

WALUŚ Konrad J., KĘDZIORA Krzysztof

## **INTENSYWNOŚĆ PRZYSPIESZANIA I HAMOWANIA SAMOCHODU OSOBOWEGO WYPOSAŻONEGO W OPONY ZIMOWE NA NAWIERZCHNI POKRYTEJ WARSTWĄ UBITEGO ŚNIEGU – BADANIA DOŚWIADCZALNE**

### *Streszczenie*

*Intensywność przyspieszania i hamowania w zmiennych warunkach stanu nawierzchni i różnych temperaturach otoczenia i drogi jest zdeterminowana interakcją opona-nawierzchnia. Uzyskiwany w zadanych warunkach współczynnik przyczepności warunkuje zdolność do przekazywania sił i momentów na drogę. Powoduje to również, iż kierowca musi się przystosować do warunków panujących na drodze aby w sposób zaplanowany i bezpieczny się po niej poruszać.*

*W artykule przedstawiono wyniki badań doświadczalnych cech kinematycznych ruchu pojazdu w warunkach drogi pokrytej warstwą ubitego śniegu.*

### **WSTĘP**

Parametry kinematyczne ruchu pojazdu są zdeterminowane zmiennymi warunkami atmosferycznymi i nawierzchni oraz cechami opon. Wariacja warunków otoczenia i drogi jest szczególnie wyraźna w okresie jesiennym, zimowym oraz wiosennym. Interakcja pomiędzy oponą a nawierzchnią decyduje o wartościach przekazywanych sił i momentów, a w konsekwencji o współczynniku przyczepności. Współczynnik ten jest zależny od wielu zmiennych do których należą między innymi: stan i rodzaj nawierzchni, warunki środowiskowe (temperatura, wilgotność, opady, punkt rosy), typ/rodzaj opon i poziom ich zużycia, położenie geograficzne jezdni, warunki zabudowy okolicy, oraz występującej lokalnie infrastruktury [1, 3 – 5, 7, 17].

W literaturze opisującej zagadnienia ruchu pojazdu zwraca się istotną uwagę na skojarzenie opona-nawierzchnia. Interakcja tych dwóch „elementów” związana jest bezpośrednio z współczynnikiem przyczepności. Współczynnik ten jest zazwyczaj podawany jako przedział wartości, który jest zależny od stanu i rodzaju nawierzchni. Taka charakterystyka jest jednak niewystarczająca ze względu na brak szczegółowych informacji o wpływie zewnętrznych czynników środowiskowych na wartość współczynnika przyczepności. Powoduje to konieczność prowadzenia cyklicznych badań eksperymentalnych w różnych stanach nawierzchni i otoczenia i oceny wpływu tych warunków na uzyskiwane przyspieszenia wzdłużne pojazdu. W artykule przedstawiono wyniki badań doświadczalnych pomiarów intensywnego przyspieszania i hamowania samochodu osobowego wyposażonego w opony zimowe regenerowane na nawierzchni pokrytej warstwą ubitego śniegu

## 1. CHARAKTERYSTYKA NAWIERZCHNI I WARUNKÓW ŚRODOWISKOWYCH

Nawierzchnią badawczą była droga jedno-jezdniowa o jednym pasie ruchu o nawierzchni bitumicznej pokrytej warstwą ubitego śniegu. Śnieg na jezdni był sukcesywnie ubijany przez pojazdy poruszające się systematycznie po drodze, zarówno samochody osobowe, dostawcze jak i autobusy. Ubita warstwa śniegu wizualnie była warstwą równą bez kolein i nierówności. Ubita warstwa cechowała się dużą twardością ze względu na występowanie w warstwie śniegu obszarów zlodowaciałych. Skutkowało to brakiem możliwości zapadania się pojazdu i istotnie ograniczało możliwość zerwania nawierzchni podczas intensywnego hamowania.

Podczas prób pomiarowych oprócz akwizycji i archiwizacji cech kinematycznych pojazdu przeprowadzono pomiary środowiskowe mające na celu identyfikację parametrów środowiskowych. Pomiary te wykonano trzykrotnie: przed wykonaniem prób drogowych, po pięciu przejazdach oraz po zakończeniu prób (po wykonaniu 10-ciu testów). Wyniki tych badań przedstawiono w tabeli 1, 2 i 3.

