

Mirosław GIDLEWSKI¹
Stanisław KOZIOŁ²
Andrzej ZBROWSKI²

METODY BADAŃ WŁASNOŚCI JEZDNYCH SAMOCHODÓW Z WYSOKO POŁOŻONYM ŚRODKIEM MASY

W artykule opisano cel oraz metody badań właściwości jezdnych pojazdów ze szczególnym uwzględnieniem samochodów specjalnych stosowanych przez służby ratownicze. Przedstawiono wymagania dotyczące aparatury pomiarowej wykorzystywanej w tych badaniach oraz ogólne warunki realizacji procedur badawczych. Opisano najczęściej stosowane znormalizowane testy drogowe pozwalające na ocenę kierowności i stateczności pojazdów. Zaprezentowane badania będą stosowane do oceny bezpieczeństwa samochodów wykorzystywanych w Straży Pożarnej.

RESEARCH METHODS OF VIABLE PROPERTIES OF VEHICLES WITH THE HIGH CENTRE OF MASS

The article presents the objective and the research methods of the identification of the viable properties of specialized vehicles, used by the fire departments. The authors present the requirements related to the measurement apparatus used in the research and the general conditions for the application of the research procedures. Also described are the most often applied normalized traffic tests, which enable to assess the steerability and the stability of the vehicles. The presented research will be applied to the assessment of the safety of the vehicles used by the Fire Service.

1. WPROWADZENIE

Wypadki drogowe są konsekwencją nieprawidłowego funkcjonowania systemu Kierowca-Pojazd-Otoczenie (K-P-O). System K-P-O jest biologicznym układem sterowania. W automatyce system taki nazywa się układem regulacji, w którym samochód jest obiektem regulacji, kierowca jest regulatorem, otoczenie zaś dostarcza sygnałów prowadzących i zakłócających. Statystyki wypadków jednoznacznie pokazują, że najbardziej zawodnym elementem układu K-P-O jest człowiek. Jest jednak oczywiste, że

¹Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; Al. B. Chrobrego 45. Tel: 48 361-76-57,
e-mail: mirosław.gidlewski@pr.radom.pl

²Instytut Technologii Eksploatacji-PIB; 26-600 Radom; ul. Pułaskiego 6/10. Tel: 48 3644241;
e-mail: stanislaw.kozioł@itee.radom.pl, andrzej.zbrowski@itee.radom.pl

duża liczba nieprawidłowych zachowań kierowców powodujących powstawanie krytycznych sytuacji drogowych, wynika z niedostosowania własności jezdnych pojazdu do umiejętności i zdolności psychofizycznych przeciętnego kierowcy. Dlatego też są prowadzone badania dynamiczne pojazdów pozwalające na rozpoznanie własności jezdnych pojazdów samochodowych, jak również na rozpoznanie wpływu różnych danych masowych i geometrycznych oraz wykorzystanych rozwiązań konstrukcyjnych zespołów samochodu na jego własności jezdne. Badania tego rodzaju są prowadzone w wielu ośrodkach samochodowych na świecie już od lat czterdziestych XX wieku i dały podstawy do utworzenia, przez Międzynarodową Organizację Standaryzacji – ISO, standardów, normalizujących techniki badawcze własności jezdnych pojazdów samochodowych.

Szczególnym przykładem pojazdów są samochody wykorzystywane przez państwowe i przemysłowe służby ratownicze. Należą do nich samochody ratowniczo-gaśnicze, ratownictwa technicznego, drabiny automatyczne i podnośniki pożarnicze. Są one budowane na bazie samochodów ciężarowych metodą zabudowy specjalnego nadwozia i różnego rodzaju wyposażenia, co często wiąże się ze znacznym podniesieniem środka masy. Ze względu na charakter działań w jakich są używane, teren prowadzenia akcji i konieczność maksymalnego skrócenia jej czasu, wymaga się od nich jak najlepszych właściwości jezdnych. Samochody strażackie, pomimo że należą do grupy pojazdów specjalnych, muszą podlegać ocenie własności jezdnych potwierdzających bezpieczeństwo użytkowania w ruchu drogowym oraz podczas jazdy terenowej. W obecnej sytuacji prawnej nie istnieją osobne przepisy określające warunki badań drogowych pojazdów ratowniczych. Artykuł stanowi syntezę metod badania pojazdów przeprowadzoną w celu budowy systemu badawczego przeznaczonego do oceny i certyfikacji pojazdów ratowniczych oraz innych specjalnych z wysoko położonym środkiem masy.

2. BADANIA WŁASNOŚCI JEZDNYCH SAMOCHODÓW

Własności jezdne pojazdu to zbiór charakterystyk opisujących jego reakcje (odpowiedzi) na różnorodne wymuszenia wejściowe: wewnętrzne (pochodzące od układów sterowania pojazdem) oraz zewnętrzne (zakłócenia pochodzące od otoczenia pojazdu). Wielkości opisujące reakcje pojazdu powinny być tak dobrane, aby pozwalały przewidywać zachowania układu Kierowca-Pojazd w czasie wykonywania różnych manewrów jezdnych.

