

**Witold Luty**

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

## **MIERNIK TARCIA $\mu$ -PW W ZASTOSOWANIU DO POŚREDNIEJ OCENY PRZYCZEPNOŚCI KÓŁ JEZDNYCH POJAZDU DO NAWIERZCHNI DROGI W MIEJSCU ZDARZENIA DROGOWEGO**

Rękopis dostarczono, kwiecień 2013

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono budowę i działanie miernika tarcia  $\mu$ -PW dedykowanego do pracy w miejscu zdarzenia drogowego do pośredniej oceny przyczepności kół jezdnych pojazdu do nawierzchni drogi. Omówiono właściwości i cechy użytkowe miernika. Pokazano schemat oraz osiągnięte wyniki procesu korelacji uzyskanej pomiędzy wynikiem pomiaru współczynnika tarcia próbki gumowej a współczynnikiem przyczepności koła ogumionego do podłoża.

**Słowa kluczowe:** przyczepność kół jezdnych do nawierzchni drogi, rekonstrukcja wypadku drogowego, przenośny miernik tarcia

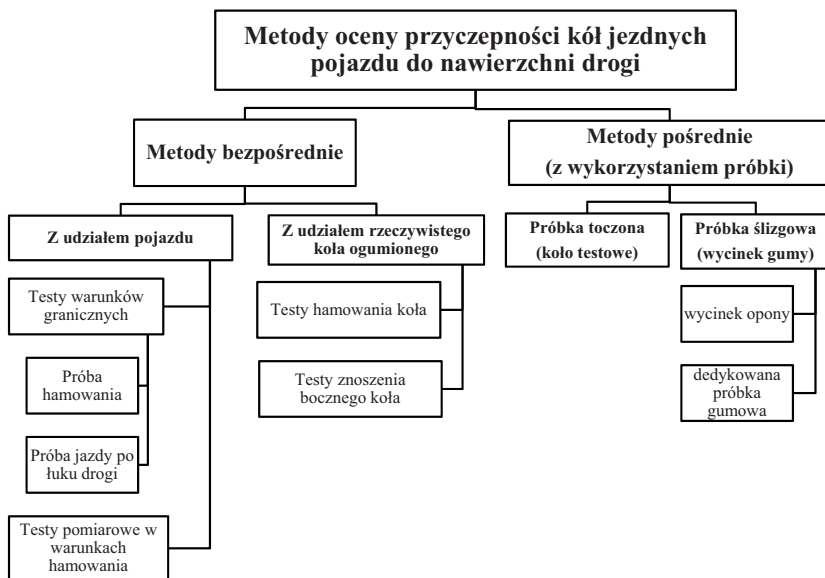
### **1. WSTĘP**

Współczynnik przyczepności kół jezdnych pojazdu do nawierzchni drogi jest ważnym elementem opisu miejsca zdarzenia drogowego. Około 90% spraw sądowych o ustalenie udziału w winie spowodowania kolizji drogowej, wymaga rekonstrukcji z zastosowaniem wartości współczynnika przyczepności kół jezdnych do podłoża. Obecnie źródłem informacji o stanie nawierzchni drogi w miejscu wypadku drogowego jest opis dokonany przez funkcjonariuszy policji w miejscu zdarzenia drogowego. Jednak wartości współczynnika przyczepności kół jezdnych pojazdu do podłoża najczęściej pochodzą z dostępnej literatury [10,17].

Niepewność oszacowania wartości współczynnika przyczepności kół jezdnych do nawierzchni drogi jest ważnym składnikiem budżetu niepewności całego procesu rekonstrukcji wypadku drogowego [2,18]. Posługiwanie się literaturowymi wartościami współczynnika przyczepności ogumienia kół jezdnych pojazdów do podłoża w analizie i rekonstrukcji zdarzenia drogowego niesie ze sobą duże ryzyko popełnienia błędu w procesie sądowym. To może prowadzić do niesłusznego stwierdzenia winy osoby niewinnej lub uniewinnienia faktycznego sprawcy zdarzenia.

