

## PEDESTRIAN ACCELERATION AND SPEEDS

Jakub ZĘBALA, Piotr CIĘPKA, Adam REZA

*Institute of Forensic Research, Kraków, Poland*

### Summary

The aim of the article is to present the results of research performed at the Institute of Forensic Research in Kraków on pedestrian motion speed and acceleration. Tests were performed in a specially prepared test area and encompassed the determination of the average speed of steady pedestrian motion depending on age, sex and manner of moving, and pedestrian acceleration from a stationary position to a slow, ordinary and fast walk as well as running and sprinting. In the final part of the article, conclusions and remarks addressed to court experts have been presented, in which particular attention is drawn to the moment when the occurrence of an emergency is apparent to the driver, which should be adopted in calculations when analysing the possibility of avoiding a collision.

### Key words

Pedestrian; Motion speed; Acceleration.

*Received 11 July 2012; accepted 29 August 2012*

### 1. Introduction

One of the essential elements of expert opinions on road accidents in which a pedestrian is hit is to perform a time-distance analysis. The results of such an analysis are a basis for establishing whether the driver could have avoided the collision.

A particularly important factor in a time-distance analysis is precisely determining the time spent by a pedestrian on a road. The research encompassed two motion variants: steady motion and acceleration from a stationary position. In general, pedestrians accelerate at the onset of walking or running across a road after traffic lights change at a pedestrian crossing, or after vehicles on a road have gone by. Pedestrian acceleration is characterised by a non-linear speed increase over time, so pedestrian acceleration time can be determined only on the basis of experimental results.

### 2. Test subjects

The tests encompassed 26 females and 28 males from different age groups. The age distribution of females and males participating in the tests is shown in Figures 1 and 2.

All pedestrians participating in the study were aged over 20. Children and teenagers were not included in the tests, because some research results in this area have been published in recent years [8, 9, 10]. Additionally, body mass index (BMI) distribution depending on the age of test subjects was determined (Figures 3 and 4). The obtained values of the BMI justify the statement that, except for one female and one male, the persons tested were not obese. Apart from these two cases, the BMI was in the range of 18–27 for females and 18–31 for males. All the test subjects were physically fit.

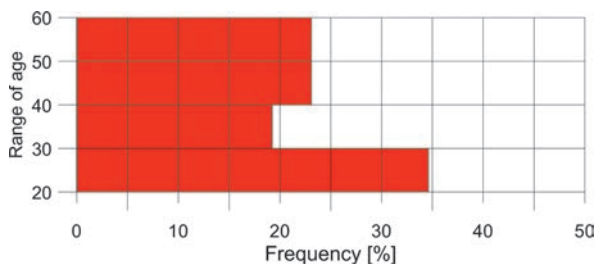


Fig. 1. Age distribution of female subjects participating in tests.

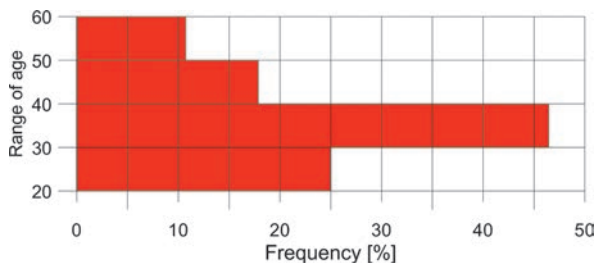


Fig. 2. Age distribution of male subjects participating in tests.

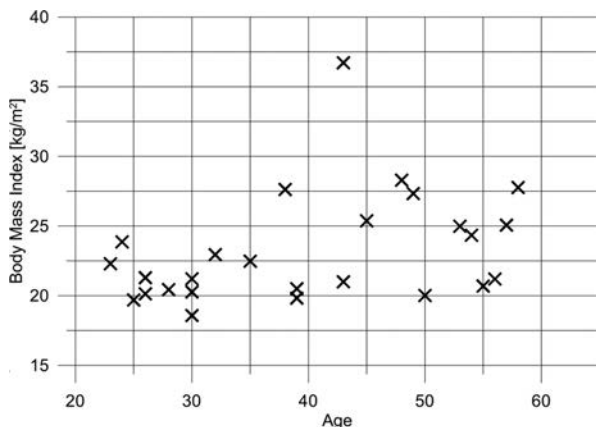


Fig. 3. Body mass index vs. female age.

