



Analiza zasięgowa i badania laboratoryjne prędkościomierza laserowego

MAREK ZYGMUNT, MICHAŁ MUZAL, ANDRZEJ MŁODZIANKO,
PIOTR KNYSK, ANDRZEJ GIETKA, WIESŁAW PIOTROWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. W artykule przedstawiono zagadnienia związane z wykorzystaniem promieniowania laserowego do pomiaru prędkości pojazdów. Omówiono sposób pomiaru przyjęty w konstrukcji opracowanego w Instytucie Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej prototypu prędkościomierza laserowego oraz przedstawiono wyniki analizy zasięgowej z uwzględnieniem podstawowych parametrów zastosowanych w nim elementów optoelektronicznych. Przeanalizowano problem zwiększenia precyzji pomiaru odległości dzięki wykorzystaniu charakterystyk kształtu sygnału echa. Ponadto zaprezentowano wyniki badań prowadzonych w trakcie opracowania modelu laboratoryjnego oraz badań testowych prototypu.

Słowa kluczowe: prędkościomierz laserowy, pomiar prędkości, analiza zasięgowa, technika laserowa
Symbole UKD: 621.375.826

1. Wprowadzenie

Zapewnienie bezpieczeństwa na drogach publicznych nakłada na służby policyjne obowiązek prowadzenia kontroli prędkości pojazdów. Do realizacji tego celu niezbędne są urządzenia do zdalnego pomiaru prędkości. Dotychczas najszerzej stosowane są prędkościomierze oparte na opracowanej w czasie drugiej wojny światowej technice radarowej wykorzystującej efekt Dopplera, czyli zmianę długości fali promieniowania elektromagnetycznego odbitego od poruszającego się obiektu. Urządzenia wykorzystujące tę technikę mają szereg zalet, z których najważniejszą jest łatwość dokonywania pomiaru. Inne zalety urządzeń radarowych to łatwość celowania wynikająca z dużej — sięgającej kilku stopni — rozbieżności

wiązki radarowej oraz prostota konstrukcji i niska cena urządzenia nadawczo-odbiorczego. Paradoksalnie, duża rozbieżność wiązki jest także największą wadą tego typu urządzeń. Na drogach o dużym natężeniu ruchu policjant nie jest w stanie jednoznacznie określić, od którego pojazdu odbiła się wiązka promieniowania, czyli którego pojazdu prędkość rzeczywiście zmierzył. Ponadto istotną wadą urządzeń radarowych jest mała precyzja pomiaru.

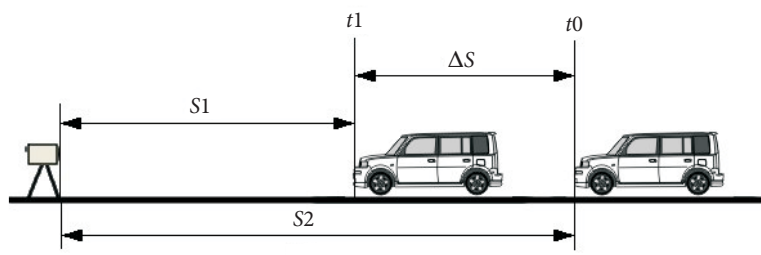
Obie te wady eliminuje prędkościomierz laserowy. Wiązka światła emitowana przez laser półprzewodnikowy z obiektywem nadawczym może mieć rozbieżność rzędu pojedynczych miliradianów, a przez to plamka promieniowania laserowego w całości mieści się w obrysie pojazdu w całym zakresie odległości pomiaru. Umożliwia to jednoznaczne wskazanie pojazdu, którego prędkość jest mierzona. Ponadto prędkościomierze laserowe cechują się dużą precyzją pomiaru. Ich błąd bezwzględny nie przekracza ± 1 km/h.

2. Algorytm wyznaczania prędkości obiektów

W opracowanym prędkościomierzu podstawą pomiaru prędkości jest pomiar drogi przebytej przez obiekt w zadanym odstępie czasu

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t}, \quad (1)$$

gdzie: $\Delta t = t_0 - t_1$ jest ustalonym czasem pomiaru, a $\Delta S = S_2 - S_1$ — różnicą odległości obserwatora od celu w chwilach odległych o Δt .



Rys. 1. Parametry niezbędne do wyznaczenia prędkości pojazdu

Uzyskanie dokładności pomiaru rzędu ± 1 km/h wymaga określenia różnicy odległości ΔS z dokładnością ± 8 cm, czyli zmierzone odległości S_1 i S_2 nie mogą być obciążone błędem większym niż ± 4 cm.

