

METODY SZACOWANIA PRĘDKOŚCI KOLIZYJNEJ POJAZDU W ZDERZENIU Z PIESZYM CZĘŚĆ II

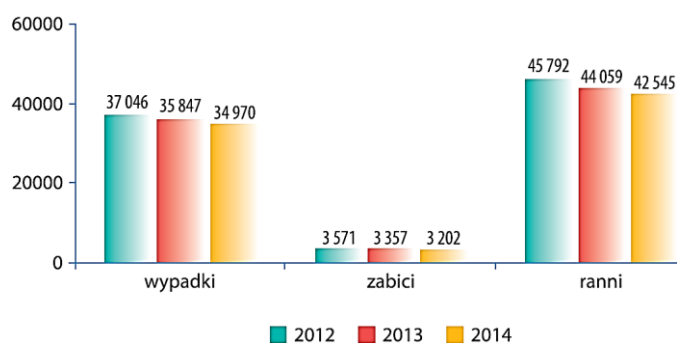
Streszczenie

Przeprowadzone obliczenia według procedury rozwinięcia pieszego wykazały w tym konkretnym przypadku dużą zbieżność z oszacowaną prędkością zderzenia metodą porównawczą przy pomocy EES Catalog. Zaprezentowana procedura obliczeń umożliwia oszacowanie prędkości kolizyjnej nawet przy braku śladów blokowania kół pojazdu podczas hamowania, co ma coraz większe znaczenie w związku z powszechnym stosowaniem ABS w pojazdach. Wyliczona prędkość umożliwia dalsze analizy biomechaniczne w zakresie wpływu energii kinetycznej podczas zderzenia na skutki powypadkowe.

W artykule zaprezentowano rezultaty obliczeń prędkości zderzenia z pieszym oraz wizualizację zderzenia wpisujące się w elementy do wykorzystania na rzecz poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego i kształtowania świadomości samych pieszych, jako uczestników ruchu drogowego.

Wzrost mobilności ludzi oraz intensywności transportu stwarza niestety zagrożenia. Do najważniejszych z tych zagrożeń zalicza się wypadki drogowe. Te w swoich skutkach pociągają za sobą zarówno straty materialne jak i osobowe. Aktualnie samochody stały się niezbędnym narzędziem w życiu codziennym i zawodowym. Badania wskazują, że rozwojowi motoryzacji towarzyszą również problemy społeczno-ekonomiczne. Według danych Komendy Głównej Policji w roku 2014 r zgłoszono 34 970 wypadków drogowych. To w porównaniu z rokiem 2013, w którym odnotowano 35 847 wypadków wskazuje, że liczba ta spada. Porównując dane w wartościach bezwzględnych rok do roku daje to spadek o 877 wypadków (-2,5%). W roku 2014 odnotowano jednak 3202 ofiar śmiertelnych. W porównaniu z rokiem 2013, w którym poniosło śmierć 3 357 osób odnotowano więc spadek o 155 osób (-4,6%). W liczbie rannych zanotowano również spadek. W roku 2013 rannych zostało 42 545 osób, więc liczba ta zmniejszyła się o 1 514 osoby (-3,4%) [12].

Na rys. 1 zaprezentowano omówione wyżej dane za lata 2011-2014 w postaci wykresu.



Rys. 1. Wypadki drogowe w Polsce i ich skutki w latach 2011-2014.
Źródło: <http://www.statystyka.policja.pl> (dostęp: 23.08.2015).

Dane Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego (KRBRD) wskazują, że ryzyko śmierci w wypadku drogowym na terenie RP od 2004 roku systematycznie zmniejsza się. W Polsce wskaźnik poziomu zagrożenia mierzony liczbą zabitych w wypadkach na 100 tys. mieszkańców osiągnął w 2014 roku wartość 8,3 podczas gdy średnia w Unii Europejskiej (UE) wynosi 5,1 [11].

Mimo więc niewątpliwych pozytywnych zmian w RP zachodzi jednak nadal konieczność poszukiwania nowych rozwiązań i podejmowania działań w celu poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Jednymi z najważniejszych działań wydają się te, ukierunkowane na budowanie świadomości użytkowników pojazdów i wpływu ich działań oraz zaniechań na to bezpieczeństwo.

Na rys. 2 zaprezentowano w formie wykresu zasygnalizowany wyżej wskaźnik demograficzny: liczba zabitych/100 tys. mieszkańców w krajach UE w roku 2005 i 2014.

