

MAREK GUZEK*

OCENA WPŁYWU POŁOŻENIA W POJEŹDZIE URZĄDZENIA TYPU ADR2/EDR2 NA DOKŁADNOŚĆ REKONSTRUKCJI RUCHU SAMOCHODU

ESTIMATION OF THE EFFECT OF THE POSITION OF AN ADR2/EDR2 INSTALLATION ON THE VEHICLE MOVEMENT RECONSTRUCTION ACCURACY

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki obliczeń symulacyjnych dotyczących rekonstrukcji ruchu samochodu za pomocą zapisów urządzeń typu ADR/EDR. Dotychczasowe publikacje na ten temat wskazują, że w przypadku stosowania typowych na dzień dzisiejszy rozwiązań ADR mogą pojawiać się (wskutek ich uproszczeń) istotne różnice między wynikami rekonstrukcji a rzeczywistym ruchem pojazdu. W tym artykule przedstawiono, jak położenie takiego typowego urządzenia w pojeździe może wpływać na dokładność rekonstrukcji. Stwierdzono, że taki wpływ jest widoczny, ale nie ma on istotnego znaczenia ilościowego.

Słowa kluczowe: samochodowe „czarne skrzynki” ADR, EDR, rekonstrukcja wypadków, symulacja ruchu samochodu

Abstract

Paper presents simulation results concerning vehicle motion reconstruction based on ADR/EDR devices. Hitherto published papers show possibility of significant differences between reconstruction results and real vehicle motion. It concerns typical nowadays devices, as an effect of their simplifications. In the paper is presented how the ADR position in the vehicle can affect the reconstruction accuracy. The influence is visible. However, this influence isn't significant from quantitative point of view.

Keywords: car "black boxes", EDR, accident reconstruction, vehicle motion simulation

* Dr inż. Marek Guzek, Zakład Eksploatacji i Utrzymania Pojazdów, Wydział Transportu, Politechnika Warszawska.

1. Wstęp

Od kilkunastu lat dostępne są na rynku motoryzacyjnym tzw. samochodowe czarne skrzynki. Są to urządzenia, które rejestrują wybrane parametry charakteryzujące: ruch samochodu (np. przyspieszenia bryły nadwozia samochodu, kąty położenia bryły nadwozia), aktywność kierowcy (np. używanie oświetlenia zewnętrznego) oraz otoczenie (np. temperatura, wilgotność). Te zapisy mają umożliwić rekonstrukcję zaistniałego wypadku drogowego. Samochodowe czarne skrzynki można spotkać pod nazwą ADR (*Accident Data Recorder*) lub EDR (*Event Data Recorder*). W Polsce popularna jest nazwa UDS (*Unfall Daten Speicher*).

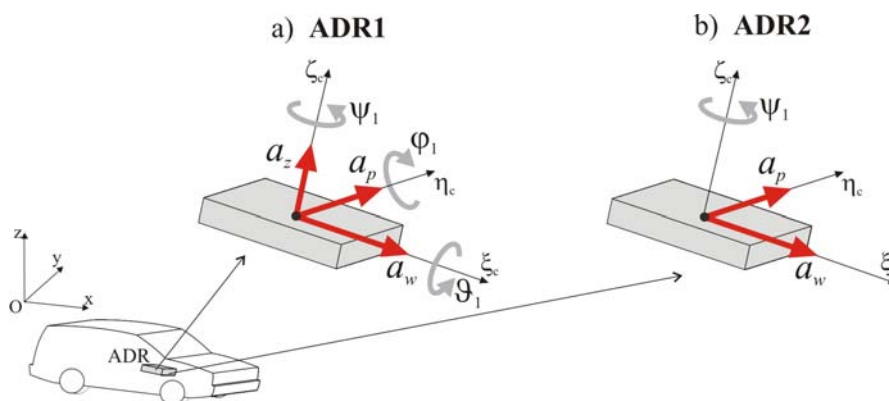
Zakres działania tych urządzeń (liczba i rodzaj rejestrowanych wielkości, czas, sposób i częstotliwość rejestracji) jest różny. Przekłada się to na dokładność rekonstrukcji wypadku. Najpowszechniej obecnie stosowane urządzenia (typ ADR2/EDR2) w zakresie ruchu samochodu ograniczają się do zapisów takich wielkości, jak przyspieszenie wzdłużne, przyspieszenie poprzeczne, kąt odchylenia. Ruch pojazdu jest więc traktowany jako ruch płaski. Dotychczasowe publikacje na ten temat (m.in. opracowane także przez autora tego artykułu) wskazują, że w przypadku stosowania tego rodzaju rozwiązań mogą pojawiać się istotne różnice między wynikami rekonstrukcji a rzeczywistym ruchem pojazdu. W publikacjach tych koncentrowano się na pokazaniu wpływu cech urządzenia, specyficznych warunków rekonstruowanego manewru pojazdu, własności pojazdu na wyniki rekonstrukcji.

W artykule przedstawiono, jak na wartość błędu rekonstrukcji może wpływać położenie czujników urządzenia w pojeździe w przypadku stosowania „czarnych skrzynek” typu ADR2/EDR2. W praktyce, zależnie od typu urządzenia, dostępnego miejsca w pojeździe, to położenie może być różne. Zaprezentowane są wyniki badań symulacyjnych, ale wykonanych za pomocą zweryfikowanych eksperymentalnie modeli matematycznych.

2. Urządzenia typu ADR/EDR

Spośród parametrów opisujących ruch pojazdu urządzenia ADR standardowo rejestrują składowe przyspieszenia wybranego punktu nadwozia oraz kąty lub odpowiednie składowe prędkości kątowej nadwozia. Różnią się liczbą rejestrowanych składowych. „Pełna” wersja urządzenia ADR1 (rys. 1a) rejestruje sześć składowych ruchu: przyspieszenia wzdłużne, poprzeczne oraz „pionowe”, kąty odchylenia, przechyłu wzdłużnego, przechyłu bocznego (lub odpowiadające im prędkości kątowe). Taki typ jest standardowo stosowany w lotniczych „czarnych skrzynkach”. W motoryzacji dominującym na dzień dzisiejszy rozwiązaniem jest uproszczone w stosunku do ADR1 urządzenie rejestrujące trzy wielkości opisujące ruch bryły nadwozia: dwie składowe przyspieszenia (wzdłużne i poprzeczne) oraz kąt odchylenia (lub prędkość odchylenia). Ten typ urządzenia będzie w dalszej części artykułu oznaczany ADR2 (rys. 1b).