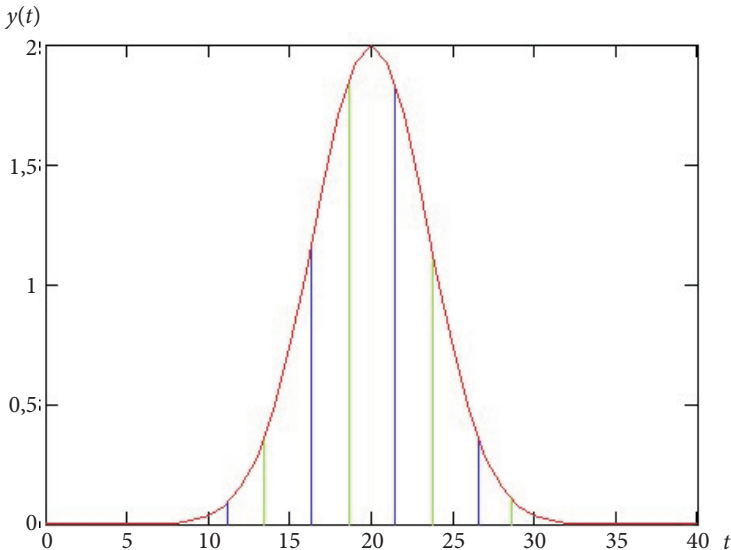
3. Analiza metod precyzyjnego pomiaru odległości

Jednym ze sposobów wyznaczenia odległości od celu za pomocą lasera jest detekcja impulsów laserowych odbitych od badanego obiektu. Nadajnik laserowy emituje serię impulsów świetlnych, które po odbiciu od obiektu docierają do odbiornika. Następnie odegrany sygnał echa jest wzmacniany i próbkowany. Wyzwolenie przetwornika analogowo-cyfrowego następuje w momencie generowania impulsu laserowego. Dzięki temu rejestrowane są sygnały docierające do odbiornika w trakcie całego przelotu impulsu. Kształt odebranego sygnału echa zbliżony jest do kształtu krzywej Gaussa. Znalezienie w paczce odebranych danych próbki o najwyższej wartości i określenie jej numeru pozwala (znając częstotliwość próbkowania przetwornika) na obliczenie odległości wg wzoru:

$$S = c \cdot N \cdot T, \quad (2)$$

gdzie: s — droga;
 c — prędkość światła;
 T — okres próbkowania;
 N — numer próbki.

Precyzja tej metody określania odległości silnie zależy od częstotliwości próbkowania sygnału odbiornika. W ciągu 1 ns światło przebywa drogę w przybliżeniu równą 30 cm. Próbkując sygnał z częstotliwością 1 GHz, uzyskalibyśmy właśnie taką dokładność pomiaru, ponieważ maksimum sygnału echa w rzeczywistości mogłoby przypadać pomiędzy odebranymi próbkami. Sytuację taką przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Próbkowanie sygnału echa

Niebieski spróbkowany sygnał jest przesunięty w fazie względem zielonego o połowę okresu próbkowania. Rozbieżność w wyznaczeniu odległości na podstawie próbki maksymalnej równa jest odległości pokonanej przez światło w czasie równym połowie okresu próbkowania.

Uzyskanie dokładności ± 4 cm, wymagałoby próbkowania z częstotliwością większą niż 7,5 GHz. Tak duża częstotliwość niesie za sobą szereg trudności w jej implementacji w gotowym urządzeniu, począwszy od trudności z zaprojektowaniem układu przetwornika, a na konieczności stosowania pojemnych pamięci i wykonywaniu wielu obliczeń na znacznej liczbie danych skończywszy.

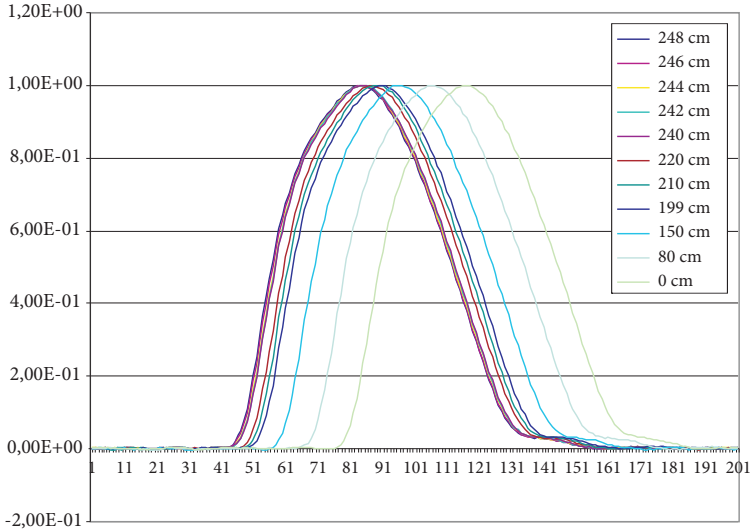
Aby zwiększyć precyzję wyznaczenia odległości, przeprowadzono analizę charakterystyk geometrycznych odebranych sygnałów pod kątem znalezienia takiej, która pozwoli na wyznaczenie rzeczywistego maksimum powracającego sygnału, dysponując przebiegiem próbkowanym z częstotliwością znacznie poniżej wymaganej w metodzie bezpośredniego wyszukiwania wartości maksymalnej.

