

**Article citation info:**

Wicher J. Uncertainty of the estimation of model parameter values in the analysis of pedestrian throw. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2016; 74(4): 105-114, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL74.ART7>

# Uncertainty of the estimation of model parameter values in the analysis of pedestrian throw

## Niepewność szacowania wartości parametrów modelu w analizie odrzutu pieszego

Jerzy Wicher<sup>1</sup>

Przemysłowy Instytut Motoryzacji

### Summary

The objective of the work reported in the article was to analyse the influence of the uncertainty of estimating the values of parameters of selected mathematical models, built to describe the relations between the pedestrian throw distance and the launch velocity gained by the pedestrian in result of being struck by the front part of the vehicle body. Within the work, the impact of changes in the pedestrian launch angle on the pedestrian launch velocity was investigated and the problems connected with choosing the value of the coefficient of friction between pedestrian's clothing and the road surface were shown. The analysis presented may be useful in the reconstruction of an accident where a motor vehicle ran into a pedestrian.

### Streszczenie

Celem artykułu jest analiza wpływu niepewności szacowania wartości parametrów wybranych modeli matematycznych opisujących relacje między odległością odrzutu pieszego a prędkością jaką uzyskuje pieszy w wyniku uderzenia przednią częścią nadwozia. Badano wpływ zmian kąta odrzutu pieszego na prędkość jego odrzutu oraz przedstawiono problemy związane z wyborem wartości współczynnika tarcia ubrania

---

<sup>1</sup> Przemysłowy Instytut Motoryzacji, ul. Jagiellońska 55, 01-301 Warszawa, Polska; e-mail: [j.wicher@pimot.eu](mailto:j.wicher@pimot.eu)

pieszego o nawierzchnię drogi. Przedstawiona analiza może być przydatna w rekonstrukcji wypadku, w którym samochód najechał na pieszego.

**Keywords:** vehicle/pedestrian collision, pedestrian launch angle, coefficient of friction between pedestrian's clothing and the road surface

**Słowa kluczowe:** zderzenie pieszy-samochód, kąt odrzutu pieszego, współczynnik tarcia ubrania pieszego o nawierzchnię drogi.

**Wykaz oznaczeń:**

$g$  – przyspieszenie ziemskie

$h$  – największa wysokość jaką osiągnie środek masy pieszego w fazie lotu

$h_0$  – wysokość pierwszego kontaktu nadwozia z pieszym

$S$  – całkowita odległość odrzutu pieszego

$v_s$  – prędkość kolizyjna (prędkość samochodu w chwili uderzenia w pieszego)

$v_p$  – prędkość jaką uzyskuje pieszy w wyniku uderzenia przednią częścią nadwozia

$\theta$  – kąt odrzutu pieszego

$\mu$  – współczynnik tarcia ubrania pieszego o nawierzchnię drogi

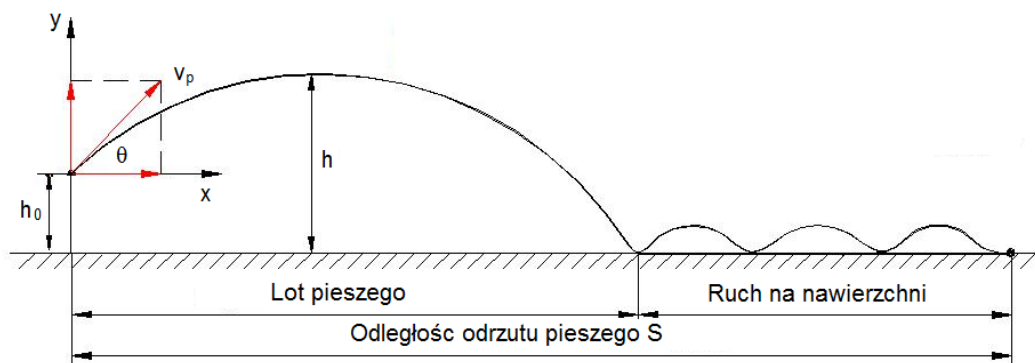
## 1. Modele odrzutu pieszego

Wyznaczenie prędkości odrzutu pieszego w chwili zderzenia z samochodem, na podstawie odległości odrzutu pieszego, jest standardowym działaniem podczas rekonstrukcji wypadku z pieszym. Istnieją dwa rodzaje modeli stosowanych w rekonstrukcji zderzenia pieszy - samochód: empiryczne oraz wyprowadzone na podstawie praw mechaniki. Modele empiryczne najczęściej przedstawiane są w postaci prostej formuły pozwalającej wyznaczyć wartość prędkości kolizyjnej  $v_s$  samochodu w chwili uderzenia w pieszego; najczęściej na podstawie oszacowania odległości odrzutu pieszego  $S$ . Zastosowanie modeli empirycznych ograniczone jest do dobrze zdefiniowanych scenariuszy a ich dokładność jest stosunkowo niewielka, rzędu  $\pm 10\text{km/h}$  [11].