Przebieg czasowy prędkości pojazdu oraz jego trajektorii ruchu otrzymuje się w wyniku całkowania zarejestrowanych składowych przyspieszenia (i – ewentualnie – składowych prędkości kątowej) pojazdu w odpowiednich kierunkach. Obliczenia są wykonywane „do tyłu”, od określonego punktu czasoprzestrzeni, odpowiadającego końcowi zarejestrowanego przez ADR przebiegu (np. od chwili i miejsca zderzenia) wstecz.



Rys. 1. Dwa typy „czarnych skrzynek”: ADR1 i ADR2 (ξ_c , η_c , ζ_c – osie przetworników: wzdłużna, poprzeczna i „pionowa”)

Fig. 1. Two types of "black boxes": ADR1 & ADR2 (ξ_c , η_c , ζ_c – accelerometers axes: longitudinal, lateral, and "vertical")

Obecnie urządzenia typu ADR są testowane pod kątem przydatności [9, 11, 12]. Szersze ich stosowanie potencjalnie może przynieść wiele korzyści. Ekspersi zajmujący się analizą wypadków będą mieli dostęp do wielu informacji zarejestrowanych w trakcie rzeczywistego zdarzenia. Pojawia się jednak również wiele trudności. Jedną z nich, będącą tematem niniejszego artykułu, jest zagadnienie dokładności rekonstrukcji zdarzenia na podstawie zapisów takich urządzeń. W artykule uwaga skupiona jest na odtwarzaniu parametrów ruchu samochodu (prędkość, trajektoria).

3. Analizowany problem

Jak wspomniano w poprzednim punkcie, rozważanym problemem jest dokładność rekonstrukcji prędkości i trajektorii ruchu pojazdu. W ogólnym przypadku błąd rekonstrukcji jest funkcją błędów wynikających z ogólnej charakterystyki ADR, błędów aparatury pomiarowo-rejestrującej oraz błędów wynikających z przetwarzania zarejestrowanych wielkości.

Dotychczasowe badania [1–8] wskazują, że bardzo istotnym źródłem niedokładności jest ogólna charakterystyka urządzenia. Opublikowane wyniki badań symulacyjnych oraz eksperymentalnych wskazują, że pomijanie w prostszych urządzeniach pomiaru i rejestracji kątów przechyłów bryły nadwozia może być źródłem znaczących błędów rekonstrukcji. W pracy [2] rozważano wpływ częstotliwości zapisów. Stwierdzono, że w przypadku stosowanych w praktyce częstotliwości zapisu (powyżej 10 Hz) w przypadku rekonstrukcji ruchu pojazdu nie jest ona źródłem istotnych błędów. W pracy [2] zauważono też, że w przypadku typowych na dzień dzisiejszy urządzeń (typu ADR2) nie bez znaczenia jest usytuowanie czujników urządzenia w pojeździe.

Dokładność aparatury pomiarowej jest funkcją ceny. Dokładność czujników stosowanych w samochodowych „czarnych skrzynkach” podawana jest na poziomie ok. 5%. Niektóre źródła mówią o możliwym błędzie pomiaru na poziomie 10% lub większym [11].

Jeśli chodzi o przetwarzanie zarejestrowanych wielkości, to wyniki zamieszczone w [3] wskazują, że nie jest to (w porównaniu z wcześniej wymienionymi) istotne źródło błędu rekonstrukcji.

Stosowane w praktyce urządzenia charakteryzują się różnym czasem rejestracji danych – od kilku do kilkudziesięciu sekund (patrz np. [9, 11, 12]). Dłuższy okres, dla którego rekonstruowany jest ruch pojazdu, może zwiększać efekty związane z wcześniej opisanymi źródłami błędów. Przykłady ilustrujące to zjawisko przedstawiono np. w [4, 7].

W niniejszym artykule autor skupił uwagę na zagadnieniu związanym z położeniem urządzenia ADR w pojeździe. W praktyce urządzenia montowane są w różnych miejscach samochodu (np. pod fotelem kierowcy, w bagażniku itp.). Jak pokazano wstępnie w [2], w przypadku urządzenia typu ADR2 jego umiejscowienie wpływa na wynik rekonstrukcji. Z podstaw kinematyki wiadomo, że parametry ruchu dowolnego punktu nie zależą od wyboru bieguna. Zatem zrekonstruowany ruch dowolnego punktu pojazdu (np. środka masy) nie powinien zależeć od umiejscowienia czujników ADR w pojeździe. Pominięcie jednak przez urządzenie typu ADR2 niektórych składowych opisujących ruch powoduje, że transformacje parametrów ruchu z punktu mocowania ADR2 do dowolnego punktu samochodu obciążone są dodatkowym błędem.

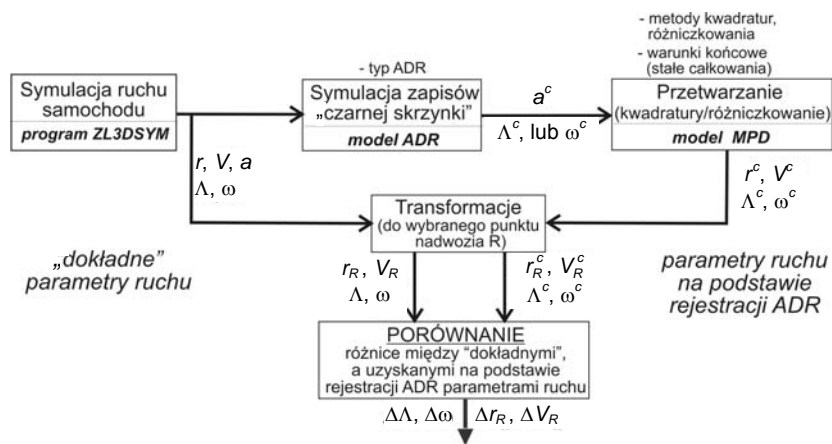
4. Symulacyjna metoda badań

W artykule wykorzystano wyniki badań symulacyjnych. Schemat postępowania przedstawiono na rys. 2. Procedura obliczeń była następująca. Najpierw przeprowadzano symulację ruchu samochodu (program ZL3DSYM). Na podstawie jej wyników symulowano rejestracje urządzenia ADR2 (model ADR). Te rejestracje były podstawą rekonstrukcji symulowanego wcześniej ruchu za pomocą opracowanych algorytmów przetwarzania (model MPD). Porównanie przebiegu symulacji danej wielkości i przebiegu uzyskanego na podstawie rejestracji ADR2 pozwala ocenić potencjalny błąd rekonstrukcji ruchu samochodu za pomocą tego typu urządzenia. Jako błąd traktuje się różnicę między wartością określoną za pomocą ADR2, a określoną w badaniach symulacyjnych ruchu.