W wyniku analiz postanowiono zastosować do obliczeń następujące metody:

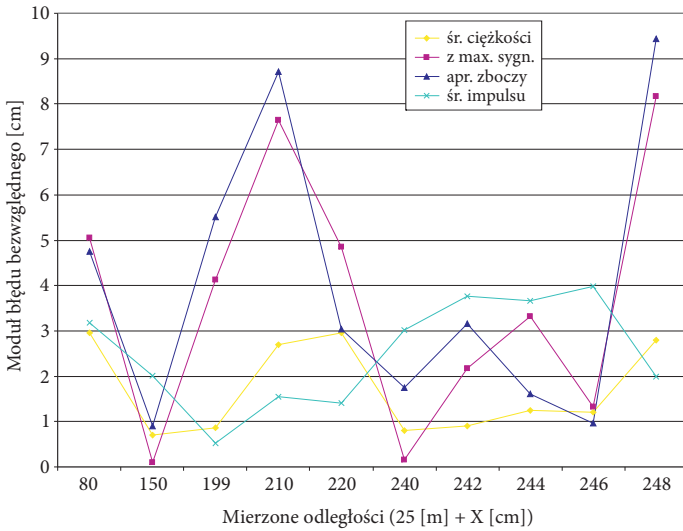
- a) metoda środka ciężkości (średniej ważonej), polegająca na obliczeniu średniej ważonej próbkowanego sygnału echa;
- b) metoda rozwiązywania układu równań liniowych wyznaczonych za pomocą aproksymacji obydwu zbroczy sygnału echa funkcjami liniowymi;
- c) metoda polegająca na znalezieniu współrzędnych x_1 i y próbki położonej najbliżej środka jednego ze zbroczy, a następnie wyliczeniu drugiej współrzędnej x_2 z funkcji liniowej będącej aproksymacją drugiego zbrocza dla wartości y i wyznaczeniu średniej z obydwu współrzędnych x ;
- d) metoda wyszukiwania w spróbkowanym sygnale echa próbki o wartości maksymalnej.

Problem wyboru metody obciążonej najmniejszymi błędami został rozstrzygnięty empirycznie. Celem badań było sprawdzenie, czy możliwa jest konstrukcja urządzenia spełniającego założenia techniczne stawiane prędkościomierzom policyjnym, oraz jakie rozwiązania przyjąć przy jego budowie. Aby przeprowadzić badanie, skonstruowano platformę pomiarową składającą się z układu nadajnika laserowego, modułu odbiorczego z fotodiodą lawinową firmy Hamamatsu oraz oscyloskopu cyfrowego próbkującego z maksymalną częstotliwością 1 GS/s, na którym gromadzone były dane. Obiektem, do którego dokonywano pomiaru, była tarcza umieszczona w odległości 30 m i precyzyjnie, wielokrotnie przesuwana o założone odcinki. Zebrane dane poddano analizie pod kątem znalezienia optymalnego algorytmu. Przebadano trzy metody aproksymacji położenia rzeczywistego maksimum sygnału. Analizowano przebiegi próbkowane z częstotliwością 1 GHz i 125 Mhz.

Wyniki badań przy próbkowaniu z częstotliwością 125 MHz zaprezentowano na rysunku 4. Przedstawiono na nim wartości modułu błędu bezwzględnego dla założonych odległości i czterech metod ich wyznaczania. Analizowano dane pod

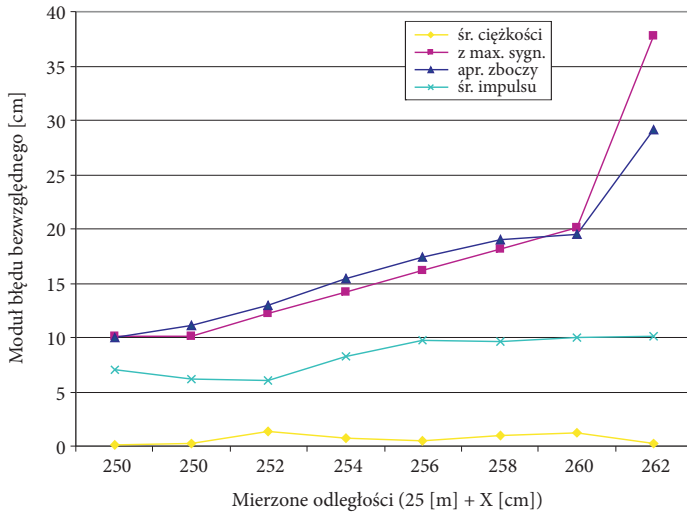


Rys. 3. Znormalizowane sygnały zarejestrowane oscyloskopem z częstotliwością próbkowania 1 GS/s w odległości 25 m — X, gdzie X jest odległością widoczną przy opisie wykresu