Częste spory o wartości przyjętego współczynnika przyczepności w prowadzonym postępowaniu sądowym wydłużają czas i zwiększają koszty postępowania. Zatem podniesienie wiarygodności opisu miejsca zdarzenia drogowego, szczególnie w zakresie oceny przyczepności kół jezdnych pojazdu do nawierzchni drogi jest ważnym problemem zarówno technicznym jak i społecznym. Można stwierdzić, że warto podjąć każdą próbę poprawy obecnego stanu rzeczy.

Wiadomo, że w tym samym miejscu zdarzenia drogowego, współczynnik przyczepności ogumienia kół jezdnych do podłoża może przybierać znacznie różniące się wartości [10]. W takim przypadku wiarygodność oceny jego wartości może zapewnić jedynie wynik pomiaru, wykonanego w miejscu i bezpośrednio po zajściu zdarzenia drogowego. Jednak, do oceny przyczepności kół jezdnych pojazdu do nawierzchni drogi, potrzebna jest metoda oraz niezbędne wyposażenie pomiarowe. Dostępne metody oceny przyczepności kół jezdnych pojazdu do nawierzchni drogi przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Klasyfikacja metod oceny przyczepności kół jezdnych pojazdu do nawierzchni drogi [11]

W kontekście powszechnego zastosowania w miejscu zdarzenia drogowego, wśród wymienionych metod szczególne znaczenie mają metody pośrednie. Wymagają one zastosowania przyrządów pomiarowych z próbką gumową w postaci specjalnego koła lub kół toczonych w ustalonym stanie z poślizgu wzdłużnego albo w postaci wycinka gumy, współpracującego z podłożem w warunkach tarcia ślizgowego.

Znane są różne przyrządy pomiarowe, stosowane do oceny przyczepności próbki gumowej do nawierzchni płaskich, w tym nawierzchni drogi [3,4,5,6,7,8,16]. Część z nich przedstawiono również w pracy [12]. Przyrządy te często zwane są miernikami tarcia. Jednak przyrząd pomiarowy stosowany w procesie rekonstrukcji wypadków drogowych

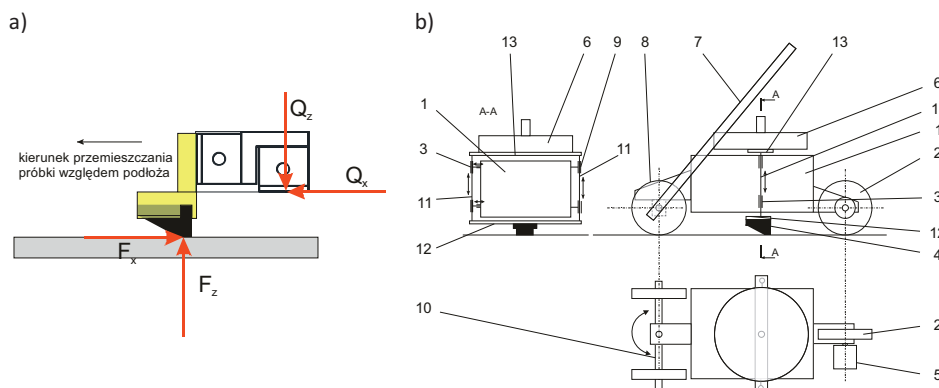
powinien posiadać wiele dedykowanych cech użytkowych, których dotychczas spotykane przyrządy pomiarowe przeważnie nie posiadają.

Analiza stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych różnych mierników w konfrontacji z potrzebami jakie wynikają z ich zastosowania w procesie rekonstrukcji zdarzenia drogowego umożliwiła sformułowanie założeń konstrukcyjnych nowego miernika tarcia o nazwie  $\mu$ -PW. Przedstawienie cech użytkowych miernika tarcia  $\mu$ -PW oraz możliwości jego użycia w procesie rekonstrukcji zdarzenia drogowego jest celem niniejszej pracy.