W obliczeniach zastosowano zweryfikowane eksperymentalnie model symulacyjny ruchu i dynamiki samochodu oraz model symulacyjny wskazań czujników urządzeń typu ADR [1, 5, 7, 10].

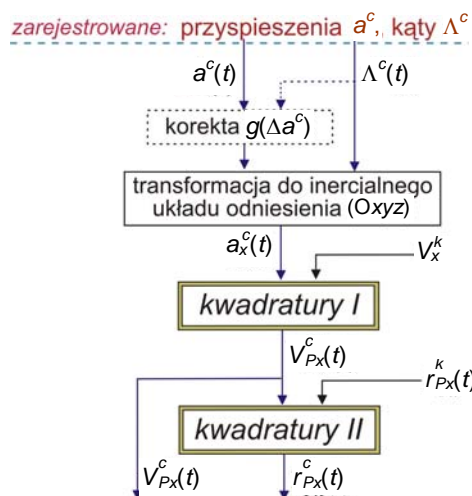
W programie ZL3DSYM (udostępnionym przez jego autora [10]) wykorzystywany jest złożony model pojazdu odpowiadający w swej strukturze samochodowi dwuosiosemu z niezależnym przednim i zależnym tylnym zawieszeniem. Ma 14 stopni swobody (6 opisujących ruch bryły nadwozia, 4 kąty obrotu kół jezdnych, 4 współrzędne opisujące ruchy względne zawieszenia). Uwzględnia nieliniowe charakterystyki sprężystości i tłumienia zawieszenia oraz ogumienia. Model sił stycznych uwzględnia wpływ prędkości środka koła, reakcji normalnej drogi, kąta pochylenia koła, zbieżności, kąta pochylenia i wyprzedzenia osi zataczania. Program ZL3DSYM został z powodzeniem zweryfikowany eksperymentalnie, także dla pojazdu o zbliżonych parametrach do wykorzystywanego w badaniach. Szczegółowy opis można znaleźć np. w pracy [10].

W przypadku modelu działania urządzenia ADR jego podstawowym elementem jest model wskazań czujników przyspieszeń urządzenia. Założono, że mamy do czynienia z doskonałymi czujnikami przyspieszeń. Pominięty jest zatem ich błąd własny. W pełni jest



Rys. 2. Schemat postępowania przy ocenie dokładności rekonstrukcji ruchu za pomocą zapisów urządzeń ADR (r , V , a , ω , Λ – wektory składowych opisujące: położenie, prędkość, przyspieszenie, prędkość kątową, położenie katowe pojazdu)

Fig. 2. Diagram of proceeding for assessment for assessment of ADR operations (r , V , a , ω , Λ symbolically mean sets of components of: position, velocity, acceleration, angular position and angular velocity of the vehicle)



Rys. 3. Schemat blokowy przetwarzania danych ADR: a_x , V_x , r_x – wektory przyspieszenia, prędkości i położenia w inercyjnym układzie odniesienia $Oxyz$, V_x^k , r_x^k – prędkość i położenie w chwili końcowej, index P – oznacza wartości w punkcie P umiejscowienia ADR w pojeździe. Dla ADR2: $a^c = [a_w^c, a_F^c]$ $\Lambda^c = \psi_1^c$

Fig. 3. Block diagram of ADR data elaboration. a_x , V_x , r_x – vectors of acceleration, velocity and position in the earth-fixed coordinate system $Oxyz$, V_x^k , r_x^k – final value of velocity and position, index P – denotes the value for point P in which ADR is fixed. In case of ADR2 device: $a^c = [a_w^c, a_F^c]$ $\Lambda^c = \psi_1^c$

opisany wpływ ruchów kątowych bryły nadwozia na wartość wskazania czujników. Dodatkowym źródłem błędu jest także niewłaściwe „wypoziomowanie” zestawu czujników i określenie początkowej orientacji kątowej bryły nadwozia względem kierunku geograficznego N–S (północ–południe). Uwzględniono możliwość dowolnego usytuowania czujników względem nadwozia samochodu oraz dowolną częstotliwość zapisów ADR. Pełny formalny opis przedstawiony jest w [1] oraz [5]. Model zapisów urządzenia ADR został również zweryfikowany eksperymentalnie. Przykładowe wyniki tej weryfikacji zamieszczono np. w [7].

Model przetwarzania danych (MPD) zawiera algorytmy, według których z zarejestrowanych przyspieszeń i wielkości opisujących położenie katowe nadwozia samochodu uzyskiwane są przebiegi prędkości i trajektorii ruchu samochodu. Są to głównie procedury całkowania numerycznego (kwadratury) oraz transformacje do odpowiednich układów współrzędnych. Na rys. 3 przedstawiono istotny fragment algorytmu w przypadku urządzenia typu ADR2 rejestrującego dwie składowe przyspieszenia (wzdłużne i poprzeczne) oraz kąt odchylenia. Do całkowania numerycznego zastosowano kwadratury Newtona–Cotesa 1. rzędu. Jak wskazują wyniki badań przedstawione w [3], jest ona wystarczająca do uzyskania odpowiedniej dokładności całkowania.

Ważnym elementem algorytmu przetwarzania jest korekta zarejestrowanych przyspieszeń o składowe przyspieszenia ziemskiego, które są „wychwytywane” przez czujniki („korekta g ” na rys. 3). Wartość tej korekty jest możliwa do ustalenia na podstawie kątów przechyłu nadwozia pojazdu (a także usytuowania osi czujników względem głównych osi pojazdu). Ponieważ w przypadku urządzenia ADR2 kąty przechyłu nadwozia nie są znane, taka korekta nie jest możliwa (wartość korekty jest równa zero). Jest to więc źródło powstawania błędów rekonstrukcji.

5. Parametry obliczeń

Obliczenia przeprowadzono dla samochodu osobowego, którego podstawowe parametry przedstawiono w tabeli 1. Przywołane w dalszej części wyniki obliczeń dotyczą dwóch manewrów:

- w ruchu prostoliniowym: hamowanie prostoliniowe,
- w ruchu krzywoliniowym: manewr „wejścia w zakręt”.