Bardziej wiarygodne wyniki można otrzymać stosując modele wyprowadzone na podstawie praw mechaniki (modele matematyczne). Pozwalają one wyznaczyć prędkość  $v_p$  jaką uzyskuje pieszy na początku fazy odrzutu na podstawie oszacowanych wartości parametrów wejściowych modelu.

Głównym źródłem niepewności wyników uzyskanych z analizy modelu matematycznego jest rozbieżność założeń upraszczających modelu teoretycznego z realną sytuacją drogową.

Najczęściej przyjmuje się schemat odrzutu pieszego przedstawiony na rys.1. Zakłada się, że uderzenie pieszego, traktowanego jak punkt materialny, nastąpiło w płaszczyźnie symetrii podłużnej samochodu. Jeśli pieszy przemieszcza się, to jego prędkość w chwili uderzenia jest bardzo mała w porównaniu z prędkością samochodu i może być pominięta. Przy wystarczająco dużej prędkości kolizyjnej  $v_s$  samochodu trajektoria ruchu pieszego składa się z lotu i przemieszczenia ciała pieszego po nawierzchni drogi (pominięty jest krótki okres kontaktu z nadwoziem).



Rys. 1. Schemat odrzutu pieszego

W fazie lotu nie uwzględnia się oporu powietrza. Pieszy uderzony na wysokości  $h_0$  pod kątem odrzutu  $\theta$  osiąga wysokość  $h$ , a następnie upada na nawierzchnię drogi. Kąt  $\theta$  zależy od rodzaju nadwozia oraz położenia środka masy pieszego i wysokości  $h_0$  pierwszego kontaktu z pieszym. Ruch po nawierzchni drogi może mieć charakter sunięcia lub koziołkowania aż do chwili zatrzymania. Opór ruchu w tej fazie zależy od współczynnika tarcia  $\mu$  brania pieszego o nierównomierną nawierzchnię drogi.

Warto zwrócić uwagę na fakt, iż prędkość odrzutu pieszego  $v_p$ , wywołana uderzeniem nadwozia jest mniejsza niż prędkość kolizyjna  $v_s$  samochodu ( $v_p < v_s$ ). Przyczyną jest częściowa zamiana energii kinetycznej samochodu na pracę odkształcenia nadwozia i rozproszenie energii wynikające z faktu, że ciało pieszego nie jest bryłą idealnie sztywną (odbicie nie jest idealnie sprężyste). Fakt ten można uwzględnić wykorzystując pojęcie współczynnika odbicia  $\kappa$  (współczynnika efektywności odrzutu) zdefiniowanego podobnie jak współczynnik restytucji dla zderzających się brył:  $\kappa = v_p/v_s$ . Oszacowanie wartości tego współczynnika można znaleźć w literaturze np. [25].

Istnieje wiele modeli matematycznych opisujących odrzut pieszego. Kilka najczęściej stosowanych zamieszczono w tabeli 1.

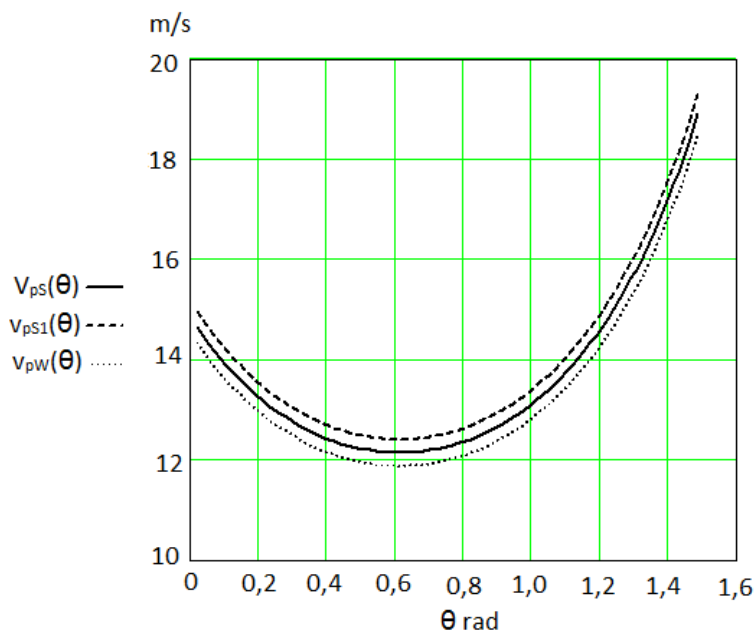
Tabela 1. Często stosowane modele odrzutu pieszego