Samochód posiadający pożądane własności jezdne szybko i precyzyjnie reaguje na ruchy elementów sterujących uruchamianych przez kierowcę, ale jednocześnie słabo lub wcale nie reaguje na zakłócenia zewnętrzne. Ponadto wytrącony z położenia równowagi szybko i samoczynnie powraca do położenia pierwotnego zadanego przez kierowcę. Dobre własności jezdne samochodu ułatwiają pracę kierowcy w czasie normalnej jazdy, ale przede wszystkim pomagają w unikaniu i wychodzeniu z krytycznych sytuacji drogowych.

Badania własności jezdnych samochodów obejmują większość manewrów jezdnych, jakie wykonuje pojazd podczas normalnej eksploatacji. Oczywista złożoność takich badań zmusiła do wyodrębnienia czterech głównych sytuacji jezdnych:

- jazda po łuku o stałym promieniu,
- jazda podczas stanów przejściowych (przejście od jazdy po prostej do jazdy po łuku i odwrotnie),
- jazda po łuku o zmiennym promieniu,

- jazda po prostej.

W obrębie wymienionych sytuacji określono szereg elementarnych manewrów jezdnych. W trakcie ich wykonywania bada się własności jezdne pojazdu. Badania prowadzone są w układzie otwartym i w układzie zamkniętym.

Badania w układzie otwartym obejmują wyznaczanie własności samego pojazdu, przy wyeliminowaniu wpływu kierowcy i przy ściśle zdefiniowanym otoczeniu. W badaniach tych traktuje się pojazd jako obiekt regulacji i stara się wyznaczyć odpowiedzi niezidentyfikowanego obiektu na zdeterminowane wymuszenia wejściowe. Wymuszenia wejściowe mogą pochodzić od układów sterowania (zmiana kąta obrotu koła kierownicy, nacisk na pedał hamulca lub pedał gazu) lub być wywoływane przez zakłócenia pochodzące od otoczenia pojazdu (nierówności drogi, wiatr boczny itp.). Dodatkowo przyjmowane są różne stany pracy elementów sterujących.

Badania w układzie zamkniętym traktują kierowcę i pojazd jako całość i starają się wyznaczyć zachowanie układu Kierowca-Pojazd przy wykonywaniu różnych manewrów jezdnych. Istnieją trzy sposoby badań pojazdu w układzie zamkniętym:

- a) subiektywne oceny własności jezdnych pojazdów przez wykwalifikowanych kierowców,
- b) rejestracja współdziałania układu Kierowca-Pojazd przy wykonywaniu różnych manewrów jezdnych i ocena jakości tego współdziałania,
- c) rejestracja psychicznego i fizycznego wysiłku, jaki musi włożyć kierowca w wykonywanie różnych manewrów jezdnych.

Połączenie badań w układzie otwartym i w układzie zamkniętym przyniosło efekty w postaci określenia zależności pomiędzy niektórymi obiektywnymi wielkościami charakterystycznymi używanymi do oceny własności jezdnych samochodów podczas badań w układzie otwartym, a subiektywnymi odczuciami wykwalifikowanych kierowców. Pozwala to zakładać, że wyselekcjonowane w ten sposób obiektywne wielkości charakterystyczne mogą służyć do oceny kierowności i stateczności.

W trakcie wykonywania poszczególnych testów badawczych zwykle mierzone i rejestrowane są w funkcji czasu następujące wielkości, niezbędne potem do oceny własności jezdnych badanego pojazdu:

- przemieszczenie x lub/i prędkość wzdłużna v_x wybranego punktu pojazdu względem powierzchni jezdni,
- przemieszczenie y lub/i prędkość poprzeczna v_y wybranego punktu pojazdu względem powierzchni jezdni,
- prędkość odchylenia bryły nadwozia $d\psi/dt$ względem osi pionowej,
- przyspieszenia nadwozia: wzdłużne a_x , poprzeczne a_y i pionowe a_z ,
- kąt przechyłu wzdłużnego θ i poprzecznego φ nadwozia względem jezdni,
- ugięcia zawiesz (przemieszczenia nadwozia względem ramy),
- kąt obrotu koła kierownicy δ_H ,
- moment obrotowy na kole kierownicy M_H ,
- prędkości obrotowe kół samochodu ω_i ,
- siła nacisku na pedał hamulca,
- kąty skrętu kół kierowanych δ_1, δ_2 ,
- prędkości wzdłużne i poprzeczne poszczególnych kół pojazdu,
- kąty obrotu osi kół pojazdu względem osi pionowej.

Badania własności jezdnych prowadzone są na szeroką, skalę przez firmy produkujące samochody i przez jednostki dozoru technicznego. Organizacja ISO już w 1969 roku powołała w Komitecie TC 22 sekcję S.C. 9 "Vehicle Dynamics and Road Holding Ability", której zadaniem jest znormalizowanie metod badawczych kierowności i stateczności pojazdów. Do chwili obecnej opracowano kilkanaście norm związanych z tą tematyką. Początkowo normy uwzględniały badanie jedynie samochodów osobowych. Później zaczęto wydawać również normy dotyczące samochodów ciężarowych i autobusów, a nawet zespołów pojazdów ciężarowych i autobusów przegubowych.