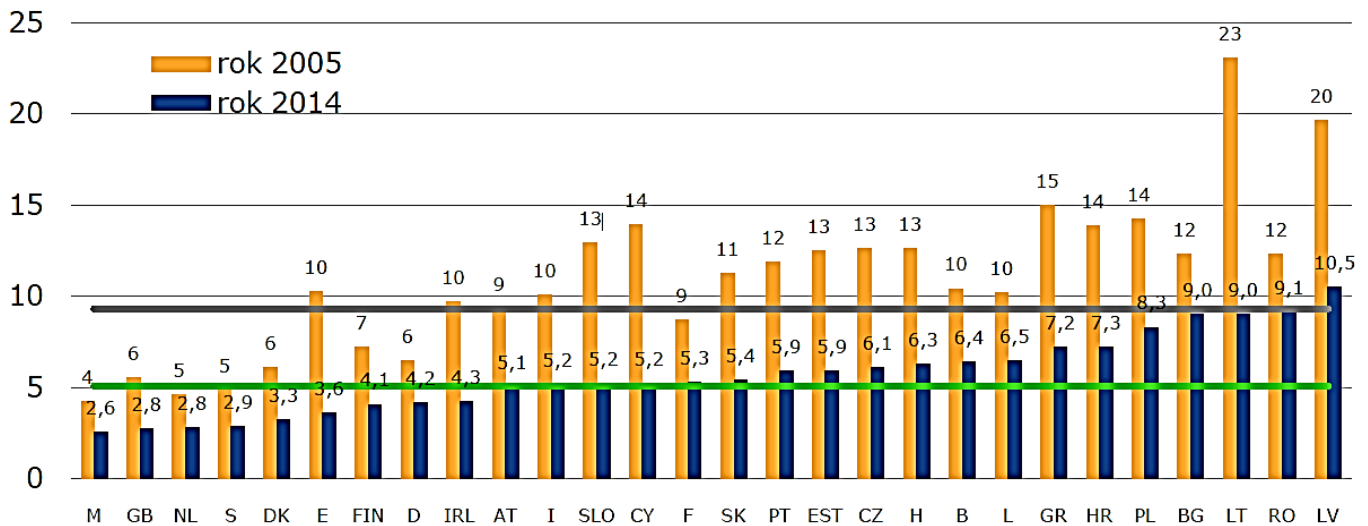
Wypadki z udziałem pieszych stanowią 26% i nie ma tu niestety zmiany w porównaniu do roku 2013, a spowodowanych nadmierną prędkością 22% [11]. Skutki wypadku zależą od prędkości kolizyjnej pojazdu. Wśród uczestników ruchu drogowego metody szacowania prędkości pojazdów podczas zderzenia z pieszym są mało znane. Szacowanie tej prędkości odbywa się na podstawie opracowanych procedur obliczeniowych, jak również z wykorzystaniem możliwości symulacji zderzenia obiektów i analizy wartości energii kinetycznej przy zastosowaniu specjalizowanych narzędzi informatycznych [1, 2, 3].

Programy symulacyjne mają tę zaletę, że oprócz możliwości wizualizacji przebiegu zdarzenia oferują również obliczenie zmian energii kinetycznej zderzenia w zależności od wartości prędkości. Wyniki obliczeń prędkości zderzenia z pieszym i wizualizacje zderzenia z pieszym to elementy do wykorzystania w kampaniach informacyjnych oraz edukacji dzieci i młodzieży.

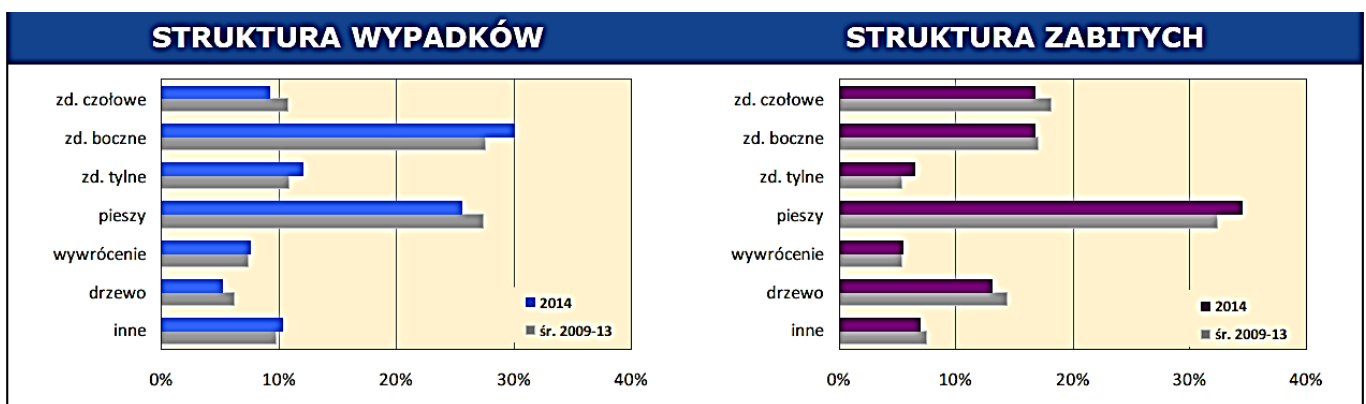
1. WYPADKI Z PIESZYM – WYBRANE DANE

Na rys. 3 zaprezentowano na tle struktury wypadków dane w zakresie ich skutków – ofiar śmiertelnych. Mimo wskazanego wyżej udziału wypadków z pieszymi stanowiącym około 1/4 zdarzeń generują one największą ilość zabitych [11].