L.p.	Model	Źródło
1.	$v_{pS} = \frac{\sqrt{2\mu g S}}{\cos \theta + \mu \sin \theta}$	Searle J.A., Searle A., (1983) [21]
2.	$v_{pS1} = \frac{\sqrt{2\mu g (S + \mu h_0)}}{\cos \theta + \mu \sin \theta}$	Searle J., (1993) [19]
3.	$v_{pA} = \frac{-\mu g t + \sqrt{(\mu g t)^2 + 2\mu g S}}{\cos \theta}$	Aronberg R., (1990) [1]

	$t = \frac{\sqrt{2g}}{g} (\sqrt{(h-h_0)} + \sqrt{h})$	
4.	$v_{pw} = \frac{\sqrt{2\mu g(S - \mu h_0)}}{\cos \theta + \mu \sin \theta}$	Wood D.P., (1991) [26]

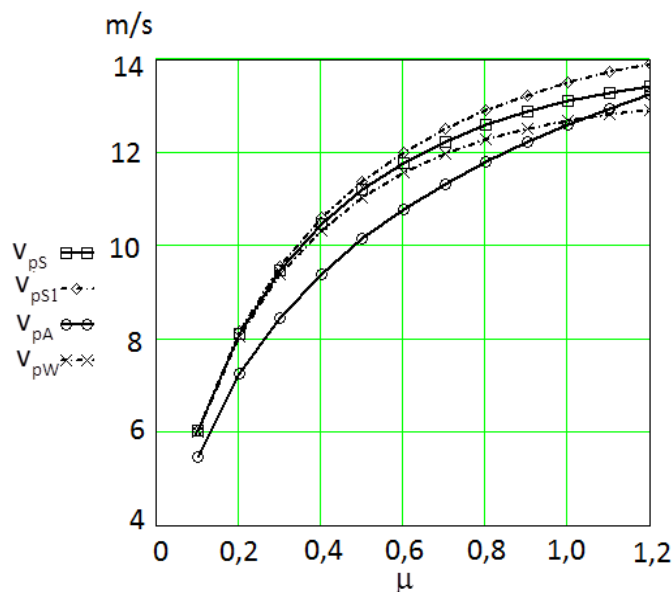
## 2. Szacowanie wartości parametrów w modelach odrzutu pieszego

Standardowym działaniem podczas rekonstrukcji wypadku z pieszym jest wyznaczenie prędkości odrzutu pieszego  $v_p$  w chwili zderzenia z samochodem. W tabeli 1 przedstawiono formuły o postaci  $v_p=f(S, \mu, \theta, h_0, h, g)$ . Przeanalizujemy możliwości oszacowania wartości parametrów  $S, \mu, \theta, h_0, h, g$ . Wartość  $g$  (przyspieszenie ziemskie) jest znana. Wysokość  $h_0$  pieszego kontaktu nadwozia z pieszym może być oszacowana na podstawie rodzaju nadwozia. Również całkowita odległość odrzutu pieszego  $S$  jest możliwa do oszacowania na podstawie informacji o zdarzeniu drogowym w konkretnych przypadkach. W modelu Aronberga występuje parametr  $h$  – największa wysokość jaką osiągnie środek masy pieszego w fazie lotu. Wartość tę można oszacować wykorzystując znane z mechaniki zależności na dynamikę ruchu punktu materialnego reprezentującego fazę lotu pieszego (składowa pionowa). Ważnym parametrem jest kąt odrzutu pieszego  $\theta$ . Jego wartość zależy głównie od rodzaju nadwozia. W przypadku nadwozi pontonowych i skrzynkowych kąt odrzutu pieszego  $\theta$  jest uwarunkowany pochyleniem przedniej części nadwozia samochodu i wynosi zero lub kilka stopni. Bardzo trudno jest oszacować wartość kąta  $\theta$  w przypadku nadwozi klinowych lub trapezowych. Na rys. 2 przedstawiono wpływ kąta odrzutu  $\theta$  na prędkość odrzutu pieszego  $v_p$  w modelach Searle i Wood'a (poz. 1, 2, 4 w tabeli 1). Obliczenia przeprowadzono przyjmując następujące wartości kąta odrzutu pieszego:  $1^\circ \leq \theta \leq 85^\circ$  ( $0,017\text{rad} \leq \theta \leq 1,484\text{rad}$ ). Pozostałe wartości parametrów modelu są możliwe do oszacowania na podstawie danych z konkretnej kolizji. W obliczeniach przyjęto:  $S=16\text{m}$ ,  $\mu=0,7$ ,  $h_0=1\text{m}$ ,  $h=1,5\text{m}$ ,  $g=9,81\text{m/s}^2$ .



