenia: 1a – szyba 1 zaporowana parą wodną, T_{p1} – transmisja dla promieniowania 3,44 μm w pojedynczej szybie, T_{p2} – transmisja dla promieniowania 3,57 μm w pojedynczej szybie, T_l – transmisja dla promieniowania 3,44 μm przez dwie szyby, T_2 – transmisja dla promieniowania 3,57 μm przez dwie szyby.

Wykorzystano przy tym zależności:

$$(27) \quad T_1 = T_{p1}^2 \quad T_2 = T_{p2}^2$$

Dla pomiarów transmisji T czystych szyb za pomocą spektrometru, analogicznie jak w przypadku prześwietlania laserem, można przyjąć te same założenia, jak dla wzoru (1). Możemy więc napisać:

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

stąd:

$$(28) \quad \kappa = \frac{1}{d} \ln \frac{(1-r)^2}{T}$$

Dla stosunkowo wąskiego zakresu widmowego obejmującego długości fal wykorzystywanych laserów kaskadowych, można przyjąć stałą wartość współczynnika załamania światła dla szkła, która dla tego zakresu wynosi $n = 1,47$ [9] i odpowiadający jej współczynnik odbicia $r = 0,036$.

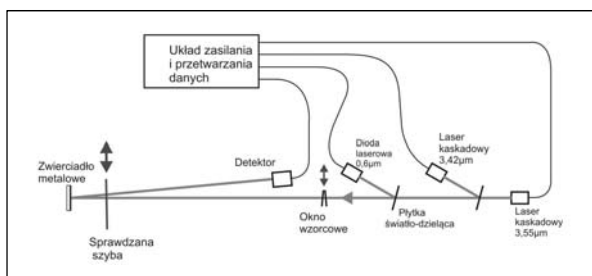
Po podstawieniu do (28), otrzymamy:

$$(29) \quad \kappa = \frac{1}{d} \ln \frac{0,929}{T}$$

Tabela 2. Obliczone parametry przebadanych szyb

Rodz. szyby	1	2	3	4	5	6	7	8
κ_1 [mm^{-1}]	0,476855	0,462813	0,55492	0,558599	0,661421	0,596467	0,484837	0,582707
κ_2 [mm^{-1}]	0,471084	0,460669	0,546859	0,552715	0,661027	0,594444	0,480307	0,578367
$\Delta\kappa$ [mm^{-1}]	0,005771	0,002144	0,008061	0,005884	0,000394	0,002023	0,00453	0,00434
d [mm]	2	3,15	3,15	2,9	3,15	3,9	4	4
α_{wylicz}	0,98897	0,97954	1,01675	0,99995	0,9688	0,98177	1,00206	1,00054

W celu zweryfikowania rezultatów powyższych rozważań, przeprowadzono eksperyment według schematu przedstawionego na rysunku 5. Łącząc promieniowanie lasera 3,42 μm z promieniowaniem 3,55 μm przy pomocy płytki światło-dzielącej, otrzymano wiązkę laserową prześwietlającą badane szyby. Wykorzystując odbicie pod niewielkim kątem od płaskiego zwierciadła metalowego, przepuszczano dwukrotnie wiązkę laserową przez badaną szybę. Dzięki temu stworzono symulację prześwietlania komory zamkniętej oknami z tej szyby bez par alkoholu wewnątrz i przy wykorzystaniu wzoru (25) umożliwiono dla niej wyznaczenie współczynnika α .

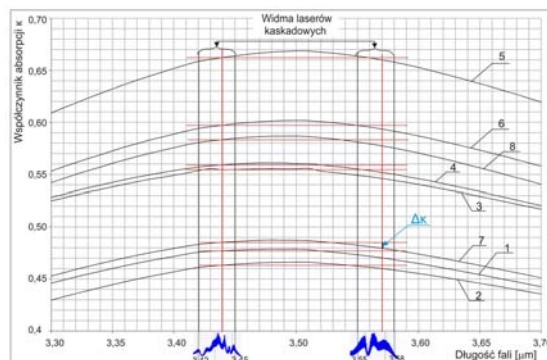


Rys. 5. Schemat układu do badania szyb przy pomocy laserów kaskadowych

Oknem wzorcowym w tym eksperymencie była podwójna szyba okienna o grubości 2,9 mm (szyba 4).

