

**Dariusz Bułka**

## Wspomaganie rekonstrukcji zdarzeń z udziałem pieszych z wykorzystaniem modelu wielobryłowego i dodatkowych narzędzi V-SIM 5.0 oraz innych rozwiązań CYBID

### Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawione zostały różne możliwości w zakresie dokumentacji i analizy zdarzeń drogowych z udziałem pieszych, dostępne w rozwiązaniach opracowanych na przestrzeni lat przez firmę CYBID, z charakterystyką ich ograniczeń i możliwości. Omówione zostały między innymi:

- analiza czasoprzestrzenna zdarzenia z udziałem pieszego,
- dokumentacja miejsca zdarzenia drogowego,
- modelowanie potrącenia pieszego jako obiektu kinematycznego,
- zastosowanie metody Slibara w analizie potrąceń pieszych,
- pomiary 3D śladów zdarzenia drogowego z udziałem pieszych,
- modelowanie 3D w analizie najechania na ciało człowieka,
- wizualizacja anatomicznego kształtu i położenia ciała człowieka,
- wizualizacja naturalnego ruchu ciała człowieka,
- model wielobryłowy ciała człowieka w programie symulacyjnym V-SIM,
- możliwość eksperymentalnego sprawdzenia zachowania ciała ludzkiego w trakcie różnego rodzaju wypadków drogowych.

Ponadto przedstawiono kierunki przyszłego rozwoju modelu wielobryłowego ciała człowieka zastosowanego w programie V-SIM 5.0, a także nowe funkcjonalności, które będzie posiadał oraz nowe możliwości zastosowania.

### Słowa kluczowe

Rekonstrukcja zdarzeń, wypadki z udziałem pieszych, model wielobryłowy, rozwiązania CYBID, V-SIM 5.0.

*Otrzymano 30 września 2022 r., zatwierdzono do druku 28 listopada 2022 r.*

*DOI: 10.4467/15053520PnD.22.008.16957*

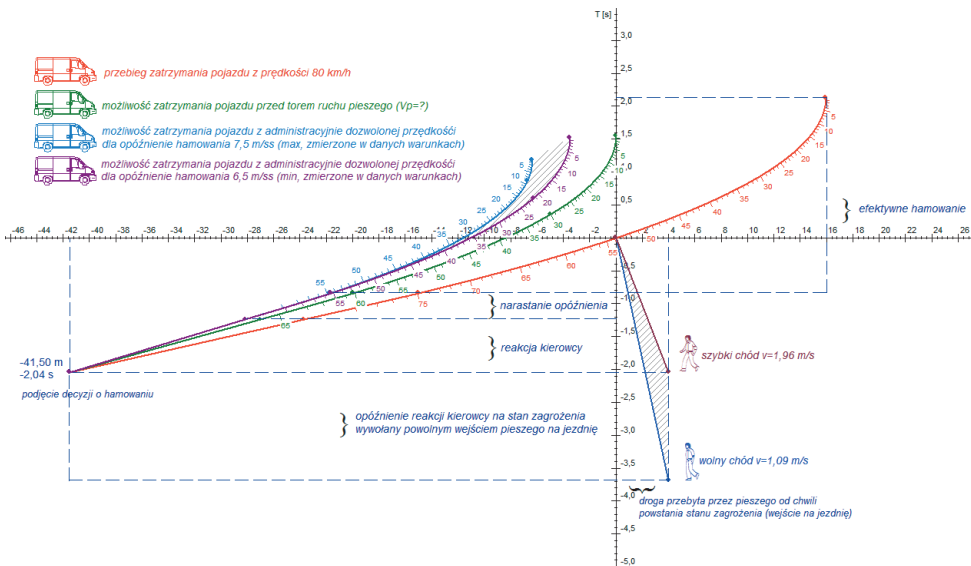
## 1. Wstęp

W wielu zdarzeniach drogowych istotną rolę odgrywają piesi. Jako niechronieni uczestnicy ruchu drogowego w przypadku zetknięcia się z poruszającym się pojazdem samochodowym narażeni są oni na poważne konsekwencje, w tym doznanie obrażeń skutkujących śmiercią. Dlatego też rekonstrukcja zdarzeń drogowych z ich udziałem jest szczególnie ważna.