Rys. 2. Przebiegi zmienności prędkości odrzutu pieszego w zależności od kąta odrzutu pieszego.  $v_{pS}$  – model Searle J A, Searle A, (1983);  $v_{pS1}$  – model Searle J, (1993);  $v_{pW}$  – model Wood'a D P, (1991) (patrz tab. 1)

Przebiegi obliczone za pomocą modeli Searle i Wood'a są bardzo podobne. Ma to związek faktem, iż formuła w mianowniku (w której występuje kąt  $\theta$ ) jest taka sama dla każdego modelu. Interesujące jest spostrzeżenie, że przyjęte formuły matematyczne na prędkość odrzutu pieszego w obu modelach Searle's i w modelu Wood'a wykazują minimum w pobliżu  $\theta \approx 0,6$  rad ( $34,4^\circ$ ). W modelu Aronberga wartość mianownika  $\cos\theta \rightarrow 0$  gdy  $\theta \rightarrow 90^\circ$ , skąd wynika, że wartość obliczonej prędkości odrzutu pieszego  $v_{pA} \rightarrow \infty$ . Oczywiście taki wynik odzwierciedla jedynie niedoskonałość przyjętego modelu matematycznego i nie ma nic wspólnego z rzeczywistą prędkością odrzutu pieszego. Największą trudność sprawia oszacowanie wartości parametru  $\mu$  określającego tarcie ubrania pieszego o powierzchnię drogi. Jest to jeden z podstawowych parametrów potrzebnych do rekonstrukcji wypadku z pieszym. Wartość ta, używana w obliczeniach odrzutu pieszego, od dziesięcioleci jest jednym z głównych źródeł sporu między autorami publikacji poświęconych badaniu wypadku pieszy-samochód. Na rys. 3 przedstawiono zależność prędkości pieszego  $v_p$  od wartości współczynnika tarcia  $\mu$ . Obliczenia przeprowadzono przyjmując przedział zmienności  $0,1 \leq \mu \leq 1,2$  oraz  $\theta \approx 28^\circ$ . Autorzy publikacji [7] zamieszczają uwagę, że jest to typowy kąt odrzutu pieszego. Pozostałe wartości parametrów są takie same jak wyżej, tj.:  $S=16$  m,  $\mu=0,7$ ,  $h_0=1$  m,  $h=1,5$  m,  $g=9,81$  m/s<sup>2</sup>.

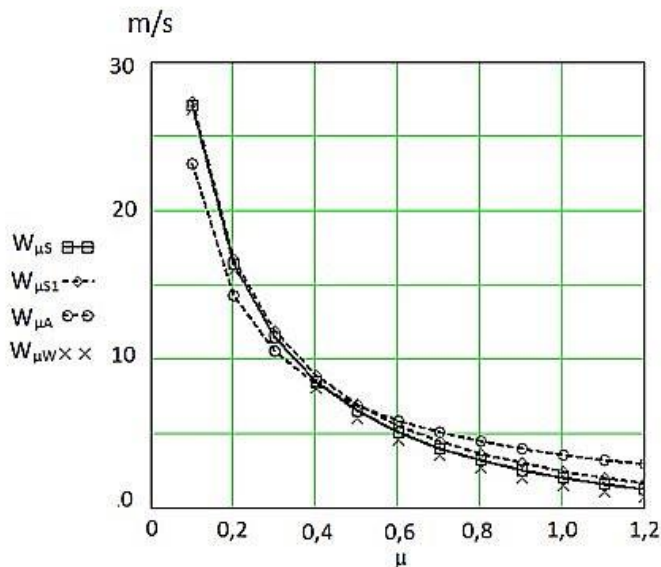


Rys. 3. Przebiegi zmienności prędkości odrzutu pieszego w zależności od współczynnika tarcia ubrania pieszego o nawierzchnię drogi;  $v_{PS}$  – model Searle J.A., Searle A., (1983);  $v_{PS1}$  – model Searle J., (1993);  $v_{PA}$  – model Aronberg'a R., (1990);  $v_{PW}$  – model Wood'a D.P., (1991) (patrz tab. 1)

Na podstawie przebiegu krzywych przedstawionych na rys.3 łatwo można zauważyć, że wpływ zmienności parametru  $\mu$  na prędkość  $v_p$  dla przedziału  $\sim 0,5 < \mu \leq 1,2$  jest prawie dwukrotnie mniejszy niż dla przedziału  $0,1 \leq \mu < 0,5$ , co wynika z kąta nachylenia krzywej. Dobrą oceną wpływu wartości parametru na wartość funkcji jest też współczynnik wrażliwości  $W$  zdefiniowany jako pochodna cząstkowa funkcji względem tego parametru.