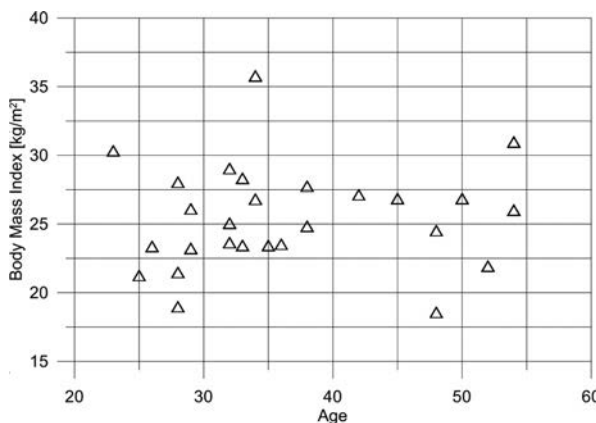


Fig. 4. Body mass index vs. male age.

### 3. Pedestrian steady motion

The average speed of pedestrians in steady motion was defined on the basis of the time taken by the pedestrians to cover a specified distance (section). Pedestrian motion was recorded by a digital video camera. The time-distance analysis was done using the digital video recorded data. Following the analysis of the digital video recordings, for each test run, the number of frames was calculated from the moment of the test subject entering the section to the moment of leaving it. Next, the time taken by the subject to cover the measured distance was calculated, and then the average speed achieved by the subject. In the tests, the subjects started covering the specified distance of 5 m at paces corresponding to – according to their own interpretation – the following terms: slow pace, ordinary pace, fast pace, running and sprinting. Each subject covered the specified distance three times in the designated manner. A comparison of test results for females and males showed that the speeds of the females participating in the tests at slow, ordinary and fast paces did not significantly differ from male speeds (Figures 5 and 6). Considerable differences were observed in the case of running and sprinting, with female speeds lower than the male speeds. In this motion category, female speed dropped significantly with age, which is illustrated by the graphs plotted based on the obtained results.

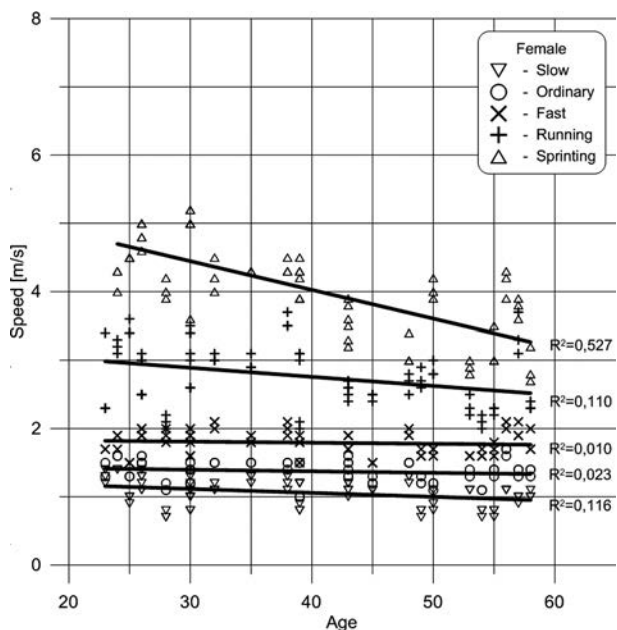


Fig. 5. Speed vs. female age, trends and coefficients of determination.

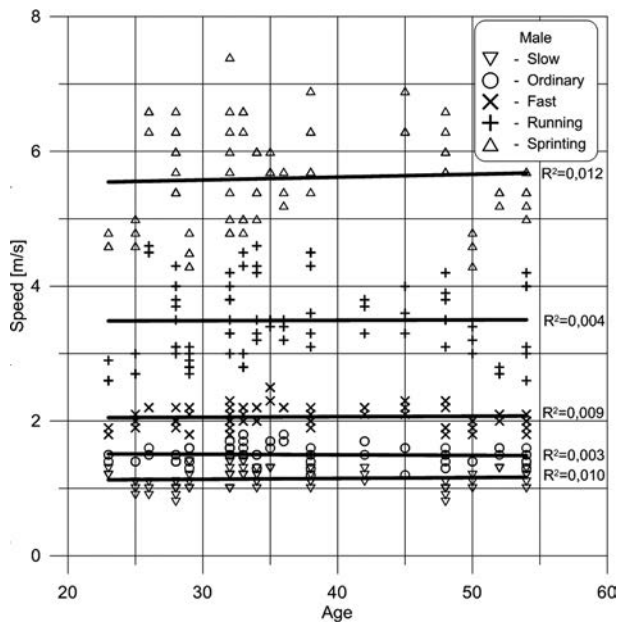


Fig. 6. Speed vs. male age, trends and coefficients of determination.

The results of tests on female and male steady motion have also been tabulated to make them more readily available to court experts when preparing opinions on accidents involving pedestrians (Table I and II).