Wstawiając do wzoru (29) wartości T z tabeli 1, przy uwzględnieniu odpowiednich grubości szyb d , otrzymano zależności współczynników absorpcji κ dla szkieł badanych szyb, od długości fali.

Przedstawiono je na rysunku 4.



Rys. 4. Zależność współczynnika absorpcji od długości fali dla badanych szyb (na podstawie danych do rysunku 3)

Analogicznie jak w przypadku transmisji T dla badanych szyb, przyjmując średnie wartości długości fal wykorzystywanych laserów kaskadowych odpowiednio 3,44 μm i 3,57 μm , porównano wyznaczone wartości współczynnika absorpcji dla przebadanych szyb. Następnie, wykorzystując wzór (26) oraz przyjmując, że okno wzorcowe jest wykonane z szyby 4, obliczono wartość współczynnika α . Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Impulsy świetlne z poszczególnych laserów były emitowane z częstotliwościami odpowiednio 5 kHz i 8 kHz. Uśrednianie koherentne w układzie przetwarzania danych pozwoliło na precyzyjny odczyt odpowiednich sygnałów z detektora. W układzie zmierzono transmisję wszystkich szyb badanych wcześniej spektrometrem, a także dodatkowo transmisję szyby 1 z naporowaną wodą, z naniesioną warstwą pyłu grafitowego, z naniesioną warstwą pyłu z gleby.

Wyniki odczytów sygnałów z detektora i obliczeń współczynnika α przedstawiono w tabeli 3, w której wykorzystano oznaczenia wprowadzone we wzorze (11) i

(12) oraz oznaczono dodatkowo: 1_{gr} – szyba 1 z naniesioną warstwą pyłu grafitowego, 1_p – szyba 1 z naniesioną warstwą pyłu z gleby, 1_w – szyba 1 z naporowaną warstwą wody.

Otrzymane wartości współczynnika α można porównać z wynikami obliczeń na podstawie pomiarów spektrometrem, przedstawionymi w tabeli 2. Porównanie tych wyników pokazano w tabeli 4.

Widać, że wyznaczone różnymi metodami wartości współczynników α przy pomocy całkowicie różnej aparatury są zbliżone. Drobne różnice pomiędzy nimi nie przekraczające 7% ich wartości, mogą wynikać między innymi z przyjęcia jednakowego dla obydwu wiązek laserowych współczynnika załamania szkła oraz z przyjęcia średnich (dyskretnych) wartości długości fal promieniowania emitowanego przez wykorzystywane lasery kaskadowe.

Tabela 3. Wyniki odczytów sygnałów z detektora i obliczeń współczynnika α dla szyb prześwietlanych wiązką laserową

Nr szyby	S_1	S_2	S_{1w}	S_{2w}	α
1	2132156	3234639	1728886	2492573	1,052
2	1508589	2301835	1702246	2481319	1,047
3	1421229	2274479	1676328	2610514	1,028
4	1735275	2517382	1700784	2466562	1
5	870465	1252480	1688056	2480851	0,979
6	637851	936401	1684169	2466131	1,003
7	349827	503352	1694587	2475208	0,985
8	333942	491572	1683256	2469218	1,003
1 _{gr}	1786600	2846605	1717240	2515328	1,088
1 _p	1735632	2707379	1740694	2518108	1,078
1 _w	1830044	2919438	1698648	2532821	1,070

Tabela 4. Porównanie wyników badań szyb na spektrometrze (α_{wylicz}) z wynikami badań laserowych (α)