We wszystkich obliczeniach przyjęto, że urządzenie ADR dokonuje rejestracji parametrów z częstotliwością 25 Hz. Rozważana była liniowa zmiana położenia ADR w granicach odpowiadających w przybliżeniu zewnętrznemu obrysowi pojazdu. Nie rozważano wpływu położenia katowego. Przyjęto, że położenie katowe osi czujników względem pojazdu było ono ustalone dla stojącego pojazdu częściowo obciążonego (w takim stanie pojazdu osie czujników są „wypoziomowane”).

Liniowe położenie urządzenia ADR, określone współrzędnymi ξ_P , η_P , ζ_P punktu P mocowania ADR, definiowano w układzie współrzędnych związany z środkiem masy pojazdu O_1 . Rozpatrywano zakres zmian współrzędnych ξ_P , η_P , ζ_P odpowiadający w przybliżeniu prostopadłościomowi wyznaczonemu przez zewnętrzny obrys pojazdu. Uwzględniając różne położenie środka masy w zależności od obciążenia pojazdu, analizowany był przedział współrzędnych ξ_P , η_P , ζ_P – jak przedstawiono w tab. 2. Chociaż część kombinacji analizowanych wartości ξ_P , η_P , ζ_P nie ma praktycznego znaczenia (położenie poza

obrysem pojazdu lub w miejscu, gdzie umiejscowienie ADR nie jest możliwe), uwzględniono je w obliczeniach w celu ogólniejszego opisu wpływu położenia ADR2.

Tabela 1

Podstawowe parametry badanego pojazdu

Nazwa parametru	Wartość parametru
Typ pojazdu	Osobowy, przednie zawieszenie niezależne, tylne zawieszenie zależne
Długość/szerokość pojazdu [m]	4,500/1,650
Rozstaw osi [m]	2,509
Masa przy obciążeniu częściowym/całkowitym [kg]	1350/1690
Położenie środka masy $l_1/l_2/h$ [m] obciążenie częściowe	1,264/1,245/0,612
obciążenie całkowite	1,425/1,084/0,611
Rozkład masy na osie przednią/tylną [kg], przy obciążeniu częściowym i całkowitym	670/680 730/960
Ogumienie, typ, rozmiar	185/70 R13 86T

Tabela 2

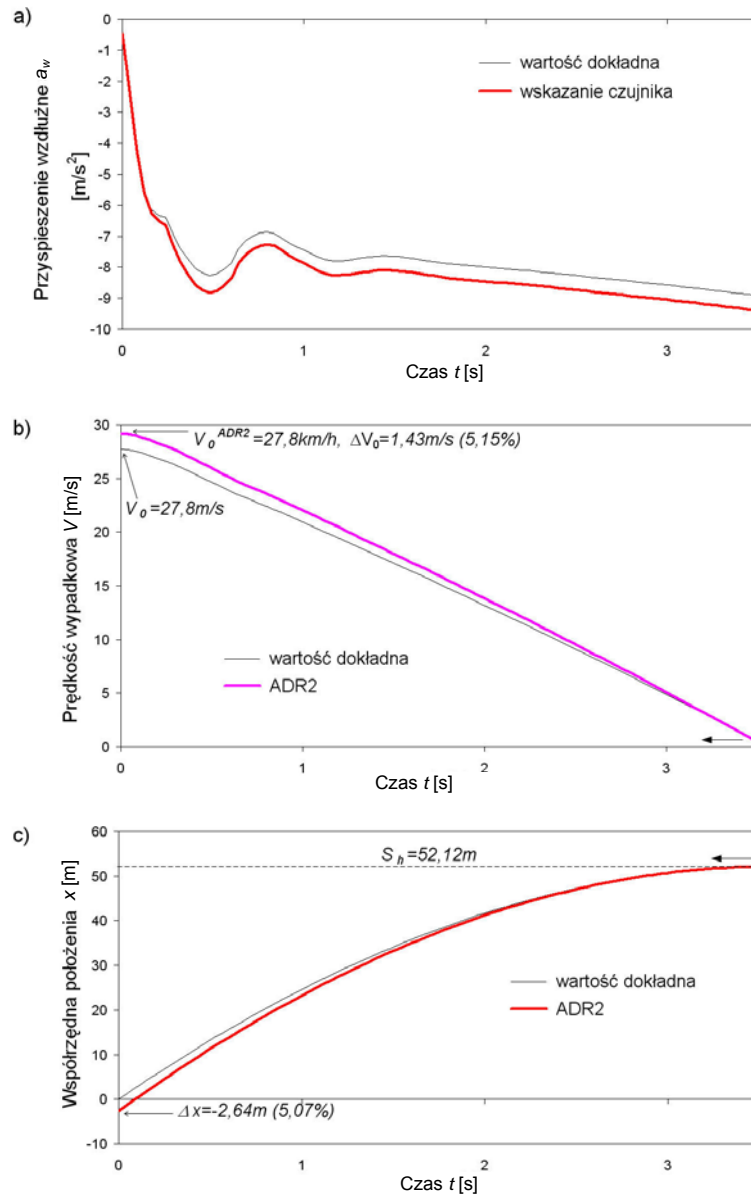
Analizowany zakres zmian położenia ADR w pojeździe

Współrzędna	Opis	Interpretacja	Obciążenie	Najmniejsza wartość	Największa wartość
ξ_P	położenie „wzdłużne” (na kierunku ξ)		częściowe	-2,150	2,160
			całkowite	-1,980	2,330
η_P	położenie „poprzeczne” (na kierunku η)		częściowe	-0,825	0,825
			całkowite	-0,825	0,825
ζ_P	położenie „pionowe” (na kierunku ζ)		częściowe	-0,612	0,898
			całkowite	-0,611	0,898

6. Przykładowe wyniki obliczeń

6.1. Rekonstrukcja pojedynczej próby hamowania prostoliniowego

Na rysunku 4 przedstawiono przykład analizowanej sytuacji. Dotyczy on procesu hamowania na suchej asfaltobetonowej nawierzchni od prędkości $V_0 = 27,8$ m/s (100 km/h), z siłą nacisku na pedał hamulca równą 500 N. Na rysunku 4a) przedstawiono czasowy przebieg przyspieszenia wzdłużnego pojazdu. Zaznaczono tu wartość dokładną, a także wartość pokazywaną przez czujnik przyspieszenia wzdłużnego. Różnica między nimi to efekt przede wszystkim przechyłu wzdłużnego nadwozia w trakcie hamowania – czujnik poza rzeczywistą wartością przyspieszenia wychwytuje składową przyspieszenia ziemskiego.