TABLE I FEMALE MOVEMENT SPEED [m/s]

| Age   | Manner of movement (pace) |          |         |         |           |
|-------|---------------------------|----------|---------|---------|-----------|
|       | Slow                      | Ordinary | Fast    | Running | Sprinting |
| 21–30 | 0.7–1.4                   | 1.1–1.6  | 1.5–2.0 | 2.0–3.6 | 3.6–5.2   |
| 31–40 | 0.8–1.3                   | 1.1–1.5  | 1.5–2.1 | 2.0–3.7 | 3.9–4.5   |
| 41–50 | 0.7–1.3                   | 1.1–1.6  | 1.5–2.0 | 2.4–3.0 | 3.0–4.2   |
| 51–60 | 0.7–1.1                   | 1.1–1.6  | 1.6–2.1 | 2.0–3.6 | 2.9–4.3   |

TABLE II MALE MOVEMENT SPEED [m/s]

| Age   | Manner of movement (pace) |          |         |         |           |
|-------|---------------------------|----------|---------|---------|-----------|
|       | Slow                      | Ordinary | Fast    | Running | Sprinting |
| 21–30 | 0.8–1.4                   | 1.3–1.6  | 1.8–2.2 | 2.6–4.6 | 4.3–6.6   |
| 31–40 | 1.0–1.4                   | 1.2–1.8  | 1.8–2.5 | 2.8–4.6 | 4.8–6.9   |
| 41–50 | 0.8–1.3                   | 1.2–1.6  | 1.8–2.3 | 3.0–4.2 | 4.3–6.9   |
| 51–60 | 1.0–1.3                   | 1.3–1.6  | 1.8–2.1 | 2.6–4.2 | 5.0–5.7   |

During the tests it was noticed that pedestrian motion speed is highly affected by physical fitness. The effect of fitness was particularly clearly demonstrated in the case of running and sprinting, especially in the case of elderly persons. When adopting a speed range

for the motion of a particular person, his/her state of health should, if the information is available, be taken into account. Certain diseases can be an indication to reduce the upper speed limit.

#### 4. Pedestrian acceleration

In the acceleration tests each subject accelerated three times from a stop position to a slow walk, ordinary walk, fast walk, running and sprinting. The measured distance was 3 m long, and was divided into 10 cm subsections. The tests were video recorded at 30 frames per second and an image resolution of 1280 × 780 dpi.

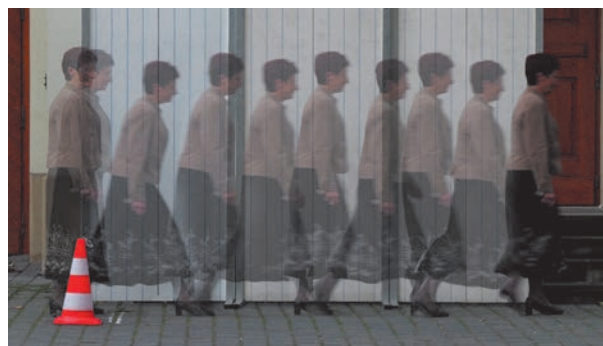


Fig 7. Test area. A female accelerating to fast walking.

The processing of the results started with an analysis of the video recording showing the motion of the test subject, and noting down the distances the subject covered in subsequent time periods (Figure 7). Quick-Time software was used for the picture analysis, which allowed frame-by-frame viewing of the recorded material. Having obtained the value of the distance covered as a function of time, time-distance dependence curves were plotted for each pedestrian (Figure 8).

The results of tests for female and male subjects were preliminarily divided into age subgroups encompassing 10 years. Comparisons, however, showed that in the overall studied age group of 20–60, age does not play a decisive role. Both expected outcomes, i.e. that acceleration drops with age, and instances where younger persons accelerated less intensely than older ones, were recorded (Figure 9). Consequently, the division into age groups was abandoned and is not included in the results presented below (Figures 10–14).