**Tab. 1.** Wyniki pomiarów cech środowiskowych wykonanych przed próbami drogowymi

Temp. otoczenia	-2,5°C
Wilgotność	66,3%
Ciśnienie atmosferyczne	915,6 hPa
Temp. punktu rosy	-7,8°C
Temp. nawierzchni drogi	-4,8°C ÷ -5,0°C

**Tab. 2.** Wyniki pomiarów cech środowiskowych wykonanych po 5 próbach drogowych

Temp. otoczenia	-0,8°C
Wilgotność	60,2%
Ciśnienie atmosferyczne	914,6 hPa
Temp. punktu rosy	-6,5°C
Temp. nawierzchni drogi	-3,8°C ÷ -4,6°C

**Tab. 3.** Wyniki pomiarów cech środowiskowych wykonanych po 10 próbach drogowych

Temp. otoczenia	-2,1°C
Wilgotność	64,8%
Ciśnienie atmosferyczne	914,4 hPa
Temp. punktu rosy	-7,4°C
Temp. nawierzchni drogi	-3,6°C ÷ -4,8°C

## 2. MIEJSCE BADAŃ I PRZEBIEG BADAŃ

Badania drogowe przeprowadzono 4-go grudnia 2012r. w Poroninie na ulicy Za Torem. Ulica ta jest położona zarówno wzdłuż toru kolejowego trasy do Zakopanego jak i równolegle do drogi nr 47 Zakopane – Rabka Zdrój.

Nawierzchnią badawczą była pokryta ubitym śniegiem (Rys.1.). Pojazd badawczy poruszał się po niej, w ten sposób, że próby pomiarowe były wykonywane jednokierunkowo. Wzdłużne nachylenie nawierzchni wynosiło około 1%.



**Rys. 1.** Widok pojazdu badawczego i nawierzchni podczas badań w grudniu 2012r.

Wykonane pomiary zostały podzielone na 3 grupy. Pierwszą stanowiły pomiary środowiskowe, drugą pomiary związane z oponami, a trzecią próby intensywnego przyspieszania i hamowania. W badaniach wykorzystywano opony regenerowane o rozmiarze 185/60 R14.

### **3. CHARAKTERYSTYKA POJAZDU BADAWCZEGO I APARATURY POMIAROWEJ**

Celem badań był pomiar wartości przyspieszeń wzdłużnych samochodu osobowego Ford Eskort wyposażonego w opony zimowe regenerowane. Pojazd był uzbrojony w aparaturę badawczą firmy Analog Devices typu ADIS 16385 umieszczoną na dachu pojazdu i skierowaną tak aby oś X czujnika przyspieszeń była ustawiona równoległe do kierunku ruchu pojazdu. Oś Y ustawiono w poprzek pojazdu, a oś Z była osią pionową skierowaną w dół. Do akwizycji i archiwizacji danych służył przenośny komputer z dedykowanym do czujników oprogramowaniem. Wykorzystywana aparatura pomiarowa cechuje się niepewnością pomiaru na poziomie 2% [12, 15, 16]. Pojazd badawczy oprócz aparatury, kierowcy i pasażera był obciążony dodatkowo kompletem kół z oponami letnimi, które zostały zmienione na zimowe ze względów bezpieczeństwa, co było związane z zastanymi warunkami drogowymi.



**Rys. 2.** Widok pojazdu badawczego z aparaturą pomiarową podczas badań 2012-12-04

Próby badawcze przeprowadzono w grudniu 2012 roku. Podczas badań wykonano 10 przejazdów z wykorzystaniem opon regenerowanych. Badania polegały na intensywnym rozpędzaniu pojazdu ze startu zatrzymanego ze zmianą biegu, a następnie intensywnym

hamowaniu do zatrzymania. Każda próba kończyła się wykonaniem niezależnego pomiaru przebytej przez pojazd drogi przymiarem wstęgowym.

#### 4. WYNIKI POMIARÓW

Pomiary doświadczalne wykonana w następujących etapach:

- pomiary cech opon przed próbami drogowymi,
- pomiary cech kinematycznych ruchu pojazdu (5 prób),
- pomiary cech opon po 5 próbach drogowych,
- pomiary cech kinematycznych ruchu pojazdu (5 prób),
- pomiary cech opon po 10 próbach drogowych.

Uzyskane wyniki wymienionych etapów przedstawiono w kolejnych tabelach od 4 do 8.