Nr szyby	1	2	3	4	5	6	7	8
α_{wylicz}	0,98897	0,97954	1,01675	0,99995	0,9688	0,98177	1,00206	1,00054
α	1,052	1,047	1,028	1,000	0,979	1,003	0,985	1,003
$ \Delta\alpha $	0,06303	0,06746	0,01125	5E-05	0,0102	0,02123	0,01706	0,00246
$\frac{ \Delta\alpha }{\alpha} \cdot 100\%$	6,373297	6,886906	1,106467	0,005	1,052849	2,162421	1,70249	0,245867

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_{wylicz}$$

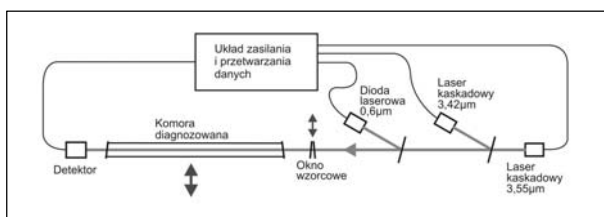
Pomiar względnej transmisji promieniowania przechodzącego przez pary alkoholu w zależności od ich stężenia w prześwietlanej komorze

Badania transmisji promieniowania dla komory przeprowadzono w układzie, którego schemat przedstawiono na rysunku 6.

Jest to zmodernizowany układ do badania szyb, który został przedstawiony wcześniej na rysunku 5. Zamiast szyb, w układ została wstawiona komora z parami alkoholu. Analogicznie jak w pracach [11],[13], do badań wykorzystano komorę w postaci rury z PCV o długości 140 cm i średnicy 10 cm zamkniętą oknami z szyb nr 4.

Do komory wstawiano przed każdym pomiarem listwę z pięćdziesięcioma łódkami metalowymi, do których wlewano roztwór alkoholu w wodzie o znanym stężeniu. Temperatura w otaczającej przestrzeni wynosiła 20°C.

Wykorzystując prawo Henry'ego [12], określono stężenie par alkoholu w komorze nad łódkami z roztworem wodnym alkoholu o zadanym stężeniu.



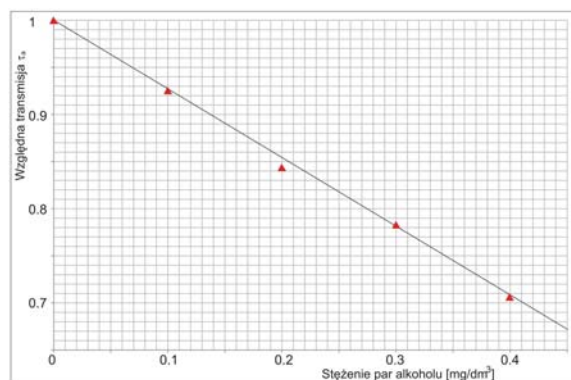
Rys. 6. Schemat układu do pomiaru transmisji promieniowania badanej komory

Następnie mierząc dla każdego stężenia tych par sygnały z detektora, wyznaczono zależność względnej transmisji promieniowania od stężenia par. Wyniki przedstawiono w tabeli 5 i na rysunku 7.

Tabela 5. Zależność względnej transmisji promieniowania od stężenia par alkoholu

Stężenie par C_{pa} [mg/dm ³]	0	0,1	0,2	0,3	0,4
Transmisja τ_a	1	0,924654	0,843019	0,782311	0,70838

Z otrzymanych wyników widać, że w zakresie rozważanych stężeń par alkoholu, zależność transmisji promieniowania od stężenia par alkoholu ma charakter zbliżony do liniowego.