Rys. 4. Czasowy przebieg przyspieszenia wzdłużnego pojazdu (a), jego prędkości – przebiegu dokładnego i zrekonstruowanego (b) oraz przemieszczenia wzdłużnego – dokładnego i zrekonstruowanego (c). Manewr: hamowanie prostoliniowe, prędkość początkowa 100 km/h, siła nacisku na pedał hamulca 500 N, pojazd częściowo obciążony

Fig. 4. Time histories: longitudinal acceleration (a), vehicle velocity – accurate and reconstructed histories (b) and longitudinal position – accurate and reconstructed. Manoeuvre: straight-line braking, initial velocity 100 km/h, brake pedal force 500 N, partially loaded vehicle

Na rysunku 4b) i 4c) pokazano przebiegi prędkości pojazdu i położenia na drodze (określone dla środka masy samochodu). W obydwu przypadkach przedstawiono zarówno przebieg dokładny, jak i przebieg zrekonstruowany za pomocą rejestracji urządzenia ADR2. W prezentowanym przykładzie przyjęto, że urządzenie ADR2 jest umieszczone w środku masy ($\xi_p = \eta_p = \zeta_p = 0$). Rekonstrukcja wykonana jest od chwili końcowej (zatrzymania się pojazdu) do chwili początkowej $t = 0$.

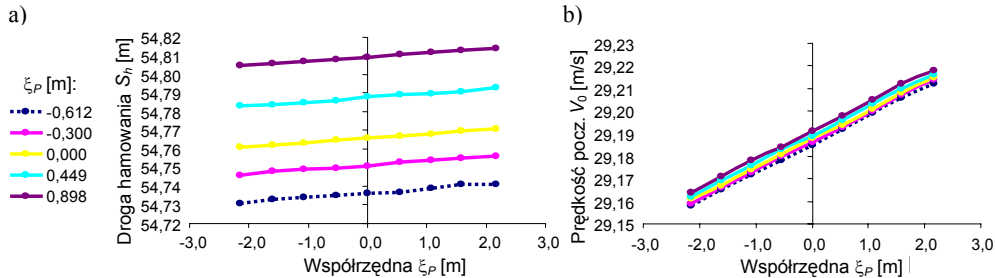
Zarówno uzyskana prędkość początkowa V_0 , jak i droga hamowania S_h są zawyżone: prędkość o ok. 1,4 m/s (5 km/h), droga hamowania o 2,64 m. W wartościach względnych daje to błąd ok. 5,1% dla obu wielkości.

6.2. Wpływ położenia ADR2 na wyniki rekonstrukcji manewru hamowania w ruchu prostoliniowym

Na rysunku 5 przedstawiono, jak położenie ADR2 wpływa na zrekonstruowane wartości długości drogi hamowania (rys. 5a) oraz prędkości początkowej (rys. 5b). Wyniki dotyczą pojazdu częściowo obciążonego hamującego, jak w przedstawionym wcześniej przykładzie od prędkości początkowej 100 km/h, z siłą nacisku na pedał hamulca 500 N. Dokładna droga hamowania wynosi dla tego manewru 52,12 m. Żeby wpływ położenia ADR był lepiej widoczny, wykresy celowo sporządzone są w skali nie od zera. Na rysunku 6 w analogiczny sposób przedstawiono, jak zmienia się błąd w ocenie parametrów hamowania w formie bezwzględnej (rys. 6a) i b) oraz względnej (rys. 6c) i d) w analizowanym przypadku.

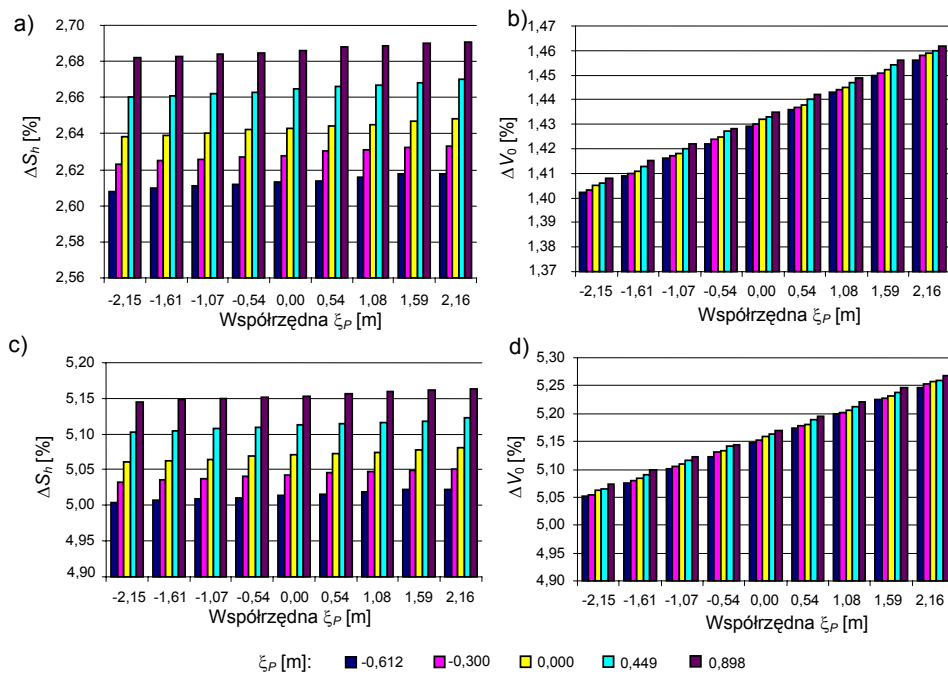
Biorąc pod uwagę pokazane wyniki oraz wyniki uzyskane także dla innych parametrów charakteryzujących manewr (inna prędkość początkowa, całkowite obciążenie samochodu, inna intensywność hamowania), najistotniejsze spostrzeżenia, jakie udało się sformułować, są następujące:

- zrekonstruowane droga hamowania S_h i prędkość początkowa V_0 są na ogół wyższe od dokładnych (jednak istotny wpływ może mieć tu zmiana obciążenia pojazdu, które wpływa na położenie katowe osi czujników; dla rozważanego pojazdu, przy całkowitym obciążeniu i niewielkich intensywnościach hamowania, zrekonstruowane V_0 i S_h są mniejsze od dokładnych, zob. np. [7]),
- wraz ze wzrostem współrzędnej ξ_p (przesunięcie ADR w kierunku przodu pojazdu) zrekonstruowane wartości prędkości V_0 oraz drogi hamowania S_h , jak i błędy w ich ocenie są coraz większe; najkorzystniejsze jest zatem umieszczenie ADR możliwie z tyłu pojazdu. Jednak w przypadku, gdy zrekonstruowane V_0 i S_h są mniejsze od dokładnych wartości, korzystne jest umieszczenie ADR w przedniej części pojazdu,
- wraz ze wzrostem współrzędnej ζ_p (przesunięcie czujników ADR do góry pojazdu) niezależnie od obciążenia pojazdu zrekonstruowane wartości prędkości V_0 oraz drogi hamowania S_h są większe; w efekcie tam, gdzie zrekonstruowane wartości prędkości V_0 oraz drogi hamowania S_h są wyższe niż dokładne, wraz ze wzrostem współrzędnej ζ_p błąd w ocenie (ΔV_0 i ΔS_h) także wzrasta,
- dla analizowanych zakresów zmian współrzędnych położenia ξ_p i ζ_p zrekonstruowane wielkości zmieniały się w nieznacznym stopniu – w zakresie 0,01%–0,60% (licząc jako różnicę między skrajnymi wartościami błędów względnych w danym przypadku). W przedstawionym przykładzie błąd ΔS_h zmienił się od 5,01% do 5,16% (zmiana o 0,15%), zaś ΔV_0 od 5,05% do 5,26% (zmiana o 0,21%).



Rys. 5. Długość drogi hamowania i prędkość początkowa pojazdu w zależności od położenia urządzenia typu ADR2. Manewr: hamowanie prostoliniowe, prędkość początkowa 100 km/h, siła nacisku na pedał hamulca 500 N, pojazd częściowo obciążony

Fig. 5. Braking distance and initial vehicle velocity versus ADR2 device type position. Manoeuvre: straight-line braking, initial velocity 100 km/h, brake pedal force 500 N, partially loaded vehicle

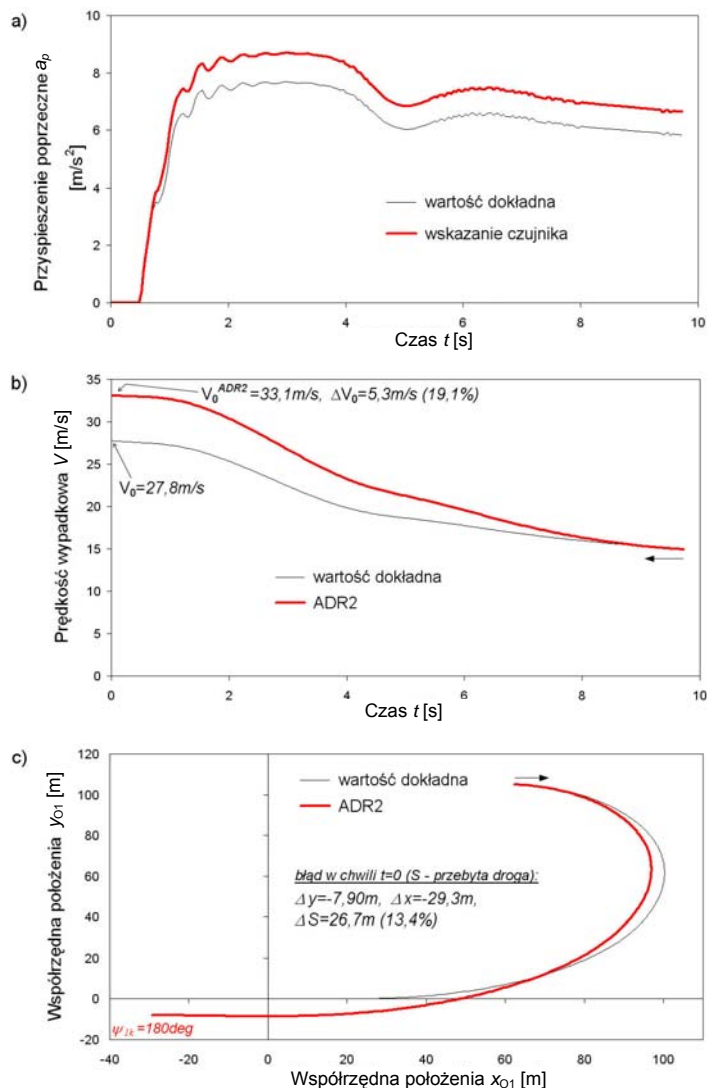


Rys. 6. Błąd w ocenie długości drogi hamowania i prędkości początkowej pojazdu w zależności od położenia urządzenia typu ADR2. Manewr: hamowanie prostoliniowe, prędkość początkowa 100 km/h, siła nacisku na pedał hamulca 500 N, pojazd częściowo obciążony

Fig. 6. Error of braking distance and initial vehicle velocity evaluation versus ADR2 type device position. Manoeuvre: straight-line braking, initial velocity 100 km/h, brake pedal force 500 N, partially loaded vehicle

6.3. Rekonstrukcja pojedynczej próby „wejścia w zakręt”

Manewr polega na utrzymywaniu stałej wartości kąta obrotu kierownicy (poprzedzono go okresem liniowego narastania). Na rysunku 7 przedstawiono przykład takiego manewru



Rys. 7. Czasowy przebieg przyspieszenia poprzecznego pojazdu (a), jego prędkości – przebiegu dokładnego i zrekonstruowanego (b) oraz trajektorii środka masy – dokładnej i zrekonstruowanej (c). Manewr: wejście w zakręt, prędkość początkowa 100 km/h, pojazd całkowicie obciążony

Fig. 7. Time histories: longitudinal acceleration (a), vehicle velocity – accurate and reconstructed histories (b) and vehicle's C.G. trajectory – accurate and reconstructed. Turn entering manoeuvre, initial velocity 100 km/h, totally loaded vehicle

i jego rekonstrukcji. Manewr wykonywany był przez pojazd całkowicie obciążony przy prędkości początkowej $V_0 = 27,8$ m/s (100 km/h) na suchej asfaltobetonowej nawierzchni. Kąt obrotu kierownicy dobrano tak, aby uzyskać możliwie duże wartości przyspieszenia poprzecznego (bez odrywania kół od nawierzchni drogi).

Na rysunku 7a) przedstawiono czasowy przebieg przyspieszenia poprzecznego pojazdu. Zaznaczono wartość dokładną oraz wartość pokazywaną przez czujnik przyspieszenia. Różnica między nimi to przede wszystkim skutek przechyłu bocznego nadwozia – czujnik wychwytuje dodatkową składową wynikającą z przyspieszenia ziemskiego.