**Tab. 4.** Wyniki pomiarów cech opon wykonanych przed próbami drogowymi

Twardość boku opony [°] Shorea	PL 61/61/62	PP 68/64/62
	TL 62/62/62	TP 62/63/62
Twardość bieżnika [°] Shorea	PL 71/75/74	PP 73/71/75
	TL 70/73/71	TP 70/74/69
Temp. boku opony [°] Celsjusza	PL -2,4 °C	PP -1,6 °C
	TL -3,4 °C	TP -2,4 °C
Temp. bieżnika [°] Celsjusza	PL -4,2 °C	PP -3,6 °C
	TL -4,0 °C	TP -4,2 °C
Ciśnienie powietrza wewnątrz opon	PL 2,0 BAR	PP 2,0 BAR
	TL 1,7 BAR	TP 1,7 BAR
Temp. tarcz hamulcowych [°] Celsjusza	LP +1,6 °C	PP +2,0 °C

**Tab. 5.** Wyniki pomiarów przymiarem wstęgowym przebytej przez pojazd drogi

Próba	Zmierzona przymiarem wstęgowym długość drogi
1	124,10 m
2	128,95 m
3	128,40 m
4	129,30 m
5	131,65 m

**Tab. 6.** Wyniki pomiarów cech opon wykonanych po 5 próbach drogowych (w trakcie badań nie wykonano pomiarów twardości bieżnika)

Twardość boku opony [°] Shorea	PL 59/61/59	PP 68/70/69
	TL 63/64/64	TP 62/61/62
Temp. boku opony [°] Celsjusza	PL +3,2 °C	PP +5,0 °C
	TL +1,2 °C	TP +1,9 °C
Temp. bieżnika [°] Celsjusza	PL -0,7 °C	PP -2,4 °C
	TL -2,5 °C	TP -2,8 °C
Temp. tarcz hamulcowych [°] Celsjusza	LP +30 °C	PP +38 °C

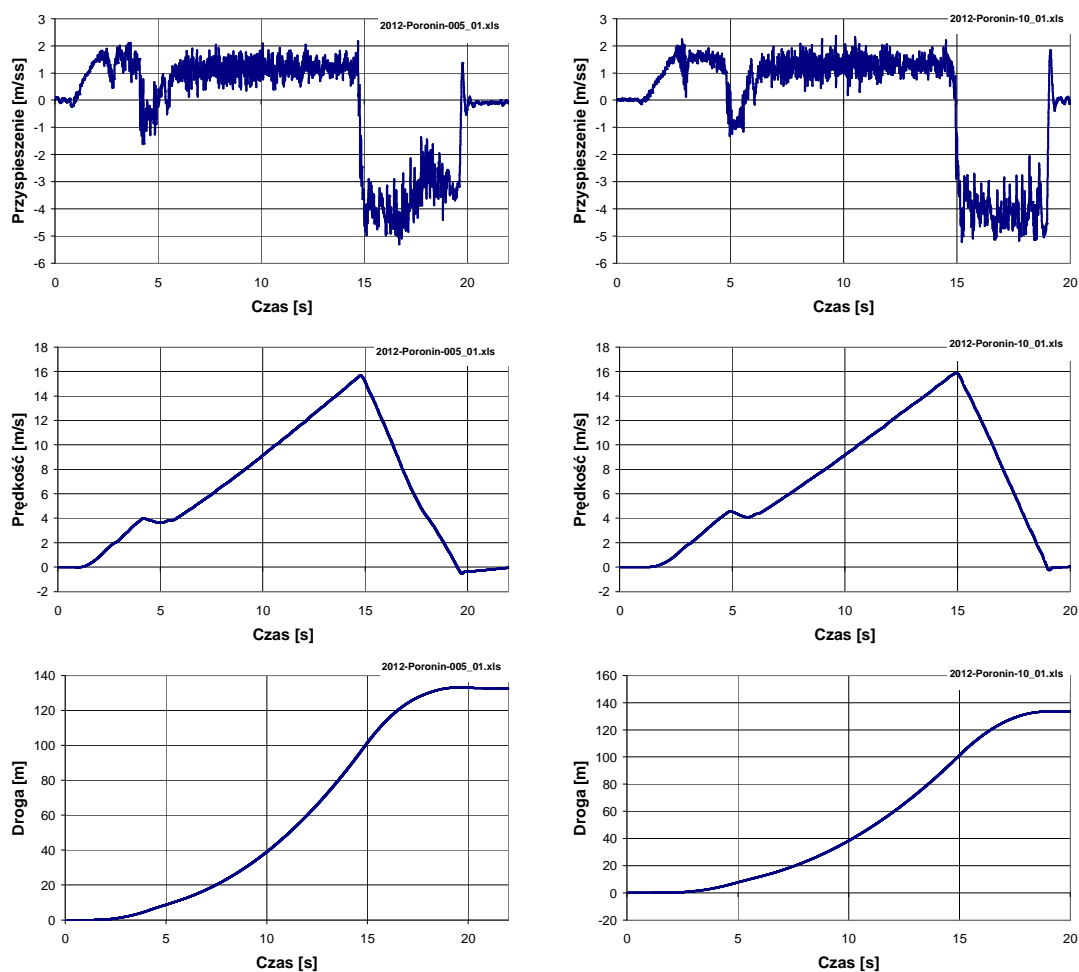
**Tab. 7.** Wyniki pomiarów przymiarem wstęgowym przebytej przez pojazd drogi