Mimo opracowania szeregu metod badawczych oraz różnorodnych kryteriów oceny własności jezdnych w poszczególnych testach, nie zaprezentowano jednak dotąd powszechnie akceptowanych i potwierdzonych eksperymentalnie wymagań pozwalających uznać pojazd za bezpieczny czynnie.

3. WARUNKI PRZEPROWADZANIA BADAŃ SAMOCHODÓW CIĘŻAROWYCH I AUTOBUSÓW

Ogólne warunki badania samochodów ciężarowych i autobusów są opisane w normie ISO 15037-2. Norma ta zawiera wymagania stawiane aparaturze pomiarowej, wymagania dotyczące warunków drogowych oraz badanego pojazdu.

Tab. 1. Wymagania stawiane aparaturze do badań samochodów ciężarowych i autobusów

Wielkość	Oznaczenie	Zakres	Maksymalny błąd
kąt obrotu kierownicy	δ_H	$\pm 360^\circ$	$\pm 2^\circ$ gdy $\delta_H \leq 180^\circ$ $\pm 4^\circ$ gdy $\delta_H > 180^\circ$
prędkość wzdłużna pojazdu	v_x	$0 \div 35 \text{ m/s}$	$\pm 0.5 \text{ m/s}$
prędkość poprzeczna pojazdu	v_y	$\pm 10 \text{ m/s}$	$\pm 0.2 \text{ m/s}$
przyspieszenie wzdłużne	a_x	$\pm 15 \text{ m/s}^2$	$\pm 0.15 \text{ m/s}^2$
przyspieszenie poprzeczne	a_y	$\pm 15 \text{ m/s}^2$	$\pm 0.15 \text{ m/s}^2$
kąt znoszenia pojazdu	β	$\pm 10^\circ$	$\pm 0.5^\circ$
prędkość kątowa odchylenia	$\dot{\psi}$	$\pm 50^\circ/\text{s}$	$\pm 0.5^\circ/\text{s}$
kąt boczny przechyłu	φ	$\pm 15^\circ$	$\pm 0.2^\circ$
prędkość kątowa przechyłu boczny	$\dot{\varphi}$	$\pm 50^\circ/\text{s}$	$\pm 0.5^\circ/\text{s}$
moment na kole kierownicy bez wspomagania	M_H	$\pm 50 \text{ Nm}$	$\pm 0.5 \text{ Nm}$
moment na kole kierownicy ze wspomaganiami	M_H	$\pm 20 \text{ Nm}$	$\pm 0.2 \text{ Nm}$
kąt przegubu między pojazdem, a przyczepą (naczepą)		$\pm 50^\circ$	$\pm 0.5^\circ$
przemieszczenie boczne od punktów zadanych		$\pm 10 \text{ m}$	$\pm 0.05 \text{ m}$

Wymagania stawiane aparaturze pomiarowej używanej w trakcie badań pojazdów ciężarowych i autobusów pokazano w tabeli 1. Przedstawiono zakresy pomiarowe czujników mierzących poszczególne wielkości oraz ich klasę dokładności. Czujniki powinny być zainstalowane na pojeździe zgodnie z instrukcją producenta lub zgodnie z normą ISO 8555. Norma ISO 15037-2 formułuje również wymagania sprzętowe odnośnie przetwarzania zarejestrowanych danych cyfrowych i analogowych oraz filtrowania sygnałów.

Wszystkie testy muszą być wykonywane na czystej, suchej i gładkiej utwardzonej powierzchni. Nachylenie powierzchni nie powinno przekraczać 2,5 % w każdym kierunku na dystansie odpowiadającym długości pojazdu. Jako standardowe podłoże może służyć asfalt bądź beton. Podczas pomiarów prędkość wiatru nie powinna przekraczać 5 m/s. Dla każdej próby powinny być rejestrowane warunki pogodowe. W szczególnych przypadkach temperatura otoczenia może mieć wpływ na wyniki testu, co powinno być wzięte pod uwagę przy porównywaniu wyników.

W standardowych warunkach testu, opony powinny być zamontowane na pojeździe i napompowane zgodnie z zaleceniami producenta. Jeśli producent nie określi inaczej to badania należy wykonywać na oponach o przebiegu co najmniej 150 km, bez nadmiernego zużycia wynikającego na przykład z ostrego hamowania, przyspieszania, pokonywania zakrętów, uderzenia w krawężnik, itp. Opony nie powinny być zmieniane w trakcie testu, powinny mieć bieżnik o głębokości, co najmniej 90% nominalnej wartości i nie powinny być starsze niż dwa lata.

Całkowita masa pojazdu, położenie środka masy i momenty bezwładności mają wpływ na wyniki wszystkich badań. Dla uzyskania maksymalnych warunków obciążenia, całkowita masa pojazdu z pełnym ładunkiem składa się z pełnej masy własnej plus maksymalny ładunek, osprzęt, załoga rozmieszczony w taki sposób, że żaden z maksymalnych nacisków osi nie jest przekroczony. Podczas wykonywania prób położenie środka masy nie może się zmieniać.