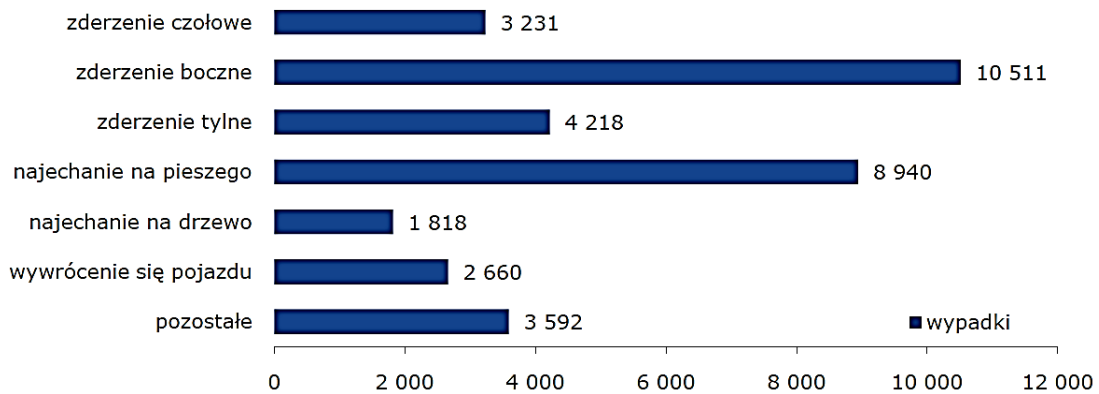
W roku 2014 zaistniało 8 940 wypadków z pieszymi, w których śmierć poniosło 1 104 osób [11]. Wypadki z udziałem pieszych uplasowały się w podziale ilościowym, co prawda na drugim miejscu, ale jeżeli chodzi o ich skutki, to należą one do najpoważniejszych. Dane te w postaci wykresów zaprezentowano na rys. 4 i rys. 5.



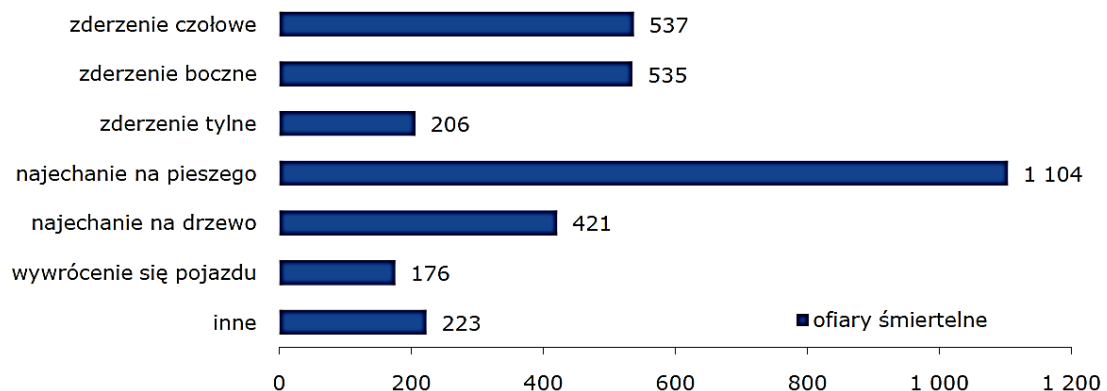
Rys. 2. Liczba zabitych/100 tys. mieszkańców w krajach UE w roku 2005 i 2014. Źródło: <http://www.krbrd.gov.pl> (dostęp:23.08.2015).



Rys. 3. Struktura wypadków i ofiar śmiertelnych w roku 2014. Źródło: <http://www.krbrd.gov.pl> (dostęp:23.08.2015).

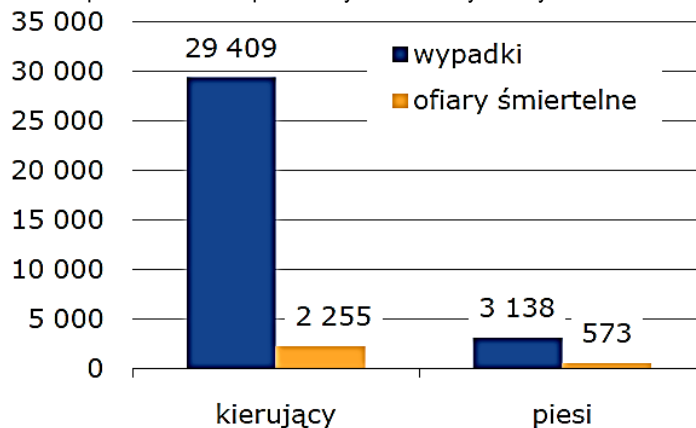


Rys. 4. Wypadki z udziałem pieszych w roku 2014. Źródło: <http://www.krbrd.gov.pl> (dostęp:23.08.2015).



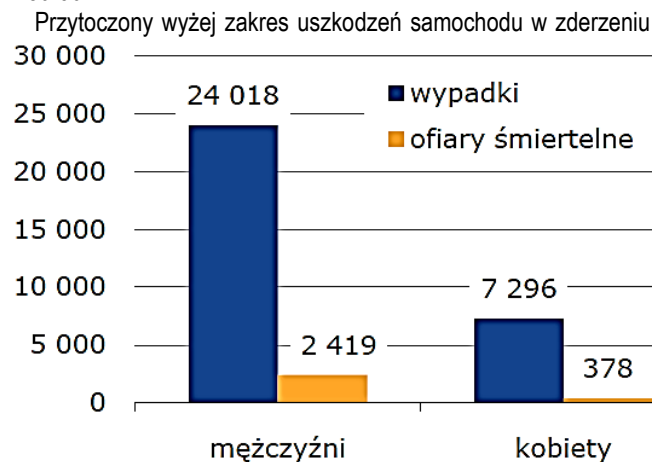
Rys. 5. Ofiary śmiertelne wypadków drogowych w 2014r. Źródło: <http://www.krbrd.gov.pl> (dostęp:23.08.2015).