W omawianym przypadku  $W_\mu = \partial v_p(\mu) / \partial \mu$ . Wartość tego współczynnika jest proporcjonalna do kąta nachylenia stycznej w rozważanym punkcie do krzywej  $v_p(\mu)$ , a więc zawiera informację o wpływie  $\mu$  na  $v_p$ . Przebiegi funkcji wrażliwości pokazane na rys.4 zostały wyznaczone jako pochodne cząstkowe:  $W_{\mu S} = \partial v_{PS}(\mu) / \partial \mu$ ;

$W_{\mu S1} = \partial v_{PS1}(\mu) / \partial \mu$ ;  $W_{\mu A} = \partial v_{PA}(\mu) / \partial \mu$ ;  $W_{\mu W} = \partial v_{PW}(\mu) / \partial \mu$ ; modeli matematycznych wymienionych w tabeli 1.



Rys. 4. Przebiegi funkcji wrażliwości  $W$  wyznaczone dla modeli matematycznych przedstawionych w tabeli 1;  $W_{\mu S}$  – model Searle J A, Searle A, (1983);  $W_{\mu S1}$  - model Searle J, (1993);  $W_{\mu A}$  – model Aronberg’a R, (1990);  $W_{\mu W}$  - model Wood’a D P, (1991) (patrz tab. 1)

Otrzymane wyniki potwierdzają wniosek sformułowany wyżej na podstawie rys.3: wpływ parametru  $\mu$  na prędkość  $v_p$  jest znacznie mniejszy dla przedziału wartości  $\sim 0,5 < \mu \leq 1,2$  w porównaniu do przedziału  $0,1 \leq \mu < \sim 0,5$ . Oczywiście przedstawione spostrzeżenia są prawdziwe jedynie w odniesieniu do modeli matematycznych z tabeli 1 i nie powinny być automatycznie ekstrapolowane na wszystkie modele odrzutu pieszego. W literaturze podawane jest wiele różnych wartości i przedziałów wartości parametru  $\mu$ . W tabeli 2 przedstawiono wyniki zaczerpnięte z różnych źródeł uszeregowane w kolejności ich pojawiania się w publikacjach. Łatwo zauważyć, że rozbieżności są bardzo duże i trudno sformułować jakieś kryterium wyboru  $\mu$ .

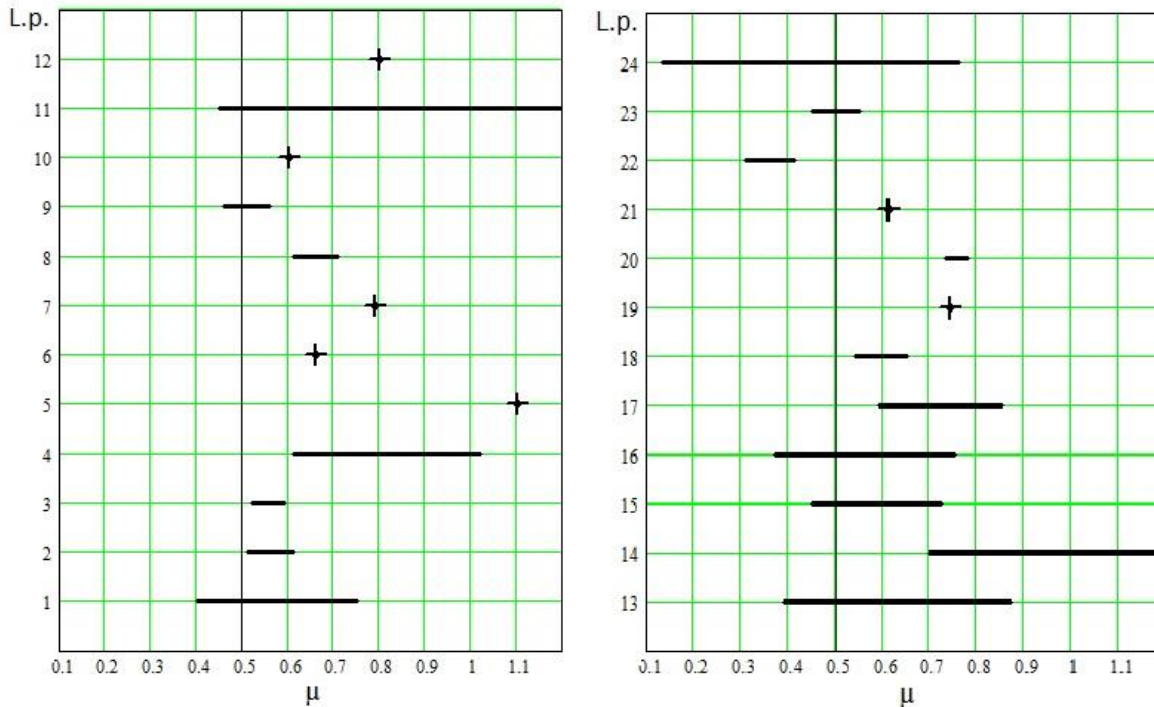
Tabela 2. Wartości współczynnika tarcia pieszego nawierzchni drogi