Próba	Zmierzona przymiarem wstęgowym długość drogi
6	122,85 m
7	127,55 m
8	127,00 m
9	126,50 m
10	130,35 m

**Tab. 8.** Wyniki pomiarów cech opon wykonanych po 10 próbach drogowych (w trakcie badań nie wykonano pomiarów twardości bieżnika)

Twardość boku opony [°] Shorea	PL 62/62/58	PP 65/69/66
	TL 61/63/54	TP 64/64/64
Temp. boku opony [°] Celsjusza	PL +5,4 °C	PP +5,6 °C
	TL +0,8 °C	TP +3,3 °C
Temp. bieżnika [°] Celsjusza	PL -3,6 °C	PP -1,9 °C
	TL -2,8 °C	TP -2,4 °C
Ciśnienie powietrza wewnątrz opon	PL 2,1 BAR	PP 2,1 BAR
	TL 1,7 BAR	TP 1,7 BAR
Temp. tarcz hamulcowych [°] Celsjusza	LP +44 °C	PP +38 °C

Przykładowe wyniki prób przedstawiono graficznie na rysunku 3.



**Rys. 3.** Przykładowe charakterystyki przyspieszenia wzdłużnego, prędkości oraz przebytej drogi samochodu Ford Escort

Wyniki pomiarów długości przebytej drogi, czas trwania całości procesu, czas hamowania oraz prędkość początkowa procesu hamowania zebrano w tabeli 9. Długość drogi hamowania pojazdu badawczego wyznaczono na podstawie przebiegów przyspieszania „mierzone” od chwili zmiany kierunku przyspieszenia w miejscu przecinania się charakterystyki z wartością zero. Dla wyznaczonej chwili czasowej obliczono prędkość rozpoczęcia procesu hamowania oraz czas trwania tego procesu.

**Tab. 9.** Wyniki pomiarów całkowitej drogi przebytej przez pojazd badawczy

Numer próby	Ford Escort					
	Czas trwania próby [s]	Całkowita długość drogi zatrzymania zmierzona przymiarem wstęgowym [m]	Całkowita długość drogi wyznaczona z wartości przyspieszeń wzdłużnych [m]	Czas procesu hamowania [s]	Droga hamowania [m]	Prędkość początkowa procesu hamowania [km/h]
1	18,25	124,10	126,10	4,30	32,27	55,01
2	19,13	128,95	128,99	5,29	32,03	55,73
3	19,70	128,40	129,17	5,46	32,72	54,44
4	19,44	129,30	129,86	5,36	28,12	53,66
5	19,92	131,65	132,58	6,06	35,00	56,38
6	19,67	122,85	123,17	4,97	29,45	52,52
7	19,97	127,55	129,55	5,36	31,30	55,59
8	19,15	127,00	128,35	4,97	32,24	55,26
9	19,60	126,50	127,96	5,16	28,88	54,89
10	18,94	130,35	130,84	5,01	31,81	56,33

## 5. ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW

Uzyskiwane przez samochód Ford Escort przyspieszenia dla pierwszego biegu oscylują pomiędzy  $1,25 \div 1,51 m/s^2$ . Natomiast dla biegu drugiego mieszczą się w przedziale  $0,87 \div 1,13 m/s^2$ . Osiągane prędkości pojazdu nie przekroczyły  $60 km/h$ .

Podczas badań doświadczalnych pojazd hamował intensywnie do całkowitego zatrzymania. Osiągane przez samochód osobowy pełne średnie opóźnienia (MFDD- Mean Fully Developed Deceleration) wyniosły ponad  $3,56 m/s^2$ , a w najlepszym przypadku ponad  $4,61 m/s^2$ .