Wszystkie istotne części pojazdu powinny być rozgrzane przed testem w celu osiągnięcia temperatury normalnych warunków jazdy. Przykładowo procedura rozgrzania opon polega na przejechaniu odległości co najmniej 50 km z prędkością badania w teście.

Uwzględniając zagrożenia typowe dla pojazdów pożarniczych lub innych z wysoko umieszczonym środkiem masy, do badania własności jezdnych tych pojazdów powinny być wykorzystane następujące testy badawcze:

- ustalona jazda po okręgu,
- skokowy obrót koła kierownicy w czasie jazdy na wprost,
- hamowanie w czasie jazdy po okręgu,
- jazda pod działaniem wiatru bocznego,
- podwójna zmiana pasa ruchu.

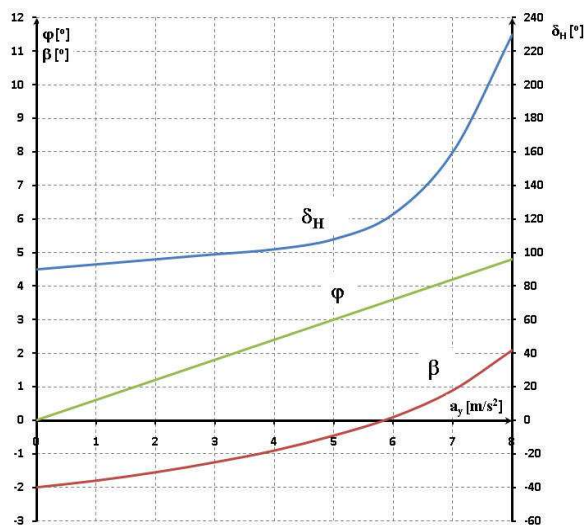
4. USTALONA JAZDA PO OKRĘGU

Przeprowadzenie testu polegającego na ustalonej jeździe po okręgu jest konieczne w celu wyznaczenia wartości wielkości wejściowych wykorzystywanych w innych testach, wartości granicznych prędkości samochodu i przyspieszenia poprzecznego umożliwiającego ruch po łuku o zadanym promieniu. Szczegółowy opis badania zachowania się samochodów ciężarowych i autobusów podczas testu zawiera norma

ISO 14792. Badania odbywają się wyłącznie w układzie otwartym. W przypadku gdy w trakcie badań planuje się uzyskiwane znacznych przyspieszeń poprzecznych, należy wyposażyć badany pojazd w specjalne wysięgniki uniemożliwiające przewrócenie się na bok. Jest kilka metod badania zachowania się pojazdów w tym teście:

- stały promień toru jazdy,
- stały kąt obrotu koła kierownicy,
- stała prędkość, zmienny kąt obrotu koła kierownicy,
- stała prędkość, zmienny promień toru.

Ustalona jazda po okręgu o stałym promieniu polega na takim kierowaniu samochodu, aby poruszał się on ze stałą prędkością, po okręgu o zadanym promieniu. Próby są powtarzane wielokrotnie z coraz większą prędkością. Prędkość w pierwszej próbie powinna być jak najmniejsza. W kolejnych próbach prędkość powinna zwiększać się w taki sposób, aby przyrost przyspieszenia poprzecznego pojazdu nie przekraczał $0,5\text{m/s}^2$ aż do osiągnięcia wartości przyspieszenia poprzecznego uniemożliwiającego poruszanie się pojazdu po zadanym torze. Prędkość samochodu w każdej próbie powinna być utrzymana w zakresie $\pm 2\text{km/h}$ stosunku do wartości zadanej, a wybrany punkt pojazdu nie powinien oddalać się od zadanego toru jazdy na odległość większą niż $0,5\text{m}$. Procedura powinna być powtórzona co najmniej trzykrotnie na okręgach o różnych promieniach. Przykładowe wyniki badań samochodu uzyskane w czasie ustalonej jazdy w lewo po okręgu o stałym promieniu przedstawiono na rys. 1.



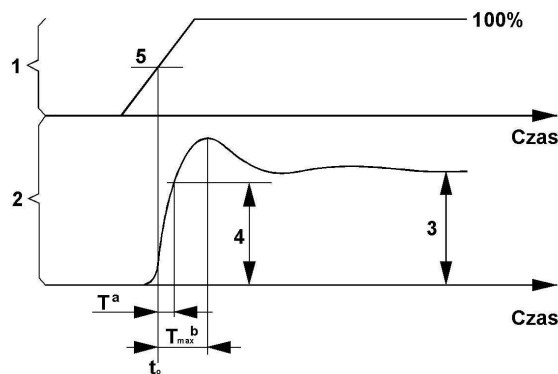
Rys. 1. Wyniki badań samochodu uzyskane podczas ustalonej jazdy po okręgu o stałym promieniu $R=40\text{m}$ w lewo (oznaczenia wielkości jak w tab. 1)

Test pozwala wyznaczyć charakterystykę sterowności samochodu. Jeżeli kąt obrotu koła kierownicy (lub promień okręgu) rośnie wraz ze wzrostem przyspieszenia poprzecznego pojazdu, samochód jest podsterowny (Rys. 1); jeżeli maleje, samochód jest nadsterowny; a jeżeli pozostaje stały, samochód jest neutralny pod względem sterowności. Najczęściej podkreśla się zalety samochodu podsterownego w stosunku do samochodu

nadsterownego. Jak jednak wykazują badania współczesne samochody są podsterowne i ważniejszym wydaje się ustalenie, jakie charakterystyki podsterowności są optymalne ze względu na bezpieczną jazdę.