Rys. 7. Zależność względnej transmisji promieniowania od stężenia par alkoholu

Przyjmując na podstawie odczytu z wykresu, że dla stężenia 0,4 mg/dm³ transmisja wynosi 0,71, zależność tę można przedstawić w postaci wzoru:

$$(30) \quad \tau_a = 1 - 0,725 \cdot C_{pa}$$

Otrzymana zależność (30) względnej transmisji par alkoholu od ich stężenia w powietrzu jest zależnością uniwersalną dla przyjętej długości komory i nie zależy od rodzaju okien, gdyż wykorzystany współczynnik α zmierzono dla stężenia $C_{pa}=0$, dla którego względna transmisja par alkoholu τ_a musi wynosić 1.

Realna możliwość wykrywania minimalnych stężeń par alkoholu

Jeżeli w diagnostowanych samochodach nie ma par alkoholu, to prześwietlając je możemy dla każdego z nich poprzez pomiar względnej transmisji, wyznaczyć współczynnik α . Praktycznie, poza nielicznymi wyjątkami, w przejeżdżających samochodach nie ma par alkoholu. W związku z tym możemy założyć, że kolejny przejeżdżający samochód jest bez par alkoholu i na podstawie zmierzonego sygnału względnego z detektora, ze stosunkowo dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że wyznaczony przy jego pomocy współczynnik α jest prawdziwy. Dla określonej ilości kolejno sprawdzanych samochodów otrzymamy zbiór wartości współczynników α , w którym udział współczynników „zniekształconych” przez ewentualne pary alkoholu będzie bardzo mały. Dla zbioru

tego możemy przyjąć średnią lub najbardziej prawdopodobną wartość i uznać ją z określonym prawdopodobieństwem jako prawdziwą. Wykorzystując następnie tę wartość do sprawdzania kolejnych samochodów, możemy również z określonym prawdopodobieństwem wydać opinię dotyczącą możliwości występowania w nich par alkoholu [16].

Do powyższych rozważań wykorzystano przedstawione wcześniej wyniki eksperymentalne. Na podstawie podanych w tabeli 3 wartości współczynników α , określono dla szyb od 1 do 8 oraz szyby pokrytej pyłem grafitowym, pyłem z gleby i szyby zaporowanej parą wodną, średnią wartość $\bar{\alpha} = 1,030$ i odpowiadające mu odchylenie standardowe $\delta = 0,0370$.

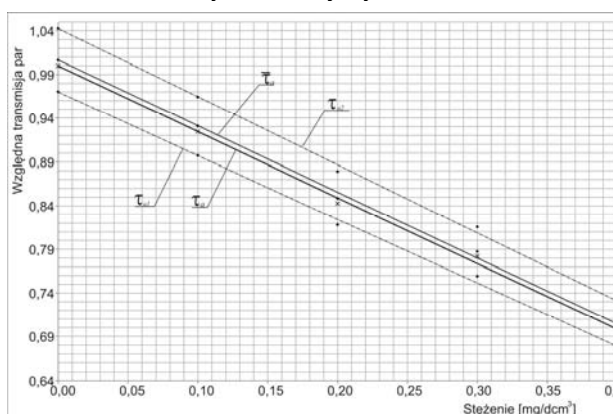
Wartości te wykorzystano we wzorze (24), obliczając transmisję par alkoholu w komorze z oknami o nieznanymi szybami, która może być z jednakowym prawdopodobieństwem jedną z komór z szybami opisanymi w tabeli 3. Dla komory tej przyjęto współczynnik $\alpha = \bar{\alpha}$. Otrzymane wartości zestawiono z wartościami wyznaczonymi w oparciu o znany współczynnik α dla konkretnej komory oraz podano zakres transmisji par alkoholu, w którym powinno się mieścić 68% przypadkowych wyników pomiarów (w ramach odchylenia standardowego δ) dla komory, która mogłaby być wyposażona w przebadane szyby. Wyniki przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Zależność wyliczonej transmisji promieniowania od stężenia par alkoholu