Uzyskane wyniki badań doświadczalnych wyznaczenia przebytej drogi zostały poddane analizie statystycznej wyznaczenia odchylenia standardowego pojedynczego pomiaru. Dla obliczenia odchylenia standardowego o rozkładzie normalnym (metoda typu A obliczania niepewności standardowej [2, 6]) korzystano z następującej zależności:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{– odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru}$$

gdzie:  $n$  – ilość pomiarów,

$x_i$  – wartość pojedynczego pomiaru,

$\bar{x}$  – wartość średnia z pomiarów lub wartość oczekiwana,

$(x_i - \bar{x})$  – błąd pomiaru, odchyłka od wartości oczekiwanej [2, 6].

Droga zmierzona z wykorzystaniem przymiaru wstęgowego była uznana za wzorcową, co umożliwiło obliczenie odchyłek elementarnych od wartości oczekiwanej. W uzyskanych wynikach pomiarów nie zaobserwowano występowania błędów nadmiernych. Po wykonaniu tej analizy obliczono błąd względny procentowy. Uzyskane wyniki analizy statystycznej przedstawiono w tabeli 10.

**Tab. 10.** Analiza porównawcza wyników pomiarów badań doświadczalnych i analiz numerycznych wyznaczenia przebytej przez pojazd drogi

Lp.	Ford Escort			
	Całkowita długość drogi zatrzymania zmierzona przymiarem wstęgowym [m]	Całkowita długość drogi wyznaczona z wartości przyspieszeń wzdłużnych [m]	$\left(x_i - \bar{x}\right)^2$	Błąd względny procentowy [%]
1	124,10	126,10	4	1,01
2	128,95	128,99	0,0016	0,97
3	128,40	129,17	0,5929	0,97
4	129,30	129,86	0,3136	0,97
5	131,65	132,58	0,8649	0,95
6	122,85	123,17	0,1024	1,02
7	127,55	129,55	4	0,98
8	127,00	128,35	1,8225	0,98
9	126,50	127,96	2,1316	0,99
10	130,35	130,84	0,2401	0,96
Odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru			<b>1,25</b>	

Odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru dla porównania pomiarów uzyskanych przy pomocy przymiaru wstęgowego oraz obliczonych ze zmierzonych przyspieszeń wzdłużnych pojazdu:  $\sigma = 1,25[m]$ , a maksymalny błąd względny  $\Delta = 1,02\%$ . Po wprowadzeniu poprawek według rozkładu t-Studenta dla 10 pomiarów i poziomu ufności 95 % błąd wyznaczenia przebytej drogi miał wartość  $\sigma_{T-studenta} = 2,875[m]$ .

## 6. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania doświadczalne intensywnego przyspieszania i hamowania pojazdu wykonane w grudniu 2012 roku samochodu Ford Escort stanowiły wstęp do prowadzenia testów drogowych w różnych warunkach środowiskowych i nawierzchni. Uzyskane wyniki pozwalają na prowadzenie analiz wartości przyspieszeń, uzyskiwanych prędkości oraz przebytej przez pojazd drogi, a także procesów przejściowych narastania i opadania charakterystyk. Opony oraz konstrukcja pojazdu badawczego umożliwiały uzyskiwanie wysokich wartości MFDD oscylujące wokół  $4 \frac{m}{s^2}$ . Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała powtarzalność, zarówno graficzną jak i uzyskiwanych wartości, procesów intensywnego przyspieszania i hamowania.

Kolejnym etapem badań było przeprowadzenie w ramach grantu badawczego eksperymentów drogowych w zmiennych warunkach środowiskowych spotykanych w okresie zimowym na terenie Polski opisanych w [3, 8-14, 17].

"Projekt nr N N509 544540 został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki".

## BIBLIOGRAFIA

1. Ali A., Hosseini M., Sahari B.B., *A Review of Constitutive Models for Rubber-Like Materials*, American J. of engineering and Applied Sciences 3, 232-239, 2010.