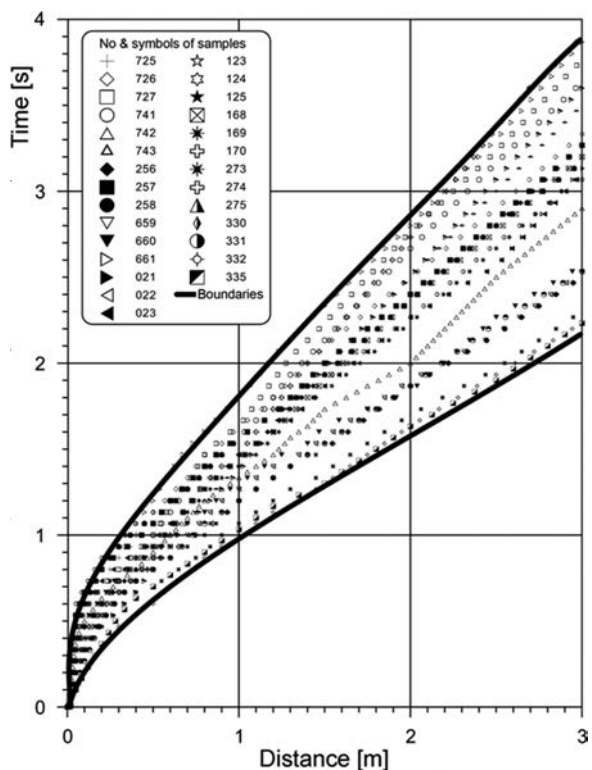


Fig. 8. Some results of acceleration to slow walking by females in the 20–30 age range.

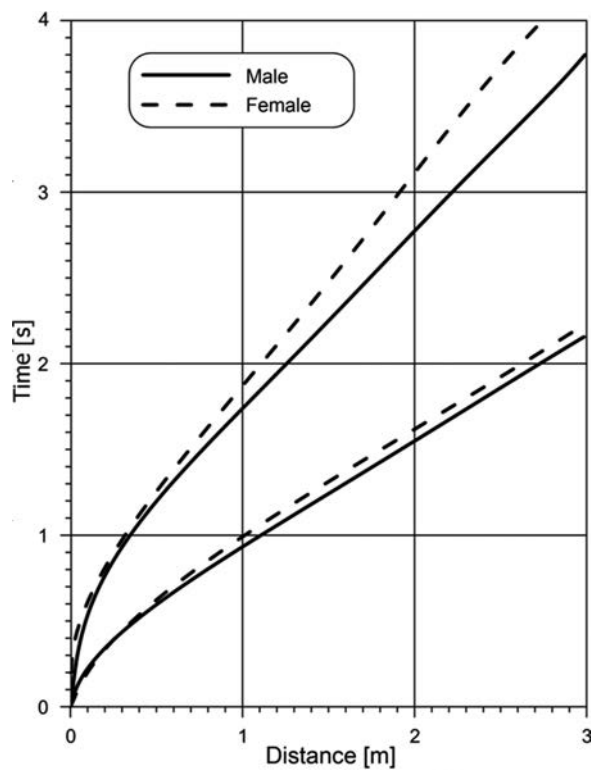


Fig. 10. Pedestrian acceleration to slow walking.

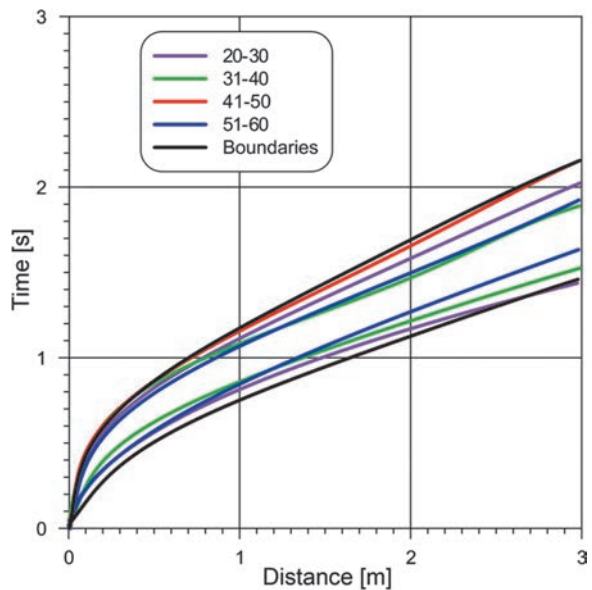


Fig. 9. Acceleration of females to running – boundaries for particular age groups.