Na rysunkach 7b) i c) pokazano przebiegi prędkości pojazdu i trajektorii środka masy. Przedstawiono zarówno przebiegi dokładne, jak i przebiegi zrekonstruowane za pomocą zapisów urządzenia ADR2. W przykładzie przyjęto, że urządzenie ADR2 jest umieszczone w środku masy ($\xi_P = \eta_P = \zeta_P = 0$). Rekonstrukcja wykonana jest od przyjętej chwili końcowej do chwili początkowej $t = 0$. Chwila końcowa odpowiada sytuacji, gdy kąt odchylenia pojazdu osiągnął wartość 180° ($\psi_{1k} = 180^\circ$). Czas trwania manewru wynosi ok. 9,7 s.

Uzyskana w rekonstrukcji prędkość początkowa V_0 jest zawyżona o ok. 5,3 m/s (19 km/h). Daje to błąd względny na poziomie 19%. Jest to więc błąd znaczący. Także uzyskane w rekonstrukcji błędy w ocenie położenia początkowego (Δx oraz Δy) są bardzo duże. Błąd w ocenie przebytej przez pojazd drogi ΔS sięga ok. 30 m (ok. 13,4%).

6.4. Wpływ położenia ADR na wyniki rekonstrukcji jazdy po łuku drogi

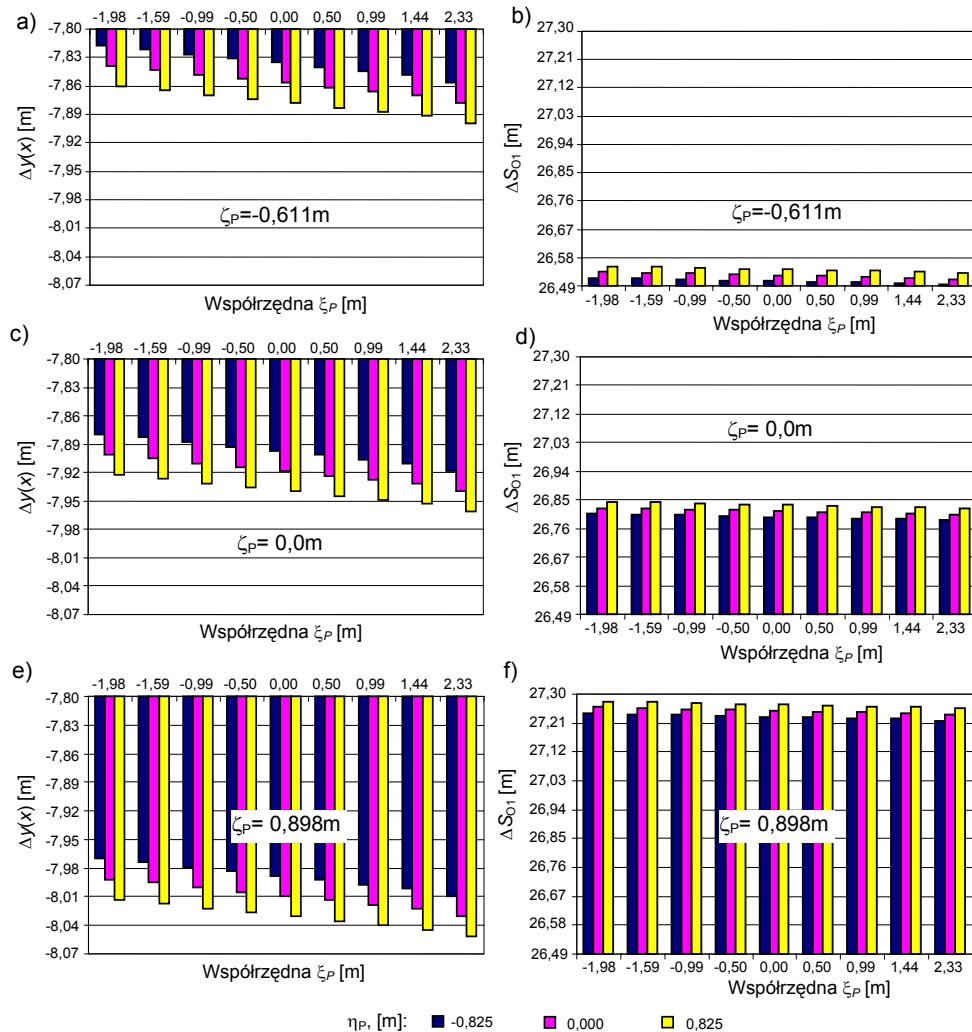
Do prezentacji wpływu położenia urządzenia typu ADR2 na wyniki rekonstrukcji wybrano dwie wielkości: błąd w ocenie położenia poprzecznego Δy oraz błąd w ocenie przebytej drogi ΔS . Na rysunku 8 przedstawiono, jak zmieniają się te wielkości w zależności od wartości współrzędnych ξ_P , η_P , ζ_P w przypadku manewru o parametrach jak w punkcie 6.3 (pojazd całkowicie obciążony, prędkość początkowa manewru 100 km/h itd.). Podobnie jak w punkcie 6.2, żeby wpływ położenia ADR był lepiej widoczny, wykresy nie są sporządzone w skali od zera. Wykresy oznaczone symbolami a), c), e) przedstawiają błąd położenia poprzecznego Δy , zaś oznaczone b), d), f) – błąd w ocenie przebytej drogi ΔS . Wykresy są sporządzone w funkcji współrzędnych ξ_P oraz η_P . Wpływ współrzędnej $\zeta_P = 0$ widoczny jest przez porównanie wykresów a), c), e) w przypadku błędu Δy oraz b), d), e) w przypadku błędu ΔS .

W przypadku przedstawionej próby stwierdzono, że:

- błąd trajektorii Δy (w chwili początkowej):
 - rośnie wraz ze wzrostem współrzędnej ξ_P ,
 - rośnie wraz ze wzrostem współrzędnej η_P ,
 - rośnie wraz ze wzrostem współrzędnej ζ_P ;
- błąd w ocenie przebytej drogi ΔS :
 - maleje wraz ze wzrostem współrzędnej ξ_P ,
 - rośnie wraz ze wzrostem współrzędnej η_P ,
 - rośnie wraz ze wzrostem współrzędnej ζ_P .

Obliczenia wykonane dla innych parametrów charakteryzujących manewr (inna prędkość, inne obciążenie pojazdu, inny „poziom” przyspieszenia poprzecznego, czas trwania manewru) wskazują, że jedynie w przypadku błędu ΔS jest zachowana przedstawiona wyżej relacja jakościowa (pomijając zmianę wpływu zmiennej η_P przy zmianie kierunku skrętu). Z punktu widzenia tego błędu najkorzystniejsze jest usytuowanie ADR2 ma-

ksymalnie z przodu pojazdu, możliwie nisko. Jednak jakościowy wpływ położenia ADR2 na błąd Δy może być różny. W jednych przypadkach błąd ten maleje przy wzroście danej współrzędnej, w innych maleje. Stąd nie można określić jednoznacznie najlepszego położenia ADR2 w pojeździe.