5. SKOKOWY OBRÓT KOŁA KIEROWNICY PODCZAS JAZDY NA WPROST

Opis badania zachowania się samochodów ciężarowych i autobusów po wymuszeniu skokowego obrotu koła kierownicy przedstawia norma ISO 14793. Badania odbywają się wyłącznie w układzie otwartym. Test polega na szybkim obrocie kołem kierownicy o zadany kąt δ_{Hss} w czasie jazdy samochodu na wprost z ustaloną prędkością i przytrzymaniu go w tej pozycji. W zależności od rodzaju badanego pojazdu próby odbywają się z prędkością 80, 90 i 100 km/h. Jeżeli maksymalna prędkość badanego samochodu jest mniejsza niż 80 km/h to można próbę przeprowadzić dla innych prędkości najlepiej z krokiem co 10 km/h. Prędkość samochodu w czasie wykonywania próby powinna być stała. Czas narastania kąta obrotu koła kierownicy powinien być możliwie najkrótszy, a prędkość narastania δ_H powinna zawierać się w zakresie 150 - 500°/s. Wartość kąta obrotu kierownicy δ_{Hss} powinna być tak dobrana, aby ustalone na końcu próby przyspieszenie poprzeczne pojazdu wynosiło 3m/s^2 . Próby powinny być wykonywane dla skrętu w lewo i w prawo. Ze względu na niebezpieczeństwo zarzucenia lub wywrócenia pojazdu maksymalne przyspieszenie poprzeczne uzyskiwane w trakcie próby nie powinno przekraczać $0,75 a_{y\max}$ powodującego zarzucenie lub wywrócenie pojazdu.



Rys. 2. Odpowiedź pojazdu na skokowy obrót koła kierownicy – wielkości charakterystyczne: 1 - wymuszenie skokowe na kole kierowniczym, 2 – odpowiedź pojazdu na wymuszenie (przebieg prędkości odchylenia $d\psi/dt$ lub przyspieszenia poprzecznego a_y , 3 – ustalona wartość odpowiedzi układu, 4 – 90% wartości ustalonej odpowiedzi układu, 5 – poziom 50% wymuszenia na kole kierowniczym, T^a – czas reakcji odpowiedzi, T_{max}^b – czas, po którym osiągnięta została maksymalna wartość odpowiedzi

W trakcie prowadzenia badań mierzone i rejestrowane są w funkcji czasu przebiegi następujących zmiennych:

- kąt obrotu koła kierownicy $\delta_H(t)$,
- prędkość wzdłużna samochodu $v_x(t)$,
- prędkość poprzeczna samochodu $v_y(t)$,
- przyspieszenie poprzeczne pojazdu $a_y(t)$,
- prędkość odchylenia $\dot{\psi}(t)$,
- kąt przechyłu poprzecznego pojazdu $\varphi(t)$.

Do scharakteryzowania własności jezdnych samochodu w tym teście najczęściej wykorzystuje się wykresy prędkości odchylenia i przyspieszenia poprzecznego w funkcji czasu. Na ich podstawie wyznacza się wielkości charakterystyczne (rys. 2).

Test ujawnia zachowania pojazdu w stanach przejściowych. Na początku testu samochód porusza się ruchem prostoliniowym, na końcu testu ruchem krzywoliniowym po łuku o stałym promieniu.

Kierowcy jako korzystne oceniają duże wartości współczynnika wzmocnienia prędkości odchylenia oraz krótki czas uzyskiwania pierwszego maksimum prędkości odchylenia. Za niekorzystne uważa się zbyt duże wartości współczynników przewyższenia prędkości odchylenia i przyspieszenia poprzecznego.

6. HAMOWANIE NA ŁUKU DROGI

Opis badania zachowania się samochodów ciężarowych i autobusów podczas hamownia na łuku drogi zawiera norma ISO 14794. Badania prowadzone są w układzie otwartym. Test polega na zahamowaniu samochodu przy wykorzystaniu hamulca zasadniczego lub retardera/hamulca górskiego w czasie jazdy po okręgu ze stałą prędkością. Próby powtarzane są kilkakrotnie dla jazdy w prawo i w lewo przy różnych intensywnościach hamowania. W trakcie każdej próby powinna być utrzymana stała wartość ciśnienia w mechanizmie uruchamiającym hamulce i stała wartość kąta obrotu koła kierownicy.