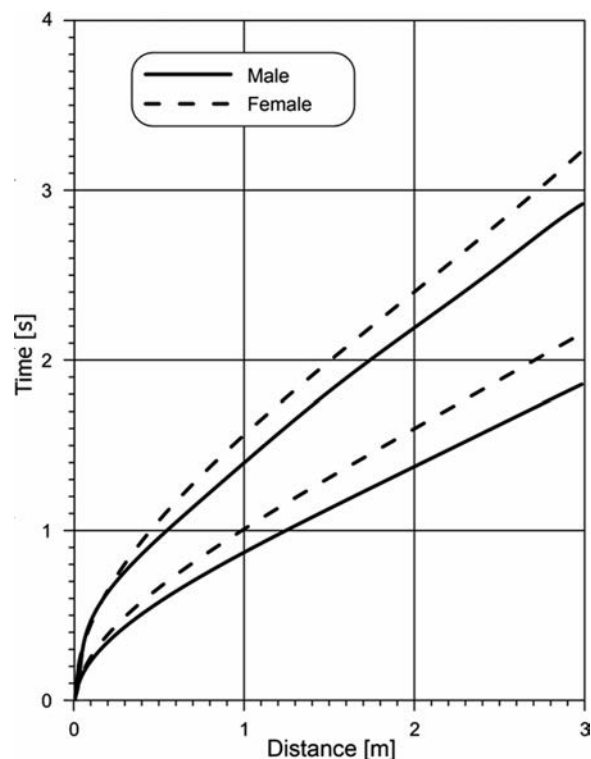


Fig. 11. Pedestrian acceleration to ordinary walking.

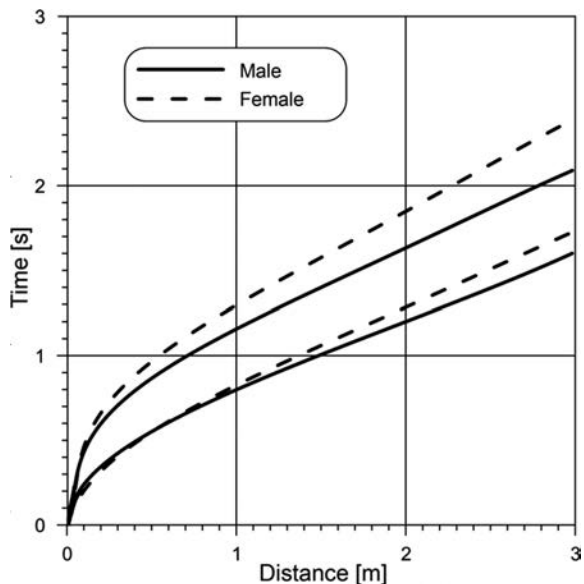


Fig. 12. Pedestrian acceleration to fast walking.

Comparison of the results for females and males led to the conclusion that for each manner of motion males accelerate more rapidly than females. It was also clearly noticeable that the acceleration of the test subjects was related to the intended motion manner after acceleration. Generally it can be stated that pedestrian acceleration ends after s/he covers a distance of about 1 m, the subsequent distance being covered at a constant speed.

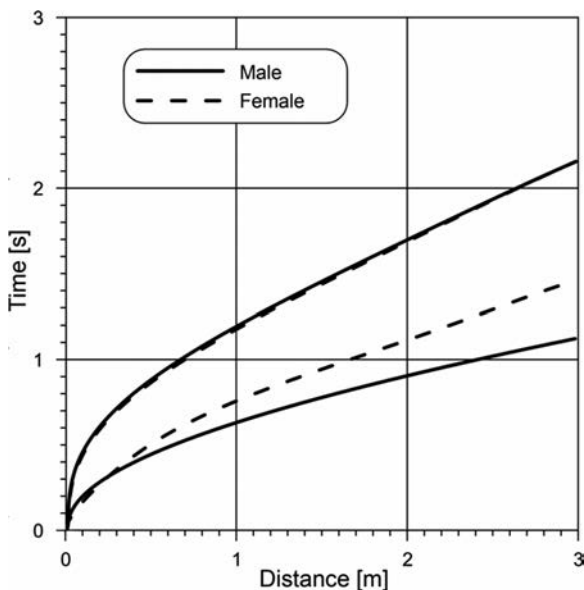


Fig. 13. Pedestrian acceleration to running.

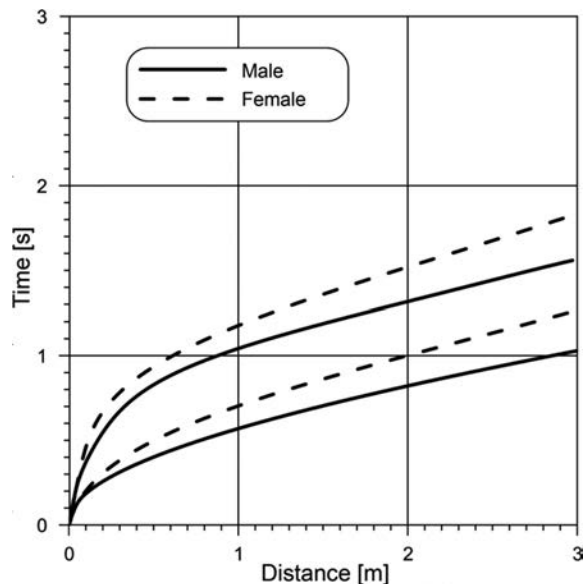


Fig. 14. Pedestrian acceleration to sprinting.