Mając powyższe na uwadze firma CYBID od samego początku swojej działalności dostarczała rozwiązania dedykowane dokumentacji i analizie właśnie zdarzeń z udziałem pieszych. O ile najnowszym, najbardziej złożonym i zaawansowanym rozwiązaniem z tej kategorii jest wielobryłowy model ciała pieszego w programie V-SIM, to należy podkreślić, że stanowi on jedynie uzupełnienie opracowanych i wdrożonych wcześniej rozwiązań.

## 2. Analiza czasowo-przestrzenna zdarzenia z udziałem pieszego

W 1999 roku opracowany został program TITAN, przeznaczony do wykonywania analizy czasowo-przestrzennej poruszających się obiektów. Analiza ta polega na zestawieniu w jednym układzie, którego jedną osią jest odległość, a drugą czas, wykresów przebiegu ruchu obiektów, które ze sobą kolidowały lub mogły kolidować. Typowym przykładem zastosowania tego programu jest analiza ruchu pieszego przekraczającego jezdnię i pojazdu, który go potrącił (ryc. 1).



Ryc. 1. Wyniki działania programu TITAN – wykresy czasowo-przestrzenne.

Program uwzględnia sekwencje ruchu dla każdego z analizowanych obiektów. Użytkownik wprowadza znane parametry ruchu w każdym z odcinków/sekwencji,

a program automatycznie wylicza brakujące parametry dla ruchu jednostajnego, jednostajnie opóźnionego lub przyspieszonego (ryc. 2). Ruch niejednostajny może być opóźniony lub przyspieszony, ale o stałej wartości zrywu. Poszczególne odcinki mogą być wprowadzane w nich w kolejności chronologicznej lub odwrotnie, a program wykonuje obliczenia uwzględniając założenie, żeby parametry końcowe wcześniejszego odcinka były parametrami początkowymi następnego.

Właściwości pojazdu

Ruch Ograniczenia Opis Wygląd Wypełnienie

Przebieg ruchu pojazdu:  Przeciwny kierunek ruchu

Tp [s]	Sp [m]	Kp [°]	R [m]	Vp [km/h]	T [s]	S [m]	Ap [m/s <sup>2</sup> ]	Ak [m/s <sup>2</sup> ]	Vk [km/h]	Opis odcinka ruchu
-2,60	-47,35	0,0	prosta	70,0	0,50	9,72	0,0	0,0	70,0	Ruch jednostajny
-2,10	-37,63	0,0	prosta	70,0	0,80	15,56	0,0	0,0	70,0	Czas reakcji
-1,30	-22,07	0,0	prosta	70,0	0,30	5,76	0,0	-5,0	67,3	Czas narastania
-1,00	-16,31	0,0	prosta	67,3	0,99	16,00	-5,0	-5,0	49,6	Droga do potrącenia
-0,02	-0,31	0,0	prosta	49,6	2,75	18,95	-5,0	-5,0	0,0	Droga do zatrzymania
2,74	18,64	0,0	prosta	0,0						

Razem: 5,34 65,98

Legenda

- Wartości zadane przez użytkownika
- Wartości wyliczane automatycznie
- Pozostałe wartości