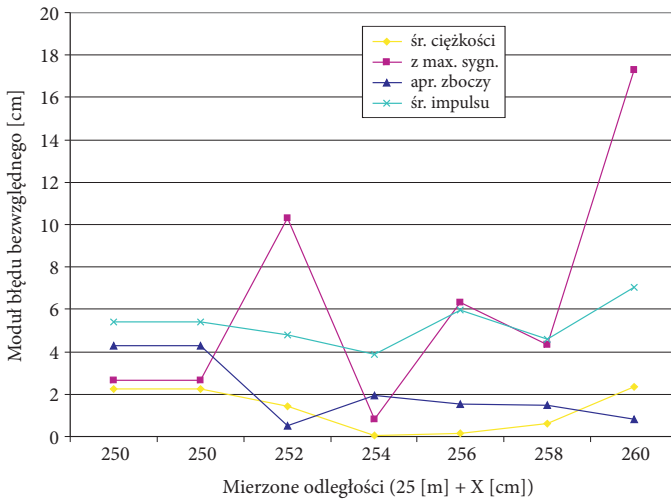


Rys. 4. Błąd bezwzględny pomiaru odległości dla czterech metod jej wyznaczania. Sygnał o szerokości 40 ns próbkowano z częstotliwością 1 GHz

kątem wyboru odpowiedniej częstotliwości próbkowania, aby projektowane urządzenie spełniało założone parametry przy jak najmniejszej mocy obliczeniowej. Zmniejszenie częstotliwości próbkowania poza uproszczeniem konstrukcji układów elektronicznych powoduje mniejsze zużycie energii przez urządzenie.

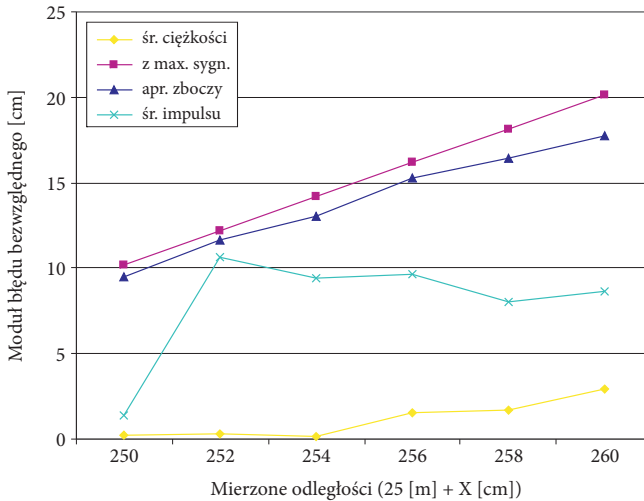


Rys. 5. Błąd bezwzględny pomiaru odległości dla czterech metod jej wyznaczania. Sygnał o szerokości 40 ns próbkowano z częstotliwością 125 MHz



Rys. 6. Błąd bezwzględny pomiaru odległości dla czterech metod jej wyznaczania. Sygnał o szerokości 50 ns próbkowano z częstotliwością 1 GHz

niach zasilanych bateryjnie ma to duże znaczenie dla maksymalnego czasu pracy. Po ustaleniu częstotliwości próbkowania zdecydowano o szerokości emitowanego impulsu laserowego. Przeprowadzono doświadczenia sprawdzające, czy zwiększenie szerokości impulsu poprawia dokładność pomiaru. W efekcie przeprowadzonych badań ustalono szerokość emitowanego impulsu na 50 ns. Otrzymane wyniki zostały potwierdzone analitycznie.



Rys. 7. Błąd bezwzględny pomiaru odległości dla czterech metod jej wyznaczania. Sygnał o szerokości 50 ns próbkowano z częstotliwością 125 MHz

Z badań wynika, że metodą dającą najmniejsze błędy jest metoda środka ciężkości (średniej ważonej) i to ona została wykorzystana w konstruowanym urządzeniu. Na podstawie wyników badań zbudowano model prędkościomierza wyposażony w nadajnik laserowy, detektor z fotodiodą lawinową oraz elektronikę do akwizycji danych i komunikacji z komputerem klasy PC. Analiza zebranych danych pomiarowych była wykonywana na komputerze przy pomocy aplikacji napisanej specjalnie do tego celu.

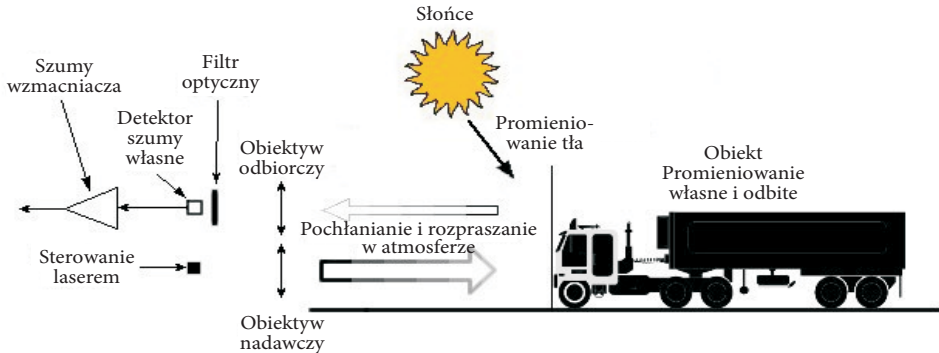
W trakcie projektowania modelu istotnym parametrem uwzględnianym podczas obliczeń był maksymalny zasięg pomiaru określany jako największa odległość, na której może być umieszczony słabo rozpraszający cel, aby można było zdetekować sygnał od niego odbity przy zachowaniu dostatecznie wysokiego stosunku sygnał/szum. Stosunek ten ma istotny wpływ na dokładność pomiaru odległości i konieczna jest analiza jego zmian w funkcji odległości celu od prędkościomierza.