### 5. The use of acceleration tests results by court experts

It is recommended that the results of the tests on pedestrian acceleration be used for motion over distances of up to 3 m. Approximating acceleration results for distances greater than 3 m is not justified. When analysing an event where the pedestrian motion occurs over a longer distance, we recommend calculating the pedestrian motion time as the sum of the time taken to reach the road section that is appropriate for acceleration and the time taken to cover the remaining section at a constant speed.

It is obvious that the starting point for a time-distance analysis of an accident should be the beginning of pedestrian motion. However, from the driver's point of view what is important is the actual moment of the emergency arising, when s/he is able to notice the pedestrian's motion rather than simply the pedestrian motion onset, which the driver would not be able to notice. There is absolutely no doubt that some time must pass between the start of the pedestrian's motion and the moment the driver could notice this motion. During this time gap, the pedestrian will move over some distance. The minimum change of the pedestrian's position that can be noticed by the driver depends on several factors, e.g. the time of day, atmospheric conditions, the colour of the pedestrian's clothes. In practice, we can assume that in favourable visibility conditions, in a situation where the driver must exercise particular caution, the pedestrian's minimum

displacement necessary for the driver to notice his/her motion is about 0.4 m. On the basis of the results of our research, it can be determined that a pedestrian starting from a stationary position can cover this distance in a time of 0.3 s to 1.2 s. If, instead, the pedestrian's motion onset were taken as the moment that the collision hazard arose, then the distance between the vehicle's position at this moment and the place of collision with the pedestrian would be greater than the distance calculated in relation to the actual moment the emergency became apparent. If such an overestimated distance were adopted in the analysis of the possibility of avoiding a collision, then an erroneous conclusion could be drawn that the driver could have avoided the accident, or that the effects might have been less.

## References

1. Burg H., Moser A., Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion, Vieweg + Teubner/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2009.
2. Ciępka P., Reza A., Zębala J., Badania prędkości ruchu pieszych, *Paragraf na Drodze* 2009, numer specjalny, 151–171.
3. Ciępka P., Reza A., Zębala J., Przyspieszenia w ruchu pieszych. Nowe wyniki badań, *Paragraf na Drodze* 2011, numer specjalny, 91–99.
4. Eberhardt W., Himbert G., Bewegungsgeschwindigkeiten Versuchergebnisse nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer, *Der Verkehrsunfall* 1977, 4, 79–84.
5. Fugger T., Randles B., Wobrock J., Pedestrian behavior at signal-controlled crosswalks, SAE Technical Paper 2001-01-0896.
6. Kramer F., Raddatz M., Das Bewegungsverhalten von Fussgängern, *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik* 2010, 12, 382–388.
7. Strouhal J., Kühnl K., Hein H., Messung von Fussgänger-geschwindigkeiten und beschleunigungen, Mühener Forschungsdesellschaft für Unfallanalyse GbR, München 1994.
8. Windisch M., Analysis of the moving speed of 2 to 3 year-old children – video analysis and statistical evaluation, [in:] XVI Annual Meeting of European Association for Accident Research and Accident Analysis. Proceedings, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2007.
9. Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądowego, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2011.
10. Vaughan R., Bain J., Acceleration and speeds of young pedestrians: Phase II, SAE Technical Paper 2000-01-0845.
11. Zębala J., Ciępka P., Reza A. [et al.], Pedestrian motion speed while crossing the road, *Transbaltica 2009*, Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Scientific Conference, April 22–23, 2009, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius 2009.
12. Zębala J., Ciępka P., Reza A. [et al.], Speed of pedestrian movement in road traffic, 5<sup>th</sup> European Academy of Forensic Science, Glasgow, 8–11<sup>th</sup> September 2009, Book of abstracts, Glasgow 2009.

---

### Corresponding author

Dr Jakub Zębala  
Instytut Ekspertyz Sądowych  
ul. Westerplatte 9  
PL 31-033 Kraków  
e-mail: jzebala@ies.krakow.pl

---

## PRZYSPIESZANIE I PRĘDKOŚCI RUCHU PIESZYCH

### 1. Wstęp

Jednym z podstawowych elementów opracowania opinii dotyczącej wypadku polegającego na potrąceniu osoby pieszej jest przeprowadzenie analizy czasowo-przestrzennej. Wyniki tej analizy stanowią podstawę do ustalenia, czy kierujący pojazdem miał możliwość uniknięcia wypadku.