Wartość

- Zadana
- Wycieczana

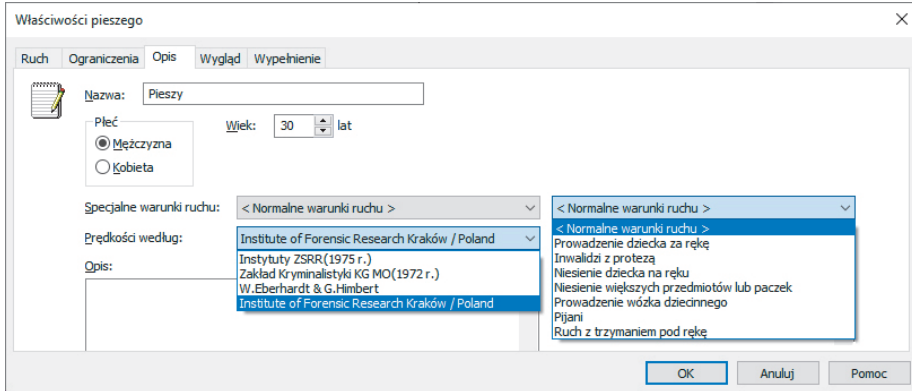
Podsumowanie

Dodaj  
Usuń  
Odwróć  
OK Anuluj Pomoc

Ryc. 2. Definiowanie sekwencji ruchu obiektu – parametry zadane i wyliczane.

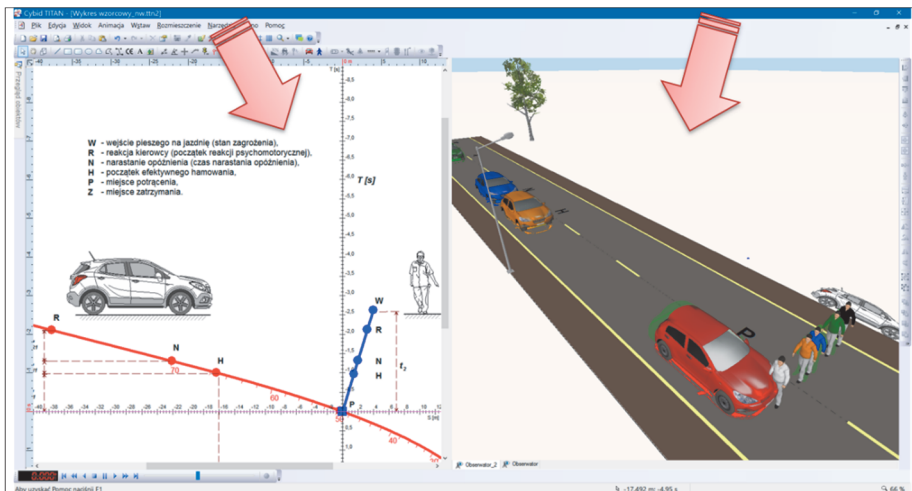
Program pozwala w szybki sposób ustalić nieznanne parametry ruchu uczestników zdarzenia, np. z jaką prędkością początkowo poruszał się pojazd albo czy doszłoby do potrącenia, gdyby kierujący poruszał się z dozwoloną prędkością, albo z jaką prędkością musiałyby się poruszać pojazdy, żeby nie doszło do potrącenia.

Program posiada wbudowane tabele prędkości poruszania się pieszych opracowane wedle różnych, dostępnych w literaturze badań (ryc. 3), w tym pieszych poruszających się w specyficznych warunkach wpływających na ograniczenia tej prędkości.



Ryc. 3. Definiowanie prędkości ruchu pieszego.

W najnowszej wersji programu 2.0 (wprowadzonej w 2018 r.) dodano możliwość wizualizacji ruchu analizowanych obiektów w trybie 2D lub 3D (ryc. 4).