4. Analiza zasięgowa

Do analizy maksymalnego zasięgu wykorzystano parametry optyki i elektroniki, którą planowano wykorzystać przy konstrukcji prototypu. Dzięki temu wyniki obliczeń zasięgu bliskie są spodziewanym w rzeczywistości.

Propagujący się w atmosferze impuls laserowy podlega oddziaływaniu czynników wpływających na zmniejszenie jego mocy wraz z pokonywaną odległością. Czynniki te to między innymi rozpraszanie i absorpcja w atmosferze. Ponadto

na detekowalność sygnału wpływa ilość mocy rozproszonej od powierzchni, na którą pada światło, zależąca bezpośrednio od rodzaju tej powierzchni, oraz moc promieniowania tła i szumy toru odbiorczego. Oszacowanie maksymalnego zasięgu wymaga uwzględnienia w obliczeniach wszystkich tych czynników.



Rys. 8. Uproszczony schemat odbioru sygnału echa oraz źródła zakłóceń i szumów

Moc sygnału echa, przy założeniu, że płaszczyzna odbijająca jest skierowana prostopadle do osi układu odbiorczego, może być opisana wzorem:

$$P_{SYG} = \frac{P_{NAD} \cdot \rho \cdot D_{ODB}^2 \cdot \eta_{OPT} \cdot \eta_{FI} \cdot \exp(-2\gamma R)}{4R^2}, \quad (3)$$

gdzie: P_{SYG} — moc sygnału echa padająca na detektor [W];
 P_{NAD} — moc sygnału nadawanego [W];
 ρ — współczynnik odbicia promieniowania od obiektu;
 D_{ODB} — średnica źrenicy wejściowej obiektywu [m];
 η_{OPT} — współczynnik transmisji obiektywu;
 η_{FI} — współczynnik transmisji filtra;
 γ — współczynnik ekstynkcji atmosfery [1/m];
 R — odległość od obiektu [m];

Moc promieniowania tła docierająca do detektora wyraża się wzorem

$$P_{SZUM} = \frac{\pi \cdot E\lambda \cdot \rho \cdot \Theta^2 \cdot D_{ODB}^2 \cdot \Delta\lambda \cdot \eta_{OPT} \cdot \eta_{FI} \cdot \exp(-\gamma R)}{16}, \quad (4)$$

gdzie: P_{SZUM} — moc szumu tła padająca na detektor [W];
 $E\lambda$ — natężenie promieniowania słońca w obszarze transmisji filtra;
 $\Delta\lambda$ — szerokość widmowa filtra;
 Θ — kąt widzenia optyki odbiorczej.

Sumaryczny stosunek sygnał/szum odniesiony do wyjścia wzmacniacza można opisać zależnością:

$$SNR = \frac{I_s^2}{I_b^2 + I_t^2}, \quad (5)$$

gdzie: $I_b = \sqrt{2 \cdot q \cdot B \cdot [(P_{SYG} + P_{SZUM}) \cdot S\lambda + Id] \cdot M^{2+x}}$ — prąd skuteczny szumu fotodiody lawinowej;

$I_t = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot B \cdot \frac{1 \cdot F}{REZ}}$ — prąd skuteczny szumu rezystora i wzmacniacza;

$I_s = P_{SYG} \cdot S\lambda \cdot M$ — prąd sygnału echa;

F — współczynnik szumów wzmacniacza;

T — temperatura;

k — stała Boltzmana;

Id — prąd ciemny;

REZ — rezystancja obciążenia;

M — wsp. powielenia lawinowego;

$S\lambda$ — czułość detektora dla $M = 1$;

x — wsp. materiału;

q — ładunek elektronu;

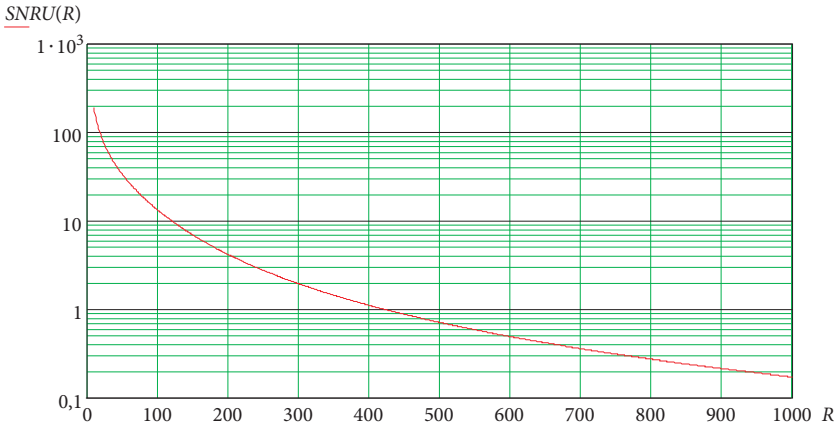
B — pasmo sygnału użytecznego.