Rys. 8. Błąd w ocenie początkowego położenia „poprzecznego” pojazdu Δy (a), c), e)) oraz w ocenie długości przebytej przez pojazd drogi ΔS (a), c), e)) w zależności od położenia urządzenia typu ADR2. Manewr: wejście w zakręt, prędkość początkowa 100 km/h, pojazd całkowicie obciążony

Fig. 8. Error of initial "lateral" position of the vehicle Δy (a), c), e)) and distance travelled by the vehicle ΔS (a), c), e)) versus ADR2 type device position. Turn entering manoeuvre, initial velocity 100 km/h, totally loaded vehicle

Warto jednak zaznaczyć, że wartości zmian błędów rekonstrukcji (w rozważanym zakresie zmian ξ_P , η_P , ζ_P) nie są znaczące i w większości przypadków pomijalnie małe, co widać na rys. 8. Nie zaobserwowano istotnego znaczenia prędkości pojazdu, jego obciążenia. Nieco wyraźniejszy jest wpływ czasu trwania końca manewru (co wynika głównie z dużego wpływu tego czasu na „poziom” wartości błędów rekonstrukcji, zob. [4]).

7. Podsumowanie

Wśród problemów, jakie napotyka się przy stosowaniu urządzeń typu ADR, można wyróżnić te o charakterze ekonomicznym, społeczno-legislacyjnym oraz natury technicznej. Obecnie urządzenia typu ADR są testowane w zasadzie tylko pod kątem ich przydatności. W artykule przedstawiono wybrany problem związany z dokładnością rekonstrukcji parametrów ruchu za pomocą zapisów ADR – wpływ położenia w pojeździe typowych na dzień dzisiejszy rozwiązań ADR.

Przedstawione wyniki badań wykonanych metodą symulacyjną potwierdziły tezy sformułowane już w innych pracach (np. [1–8]), że w przypadku stosowania urządzeń typu ADR2 może pojawiać się znaczący błąd rekonstrukcji parametrów ruchu, w szczególności trajektorii ruchu.

Najważniejsze spostrzeżenia dotyczące wpływu położenia liniowego ADR2 w pojeździe są następujące:

- przy rekonstrukcji procesu hamowania widoczny jest wpływ położenia ADR „wzdłuż” (współrzędna ξ_P) i „w pionie” (współrzędna ζ_P). Wzrost tych współrzędnych powoduje wzrost rekonstruowanych prędkości początkowej V_0 i długości drogi hamowania S_h ,
- przy rekonstrukcji ruchu krzywoliniowego widać wpływ położenia ADR w trzech kierunkach (współrzędne ξ_P , η_P , ζ_P). Jednak wpływ ten był różny w zależności od rozpatrywanego parametru opisującego błąd rekonstrukcji, jak i od warunków manewru,
- pod względem ilościowym opisany wpływ nie jest jednak znaczący, zatem można stwierdzić, że i usytuowanie ADR2 nie ma dużego znaczenia dla dokładności rekonstrukcji.

Obserwowane w obliczeniach znaczące zmiany błędów pod wpływem zmiany obciążenia samochodu mogą wskazywać na istotną rolę położenia kąтового osi czujników urządzenia. Kończąc, warto zaznaczyć, że przeprowadzone obliczenia dotyczyły samochodu osobowego. W przypadku pojazdu o większych gabarytach (np. autobusu) zakres zmian położenia ADR jest większy, a zatem i wpływ tego położenia na wyniki może być inny.

Literatura

- [1] Guzek M., *Metody wyznaczania błędów obliczeń w analizie wybranych sytuacji przedwypadkowych w ruchu drogowym*, rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Warszawa 2002.
- [2] Guzek M., *Wpływ wybranych parametrów na dokładność rekonstrukcji ruchu samochodu za pomocą typowych w motoryzacji „czarnych skrzynek”*, Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej 79, Kielce 2004, 193-200.

- [3] Guzek M., *Wybrane problemy związane z dokładnością rekonstrukcji ruchu pojazdu za pomocą zapisów samochodowej „czarnej skrzynki”*, Czasopismo Techniczne, z. 7-M/2004, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, t. 1, „Pojazdy samochodowe”, 229-236.
- [4] Guzek M., *Wpływ czasu trwania manewru na dokładność rekonstrukcji ruchu pojazdu za pomocą urządzeń typu ADR/EDR*, Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, seria Nauki Techniczne – Budowa i Eksploatacja Maszyn, Kielce 2008, 189-196.
- [5] Guzek M., Lozia Z., *Possible Errors occurring during Accident Reconstruction based on Car "Black Box" Records*, SAE TP 2002-01-0549 (także SAE SP-1666 „Accident Reconstruction 2002” oraz SAE Transaction 2002, Section 6, Vol. 111, 677-696).
- [6] Guzek M., Lozia Z., *Konsekwencje stosowanych uproszczeń konstrukcji „czarnych skrzynek” wykorzystywanych w motoryzacji*, Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, Mechanika 76, Kielce 2002, 199-206.
- [7] Guzek M., Lozia Z., Pieniążek W., *Accident Reconstruction Based on EDR Records – Simulation and Experimental Study*, SAE TP 2007-01-0729 (także w SAE SP-2063 „Accident Reconstruction 2007”, 137-148).
- [8] Guzek M., Pieniążek W., *Rekonstrukcja wybranych parametrów ruchu samochodu – próba oceny dokładności na podstawie badań drogowych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej 84, Kielce 2006, 207-214.
- [9] <http://www.drabpol.pl/tachografy> lub <http://www.siemensvdo.com>.
- [10] Lozia Z., *Analiza ruchu samochodu dwuosiowego na tle modelowania jego dynamiki*, Monografia, Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, z. 41, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1998.
- [11] Submittal of Meeting Minutes of the NHTSA R&D Event Data Recorder (EDR) Working Group, 2000, 2001, 2002 (<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov>).
- [12] VERONICA: *"Vehicle Event Recording based on Intelligent Crash Assessment"*, Project final report. EU DG TREN project within the EU Road Safety Action Plan 2003, 01.01.2005–31.12.2006 (<http://www.vdo.com/aboutus/projects/veronica/>).