Niezwykle istotnym czynnikiem w analizie czasowo-przestrzennej jest prawidłowe ustalenie czasu przebywania osoby pieszej na jezdni. Przedmiotem badań były dwa warianty poruszania się pieszych: ruch ustalony oraz przyspieszanie ze startu zatrzymanego. Przyspieszanie pieszych ma miejsce na ogół przy rozpoczęciu przechodzenia (lub przebiegania) przez jezdnię po zmianie sygnału świetlnego na przejściu dla pieszych, ewentualnie po przejechaniu pojazdów jadących jezdnią. Przyspieszanie pieszych charakteryzuje się nieliniowym narastaniem prędkości w czasie, dlatego określenie czasu ruchu przyspieszającego pieszego możliwe jest tylko poprzez wykorzystanie wyników badań eksperymentalnych.

### 2. Przedmiot badań

W badaniach uczestniczyło 26 kobiet i 28 mężczyzn w różnym wieku. Rozkład wieku kobiet i mężczyzn biorących udział w badaniach przedstawiono na rycinach 1 i 2.

W badaniach uczestniczyli piesi w wieku powyżej 20 lat. Pominięto udział dzieci i nastolatków, ponieważ w ostatnich latach przedstawiono kilka opracowań w tym zakresie [8, 9, 10]. Dodatkowo ustalono rozkład wskaźnika masy ciała (BMI – ang. body mass index) w zależności od wieku uczestniczących w badaniach osób (rycina 3, 4). Uzyskane wartości wskaźnika masy pozwalają na stwierdzenie, że poza jednym przypadkiem kobiety i jednym mężczyzny w badaniach nie uczestniczyły osoby otyłe. Poza tymi przypadkami wskaźnik ten mieścił się w przedziale dla kobiet 18–27, a dla mężczyzn 18–31. Wszystkie osoby uczestniczące w badaniach były w dobrej kondycji fizycznej.

### 3. Ustalony ruch pieszych

Średnia prędkość pieszych w ruchu ustalonym została określona na podstawie czasu pokonywania przez pieszych określonego odcinka pomiarowego. Do rejestracji poruszania się pieszych służyła kamera cyfrowa. Ustale-

nie czasu pokonywania określonego odcinka drogi realizowane było poprzez analizę zarejestrowanego materiału wideo. Analizując materiał wideo, dla każdej próby obliczano liczbę klatek od chwili wejścia osoby na odcinek pomiarowy do chwili opuszczenia tego odcinka, a następnie obliczano czas pokonania odcinka pomiarowego przez daną osobę i wreszcie średnią prędkość osiągniętą przez badaną osobę. W czasie badań osoby rozpoczęły pokonywanie odcinka pomiarowego o długości 5 m z prędkościami adekwatnymi, według osobistego uznania, do określeń: krok wolny, krok normalny, krok szybki, oraz bieg i pędzenie. Każda z osób 3-krotnie pokonywała odcinek pomiarowy w zadany sposób. Porównanie wyników badań kobiet i mężczyzn doprowadziło do stwierdzenia, że prędkość kobiet uczestniczących w badaniach w kategoriach: wolny, normalny i szybki krok nie różniła się istotnie od prędkości mężczyzn (rycina 5, 6). Istotne różnice można było zauważyć dla biegu i pędzenia, gdyż dla tych kategorii ruchu prędkości kobiet były mniejsze od prędkości mężczyzn. Przebiegi linii trendu wyznaczonych w oparciu o uzyskane wyniki wskazują, że jest zauważalny spadek prędkości w zależności od wieku dla kategorii ruchu kobiet bieg i pędzenie.

Wyniki badań ustalonego ruchu kobiet i mężczyzn zostały również przedstawione w formie tabel w celu umożliwienia bezpośredniego wykorzystania otrzymanych wyników przez biegłych w przypadku opiniowania wypadków z udziałem pieszych (tabela I i II).

W czasie wykonywania badań zauważalne było, że na tempo ruchu pieszych istotny wpływ ma kondycja fizyczna. Wpływ tej kondycji zaobserwowano zwłaszcza dla kategorii bieg i pędzenie, a w szczególności dotyczy to wyższych kategorii wiekowych. Przy przyjmowaniu przedziału prędkości dla ruchu określonej osoby należy w miarę posiadanych informacji uwzględnić jej stan zdrowia, gdyż niektóre schorzenia mogą dawać podstawę do zmniejszenia górnego zakresu prędkości.

### 4. Przyspieszanie pieszych

W czasie badań przyspieszania pieszych każda osoba trzykrotnie przyspieszała z zatrzymania kolejno do kroku wolnego, normalnego, szybkiego oraz do biegu i pędzenia. Odcinek pomiarowy miał długość 3 m i podzielony był co 10 cm. Badania rejestrowano kamerą wideo z częstotliwością 30 klatek na sekundę i z rozdzielczością obrazu 1280 × 780 dpi.