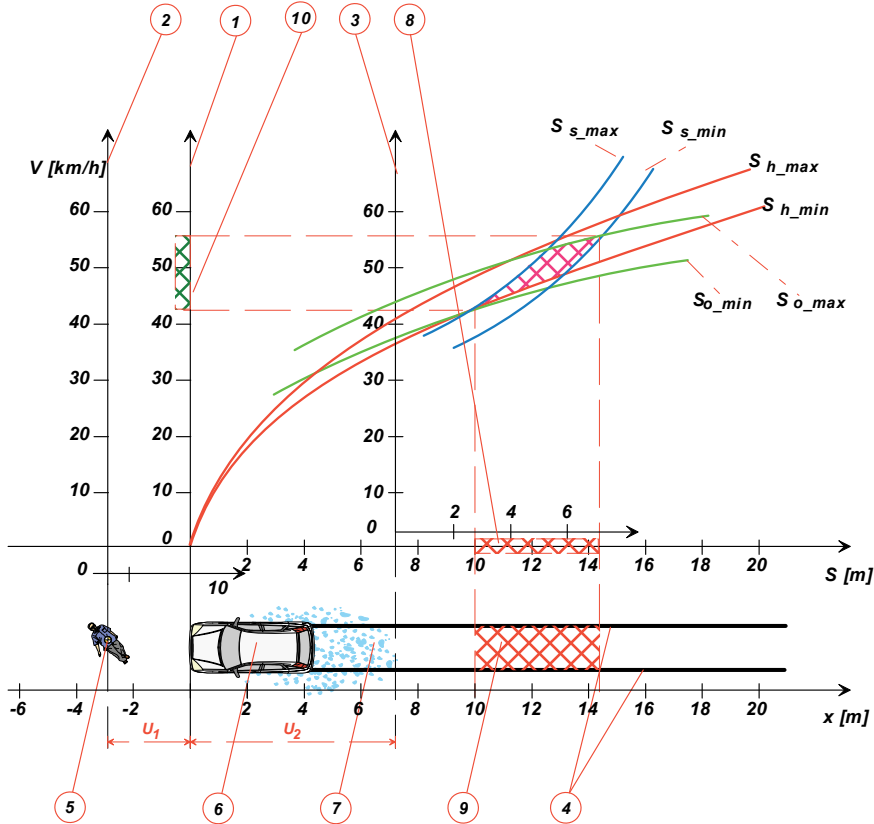


Ryc. 4. Trójwymiarowa wizualizacja ruchu analizowanych obiektów.

### 3. Zastosowanie metody Slibara w analizie potrąceń pieszyc

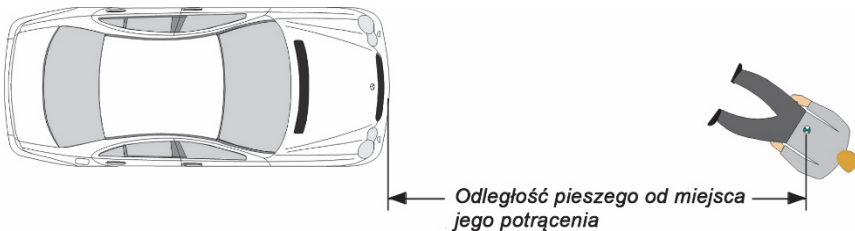
Dla potrzeb ustalenia miejsca potrącenia pieszego (np. na przejściu dla pieszyc czy poza nim) oraz prędkości potrącenia prof. Alfred Slibar opracował metodę polegającą na umieszczeniu na wspólnym układzie współrzędnych wykresów odpowiadających różnym zależnościom związanym z potrąceniem pieszego. Jedną osią na wykresie jest odległość, a drugą prędkość kolizyjna. Znalezienie rozwiązania w postaci przedziału prędkości i położenia miejsca potrącenia pieszego względem zatrzymanego samochodu, sprowadza się do odnalezienia obszaru, w którym spełnione są wszystkie uwzględnione zależności (ryc. 5).





Ryc. 5. Zasada działania metody prof. Slibara.