Nie bez znaczenia na bezpieczeństwo ruchu drogowego miało zachowanie samych pieszych. Według danych piesi doprowadzili do zaistnienia 3 138 wypadków, w których śmierć poniosło 573 osoby [11]. Zauważyć przy tym należy, że w przeważającej liczbie sprawcami wypadków byli mężczyźni. Na rys. 6 zaprezentowano omówione dane w postaci wykresu. Główną przyczyną zaistniałych wypadków było wkroczenie pieszego bezpośrednio przed jadącym pojazdem – 1 724 wypadki, wyjście na jezdnię z za pojazdu lub w miejscu niedozwolonym odpowiednio 358 i 349 wypadków [11]. Omówione dane zaprezentowano w postaci wykresów na rys. 6 i rys. 7.

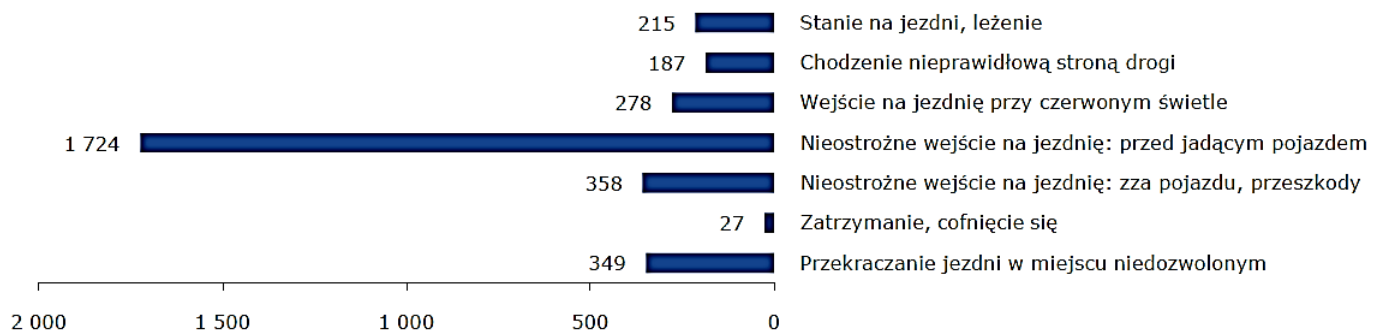


Rys. 6. Sprawcy wypadków drogowych w 2014r. Źródło: <http://www.krbrd.gov.pl> (dostęp:23.08.2015).

- dla prędkości kolizyjnej 30-40 km·h⁻¹ uderzenie głowy pieszego następuje w pokrywę komory silnikowej i nie dochodzi do uszkodzenia szyby przedniej;
- rozbicie szyby czołowej następuje zwykle powyżej prędkości 50 km·h⁻¹;
- uderzenie pieszego w krawędź dachu następuje przy prędkości większej od 60 km·h⁻¹;
- uszkodzenie dachu występują przy prędkości kolizyjnej powyżej 80-90 km·h⁻¹.



Przytoczony wyżej zakres uszkodzeń samochodu w zderzeniu



Rys. 7. Przyczyny wypadków z udziałem pieszych. Źródło: <http://www.krbrd.gov.pl> (dostęp:23.08.2015).

2. WYBRANE METODY SZACOWANIA PRĘDKOŚCI KOLIZYJNEJ POJAZDU W ZDERZENIU Z PIESZYM

Rekonstrukcja wypadku drogowego jest skomplikowanym procesem rozwiązywania problemu z wykorzystaniem wiedzy o mechanice ruchu pojazdów oraz dotyczącej biomechaniki zderzenia pojazdu z pieszym. Skutki zderzenia zależą od prędkości kolizyjnej pojazdu, ponieważ zderzenie związane jest z energią kinetyczną obiektów w chwili kontaktu. Dlatego istotnego znaczenia nabiera ustalenie prędkości zderzenia pojazdu [1, 2, 6, 7]. W tej części referatu przedstawiono kolejne wybrane metody ustalania prędkości kolizyjnej samochodu w zderzeniu z pieszym.

Metoda porównawcza

W celu ustalenia prędkości zderzenia samochodu wykorzystuje się również bazy danych i katalogi, w których prezentowane są uszkodzenia pojazdów z rzeczywistych wypadków drogowych na zasadzie porównania zaistniałych uszkodzeń samochodu będącego przedmiotem analizy.

Dla przypadków potrącenia osób samochodem osobowym klasy średniej stwierdzono ogólne prawidłowości w zakresie skutków zderzenia w zależności od prędkości kolizyjnej [2, 7]:

z pieszym prezentuje zależności orientacyjne. W celu precyzyjniejszego oszacowania prędkości zderzenia na podstawie uszkodzeń pojazdu można posilkować się katalogami i bazami danych, w których zamieszczono zdjęcia uszkodzonych pojazdów uczestniczących w wypadkach z pieszymi.

Jedną ze stosowanych w rekonstrukcji wypadków baz danych jest na przykład EES Catalog. Na zdjęciach pojazdów podawana jest, co prawda wartość ekwiwalentnej prędkości zderzenia (nazywana w skrócie EES). Niemniej wartość tę należałoby traktować raczej, jako prędkość danego samochodu w chwili zderzenia z pieszym [13].