C_{pa} [mg/dm ³]	$\tau_a = \alpha_m \cdot s$	$\bar{\tau}_a = \bar{\alpha} \cdot s$	$\tau_{a1} = (\bar{\alpha} - \delta) \cdot s$	$\tau_{a2} = (\bar{\alpha} + \delta) \cdot s$
0	1,000	1,007	0,970	1,043
0,1	0,924	0,931	0,897	0,964
0,2	0,843	0,849	0,818	0,879
0,3	0,782	0,787	0,759	0,816
0,4	0,698	0,703	0,678	0,728

Wprowadzono oznaczenia: $\tau_a = \alpha_m \cdot s$ – rzeczywista wartość transmisji określona przy wykorzystaniu zmierzonego współczynnika α_m , $\bar{\tau}_a = \bar{\alpha} \cdot s$ – wartość transmisji określona na podstawie pomiaru s przy założeniu, że $\alpha = \bar{\alpha}$, $(\bar{\alpha} \pm \delta) \cdot s$ – granice możliwych wartości rzeczywistej transmisji w ramach odchylenia standardowego δ .

Przedstawione wyniki ilustruje rysunek 8.



Rys. 8. Zależność transmisji rzeczywistej τ_a i transmisji $\bar{\tau}_a$ obliczonej dla wartości $\bar{\alpha}$ od stężenia par alkoholu C_{pa} w badanej komorze

Wykres funkcji $\tau_a = f(C_{pa})$ na rys. 8 jest powtórzeniem wykresu przedstawionego na rysunku 7, natomiast wykres $\bar{\tau}_a = f(C_{pa})$ wynika z przyjęcia średniej wartości współczynnika α .

Tak więc, przyjmując średnią wartość współczynnika α z przyjętej populacji, możemy założyć, że rzeczywista wartość tego współczynnika mieści się z prawdopodobieństwem 68% w przedziale wartości: $\bar{\alpha} - \delta < \alpha < \bar{\alpha} + \delta$.

W naszym przypadku oznacza to, że $0,993 < \alpha < 1,067$.

Jak już pokazano na rysunku 8, granicom tym odpowiadają wartości względnej transmisji odpowiednio:

$$(31) \quad \tau_{a1} = \alpha_1 \cdot s$$

i

$$(32) \quad \tau_{a2} = \alpha_2 \cdot s$$

gdzie:

$$(33) \quad \alpha_1 = \bar{\alpha} - \delta = 0,993, \quad \alpha_2 = \bar{\alpha} + \delta = 1,067$$

Zgodnie ze wzorem (30), transmisja promieniowania τ_a dla badanej komory występuje przy stężeniu par alkoholu równym

$$(34) \quad C_{pa} = \frac{1 - \tau_a}{0,725}$$

Po podstawieniu do (34) zależności (31), (32) i (33), otrzymano odpowiednio:

$$(35) \quad C_{pa1} = \frac{1 - \alpha_1 \cdot s(C_{pam})}{0,725}$$

$$(36) \quad C_{pa2} = \frac{1 - \alpha_2 \cdot s(C_{pam})}{0,725}$$

gdzie: C_{pam} – wartość stężenia par alkoholu określona na podstawie zmierzonej transmisji promieniowania przez te szyby

Na podstawie (24) i (30) otrzymano:

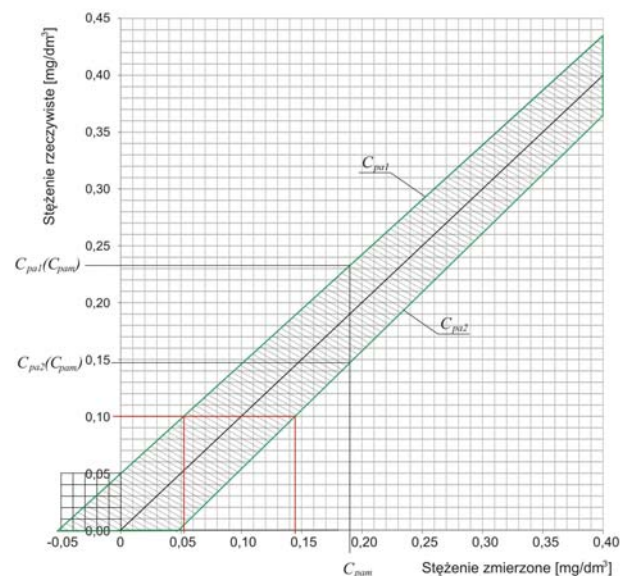
$$(37) \quad s(C_{pam}) = \frac{\tau_a(C_{pam})}{\alpha} = \frac{1 - 0,725 \cdot C_{pam}}{\alpha}$$