## 2. ANALIZA CECH UŻYTKOWYCH MIERNIKA TARCIA $\mu$ -PW

### 2.1. KONCEPCJA MIERNIKATARCIA $\mu$ -PW

Koncepcja pomiaru opiera się na wykorzystaniu próbki gumowej ciągniętej po nawierzchni drogi. Próbka jest mocowana wraz z uchwytem do dwuskładnikowego czujnika siły, który mierzy siłę jej nacisku na podłoże oraz siłę tarcia ślizgowego (rys. 2a).

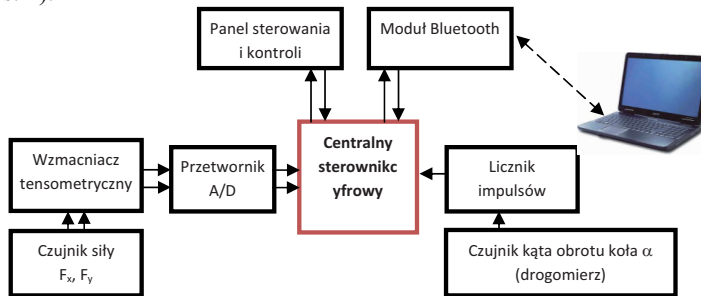


Rys. 2. Układ konstrukcyjny miernika tarcia  $\mu$ -PW; a) koncepcja pomiaru sił składowych, przenoszonych przez gumową próbkę – schemat sił przenoszonych przez próbkę od podłoża na dwuskładnikowy czujnik siły; b) Schemat ideowy miernika (1- obudowa przyrządu, 2- koło tylne wleczone, 3-łożysko pływające prowadnicy suportu, 4- próbka gumowa zintegrowana z czujnikami siły, 5- czujnik obrotu koła tylnego, 6- obciążnik, 7- dyszel pociągowy, 8- koła przednie, 9- łożysko stałe prowadnicy suportu, 10- oś przednia kierowana, 11- kolumna prowadnicy suportu próbki, 12 – łącznik dolny suportu próbki, 13- łącznik górny suportu próbki)

Stosunek mierzonych sił daje współczynnik tarcia próbki do nawierzchni drogi:

$$\mu = \frac{F_x}{F_z} \quad (1)$$

Przyjęty sposób pomiaru jest prosty, choć wymaga zastosowania dwuskładnikowego czujnika siły o wysokiej jakości i niezawodności. Ważne są jednak inne założenia, które zapewniają odpowiednie i powtarzane warunki pracy próbki i całego przyrządu pomiarowego podczas realizacji pomiaru. Przyjęty układ konstrukcyjny oraz koncepcję elektronicznego układu pomiaru i sterowania miernika przedstawiono na rysunkach (rys. 2b, rys. 3, rys. 4).



Rys. 3. Schemat ideowy układu pomiaru, kontroli i sterowania miernika tarcia  $\mu$ -PW

a)



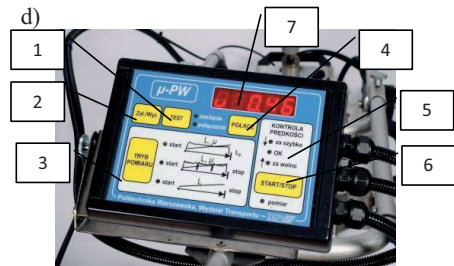
b)



c)



d)



Rys. 4. Widok miernika tarcia  $\mu$ -PW; a) przyrząd w stanie złożenia, gotowy do transportu; b) widok próbki gumowej współpracującej z podłożem podczas pomiaru; c) przyrząd w trakcie pomiarów drogowych; d) widok panelu sterowania miernika tarcia  $\mu$ -PW (1- przycisk samotestowania; 2- przycisk włączenia/wyłączenia, 3- przycisk wyboru trybu pomiaru; 4- przycisk inicjowania połączenia bezprzewodowego z komputerem; 5- obszar kontroli prędkości przemieszczania podczas pomiaru; 6- przycisk startowania/zatrzymania pomiaru; 7- wyświetlacz cyfrowy)

Szczegółowy opis budowy i działania miernika oraz jego funkcji pomiarowych i kontrolnych przedstawiono w pracy [11]. W tym przypadku skupiono się na przedstawieniu jego cech istotnych z punktu widzenia zamierzonego zastosowania.