Zalecany w normie promień okręgu, po którym porusza się samochód ruchem ustalonym bezpośrednio przed rozpoczęciem hamowania to 100m. Dopuszcza się również inne promienie okręgów, jednak nie mniejsze niż 30m. Prędkość początkowa samochodu powinna być tak dobrana aby jego przyspieszenie poprzeczne, w trakcie wykonywania ustalonej jazdy po okręgu, wynosiło 3m/s^2 . Przyspieszenie to nie powinno przekraczać jednak 75% wartości przyspieszenia poprzecznego powodującego przewrócenie pojazdu. Podczas wykonywania prób należy stosować wysięgniki zabezpieczające pojazd przed przewróceniem na bok. W kolejnych próbach średnie opóźnienie wzdłużne pojazdu powinno zwiększać się od wartości 1 m/s^2 aż do wartości zadanej lub do wartości opóźnienia przy którym nastąpi zablokowanie jednego z kół. Wzrost opóźnienia wzdłużnego w kolejnych próbach nie powinien przekraczać wartości 1 m/s^2 .

W trakcie prowadzenia badań mierzone i rejestrowane są w funkcji czasu przebiegi następujących zmiennych:

- prędkość wzdłużna $v_x(t)$ i poprzeczna $v_y(t)$ samochodu,
- przyspieszenie wzdłużne $a_x(t)$ i poprzeczne $a_y(t)$,
- sygnał włączenia hamulca,
- kąt obrotu koła kierownicy $\delta_H(t)$,
- prędkość odchylenia $\dot{\psi}(t)$,

- prędkości obrotowe poszczególnych kół ω_i .

W wyniku hamowania w czasie ruchu po okręgu następuje zmiana zadanego toru ruchu samochodu, zwykle charakteryzująca się zmniejszeniem wartości promienia okręgu, po którym się porusza. Jest oczywiste, że samochód ma tym lepsze własności jezdne im mniejsze są odstępstwa rzeczywistego toru ruchu wywołanego hamowaniem od toru zadanego (tzn. toru, po którym poruszałby się gdyby hamowanie nie wystąpiło).

Test hamowania na okręgu powinien być zawsze poprzedzony testem hamowania w trakcie jednostajnego ruchu prostoliniowego. W trakcie tego badania szczególna uwaga powinna być zwrócona na przemieszczenia poprzeczne samochodu względem zadanego prostoliniowego toru ruchu oraz na kąt obrotu samochodu względem osi pionowej. Odstępstwa od zadanego toru ruchu skutkujące wyjechaniem samochodu poza standardową szerokość pasa ruchu, jak również obrót samochodu grożący jego zarzuceniem lub przewróceniem na bok świadczą o złych własnościach jezdnych.

7. JAZDA POD DZIAŁANIEM WIATRU BOCZNEGO

Badanie zachowania się samochodu pod wpływem działania wiatru bocznego z użyciem generatora wiatru przeprowadza się zgodnie z normą ISO 12021. Test należy przeprowadzać na nawierzchni utwardzonej suchej (najlepiej asfaltowej). Dopuszcza się również wykonanie tej próby na nawierzchni mokrej pod warunkiem zmierzenia głębokości warstwy wody na nawierzchni. Odcinek badawczy powinien mieć, co najmniej 5 metrów szerokości. Ponadto długości odcinków badawczych przed i za strefą wiatru nie powinny być mniejsze niż 100 metrów. Nominalna długość strefy wiatru wynosi 15 metrów, jednak preferowana jest długość 25 metrów. Prędkość wiatru naturalnego w czasie przeprowadzania prób powinna być jak najmniejsza i nie przekraczać 3 m/s w każdym kierunku. Generator wiatru powinien wytwarzać wiatr o prędkości 20 ± 3 m/s. Kierunek wytwarzanego wiatru w stosunku do kierunku poruszania się samochodu powinien stanowić kąt prosty. Prędkość wiatru w czasie wykonywania próby obliczana jest, jako wartość średnia z prędkości zmierzonych w całej długości strefy wiatru i na wysokości badanego pojazdu. Nachylenie odcinka badawczego na całej jego szerokości w kierunku poprzecznym i na długości 50 m w kierunku wzdłużnym powinno być mniejsze niż 2,5%. Badania prowadzone są wyłącznie w układzie otwartym i są przeznaczone dla samochodów osobowych, samochodów osobowych z przyczepą oraz lekkich ciężarówek.

Test polega na kilkukrotnym przejechaniu (co najmniej 5 razy) odcinka badawczego ze stałą prędkością wzdłużną i z zablokowanym kołem kierownicy ustawionym do jazdy na wprost. Prędkość pojazdu powinna wynosić 100 km/h. Dopuszcza się także przeprowadzanie testu dla innych prędkości poruszania się pojazdu najlepiej z krokiem co 20 km/h.