Po uwzględnieniu (37) we wzorach (35) i (36) oraz przyjęciu $\alpha = \bar{\alpha} = 1,030$, wzory te przyjmą odpowiednio postać:

$$(38) \quad C_{pa1} = 1,379 - 0,964 \cdot (1,379 - C_{pam})$$

$$(39) \quad C_{pa2} = 1,379 - 1,036 \cdot (1,379 - C_{pam})$$

Są to graniczne wartości stężenia par alkoholu, pomiędzy którymi z prawdopodobieństwem 68% powinna znajdować się rzeczywista wartość zmierzonego stężenia. Powyższy opis został przedstawiony na rysunku 9.



Rys. 9. Ilustracja możliwości zdalnego pomiaru rzeczywistej wartości stężenia par alkoholu w komorach z nieznanymi oknami

Przedstawiony wykres można wykorzystać do konkretnego przypadku. Przyjęto, że na podstawie pomiaru transmisji promieniowania w konkretnym obiekcie określono w nim wartość stężenia par alkoholu równą $0,158 \text{ mg/dm}^3$. Wówczas rzeczywista wartość tego stężenia będzie się przedstawiać jako $0,158 \text{ mg/dm}^3 \pm 0,202 \text{ mg/dm}^3$. Wówczas rzeczywista wartość tego stężenia będzie się mieściła z prawdopodobieństwem 68% w przedziale $0,114 \text{ mg/dm}^3 \div 0,202 \text{ mg/dm}^3$.

Niezwykle istotny jest jednak zakres najmniejszych stężeń pozwalających klasyfikować sprawdzane obiekty jako „podejrzane” lub „niepodejrzane”. Na wykresie widać, że dopiero przy wyniku pomiaru $C_{pam} < -0,05 \text{ mg/dm}^3$, można z prawdopodobieństwem 68% powiedzieć, że w prześwietlanej komorze (samochodzie) nie ma par alkoholu.

Bardzo istotna jest wartość stężenia par alkoholu równa stężeniu tych par w powietrzu wydychanym przez osobę w tak zwanym stanie „po użyciu spożyciu alkoholu”. Przyjmuje się ją na poziomie $0,1 \text{ mg/dm}^3 \div 0,25 \text{ mg/dm}^3$ [14],[15]. Z przedstawionego wykresu widać, że z prawdopodobieństwem 68%, dolnej granicy takiego stężenia będzie odpowiadać stężenie mierzone z przedziału $0,05 \text{ mg/dm}^3 \div 0,15 \text{ mg/dm}^3$.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy i wyników pomiarów oraz ich opracowań, można stwierdzić, że istnieją duże szanse zbudowania urządzenia przydatnego do skutecznego wyselekcjonowania samochodów z parami alkoholu. Pozwala na to zastosowany sposób określania względnej transmisji promieniowania [16] przy wykorzystaniu międzypasmowych laserów kaskadowych. Przebadane szyby były bardzo różnorodne. Wpłynęło to na wzrost rozrzutów wartości współczynnika α czyli na wzrost wartości odchylenia standardowego σ . Spowodowało to zawyżenie błędów pomiaru stężenia par alkoholu w przypadkowym przejeżdżającym samochodzie w stosunku do sytuacji rzeczywistej, która powinna wystąpić na drodze.