W celu automatyzacji zastosowania rozszerzonej metody prof. Slibara w 2005 roku opracowany został program komputerowy SLIBAR+ 1.0. Dla wyznaczenia poszukiwanych wielkości, użytkownik może wykorzystać zaimplementowane w programie zależności na drogę hamowania pojazdu, odległość odrzutu pieszego (wg. różnych wyników badań), rozmieszczenie obszaru pokrytego odłamkami szkła reflektorów (obecnie rzadko stosowana ze względu na konstrukcję współczesnych reflektorów samochodowych), czy przyrost długości rozwinięcia pieszego na nadwoziu pojazdu.



Ryc. 6. Ilustracja odległości odrzutu pieszego.

**Właściwości: Potrącenie pieszego przez samochód**

Rozrzut szkieł samochodu    Rozwinięcie pieszego    Własne    Opis

Samochód    Pieszy    Hamowanie samochodu    Odrzut pieszego

Znane jest powypadkowe położenie pieszego\*: 2,0 m

\* Położenie środka ciężkości pieszego mierzone względem wybranego punktu odniesienia. Zobacz Instrukcję.

Metoda obliczeń (reguła)

Ejsbolza / Sturtza-Appela-Gotzena

Kühnlela

Schulza

TU Berlin

Opóźnienie pojazdu w momencie potrącenia pieszego

Opóźnienie: 4,5 m/ss = 0,46 g

Dopuszczalny błąd +/-: 11 %

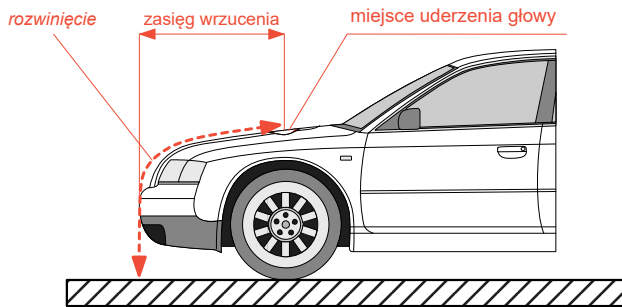
— Wartości skrajne

Minimalnie: 4 m/ss = 0,41 g

Maksymalnie: 5 m/ss = 0,51 g

OK    Anuluj

Ryc. 7. Wprowadzanie zależności na odległość odrzutu pieszego w programie SLIBAR+.



Ryc. 8. Definicja długości rozwinięcia pieszego.