## 2.2. CECHY UŻYTKOWE MIERNIKA TARCIA $\mu$ -PW

Opracowana konstrukcja miernika tarcia  $\mu$ -PW umożliwiła osiągnięcie właściwości użytkowych, korzystnych w kontekście jego zastosowania w miejscu zdarzenia drogowego. Osiągnięto następujące cechy miernika  $\mu$ -PW:

- a) w zakresie sensu fizycznego wyniku pomiaru;
  - wyznaczanie wartości współczynnika tarcia ślizgowego próbki o podłoże, poprzez jednoczesny pomiar wartości reakcji normalnej i wzdłużnej działających na próbkę,
  - wyznaczenie długości drogi, przebytej podczas pomiaru,
- b) w zakresie wartości użytkowej wyniku;
  - wynik pomiaru podany na wyświetlaczu cyfrowym przyrządu, w postaci wartości średniej współczynnika tarcia oraz długości odcinka przejechanej drogi,
  - możliwy pomiar w dowolnym kierunku, zarówno w określonym miejscu (lokalnie) jak i wzdłuż określonej ścieżki (np. śladu hamowania), wzdłuż lub w poprzek pasa ruchu,
  - możliwość wyboru trybu pomiaru na wstępnie ustalonej długości odcinka pomiarowego  $L_0$  (pomiar lokalny, punktowy) albo na dowolnej długości odcinka pomiarowego  $L$  (pomiar np. wzdłuż śladów hamowania, gdzie długość śladów jest również ważnym wynikiem pomiaru),
  - możliwość prezentacji i analizy wyniku pomiaru w funkcji przejechanej drogi, na ekranie komputera,
- c) w zakresie warunków pomiaru;
  - możliwość grawitacyjnego ustawienia obciążenia normalnego próbki, które w sumie stanowi ciężar suportu oraz ciężar założonych odważników,
  - możliwość zastosowania próbki wykonanej z dowolnego materiału, dostosowanego do celu pomiaru, w tym z 3 typów mieszanki gumowej, typowej dla bieżnika opony letniej, zimowej i ciężarowej,
  - zużycie próbki nie zmienia wartości jej siły nacisku na podłoże (ubytek materiału powoduje obniżenie ramy suportu i zachowanie zadanej wartości siły nacisku próbki),
  - nacisk jednostkowy próbki do podłoża może być dostosowany do potrzeb, przy pomocy odważników,
  - możliwość kontroli prędkości przemieszczania podczas pomiaru, poprzez wskaźniki diodowe na panelu sterowania,
  - możliwość unoszenia próbki podczas pomiaru w celu np. ominięcia lokalnej wyrwy w podłożu,
  - niezawodność, odporność na zmiany warunków środowiska pracy,
- d) w zakresie bezpieczeństwa pomiaru
  - mała prędkość przemieszczania, ok. 0,8 m/s zapewniająca wykonanie pomiaru w tempie marszu,

- nie ma potrzeby rozpędzania miernika - brak konieczności wychodzenia poza zamknięty obszar miejsca zdarzenia,
- e) w zakresie czasochłonności, ergonomii i komfortu pracy podczas pomiaru,
- możliwość szybkiej wymiany próbki gumowej, poprzez zastosowanie gniazda płetwowego,
  - możliwość przenoszenia i obsługiwanego przez jedną osobę, ze względu na małą masę własną (ok. 12 kg) oraz niewielkie wymiary gabarytowe,
  - możliwość przewożenia w bagażniku samochodu osobowego,
  - krótki czas i zakres czynności przygotowawczo-zakończeniowych, związanych z pomiarami - rozłożenie dyszla, montaż próbki, włączenie przyrządu i montaż odpowiedniego odważnika to jedyne czynności niezbędne przez pomiarem,
  - prosty w obsłudze (sterowanie z panelu sterowania i kontroli odbywa się przy pomocy przycisków, które uruchamiają stosowne procedury),
  - wygodna pozycja pracy operatora- większą część czasu obsługi operator spędza w pozycji stojącej,
- f) w zakresie zdolności do powszechnego stosowania,
- stosunkowo małe wymiary gabarytowe w stanie złożenia, zapewniające mu możliwość przewożenia w samochodzie osobowym,
  - niski koszt eksploatacji, w tym koszt próbek gumowych,
- g) w zakresie podatności wyniku na podważenie jako dowodu w procesie sądowym
- odporny na ludzkie błędy lub celowe działania, zmierzające do zniekształcenia wyników pomiaru,
  - możliwość przeniesienia wyniku do komputera i wydrukowanie protokołu bez możliwości ingerencji operatora w wynik.