Wyniki badań pokazują, że pomimo dużej wspomnianej różnorodności badanych szyb (grubość, technologia wykonywania, hartowanie, a także drobne zabrudzenia lub zawilgocenie), współczynnik α nie zmienia się na tyle dużo, by uniemożliwić wykrywanie par alkoholu na poziomie $0,1 \text{ mg/l}$ odpowiadającym stężeniu par alkoholu w powietrzu wydychanym przez osobę w tak zwanym „stanie po użyciu alkoholu”. Tym samym, przydatność urządzenia przy eliminowaniu nietrzeźwych kierowców na drogach wydaje się być niekwestionowana.

Autorzy: dr inż. Jan Kubicki, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: jan.kubicki@wat.edu.pl, dr inż. Jarosław Młyńczak, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: jaroslaw.mlynczak@wat.edu.pl, dr inż. Krzysztof Kopczyński, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: krzysztof.kopczynski@wat.edu.pl, mgr Jadwiga Mierczyk, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: jadwiga.mierczyk@wat.edu.pl

LITERATURA

- [1] Silverstein R.M., Bassler G.C., Morrill T.C., Spectrometric identification of organic compounds, Wiley, New York, 1991
- [2] Organic Compound Identification Using Infrared Spectroscopy, Walt Vollard, Bellevue Community College, Bellevue, Washington, 1999
- [3] Mierczyk Z., Maziejuk M., Mielczarek G., Kwaśny M., Kopczyński K., Kałdoński G., Optoelektroniczny monitoring emisji zanieczyszczeń w instalacjach utylizacji odpadów, Konferencja EKOMILITARIS 2004
- [4] Nishida S., Alcohol detector in vehicle, patent no JP2000230900 (A) 2000-08-22
- [5] Ershov O., Nadezdinskii A., Berezin A., Remote Gas Molecule Detector, patent no US2003/0160173A1 Aug. 28, 2003
- [6] Kubicki J., Mierczyk Z., Kopczyński K., Kopica M., Urządzenie do wykrywania par alkoholu w poruszających się pojazdach P. 389627
- [7] Kluczyński P., Lundqvist S., Method and apparatus for remote detection of alcohol vapors in the atmosphere EP20130002759, 4 December 2013
- [8] Mierczyk Z., Kopczyński K., Kubicki J., Młyńczak J., Urządzenie do zdalnego wykrywania par i gazów metodą Dial w kabinach i komorach z oknami, P. 398513; 2012-03-19
- [9] Kubicki J., Młyńczak 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, 073529-1- 073529-13, 2013
- [10] Młyńczak J., Kubicki J., Kopczyński K., Możliwości zdalnego wykrywania par alkoholu w kabinie pojazdu, *Przegląd Elektrotechniczny*, 8 (2014), 53-56
- [11] Młyńczak J., Kubicki J., Kopczyński K., Stand-off detection of alcohol in car cabins, *J. Appl. Remote Sens.* 8(1), 083627 (May 19, 2014). doi:10.1117/1.JRS.8.083627
- [12] Meylan, W. M. and Howard P. H., Bond contribution method for estimating Henry's law constants, *Environ Toxicol Chem.*, 10, 1283–1291, 1991
- [13] Młyńczak J., Kopczyński K., Kubicki J., Mierczyk J., Problemy zdalnego wykrywania par alkoholu w zamkniętych kabinach, *IAPGOS*, 1/2015, 53-58
- [14] Awsiukiewicz G., Mikulski T., Badanie stanu trzeźwości w służbie przy użyciu urządzeń kontrolno-pomiarowych, Słupsk (2014), Szkoła Policji w Słupsku (Materiały do szkolenia)
- [15] Ustawa o wychowaniu w trzeźwości i przeciwdziałaniu alkoholizmowi, Dz.U. 2002 nr 147 poz. 1231
- [16] Kubicki J., Kopczyński K., Młyńczak J., Sposób określania względnej transmisji promieniowania i urządzenie do wykorzystania tego sposobu, P. 415256