L.p.	Współczynnik tarcia $\mu$	Nawierzchnia Ubranie	Źródło
1.	0,40÷0,75	?	Severy D.(1966)
2.	0,51÷0,61	Nawierzchnia sucha	Rychter W. (1973)
3.	0,52÷0,59	Nawierzchnia mokra	Rychter W. (1973)
4.	0,61÷1,02	?	Löhle U. (1975)
5.	1,1	?	Collins J.C. Morris, J.L. (1979)
6.	0,66	Suchy i mokry asfalt.	Searle J. Searle A. (1983)
7.	0,79	Trawnik	Searle J. Searle A. (1983)
8.	0,61÷0,71	Nawierzchnia sucha	Becke M. Golder U. (1986)

9.	0,46÷0,56	Nawierzchnia mokra	Becke M. Golder U. (1986)
10.	0,6	?	Batista M. (2008)
11.	0,45÷1,2	?	Rotim F. (1989)
12.	0,80	Koziołkowanie	Hill G.S., (1994)
13.	0,39÷0,87	?	Wood D., Simms C. (2000)
14.	0,7÷1,2	Suchy asfalt, koziołkowanie	Happer A., et al, (2000)
15.	0,45÷0,72	Suchy asfalt. Poślizg.	Happer A., et al, (2000)
16.	0,37÷0,75	Suchy i mokry asfalt	Happer A., et al, (2000)
17.	0,59÷0,85	Asfalt - naw. antypoślizg. Ubranie normalne	Hague D.J. (2001)
18.	0,54÷0,65	Asfalt – naw. antypoślizg. Ubranie nylonowe	Hague D.J. (2001)
19.	0,74	?	Han I., Brach R.M.(2001)
20.	0,73÷0,78	Różne rodzaje ubrania (z wyjątkiem nylonu)	Han I., Brach R.M.(2001)
21.	0,61	Ubranie nylonowe	Han I., Brach R.M.(2001)
22.	0,31÷0,41	Mokry asfalt.	Fugger, T.F.J., et al. (2002)
23.	0,45÷0,55	?	Toor A., Araszewski M., (2003)
24.	0,13÷0,76	?	BatistaM., (2008)

Trudności w jednoznacznym oszacowaniu wartości współczynnika tarcia ubrania pieszego o nawierzchnię drogi (czasem używana jest nazwa „współczynnik oporu”) wynikają z faktu, iż ruch ciała pieszego na nawierzchni drogi może mieć charakter poślizgu lub koziołkowania (lub jednego i drugiego). Zjawisko koziołkowania można wytłumaczyć w następujący sposób: po pierwszym kontakcie z podłożem występują dalsze krótkie fazy, w których zachodzi naprzemiennie odrywanie i uderzenia ciała pieszego w podłoże spowodowane występującymi nierównościami (doły, koleiny). Pomiaru wykonywane przy użyciu manekinów lub zwłok dotyczą najczęściej poślizgu, co powoduje, że wartości współczynnika tarcia są mniejsze, niż podczas rzeczywistego wypadku, kiedy po opadnięciu na powierzchnię drogi ciało pieszego częściowo ślizga się, częściowo koziołkuje. Niektórzy badacze stwierdzają, że wartość współczynnika tarcia zależy od prędkości poślizgu pieszego po nawierzchni drogi, ale brak jest jednoznacznych ustaleń. Na rys.5 przedstawiono graficzną formę danych zamieszczonych w tabeli 2.