Na rys. 8 przedstawiono przykładowe zdjęcia z EES Catalog uszkodzeń pojazdów dla prędkości zderzenia z pieszym – Peugeot 50 km·h⁻¹ i Fiat 50 km·h⁻¹ [5].

Zauważyć przy tym należy, że przeprowadzenie porównania zakresu uszkodzeń pojazdu uczestniczącego w wypadku z pojazdami prezentowanymi w bazach danych nie powinno stanowić samodzielnej podstawy do ustalenia prędkości zderzenia z pieszym. Mieć na uwadze bowiem należy, że następuje często porównanie do pojazdów zbliżonych konstrukcyjnie i brak jest przy tym danych co do samego pieszego jak i do parametrów jego ruchu. Jest to więc cenna wskazówka do dalszych analiz i szacowania prędkości kolizyjnej pojazdu biorącego udział w rekonstruowanym wypadku kolejnymi metodami.



Rys. 8. Przykładowe pojazdy po zderzeniu z pieszym z EES Catalog. Źródło: EES Catalog. <http://ees.vcrash3.com> (dostęp 23.08.2015).

Zauważyć przy tym należy, że przeprowadzenie porównania zakresu uszkodzeń pojazdu uczestniczącego w wypadku z pojazdami prezentowanymi w bazach danych nie powinno stanowić samodzielnej podstawy do ustalenia prędkości zderzenia z pieszym. Mieć na uwadze bowiem należy, że następuje często porównanie do pojazdów zbliżonych konstrukcyjnie i brak jest przy tym danych co do samego pieszego jak i do parametrów jego ruchu. Jest to więc cenna wskazówka do dalszych analiz i szacowania prędkości kolizyjnej pojazdu biorącego udział w rekonstruowanym wypadku kolejnymi metodami.

Ustalenie prędkości kolizyjnej na podstawie rozwinięcia pieszego

Obecnie samochody wyposażane są w systemy antypoślizgowe kół podczas hamowania - ABS. Przez to na miejscu wypadku jest coraz mniej śladów umożliwiających wyliczenie prędkości. Jedną z wykorzystywanych metod w rekonstrukcji wypadków drogowych jest zależność rozwinięcia pieszego od prędkości kolizyjnej pojazdu. W badaniach z zastosowaniem tej metody wykorzystano zarówno dane ze zderzeń z manekinami jak również z rzeczywistych wypadków drogowych [6].

Przyrost rozwinięcia pieszego zdefiniowano jako różnicę rzeczywistego rozwinięcia i odległości środka głowy pieszego od podłoża opisanej w postaci niżej wskazanych wzorów [7]:

$$\Delta l_k = l'_{pd} - l_p \quad (1)$$

$$l'_{pd} = l_{pd} - \Delta h_s \quad (2)$$

$$l_p = h_p - \Delta h_p - r_p \quad (3)$$

gdzie:

l'_{pd} – rzeczywiste rozwinięcie pieszego;

l_{pd} – rozwinięcie mierzone na samochodzie;

l_p – odległość od podłoża do środka masy głowy pieszego;

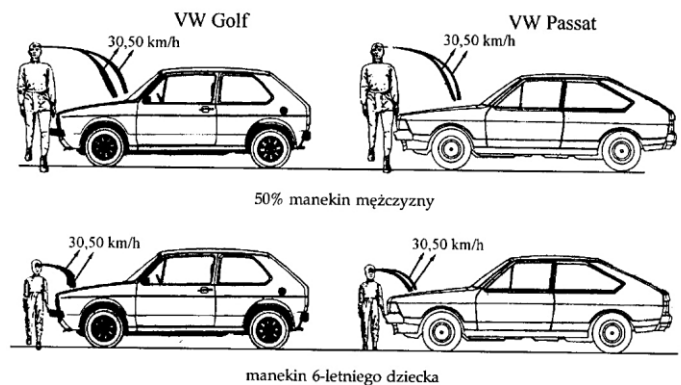
Δh_s – obniżenie przodu pojazdu wywołane odkształceniem elementów zawieszenia 4-9 cm;

h_p – wzrost pieszego;

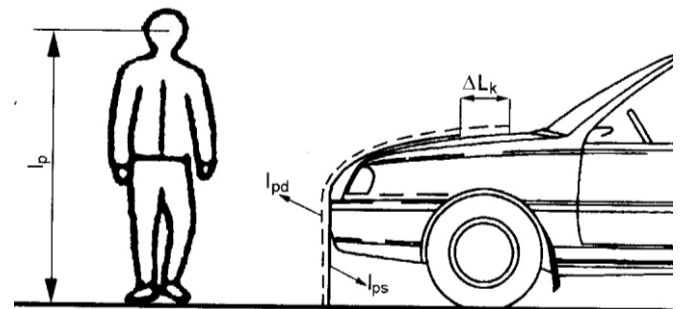
Δh_p – zmiana wysokości w zależności od ruchu pieszego, 3-4cm dla normalnego kroku, 5 cm dla kroku szybkiego i 10cm dla biegu pieszego;

r_p – promień głowy pieszego, statystycznie 0,1 m.

Na rys. 9 przedstawiono wyniki doświadczeń z wykorzystaniem manekinów [6], a na rys. 10 zaprezentowano schemat przyrostu rozwinięcia pieszego [7].