Napięciowy stosunek sygnał/szum

$$SNRU = \sqrt{SNR}. \quad (6)$$

Zasięg projektowanego prędkościomierza zgodnie z założeniami projektowymi powinien wynosić 600 m. Oznacza to, że na tej odległości stosunek sygnał/szum musi być jeszcze dostatecznie duży. Przyjęto, że wartość $SNR = 10$ jest wartością graniczną, poniżej której odzyskana z pomiaru informacja obarczona jest nadmiernym błędem.

Na rysunku 9 przedstawiono zależność napięciowego stosunku sygnał/szum w zależności od odległości do celu. Do wyznaczenia charakterystyki przyjęto parametry zakładane w rzeczywistej konstrukcji prędkościomierza oraz standardową widzialność wynoszącą 23 km i najgorszy przypadek rozproszenia od szyby samochodowej. Z wykresu widać, że stosunek S/N bardzo szybko zmniejsza się wraz z odległością i osiąga wartość 10 zaledwie po 120 m. Jest to maksymalny zasięg pomiaru prędkościomierza o szerokości impulsu 50 ns i mocy nadawanego sygnału spełniającej wymagania stawiane nadajnikom z klasy 1. Dalsze zwiększanie zasięgu wymaga stosowania technik detekcji podsumowej. Dzięki nim możliwe jest znaczne podniesienie stosunku odbieranego sygnału do szumu.

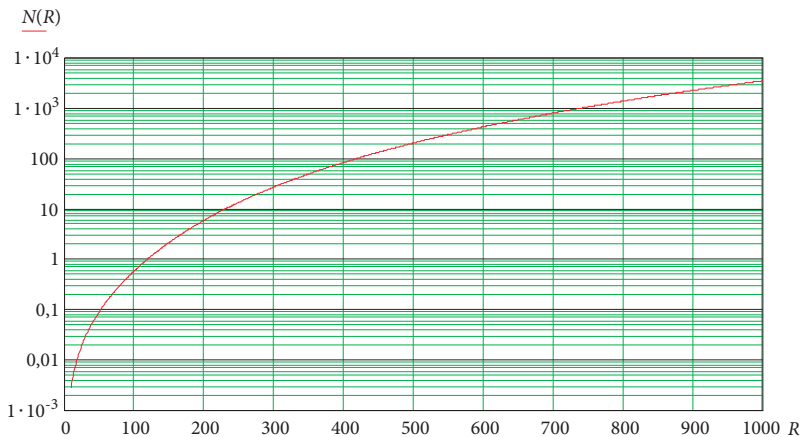
Rys. 9. Stosunek sygnał/szum na detektorze w zależności od odległości od celu ($R = [m]$)

Metody detekcji podszumowej wymagają emisji nie jednego, lecz serii impulsów, które po odebraniu są ze sobą sumowane. Wpływ sumowania na wartość parametru SNR wyraża się zależnością:

$$SNR_{wy} = \sqrt{N} \cdot SNR_{we}, \quad (7)$$

gdzie N to liczba sumowań odebranego sygnału.

Inną metodą poprawiania stosunku sygnał/szum jest filtracja. Wyodrębnienie za pomocą filtru pasmowego lub dolnoprzepustowego z widma sygnału odebranego pasma, w którym mieści się sygnał użyteczny znacznie ułatwia jego analizę

Rys. 10. Liczba sumowań konieczna do uzyskania na odległości R wartości stosunku $SNR = 10$

i opracowanie algorytmów pomiarowych. Najlepsze efekty związane z poprawą SNR daje zastosowanie obydwu metod jednocześnie.

Stosowanie metody sumowań wymaga określenia ich liczby, która musi być dostatecznie duża, by znacząco podnieść SNR, ale jednocześnie na tyle mała, by nie wydłużać niepotrzebnie czasu pomiaru i nie zwiększać mocy obliczeniowej koniecznej do przetwarzania danych. Rysunek 10 przedstawia zależność liczby sumowań potrzebnych do uzyskania $SNR = 10$ przy pomiarze słabo odbijającego celu na odległości R od nadajnika. Z wykresu można odczytać, że do uzyskania zasięgu 600 m należy operację sumowania wykonać około 300 razy.

5. Badania laboratoryjne prędkościomierza laserowego

W wyniku prowadzonych badań i analiz opracowano konstrukcję prototypu prędkościomierza laserowego o zasięgu do 600 m i klasie nadajnika laserowego „bezpiecznej dla wzroku”. W prototypie zastosowano metodę detekcji podszumowej polegającej na sumowaniu sygnałów emitowanych w paczce po 255 impulsów. W konstrukcji prototypu można wyróżnić następujące układy: układ nadajnika, odbiornika, sterowania oraz akwizycji i przetwarzania danych. Nadajnik laserowy jest odpowiedzialny za emisję impulsów światła o określonej mocy, czasie trwania i repetycji. Odbiornik — za ich odebranie i wzmacnienie. Układ sterujący synchronizuje pracę wszystkich pozostałych układów, natomiast układy akwizycji i przetwarzania danych przetwarzają odebrane impulsy na postać cyfrową, a następnie, stosując odpowiednie algorytmy, obliczają prędkość ruchu pojazdu.