Rys.5. Graficzny obraz zmienności parametru  $\mu$  przedstawionego w tabeli 2. Numeracja osi pionowej „L.p.” odpowiada numeracji „L.p.” pierwszej kolumny tabeli 2

Analizując dane z tabeli 2, i rys.5 można łatwo zauważyć, że współczynnik tarcia  $\mu$  może przyjąć wartość z przedziału  $0,13 \div 1,2$ . Należy jednak zachować sceptycyzm przy porównaniu wyników otrzymanych przez różnych autorów. Nie jest pewne, jak niektóre z tych wartości zostały uzyskane. Przypuszcza się, że w niektórych przypadkach przeciętny współczynnik tarcia uśredniono dla całej długości odrzutu zawierającej część lotu pieszego w powietrzu. Podczas lotu współczynnik tarcia jest równy zero, ale działa opór powietrza nieuwzględniany w modelu matematycznym, co ma wpływ na spowolnienie prędkości ciała pieszego. Duże różnice wartości współczynnika tarcia pieszego po nawierzchni drogi związane są m.in. z brakiem wystarczających informacji o sztywności układu kostnego człowieka i właściwości tłumiących ciała i ubioru pieszego. Ponadto wpływ mają: położenie pieszego względem bryły samochodu w chwili uderzenia, wymiary (szczególnie położenia środka masy) oraz kierunek ruchu i prędkość pieszego. Powstaje pytanie: jaką przyjąć strategię wyboru współczynnika  $\mu$ ? Z rys.5 wynika, że większość sugerowanych w różnych publikacjach wartości  $\mu$  (ponad  $60 \div 70\%$ ) mieści się w przedziale  $\sim 0,5 < \mu \leq 1,2$ . Jeżeli w obliczeniach przyjmie się  $\mu$  z takiego przedziału, to na podstawie wykresów przedstawionych na rys.3 można oszacować, że różnica między wartościami  $v_p$  dla  $\mu=0,5$  i  $\mu=1,0 \div 1,2$  wynosi ok.  $3\text{m/s}$  ( $10,8\text{km/h}$ ) – a więc maksymalny błąd oszacowanie prędkości  $v_p$  jest znaczący. Dla przedziału  $0,1 \leq \mu < \sim 0,5$  (ok.  $30\%$  wyników badań) różnica między wartościami  $v_p$  wynosi (patrz rys.3) ok.  $5\text{m/s}$  ( $18\text{km/h}$ ). Tego rzędu błąd sugeruje małą praktyczną przydatność takich obliczeń w przypadku rekonstrukcji wypadku zderzenia samochodu z pieszym. Z przedstawionej

analizy wynika, że uzasadnione jest założenie, że niepewność oszacowania aktualnej wartości współczynnika tarcia ma duży wpływ na wyniki obliczeń prędkości odrzutu pieszego.

### 3. Uwagi końcowe

Duża liczba wypadków z udziałem pieszego skłania do przyjrzenia się modelom opisującym zderzenie pieszego – samochód. Wiarygodność wyników uzyskanych z tych modeli nie jest zadawalająca. Wynika to z faktu nieuwzględnienia wielu istotnych czynników w matematycznym opisie realnego zdarzenia drogowego. Założenia upraszczające mogą prowadzić do nierealnych wyników, np. w modelu Aronberga wartość obliczonej prędkości odrzutu pieszego  $v_{pA} \rightarrow \infty$  gdy kąt odrzutu pieszego  $\theta \rightarrow 90^\circ$ . Wyniki takie nie mają nic wspólnego z rzeczywistą prędkością odrzutu pieszego, ale odzwierciedlają jedynie niedoskonałość modelu matematycznego. Realną trudnością jest oszacowanie wartości parametrów wejściowych do stosowanych w praktyce modeli matematycznych. Szczególnie duży przedział zmienności wykazują wyniki szacowania wartości współczynnika tarcia  $\mu$  ubrania pieszego o nawierzchnię drogi. Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 2 i na rys.5 wartość tego współczynnika może zmieniać się w przedziale  $0,1 < \mu < 1,2$  – co prowadzi do dużego błędu oszacowania prędkości  $v_p$  jaką uzyskuje pieszy w wyniku uderzenia przednią częścią nadwozia, np. przyjmując wartości  $\mu < 0,5$  można spodziewać się wystąpienia błędu oszacowania  $v_p$  nawet rzędu 18km/h. Przedstawione w artykule spostrzeżenia powinny ułatwić podjęcie decyzji jaką wartość tego współczynnika można przyjąć podczas rekonstrukcji zderzenia pieszego - samochód.