Rys. 9. Wyniki doświadczeń z wykorzystaniem manekinów. Źródło: Praca zbiorowa, Problematyka prawna i techniczna wypadków drogowych. Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2006. s 191.



Rys. 10. Schemat przyrostu rozwinięcia pieszego.

Źródło: Praca zbiorowa, Wypadki drogowe, Vademecum biegłego sądowego. Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków 2010. s 698.

Przeprowadzone badania wykazały ogólne prawidłowości wskazujące, że rozwinięcie pieszego zależy od [2, 3, 7]:

- kształtu przedniej części nadwozia samochodu;
- rodzaju ruchu pieszego i jego pozycji w chwili zderzenia;
- stanu ruchu samochodu w chwili zderzenia;
- przyrost rozwinięcia pieszego występuje dla nadwozia pontonowego i trapezowego.

Funkcje opisujące zależność minimalnej prędkości zderzenia samochodu od przyrostu rozwinięcia pieszego mają postać [7]:

$$\Delta l_k = 1,8251 \cdot v_k - 27,0 \quad (4)$$

- dla nadwozia typu trapezowego
- dla nadwozia typu pontonowego

$$\Delta l_k = 1,908 \cdot v_k - 42,75 \quad (5)$$

Alternatywnie dla prędkości minimalnej zderzenia można wyznaczyć funkcje regresji wynikające z rzeczywistych wypadków drogowych w postaci wzorów [7]:

– dla nadwozia typu trapezowego i osób dorosłych

$$\Delta l_k = -0,03634 \cdot v_k^2 + 5,497 \cdot v_k - 124 \quad (6)$$

– dla nadwozia typu pontonowego i osób dorosłych

$$\Delta l_k = 0,005864 \cdot v_k^2 + 0,1155 \cdot v_k - 24,58 \quad (7)$$

– dla nadwozia typu pontonowego i manekina osób dorosłych

$$\Delta l_k = -0,014868 \cdot v_k^2 + 2,54 \cdot v_k - 49,75 \quad (8)$$

gdzie dla powyższych równań:

v_k – prędkość kolizyjna w $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$;

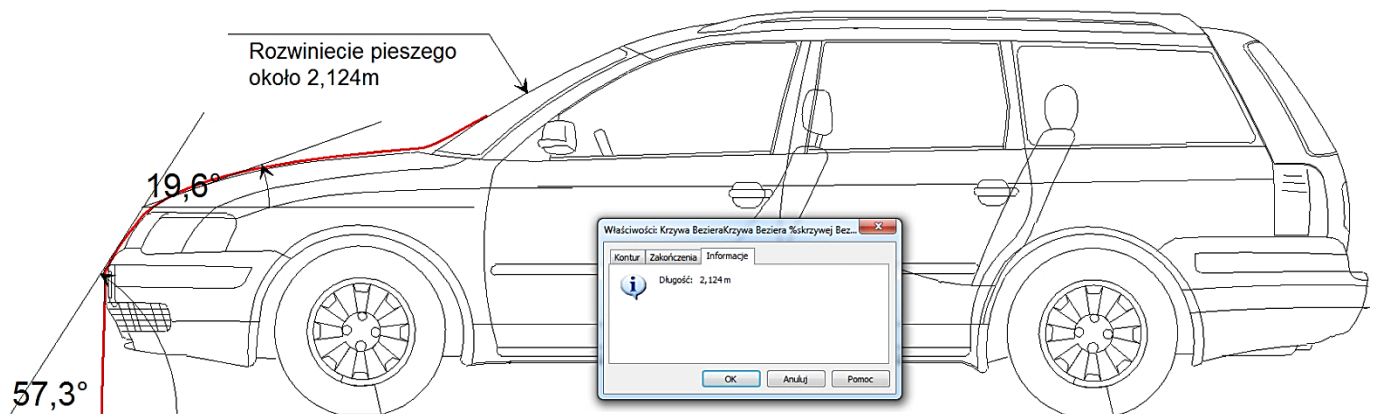
Δl_k – przyrost rozwinięcia w metrach.

3. STUDIUM PRZYPADKU – BADANIA WŁASNE

W artykule zaprezentowano oszacowanie prędkości zderzenia samochodu osobowego z zastosowaniem opisanej wyżej metody rozwinięcia pieszego. W obliczeniach wykorzystano program SLIBAR+ [10] oraz bazę danych sylwetek pojazdów Ratschbacher AutoView [8].