Wykonano badania eksperymentalne, których wyniki pozwoliły na ocenę zachowania miernika tarcia  $\mu\text{-PW}$  w rzeczywistych warunkach drogowych. Celem badań było potwierdzenie osiągnięcia zamierzonych właściwości miernika, które zależą zarówno od jego konstrukcji mechanicznej, jak i zastosowanych procedur pomiaru i obróbki wyników. Uzyskane wyniki pomiaru współczynnika tarcia próbki gumowej do podłoża w rzeczywistych warunkach drogowych potwierdziły następujące cechy miernika [11,13]:

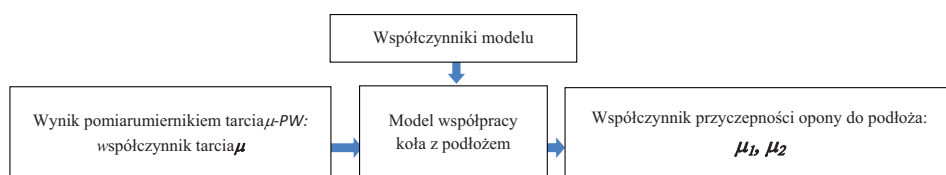
- wysoką powtarzalność wyników pomiaru,
- wrażliwość na typ i stan jednorodnej nawierzchni drogi,
- wrażliwość na zmiany typu nawierzchni podczas ciągłego pomiaru,
- odporność na unoszenie suportu wraz z próbką podczas pomiaru oraz zatrzymanie miernika podczas pomiaru,
- wrażliwość na zmianę materiału próbki gumowej oraz jej obciążenia normalnego.

### 2.3. OCENA PRZYZCZEPNOŚCI KÓŁ JEZDNYCH POJAZDU DO NAWIERZCHNI DROGI NA PODSTAWIE WYNIKU POMIARU DOKONANEGO PRZY POMOCY MIERNIKA TARCIA $\mu$ -PW

Wyniki badań wstępnych wykazały oczekiwane zachowania miernika tarcia  $\mu$ -PW w różnych warunkach pomiaru oraz w warunkach jego zakłócenia np. poprzez unoszenie próbki. Potwierdzono cechy miernika, które są istotne w kontekście jego zastosowania w procesie opisu miejsca zdarzenia drogowego. Jednak wartość użytkowa miernika zależy również od możliwości oszacowania wartości współczynnika przyczepności kół jezdnych pojazdu na podstawie zmierzonej wartości współczynnika tarcia  $\mu$  próbki gumowej względem podłoża. Dokonanie takiego oszacowania wymagało przygotowania procedury korelacji oraz danych do jej przeprowadzenia.

Założono, że proces oceny przyczepności kół jezdnych pojazdu do nawierzchni drogi będzie przebiegał według schematu przedstawionego na rysunku 5. W celu realizacji tak przyjętego trybu oceny przyczepności kół jezdnych pojazdu do nawierzchni drogi konieczne było:

- zastosowanie modelu współpracy koła z podłożem w warunkach hamowania oraz ustalenie powiązania zmierzonego współczynnika tarcia  $\mu$  z modelem koła,
- wykonanie porównawczych badań eksperymentalnych z udziałem miernika tarcia  $\mu$ -PW i rzeczywistych kół w warunkach hamowania,
- określenia wartości współczynników modelu koła odpowiadających określonym warunkom ruchu koła na podstawie wyników eksperymentalnych badań porównawczych.