Skonstruowany prototyp poddany został badaniom, by określić prawidłowość postawionych w trakcie budowy założeń i ukierunkować dalsze prace nad jego doskonaleniem.

Przeprowadzono badania zasięgowe z użyciem ekranów rozmieszczanych na odległościach 300, 400, 500, 600, 700 i 800 m. Celem badania było określenie maksymalnej odległości, na której można dokonać pomiaru prędkości. W wyniku badań potwierdzono założenia teoretyczne przedstawione w analizie zasięgowej. Użyteczny zasięg urządzenia został określony na 600 m.

Przeprowadzono również badania precyzji określenia odległości dla celów o różnych charakterystykach odbiciowych. Model prędkościomierza laserowego został przebadany pod kątem odbioru sygnału odbitego od powierzchni o różnych współczynnikach rozpraszania. Do badań wykorzystano ekrany pomalowane na biało i czarno oraz dwa pojazdy o różnych geometriach nadwozia i barwach lakieru. Ekran i pojazdy ustawiane były w tej samej odległości. Porównywano jakość sygnału odbieranego przez detektor po odbiciu promieniowania od badanej powierzchni. Zaobserwowano znaczne różnice w mocy odbieranego sygnału w zależności od parametrów opromieniowanej powierzchni. Oznacza to, że odbierany sygnał pomiarowy będzie cechowała bardzo

duża dynamika. Aby zrównoważyć ten efekt w kolejnych konstrukcjach, zastosowane zostaną poprawione układy automatycznej regulacji wzmocnienia.

W badaniach precyzji pomiaru prędkości i określania odległości od celu jako cel wykorzystano ekrany o różnych współczynnikach rozpraszania. Ekrany były umieszczane na odległościach 50, 100 i 150 m, a następnie przesuwane o precyzyjnie odmierzane odcinki, tak aby zasymulować drogę, jaką w czasie pomiaru pokonałby pojazd poruszający się z określoną prędkością. Po dokonaniu pomiarów odległości od ekranów można sprawdzić, czy wyliczona różnica między nimi jest prawidłowa i zgodna z pomiarami wykonanymi precyzyjnym dalmierzem.

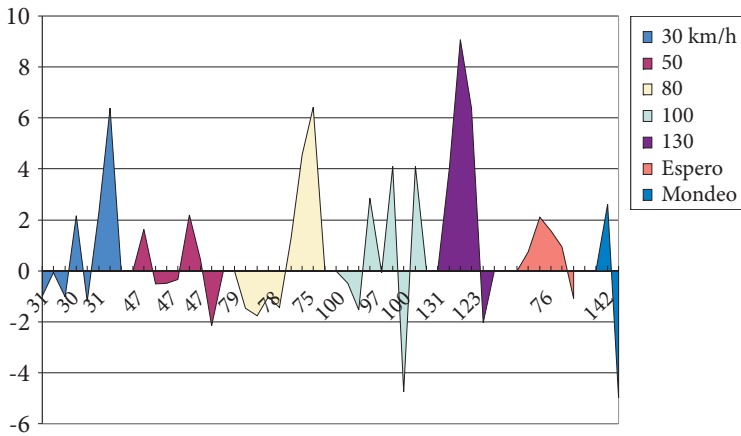
TABELA 1

Symulowane za pomocą ekranów pomiary dróg przebytych przez pojazd dla zakładanych prędkości

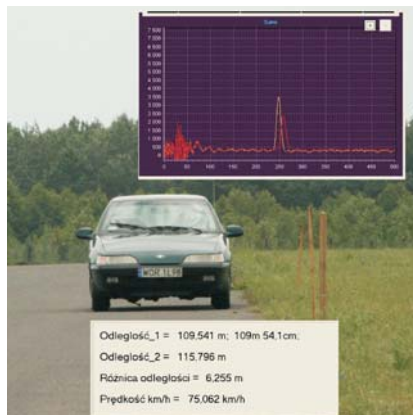
Odł. bazowa	Prędkość [km/h]	Droga [m]	P. precyzyjny [m]	P. modelu [m]	delta [cm]
50 m	36	3	3,081	3,056	2,5
	48	4	4,117	4,1243	0,73
	72	6	6,096	6,062	3,4
	96	8	8,039	7,969	7
	108	9	9,078	9,053	2,5
	132	11	11,075	11,017	5,8
	156	13	13,048	13,049	0,1
100 m	36	3	2,877	2,949	7,2
	48	4	3,893	3,947	5,4
	72	6	5,876	5,905	2,9
	96	8	7,805	7,78	2,5
	108	9	8,88	8,886	0,6
	132	11	10,877	10,853	2,4
	156	13	12,798	12,696	10,2
150 m	36	3	2,934	2,993	5,9
	48	4	4,01	4,018	0,8
	72	6	5,945	5,959	1,4
	96	8	7,929	7,911	1,8
	108	9	8,979	8,916	6,3
	132	11	10,926	10,948	2,2
	156	13	12,866	12,883	1,7