### Literatura

1. Aronberg R. Airborne trajectory analysis derivation for use in accident reconstruction. SAE Technical Paper No. 900367, 1990.
2. Batista M. A Simple Throw Model for Frontal Vehicle-pedestrian Collisions. University of Ljubljana, Faculty of Maritime Studies and Transportation, 2008; Available from: <http://www.fpz.unizg.hr/traffic/index.php/PROMTT/article/viewFile/1020/867>[cited 2016 Nov 28].
3. Becke M, Golder U. Rutschweiten von Fußgängern auf nasser Fahrbahn. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Nr 12, 1986.
4. Bogdanović L, Batista M. The Throw Model for Vehicle/Pedestrian Collisions including Road Gradient, Proceedings of ICTS 2004, 11-12 November 2004.
5. Collins J C, Morris J L, Accident Reconstruction, Highway Collision Analysis. Thomas Publishing, 1979.
6. Depriester J P, Perrin C, Serre T, Chalandon S. Comparison of several methods for real pedestrian accident reconstruction. French National Institute for Transport and Safety Research (INRETS), France, Paper Number 05 – 0333; Available from: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv19/05-0333-o.pdf>. [cited 2016 Nov 28]
7. Fugger T F J, Randles B C, Eubanks J J. Comparison of Pedestrian Accident Reconstruction Models to Experimental Test Data for Wrap Trajectories. In: IMechE

- Conference Transactions 2000-2, International Conference on Vehicle Safety 2000, London, 7-9 June, 2000.
8. Fugger T F J, et al. Pedestrian Throw Kinematics in Forward Projection Collisions. SAE Technical Paper No. 2002-01-0019, 2002.
  9. Hague D J. Calculation of Impact Speed from Pedestrian Slide Distance. ITAI International Conference 2001.
  10. Han I, Brach R M. Throw Model for Frontal Pedestrian Collisions. SAE Technical Paper No. 2001-01-0898, 2001.
  11. Happer A, Araszewski M, Toor A, Overgaard R, Johal R. Comprehensive Analysis Method for Vehicle/Pedestrian Collisions. SAE Technical Paper No. 2000-01-0846. (also In: Accident Reconstruction, SAE SP-1491), 2000.
  12. Hill G S. Calculations of Vehicle Speed from Pedestrian Throw. Impact, Spring, 1994.
  13. Löhle U. Bestimmung des Zusammenstoß Ortes bei Verkehrsunfällen. Der Verkehrsunfall, Nr 10, 11, 12, 1975.
  14. Motorcyclists etc. following a Road Accident. SAE Technical Paper No. 831622, 1983.
  15. Prochowski L, Unarski J, Wach W, Wicher J. Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych (Fundamentals of the reconstruction of road accidents). 2<sup>nd</sup> edition, WKiŁ, Warszawa 2014.
  16. Rotim F. Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 1, Ekspertize prometnih nezgoda. Znanstveni savjet za promet JAZU, 1989.
  17. Rychter W. Opinia biegłego w sprawach ruchu drogowego (Opinion of a road traffic expert). Wyd. Prawnicze, Warszawa 1973.
  18. Searle J, Searle A. The Trajectories of Pedestrians, Motorcycles, Motorcyclists, etc., Following a Road Accident, SAE Technical Paper No. 831622, 1983.
  19. Searle J. The Physics of Throw Distance in Accident Reconstruction. SAE Technical Paper No. 930659, 1993.
  20. Searle J. Throw distance in pedestrian impact. Impact, Vol. 5, No. 1, 1996.
  21. Severy D, Brink H. Auto-pedestrian Collision Experiments Using Full-Scale Accident Simulation, SAE Paper 660080 presented at the Automotive Engineering Congress and Exposition, Detroit, Michigan, USA. January, 1966.
  22. Stevenson T J. Simulation of Vehicle-Pedestrian Interaction. A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Engineering in the University of Canterbury, 2006.
  23. Toor A, Araszewski M, Theoretical vs. empirical solutions for vehicle/pedestrian collisions. 2003-01-0883, Accident Reconstruction 2003, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, PA, 2003.
  24. Wicher J. Bezpieczeństwo Samochodów i Ruchu Drogowego (The safety of motor vehicles and road traffic). 3<sup>rd</sup> edition, expanded, WKiŁ, Warszawa, 2012.
  25. Wood D. Application of a Pedestrian Impact Model to the Determination of Impact Speed. SAE Technical Paper No. 910814, 1991.
  26. Wood D, Simms C. Coefficient of friction in pedestrian throw. Impact, 2000, Spring, p. 12-14.