W trakcie prowadzenia badań mierzone i rejestrowane są w funkcji czasu przebiegi następujących zmiennych:

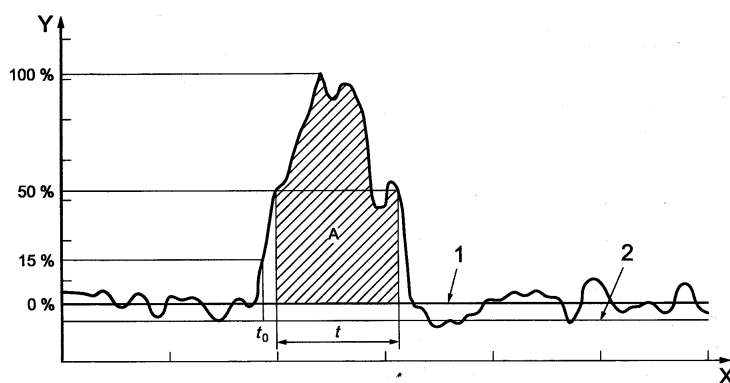
- prędkość wzdłużna pojazdu $v_x(t)$,
- prędkość poprzeczna pojazdu $v_y(t)$,
- prędkość kąta odchylenia $\psi(t)$,
- przyśpieszenie poprzeczne pojazdu $a_y(t)$,
- kąt przechyłu poprzecznego pojazdu $\phi(t)$,

Na podstawie zarejestrowanych wyników wyznaczane są:

- kąt znoszenia pojazdu $\beta(t)$,
- odchylenie poprzeczne pojazdu $y(t)$ lub $y(x)$.

Norma zaleca scharakteryzowanie na wykresach profilów prędkości generowanego wiatru w strefie ustawienia generatorów. Zaleca ponadto wykonanie wykresów przemieszczenia poprzecznego, prędkości odchylenia i przyspieszenia poprzecznego samochodu w funkcji czasu oraz maksymalnych wielkości przemieszczenia poprzecznego, prędkości odchylenia i przyspieszenia poprzecznego samochodu w funkcji prędkości wzdłużnej samochodu.

Wielkości charakterystyczne opisujące własności jezdne samochodu będącego pod działaniem wiatru bocznego określa się na podstawie analizy wykresów m.in. prędkości odchylenia i przyspieszenia poprzecznego samochodu w funkcji czasu. Kryteriami oceny są: wartości impulsów prędkości odchylenia i przyspieszenia poprzecznego. Impuls prędkości odchylenia (przyspieszenia poprzecznego) opisany stosunkiem A/t jest wyznaczany w sposób pokazany na rys. 3.



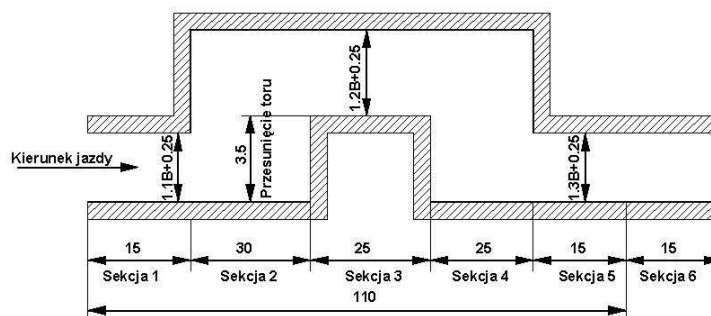
Rys. 3. Definicja wielkości wykorzystywanych do wyznaczania impulsu prędkości odchylenia i impulsu przyspieszenia poprzecznego. 1 – wartość odniesienia, 2 – wartość zerowa, X – czas [s], Y – prędkość odchylenia lub przyspieszenie poprzeczne, A – pole impulsu, t – czas trwania impulsu

Działanie wiatru bocznego na samochód powoduje zawsze zmianę jego toru ruchu z prostoliniowego na krzywoliniowy. Samochód posiadający dobre własności jezdne charakteryzuje się dużą odpornością na działanie wiatru bocznego tzn. nie wymaga od kierowcy podejmowania nadzwyczajnych działań pozwalających na powrót do zadanego toru ruchu.

8. PODWÓJNA ZMIANA TORU JAZDY

Opis badania zachowania się samochodów w czasie wykonywania podwójnej zmiany pasa ruchu zawiera norma ISO 3888-1. Norma przeznaczona jest do badania samochodów osobowych i dostawczych. Stosuje się ją również do samochodów ciężarowych. Badania

prorowadzone są w układzie zamkniętym. W teście bada się zachowania układu Kierowca-Pojazd w czasie przejazdu odcinka drogi, którego wymiary przedstawione są na rysunku 4.



Rys. 4. Korytarz wyznaczający trajektorię ruchu dla manewru podwójnej zmiany toru jazdy (wszystkie wymiary podane w [m], B - szerokość pojazdu)

Test polega na przejechaniu wzdłuż zadanego korytarza drogi ze stałą prędkością. Standardowo wykonuje się dwie próby: przejazd z prędkością $V=80$ km/h oraz przejazd z możliwie największą prędkością (jeśli pojazd nie osiąga prędkości 80 km/h, to przeprowadza się jedynie drugą z wymienionych prób). Dla tych prób sporządzane są charakterystyki czasowe kąta obrotu kierownicy $\delta_H(t)$, przyspieszenia poprzecznego $a_y(t)$, prędkości odchylenia $\psi(t)$, kąta przechyłu bocznego $\phi(t)$ i momentu siły na kole kierownicy $M_H(t)$.