2. EA-4/02 – *Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu*, wydanie elektroniczne, 1999, <http://www.gum.gov.pl/>
3. Olszewski Z., Waluś K. J., *Effects of Atmospheric Conditions on The Mechanical Properties of Tires*, Applied Mechanics and Materials Vol. 232 (2012) pp 14-18, © (2012) Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.232.14, EBook version ISBN: 978-3-03813-434-3
4. Parsons W., *Hysteresis and adhesion of a semicrystalline polymer*, Polymer, Volume 28, Issue 7, June 1987, Pages 1133-1138.
5. Persson B.N.J., *On theory of rubber friction*, Surface Science 401, 445-454, 1998.
6. PN – ISO 3534-1:2002, *Statystyka, Terminologia i symbole – Część 1: Ogólne terminy z zakresu rachunku prawdopodobieństwa i statystyki*
7. Unarski J., W. Wach, Jakub Zębala, *Przyjmowanie wartości współczynnika tarcia w różnych szczególnych okolicznościach*, Instytut ekspertyz sądowych, Kraków 2000.
8. Waluś K. J., *Badania doświadczalne intensywnego hamowania ciągnika siodłowego w ujemnych temperaturach otoczenia (badania rozpoznawcze)*, Autobusy 3/2013, s. 2097-2102, CD-ROM, ISSN 1509-5878
9. Waluś K. J., *Badania doświadczalne intensywnego przyspieszania ciągnika siodłowego w ujemnych temperaturach otoczenia (badania rozpoznawcze)*, Autobusy 3/2013, s. 2089-2096, CD-ROM, ISSN 1509-5878
10. Waluś K. J., *Comparing the intensity of the acceleration of a passenger car equipped with summer and winter tires in sub-zero road surface temperatures*, Technológ. - 2013, nr 4, s. 262-264, ISSN 1337-8996
11. Waluś K. J., *Comparing the intensity of the braking car equipped with summer and winter tires in sub-zero road surface temperatures*, Technológ. - 2013, nr 4, s. 265-267, ISSN 1337-8996
12. Waluś K. J., *Comparison of the Maximum Acceleration of a Passenger Car on Selected Pavements in Wintertime*, abstract, proceedings of XX Ukrainian-Polish Conference on “CAD in Machinery Design. Implementation on Educational Issues.” CADMD’2012, October 11-13, 2012, Lviv, UKRAINE, p. 24-30, ISBN 978-617-607-332-1,
13. Waluś K. J., *Doświadczalne badania porównawcze intensywnego hamowania dwóch samochodów osobowych w warunkach ujemnych temperatur nawierzchni*, Studium Vilnese A, vol. 11 precursor, Abstracts, Wilno 2013, p. 41-42, ISSN1648-7907
14. Waluś K. J., *Doświadczalne badania porównawcze intensywnego przyspieszania dwóch samochodów osobowych w warunkach ujemnych temperatur nawierzchni*, Studium Vilnese A, vol. 11 precursor, Abstracts, Wilno 2013, p. 41, ISSN1648-7907
15. Waluś K. J., Lewandowski A., Kędziora K., Dudziak M., *Charakteryzowanie cech kinematycznych trajektorii ruchu pojazdu za pomocą czujników przyspieszeń*, Projektowanie i badanie urządzeń mechatronicznych / pod red. M. Dudziak, Wydaw. Politechnika Poznańska Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Poznań 2010, S. 227-234,
16. Waluś K. J., Lewandowski A., Kędziora K., Dudziak M., *Possibilities of vehicle movement trajectory characterizing with the use of acceleration sensors*, 7th International Scientific Conference on Production Engineering Development and modernization of production - RIM 2009, Cairo, Egypt, p. 25-26, full text on CD-ROM.
17. Waluś K. J., Olszewski Z., *Analysis of Tire-road contact under Winter conditions*, Lecture Notes in Engineering and Computer Science, Volume 2192, proceedings World Congress on Engineering 2011, Volume III, London, U.K. 6-8 July, 2011, p. 2381-2384, ISBN 978-988-19251-5-2, ISSN 2078-0958



# **INTENSITY OF ACCELERATION I BRAKING PASSENGER VEHICLE EQUIPPED WITH WINTER TIRES THE PAVEMENT COVERED WITH A LAYER COMPACTED SNOW - EXPERIMENTAL RESEARCH**

## ***Abstract***

*The intensity of acceleration and deceleration under varying road conditions and different ambient temperatures and the road is determined by the tire-pavement interaction. The resulting in selected circumstances coefficient of friction determines the ability to transmit forces and moments on the road. It also means that the driver needs to adjust to the conditions on the road to making a planned and safe to navigate.*

*This paper presents the results of experimental kinematic characteristics of the vehicle under the road covered with a layer of compacted snow.*

## ***Autorzy:***

dr inż. **Konrad J. Waluś** – Politechnika Poznańska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn,  
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, Konrad.walus@put.poznan.pl

dr inż. **Krzysztof Kędziora** – Politechnika Poznańska