Pierwszym etapem w opracowaniu wyników była analiza obrazu wideo przedstawiającego ruch osoby badanej i odnotowanie odległości, jakie pokonała dana oso-

ba w kolejnych odcinkach czasu (rycina 7). Do analizy obrazu wykorzystano program QuickTime, który pozwalał na poklatkowy przegląd zarejestrowanego materiału. Po uzyskaniu wartości przebytej drogi w funkcji czasu sporządzono wykresy przedstawiające czas, w jakim osiągnięta została droga przebyta przez każdą badaną osobę pieszą (rycina 8).

Wyniki badań uzyskane dla kobiet i mężczyzn wstępnie podzielono na grupy wiekowe co 10 lat. W wyniku poczynionych porównań stwierdzono jednak, że w badanym przedziale 20–60 lat wiek nie odgrywa decydującej roli. Można było zaobserwować zarówno sytuacje spodziewane, czyli spadek intensywności przyspieszania wraz z wiekiem, jak i przypadki, w których osoby młodsze przyspieszały mniej intensywnie od osób starszych (rycina 9). Z tego względu zrezygnowano z podziału na grupy wiekowe i wyniki przedstawione w dalszej części artykułu nie zawierają takiego podziału (ryciny 10–14).

Porównanie wyników badań kobiet i mężczyzn doprowadziło do stwierdzenia, że dla każdego charakteru ruchu mężczyźni przyspieszają bardziej intensywnie niż kobiety. Wyraźnie zauważalne było również, że intensywność przyspieszania osób badanych pozostawała w związku z charakterem ruchu, jaki miał zostać osiągnięty po przyspieszeniu. Generalnie można stwierdzić, że narastanie prędkości pieszego kończy się po przebyciu przez niego odcinka drogi liczącego około 1 m, a na dalszym odcinku drogi pieszy porusza się już ze stałą prędkością.

## 5. Wykorzystanie przez biegłych wyników badań przyspieszania

Wykorzystanie przedstawionych w artykule wyników badań przyspieszania pieszych polecane jest dla ruchu na odcinku do 3 m. Nie jest uzasadnione aproksymowanie wyników przyspieszania dla większych odległości od 3 m. Przy analizowaniu zdarzenia, w którym ruch pieszego odbywał się na dłuższym odcinku, autorzy polecają obliczanie czasu ruchu pieszego jako sumy czasu osiągnięcia odcinka drogi odpowiedniego dla przyspieszania i czasu przebycia pozostałego odcinka przebytego ze stałą prędkością.

Jest oczywiste, że punktem wyjścia prowadzonej analizy czasowo-przestrzennej przebiegu wypadku powinno być rozpoczęcie ruchu pieszego. Natomiast z punktu widzenia kierującego pojazdem nie ma znaczenia chwila ruszenia pieszego, której nie miał on możliwości rozpoznania, lecz faktyczna chwila zaistnienia sytuacji zagrożenia, w której mógł on rozpoznać ruch pieszego. Nie ulega żadnej wątpliwości, że od chwili, gdy pieszy rozpoczął ruch do chwili, kiedy kierowca mógł rozpoznać ten ruch, musi upłynąć czas, podczas którego pieszy przemieści się na pewnym odcinku. Minimalne prze-

mieszczenie pieszego, które może być rozpoznane przez kierującego, jest oczywiście uzależnione od wielu czynników (m.in. pora doby, warunki atmosferyczne, kolor ubioru pieszego) i każdy przypadek należy traktować indywidualnie. Przykładowo można podać, że w korzystnych warunkach widoczności w sytuacji, gdy kierujący jest zobowiązany do zachowania szczególnej ostrożności, minimalne przemieszczenie pieszego konieczne do rozpoznania jego ruchu przez kierującego wynosi około 0,4 m. Na podstawie wykonanych badań można ustalić, że pieszy ruszający z miejsca może przebyć ten odcinek w czasie od 0,3 s do 1,2 s. Gdyby przyjęć jako moment zaistnienia sytuacji kolizyjnej rozpoczęcie ruchu pieszego, wówczas odległość, w jakiej znajdowałby się pojazd w tejże chwili od miejsca potrącenia pieszego będzie odpowiednio większa w stosunku do faktycznej chwili powstania stanu zagrożenia. Przyjęcie tej zawyżonej odległości w analizie możliwości uniknięcia wypadku może prowadzić do błędnego wniosku wskazującego na możliwość uniknięcia wypadku przez kierującego lub ewentualnego zmniejszenia jego skutków.