W czasie wykonywania testu podwójnej zmiany pasa ruchu duża rolę odgrywają własności jezdne pojazdu w stanach przejściowych, ale również właściwości kierowcy. Test ten pozostawia bowiem kierowcy pewną swobodę co do wyboru obszaru przejścia do toru równoległego, a następnie powrotu na tor wejściowy. Jako kryteria oceny w tym teście wykorzystywana są: średnia prędkość przejazdu odcinka badawczego (czas przejazdu), subiektywne oceny kierowców.

Odmianą testu podwójnej zmiany pasa ruchu jest test polegający na omijaniu przeszkody nagle pojawiającej się na drodze. Test ten został opisany w normie ISO 3888-2. Badania prowadzone są w układzie zamkniętym. W teście bada się zachowania układu Kierowca-Pojazd w czasie przejazdu odcinka drogi, którego kształt jest zbliżony do przedstawionego na rys. 4 ze znacznie skróconymi sekcjami 2, 3 i 4. Polega on na przejechaniu wzdłuż zadanego korytarza drogi z możliwie największą prędkością.

Testy podwójnej zmiany pasa ruchu oraz omijania nagle pojawiających się przeszkód mogą być wykorzystywane do ocen porównawczych własności jezdnych różnych pojazdów. W tym celu należy jednak dysponować grupą doświadczonych kierowców przygotowanych do prowadzenia badań tego rodzaju.

9. PODSUMOWANIE

Do badań własności jezdnych samochodów pożarniczych lub innych posiadających wysoko położony środek masy wybrano 5 testów spośród kilkunastu proponowanych przez organizację ISO. Trzy pierwsze testy (realizowane w układzie otwartym) są często

stosowane ze względu na prostotę wykonania, jak również na możliwość uzyskania szerokiego zakresu informacji o własnościach badanych samochodów. Pozwalają bowiem wyznaczyć wartości obiektywnych wielkości charakterystycznych opisujących własności jezdne samochodu w ustalonych i w nieustalonych stanach ruchu. Test czwarty polegający na badaniu reakcji samochodu na wiatr boczny również powinien być realizowany szczególnie w przypadku samochodów o dużej powierzchni bocznej. Niewątpliwą przeszkodą w realizacji tego testu mogą być jednak kosztowne urządzenia do generowania sztucznego wiatru. Zaproponowano również test realizowany w układzie zamkniętym. Jego wyniki powinny pozwolić na weryfikowanie przez kierowców poprawności wybranych (w trakcie badań w układzie otwartym) wielkości charakterystycznych wykorzystywanych do oceny kierowalności i stateczności samochodów.

Wykorzystanie opisanych testów i metod badań do oceny kierowalności i stateczności pojazdów specjalnych stosowanych przez służby ratownicze pozwala na sprawdzenie ich bezpieczeństwa w warunkach dynamicznych. Zastosowanie w takich badaniach modułowej, autonomicznej aparatury pomiarowej pozwalającej na sprawną realizację testów umożliwiłoby weryfikację bezpieczeństwa takich pojazdów w ramach badań dopuszczających je do użytkowania prowadzonych przez uprawnione instytucje badawcze.

10. BIBLIOGRAFIA

- [1] Gidlewski M.: Model do badań kierowalności i stateczności ruchu samochodów z nadwoziami o dużej sztywności. Biuletyn WAT nr 3/4, Warszawa 1995.
- [2] Gidlewski M.: Analiza wpływu sztywności nadwozia samochodu ciężarowego na jego charakterystyki stateczności i kierowalności. Zeszyty Instytutu Pojazdów 3(15)/95. PW SiMR, Warszawa 1995.
- [3] Gidlewski M.: Model of a dual axis heavy truck for handling studies in complex road situations. 11th European Automotive Congress Budapeszt 2007.
- [4] Kozioł S., Matras E., Zbrowski A., Samborski T.: Koncepcja zestawu aparatury do badania stateczności i bezpieczeństwa samochodów z urządzeniami ratownictwa wysokościowego. Logistyka 3/2011, s.1287-1297.
- [5] ISO 15037-2 (2002r) „Road vehicles - Vehicle dynamics test methods - Part 2: General conditions for heavy vehicles and buses”
- [6] ISO 14792 (2011r) „Road vehicles - Heavy commercial vehicles and buses - Steady-state circular tests”
- [7] ISO 14793 (2011r) „Road vehicles - Heavy commercial vehicles and buses - Lateral transient response test methods”
- [8] ISO 14794 (2011r) „Heavy commercial vehicles and buses - Braking in a turn - Open-loop test methods”
- [9] ISO 12021 (2010r) „Road vehicles - Sensitivity to lateral wind - Open-loop test method using wind generator input”
- [10] ISO 3888-1 „Passenger cars - Test track for a severe lane-change manoeuvre - Part 1 (1999r); Double lane-change, Part 2 (2011r): Obstacle avoidance”