Rys. 5. Schemat procesu oceny przyczepności kół jezdnych pojazdu do nawierzchni drogi na podstawie wyniku pomiaru współczynnika tarcia  $\mu$  próbki gumowej

W procesie korelacji zastosowano znany model współpracy koła ogumionego z podłożem zwany modelem Dugoffa [1]. Zastosowanie modelu Dugoffa wymagało przyjęcia założeń i wprowadzenia następujących modyfikacji:

- z powodu braku istotnego wpływu współczynnika sztywności poślizgowej  $c_x$  na siły przyczepności koła do podłoża przyjęto stałą wartość tego współczynnika bez względu na typ opony,
- powiązanie wartości współczynnika tarcia  $\mu$  próbki gumowej względem nawierzchni drogi z wartością współczynnika tarcia  $\mu_0$  modelu koła ustalono poprzez współczynniki dopasowania  $k_r$ , według następującej zależności

$$\mu_0 = k_r \cdot \mu \quad (2)$$

– dla celów poprawy stopnia dopasowania modelu współpracy koła z podłożem do charakterystyk rzeczywistego koła ogumionego dokonano korekty modelu Dugoffa według następującej zależności

$$\mu_s = \mu_0 \cdot (1 - k_v \cdot \sqrt{v_{s\delta}}) \quad (3)$$

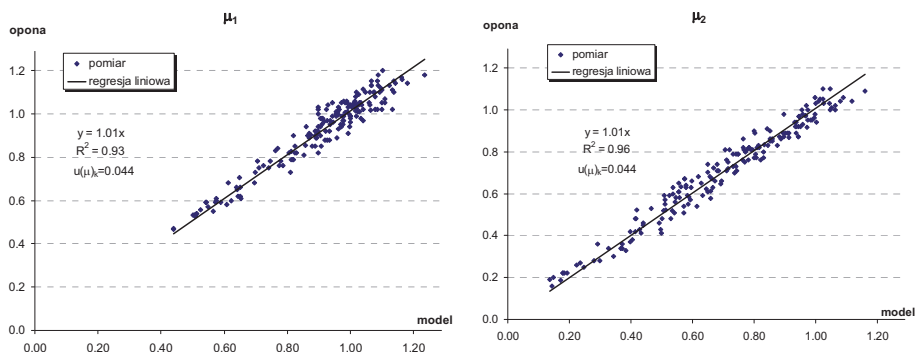
W efekcie ustalono powiązanie wyniku pomiaru współczynnika tarcia  $\mu$ , dokonanego przy pomocy miernika tarcia  $\mu$ -PW, z modelem współpracy koła z podłożem w warunkach hamowania poprzez dwa współczynniki:

- współczynnik dopasowania  $k_r$ ,
- współczynnik wpływu prędkości  $k_v$ .

Dobór wartości tych współczynników był możliwy na podstawie serii porównawczych badań eksperymentalnych z udziałem miernika tarcia  $\mu$ -PW oraz rzeczywistych kół w warunkach hamowania. Badania wykonano w szerokim zakresie zmian warunków ruchu koła (prędkości jazdy, ciśnienia powietrza w kole) oraz z udziałem różnego typu ogumienia samochodów osobowych. Wartości współczynników  $k_r$  i  $k_v$  dobierano dla każdego z wykonanych pomiarów. Następnie wartości te zostały pogrupowane i uśrednione w grupach dla 3 typów asfaltu w 2 odmianach (suchego i mokrego) oraz dla opon letnich i zimowych. Wynik przeprowadzonego procesu korelacji zweryfikowano poprzez zestawienie uzyskanych wartości współczynnika przyczepności dla kół rzeczywistych ( $\mu_1, \mu_2$  – koło) oraz dla modelu koła ( $\mu_1, \mu_2$  – model) na podstawie wartości współczynnika tarcia  $\mu$  (rys. 6). Przedstawione wyniki świadczą o wysokiej zgodności oszacowanych i rzeczywistych wartości współczynnika przyczepności koła do podłoża. Wysoki poziom zgodności potwierdzają przedstawione na rysunku wartości współczynnika determinacji  $R^2$  (ponad 0.9) oraz błędu standardowego oceny zmiennej objaśnianej  $u(\mu)_k$  (poniżej 0.05).