Pomiary prędkości dla wybranych pojazdów mechanicznych przeprowadzono na płycie lotniska, gdzie pojazdy mogły bezpiecznie rozwijać znaczne prędkości. Celem badań było sprawdzenie modelu prędkościomierza laserowego pod kątem jego poprawnej pracy. Do badań użyto samochodów osobowych Skoda Octavia, Daewoo

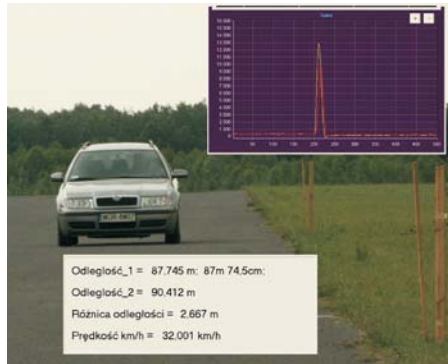
Espero i Ford Mondeo. Porównawczym przyrządem pomiarowym był radarowy miernik prędkości „Rapid” produkcji ZURAD. Podczas badania kierujący pojazdami mieli utrzymywać zadaną prędkość na określonym odcinku płyty lotniska, na którym następował pomiar. Rysunek 11 przedstawia wyniki pomiarów uzyskane z obu przyrządów i różnicę między nimi. Zakładane prędkości pojazdów to 30, 50, 80, 100 i 130 km/h dla Skody, oraz 80 km/h dla Deawoo i 90, 140 km/h dla Forda. Z badań wynika, że błąd określenia prędkości względem przyrządu „Rapid” zmienia się znacznie pomiędzy pomiarami i uzyskuje najlepsze wyniki w zakresie 50-80 km/h.



Rys. 11. Różnica (w km/h) pomiędzy pomiarami wykonanymi za pomocą prędkościomierza Rapid oraz prototypu prędkościomierza laserowego. Na osi X oznaczone są wskazania prędkościomierza Rapid, na osi Y różnica między tym wskazaniem a wskazaniem prototypu laserowego



Rys. 12. Pomiar prędkości samochodu, którego lakier pochłania znaczną część padającego promieniowania. Amplituda sygnału odebranego jest bardzo mała. Odbicie promieniowania nastąpiło prawdopodobnie od szyby pojazdu. Układy wzmacniaczy pracują na maksymalnym wzmocnieniu



Rys. 13. Pomiar prędkości samochodu, którego lakier pochłania mniej promieniowania niż pojazd z rysunku 12. Bardzo duże amplitudy odebranych sygnałów to efekt odbicia wiązki od czoła samochodu

Podczas badań zaobserwowano znaczne zmiany w dynamice odbieranego w trakcie pomiaru sygnału. Powodem tego był najprawdopodobniej zmieniający się wraz z ruchem pojazdu punkt, na który padały impulsy świetlne. W efekcie stosunek sygnał/szum niejednokrotnie różnił się w obu zsumowanych paczkach, co wpływało na zwiększenie błędu pomiaru. Aby przeciwdziałać tak dużym zmianom w dynamice sygnału, opracowano układ automatycznej regulacji wzmocnienia, który spełnił postawione wymagania, oraz przebadano układ ze wzmacniaczem logarytmicznym w torze odbiorczym. Wzmacniacz logarytmiczny cechuje się dużą zdolnością do kompensacji dynamiki sygnału i możliwe jest jego zastosowanie w kolejnych konstrukcjach prędkościomierza laserowego.

6. Wnioski końcowe

W wyniku prac prowadzonych nad konstrukcją prędkościomierza laserowego zbudowano i przebadano prototyp laserowego miernika prędkości.

Z przeprowadzonych badań wynika, że opracowana konstrukcja spełnia przyjęte w projekcie założenia, a dalsze prace nad prototypem będą skupione na poprawie parametrów użytkowych i optymalizacji układowej opracowanego urządzenia.

Artykuł wpłynął do redakcji 6.03.2008 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w październiku 2008 r.

LITERATURA

- [1] B. ZIĘTEK, *Optoelektronika*, Wydawnictwo Uniwersytetu im. Mikołaja Kopernika, Toruń, 2005.

-
- [2] Z. BIELECKI, A. ROGALSKI, *Detekcja sygnałów optycznych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001.
- [3] C. S. FOX, *Active electro-optical systems*, Infrared Information Analysis Center and Spie Optical Engineering Press, 1993.

M. ZYGMUNT, M. MUZAL, A. MŁODZIANKO,
P. KNYSAK, A. GIETKA, W. PIOTROWSKI

**Analysis of maximum measurement range and laboratory research
of laser velocimeter**

Abstract. The article presents basic issues concerning the use of laser radiation in remote measurements of vehicles velocity. It shows measurement principles of the prototype lidar system designed and built at the Military University of Technology, and presents analysis of the maximum range of measurement with consideration to prototype technical specifications. It introduces issues and problems with increasing measurement accuracy using geometrical aspects of the echo signal. Moreover, results of the experiments taken during construction of a prototype, as well as results from the examination of finished prototype are presented.

Keywords: laser speedometer, speed measurement, range analysis, police lidar gun, laser technology

Universal Decimal Classification: 621.375.826