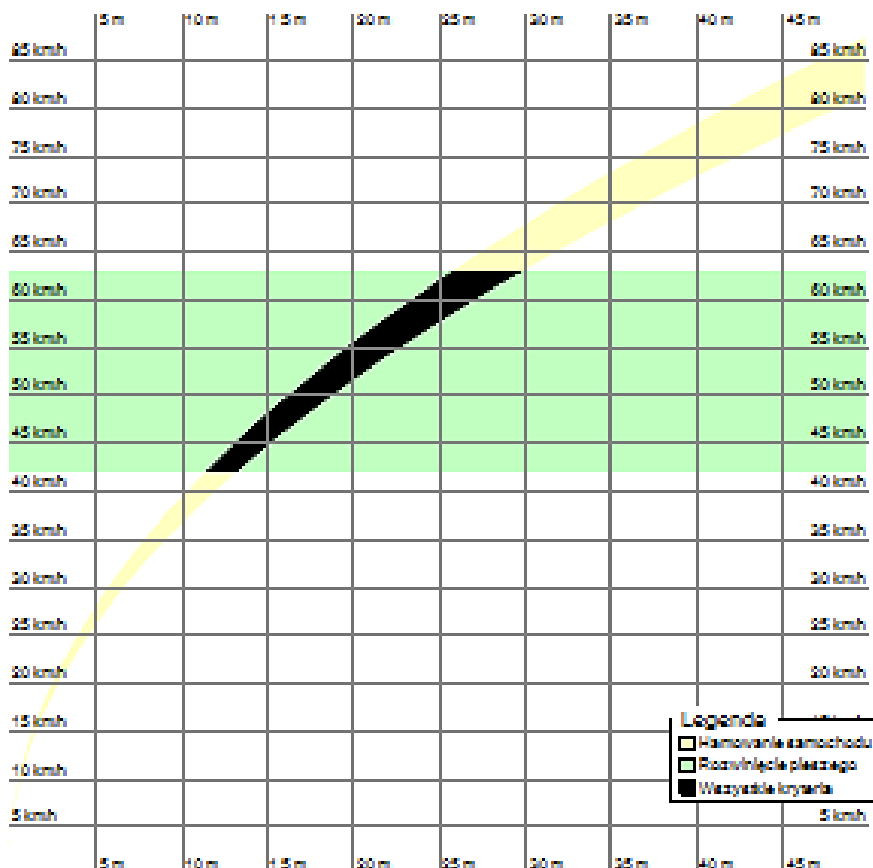
W badaniach przyjęto następujący obiekt i warunki ruchu:

- samochód VW Passat B5 kombi, masa własna 1485 kg, masa kierującego i pasażera po 60 kg;
- nadwozie trapezowe, długość 4,703 m, szerokość 1,740 m, wysokość 1,460 m;
- wyjściowa skuteczność hamulca zasadniczego 15,1 kN, współczynnik sił stycznych według regulaminu 13ECE o wartości 0,8 i korektor sił hamowania z regulacją lamana;
- sprawność hamulców 100%, układ hamulcowy z ABS, opony



Rys. 11. Oszacowane rozwinięcie pieszego. Źródło: [opracowanie własne].

Na rys. 12 zaprezentowano rezultaty obliczeń w formie graficznej, a dalej raport wygenerowany z użytego programu SLIBAR+.



Rys. 12. Obliczony przedział prędkości zderzenia samochodu VW z pieszą metodą rozwinięcia. Źródło: [opracowanie własne].

- 195/65 R15;
- silnik z zapłonem samoczynnym o mocy 96 kW i momencie obrotowym 310 Nm; skrzynka przekładniowa 5 biegowa, manualna, napędzana oś przednia;
- piesza w wieku 65 lat, o wzroście 1,55 m idąca normalnym krokiem, pozycja wyprostowana;
- jezdnia asfaltowa mokra, współczynnik przyczepności kół do jezdni - przylgowej 0,6 i poślizgowej 0,5;
- rozwinięcie pieszej oszacowane na około 2,12 m.

Na rys. 11 zaprezentowano oszacowane rozwinięcie pieszej z wykorzystaniem sylwetki wektorowej samochodu biorącego udział w wypadku oraz jego uszkodzeń w przedniej części nadwozia.

Potrącenie pieszego przez samochód - Protokół z analizy

przeprowadzonej w programie Cyborg Idea SLIBAR+ wersja 2.0.9

Licencja numer SLB20-118-F73018C8 dla

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy Bydgoszcz

1. Parametry pojazdu

Rodzaj nadwozia: Trapezowe

2. Parametry pieszego

Wiek: Dorosły

Wzrost: 1,55 m

3. Droga hamowania pojazdu

Średnie opóźnienie: $5,1 \div 5,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

4. Rozwinięcie pieszego

Długość rozwinięcia pieszego: 2,12 m

Zachowanie pieszego: Normalny krok

Pochylenie pieszego: 35 mm

Ugięcie przodu pojazdu: 60 mm

Prezentacja rezultatu: Funkcja regresji ($V \pm 20\%$)

5. Parametry poszukiwań

Zakres poszukiwanej drogi: $0 \div 50 \text{ m}$

Zakres poszukiwanej prędkości: $0 \div 90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

6. Rozwiązanie

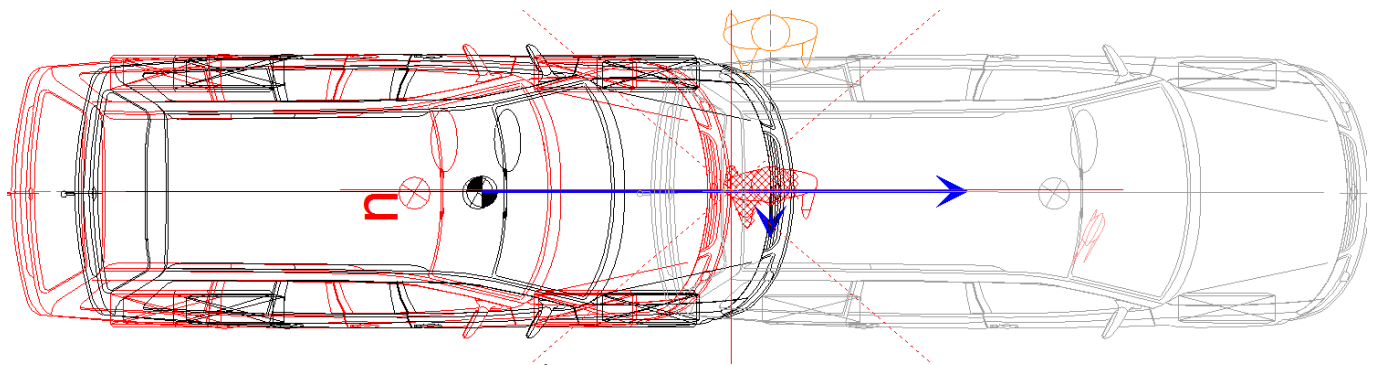
Znaleziono rozwiązania w następującym zakresie wartości:

Zakres drogi: $11,6 \div 30,0 \text{ m}$

Zakres prędkości: $42,1 \div 63,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

Środek obszaru: $20,7 \text{ m} / 53,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Na rys. 13 przedstawiono zderzenie z pieszą przy prędkości pojazdu $54 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.



Rys. 13. Zderzenie z pieszą przy prędkości $54 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Źródło: [opracowanie własne].

WNIOSKI

- zastosowanie procedur obliczenia prędkości kolizyjnej metodą rozwinięcia pieszego pozwala na przeprowadzenie analizy przy

braku śladów blokowania kół pojazdu, co ma niebagatelne znaczenie wobec coraz to powszechniejszego stosowania w pojazdach systemu ABS;

- porównanie uszkodzeń VW biorącego udział w wypadku wskazuje, że są one zbliżone do zaprezentowanego pojazdu na rys. 8 – $58 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, co potwierdza, że katalogi EES stanowią cenne wskazówki w analizie i są pomocne w rozumieniu stosowania, jako kolejnej metody w weryfikacji prędkości zderzenia;
- obliczenia wykazały, że program SLIBAR+ może być z powodzeniem wykorzystywany jako wspomagający w analizach biomechanicznych - przy wyliczonej średniej prędkości zderzenia pojazdu $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ obliczono w programie V-SIM3 [9] energię kinetyczną VW w chwili zderzenia z pieszą, która wynosiła 180,5 kJ;
- możliwości programów symulacyjnych i wspomagających pozwalają na wykorzystanie wizualizacji również w kampaniach informacyjnych oraz edukacyjnych [4].

BIBLIOGRAFIA

1. Aleksandrowicz P., Analiza oddziaływania opóźnień bezwładności na użytkowników pojazdu w czasie zderzenia, Logistyka 6/2014, Poznań 2014. s 12532-12541.
2. Aleksandrowicz P., Biomechanika w analizie wypadków drogowych. Wydawnictwa Uczelniane UTP, Bydgoszcz 2014. s 7, 60-62, 66-67.
3. Aleksandrowicz P., Metody szacowania prędkości kolizyjnej pojazdu w zderzeniu z pieszym część I, Logistyka 6/2014, Poznań 2014. s 12542-12552.
4. Aleksandrowicz P., Propozycja rozwiązań dla poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego na przykładzie zastosowania programu V-SIM, Logistyka 3/2015, Poznań 2015. s 25-31.
5. EES Catalog. <http://ees.vcrash3.com> (dostęp 23.08.2015).
6. Praca zbiorowa, 2006. Problematyka prawna i techniczna wypadków drogowych. IES Kraków. s 191.
7. Praca zbiorowa, Wypadki Drogowe, Vademecum biegłego Sądowego. 2010. Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków. s 697-700.
8. Program AutoView. <http://www.cyborgidea.com.pl> (dostęp 23.08.2015).
9. Program V-SIM3. <http://www.cyborgidea.com.pl> (dostęp 23.08.2015).
10. Program SLIBAR+. <http://www.cyborgidea.com.pl> (dostęp 23.08.2015).
11. Stan bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz działania realizo-

wane w tym zakresie w roku 2014, <http://www.krbrd.gov.pl> (dostęp: 23.08.2015).

12. Statystyki Komendy Głównej Policji, <http://www.statystyka.policja.pl> (dostęp 23.08.2015).

13. Świder P., 2009. Stosowanie parametru EES, a błędy popełniane w opiniach, Zbiór Referatów Instytutu Ekspertyz Sądowych, Kraków. 11/2009 s. 67-72.

METHODS OF ESTIMATING THE CONFLICTING SPEED OF THE VEHICLE IN THE COLLISION WITH THE PEDESTRIAN PART II

Abstract

Conducted calculations according to the procedure of developing the pedestrian showed the big coincidence with the estimated speed of the collision in this particular case with base on base method with the help of EES Catalog. The expressed procedure of calculations enables to estimate the conflicting speed even at the lack of signs of the blocking of wheels of vehicle during the inhibition what the more and more great significance has in the connection with universal applying ABS in vehicles. The calculated speed enables further biomechanical analyses in the influence of the kinetic energy while confronting to post-accident effects. In the article results of calculations writing down speeds of inducing collision with the pedestrian and the visualisation of the collision were presented oneself into elements for exploiting the movement for the improvement in the safety road and formings of the awareness of very pedestrians, as road users.

Autor:

dr inż. Piotr. Aleksandrowicz - adiunkt, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Zakład Transportu i Eksploatacji.