Jako efekt badań eksperymentalnych oraz przeprowadzonego procesu korelacji zbudowano tablicę wartości współczynników  $k_r$  i  $k_v$ , która umożliwia przewidywanie wartości współczynnika przyczepności koła do podłoża na podstawie wyniku pomiaru z wykorzystaniem miernika tarcia  $\mu$ -PW. Realizacja procesu wymaga uwzględnienia opisanych wcześniej warunków badań oraz typu opony. W tym przypadku problem może stanowić ocena chropowatości nawierzchni drogi. Jednak możliwość rozwiązania tego problemu daje zastosowanie metody objętościowej do oceny chropowatości nawierzchni drogi [14].





Rys. 6. Zestawienie wartości współczynnika przyczepności rzeczywistego koła do podłoża (koło) w funkcji wartości tego współczynnika, oszacowanych na podstawie zmierzonej wartości współczynnika tarcia  $\mu$  próbki gumowej do podłoża poprzez zastosowany model koła (model) (wyniki badań uzyskano z udziałem opon letnich i zimowych, na podstawie prób hamowania w szerokim zakresie zmian prędkości jazdy oraz dla różnych typów nawierzchni drogi w stanie suchym i mokrym)

Na podstawie zrealizowanych badań określono wartość niepewności oszacowania na poziomie  $\Delta(\mu_1) = 0.09$  oraz  $\Delta(\mu_2) = 0.09$ . Wynik pomiaru wraz z wynikiem oszacowania przyczepności kół jezdnych pojazdu do podłoża stanowi część zapisu technicznego, który można wygenerować poprzez dedykowany program komputerowy bezpośrednio po pomiarze. Fragment protokołu z pomiaru przedstawiono rysunku 7. Oprócz wartości zmierzonego współczynnika tarcia  $\mu$  próbki gumowej do podłoża zaproponowano podanie oszacowanych wartości współczynnika przyczepności koła ogumionego do podłoża dla dwóch prędkości 10 i 60 km/h. W szczególności ważne są wyniki, określone przy prędkości 60 km/h ze względu na stosowane próby standaryzacji przy wyrażaniu wartości współczynnika przyczepności kół do nawierzchni drogi [9,15,19].

<b>3c. Wyniki pomiaru</b>		
Długość drogi $L [m]$ :	<b>1.00</b>	Średnia prędkość $v$ : <b>0.78 m/s</b>
Współczynnik tarcia $\mu [-]$ :	<b>1.07</b>	
<b>3d. Przewidywana wartość współczynnika przyczepności koła ogumionego do podłoża</b>		
$v=10\text{km/h}$	$\mu_{1x} = 1.15 \pm 0.09$	$\mu_{2x} = 1.04 \pm 0.09$
$v=60\text{km/h}$	$\mu_{1x} = 1.02 \pm 0.09$	$\mu_{2x} = 0.63 \pm 0.09$
<b>Pomiar wykonał:</b> .....	<b>Podpis:</b> .....	

Rys. 7. Przykład wyrażenia wyniku pomiaru współczynnika tarcia  $\mu$  oraz oszacowania wartości współczynnika przyczepności koła ogumionego do podłoża wraz z niepewnością oszacowania – część końcowa protokołu z pomiaru (wynik dla opony letniej, na asfalcie szorstkim, suchym)

Podanie wyników dla dwóch prędkości jazdy daje możliwość wykorzystania tej informacji przez eksperta do oceny wpływu prędkości na przyczepność koła do nawierzchni drogi. Obok wyników oszacowania wartości współczynnika przyczepności koła do podłoża podano również wartości niepewności tego oszacowania. Sposób przedstawienia wyników może być dostosowany do wymagań użytkownika. Jednak już w obecnej, zaproponowanej formie stanowi ważne źródło informacji, niezbędnych w procesie rekonstrukcji zdarzenia drogowego.

### Bibliografia

1. Dugoff H., Fancher P.S., Segel L.: An analysis of tire traction properties and their influence on vehicle dynamic performance, SAE Transactions 700377, vol. 79.
2. Guzek M., Lozia Z.: Possible Errors Occurring During Accident Reconstruction Based on Car "Black Box" Records, SAE Technical Paper 2002-01-0549, 2002, doi:10.4271/2002-01-0549.
3. [http://engtech.ca/projects/2004/drag\\_sled](http://engtech.ca/projects/2004/drag_sled)
4. <http://www.brakerbox.com>
5. <http://www.highwaysmaintenance.com/skidtext.htm#>
6. <http://www.ibdim.edu.pl/>
7. <http://www.vti.se>
8. <http://www.wessextestequipment.co.uk/Products/Tortus.aspx>
9. Li, S., S. Noureldin, and K. Zhu.: Upgrading the INDOT Pavement Friction Testing Program. Publication FHWA/IN/JTRP-2003/23. Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana, 2004.
10. Luty W.: Prawno-techniczne aspekty oceny przyczepności nawierzchni drogi w miejscu zdarzenia drogowego, Logistyka 4/2010.
11. Luty W.: Przenośny system oceny przyczepności kół jezdnych pojazdu do nawierzchni drogi w procesie opisu miejsca zdarzenia i rekonstrukcji wypadków drogowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2012.
12. Luty W.: The  $\mu$ -pw friction tester as an element of road surface skid resistance evaluation system at the traffic accident scene. Journal of Kones Powertrain and Transport. Vol. 18, No. 1, 2011, str. 333-343.
13. Luty W.: The  $\mu$ -PW friction tester - a new device to assess the value of tire-road friction coefficient, in traffic accident scene. Conference proceedings of 21st Annual Meeting of the European Association for Accident Research and Analysis, 27th – 29th September 2012 – Braşov, România.
14. Measuring Pavement Macrotecture Depth Using a Volumetric Technique. ASTM Standard Test Method E-965, Book of ASTM. West Conshocken, Pa., 1999.
15. Noyce D.A., Hussain P.E., and others: Incorporating Road Safety into Pavement Management, Maximizing Surface Friction for Road Safety Improvements. Project 04-04, Midwest Regional University Transportation Center College of Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Wisconsin, Madison, June 2007
16. R.W. Rivers: Evidence in Traffic Crash Investigation And Reconstruction: Identification, Interpretation And Analysis of Evidence, And the Traffic Crash Investigation And Reconstruction Process. Charles C. Thomas, Publisher, LTD, 2006.
17. Tiefang Z., Ming C., Ronghua D., Jike L., Analyzing the uncertainty of simulation results in accident reconstruction with Response Surface Methodology. Forensic Science International Vol. 216, Issue 1, Pages 49-60.
18. Wach W., Unarski J.: Uncertainty of calculation results in vehicle collision analysis, Forensic Science International Vol. 167, Issue 2, Pages 181-188.
19. Wallman C.G., Åström H, Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety. A literature review. VTI Meddelande 911A, 2001.

**THE  $\mu$ -PW FRICTION TESTER APPLIED TO INDIRECT ASSESSMENT  
OF THE FRICTION COEFFICIENT BETWEEN VEHICLE WHEELS  
AND THE ROAD SURFACE AT THE TRAFFIC ACCIDENT SCENE**

**Summary:** This paper presents the design and operation of the  $\mu$ -PW friction tester, dedicated to work at the traffic accident scene to assess the friction coefficient between vehicle wheels and the road surface. Main properties and features of the tester have been described. A diagram and results of the correlation process performed between the measured rubber sample and real tired wheel friction coefficient to the road surface have been presented.

**Keywords:** friction coefficient between tired wheel and the road surface, traffic accident reconstruction process, portable friction tester