**Właściwości: Potrącenie pieszego przez samochód**

Samochód    Pieszy    Hamowanie samochodu    Odrzut pieszego

Rozrzut szkieł samochodu    Rozwinięcie pieszego    Własne    Opis

Znana jest długość rozwinięcia pieszego: 2,00 m

Zachowanie pieszego w chwili uderzenia

Śtoi

Normalny krok

Szybki krok

Bieg

Zmiana wysokości: 35 mm

Ugięcie przodu pojazdu wskutek hamowania: 60 mm

Prezentacja rezultatu

Minimalna prędkość

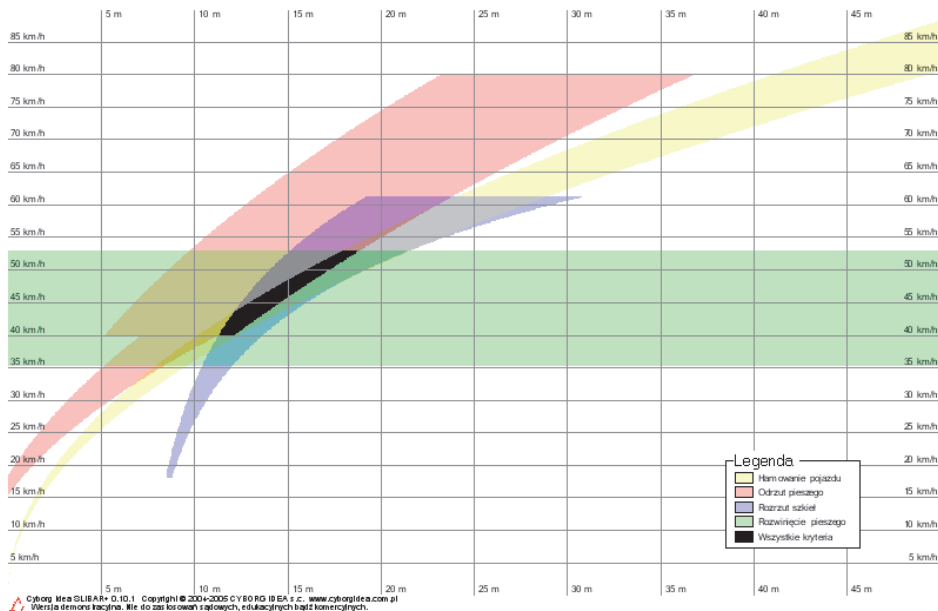
Funkcja regresji

Tolerancja prędkości +/-: 20 %

OK    Anuluj

Ryc. 9. Wprowadzanie zależności na długość rozwinięcia pieszego w programie SLIBAR+.

W rezultacie w programie SLIBAR+ prezentowany jest wykres, przedstawiający wszystkie uwzględnione zależności oraz wyróżniony czarny obszar, w którym spełnione są wszystkie z nich (ryc. 10).



Ryc. 10. Przykładowy rezultat analizy sporządzonej w programie SLIBAR+.

W roku 2009 wprowadzono nowszą wersję programu SLIBAR+ (wersja 2.0). Nie wniosła ona jednak znaczących zmian w zakresie analizy zdarzeń z udziałem pieszych.

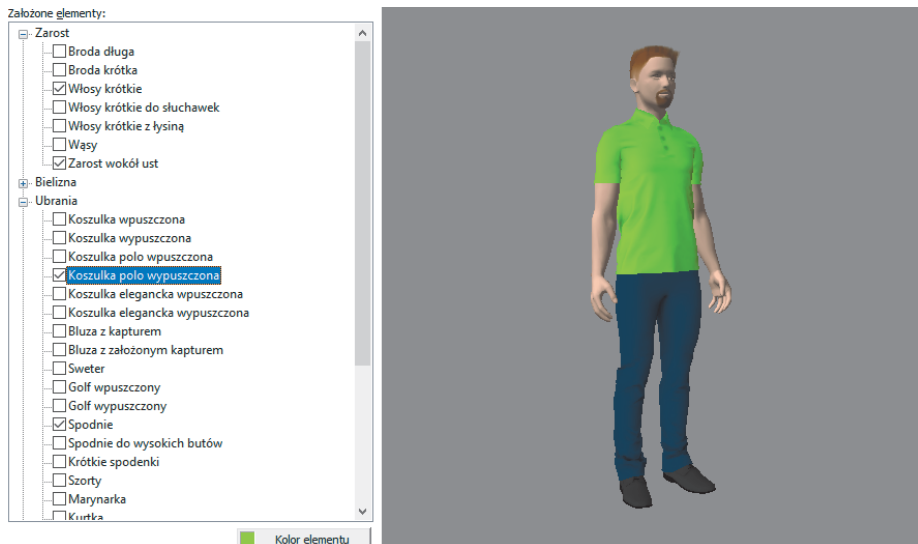
#### 4. Odwzorowanie położenia ciała pieszego na miejscu zdarzenia

Dla weryfikacji rekonstrukcji przebiegu zdarzenia i odtworzenia jego mechanizmu istotne jest właściwe odwzorowanie położenia ciała człowieka po wypadku. W wersjach 1.0–4.0 (2000–2021) oprogramowania do dokumentacji miejsc zdarzeń programu PLAN oraz odpowiadającym im wersjom programu V-SIM do symulacji przebiegu zdarzeń drogowych istniał prosty obiekt służący do odwzorowania położenia ciała człowieka w postaci dwuwymiarowej sylwetki, której wzrost i położenie poszczególnych stawów można modyfikować (ryc. 11).



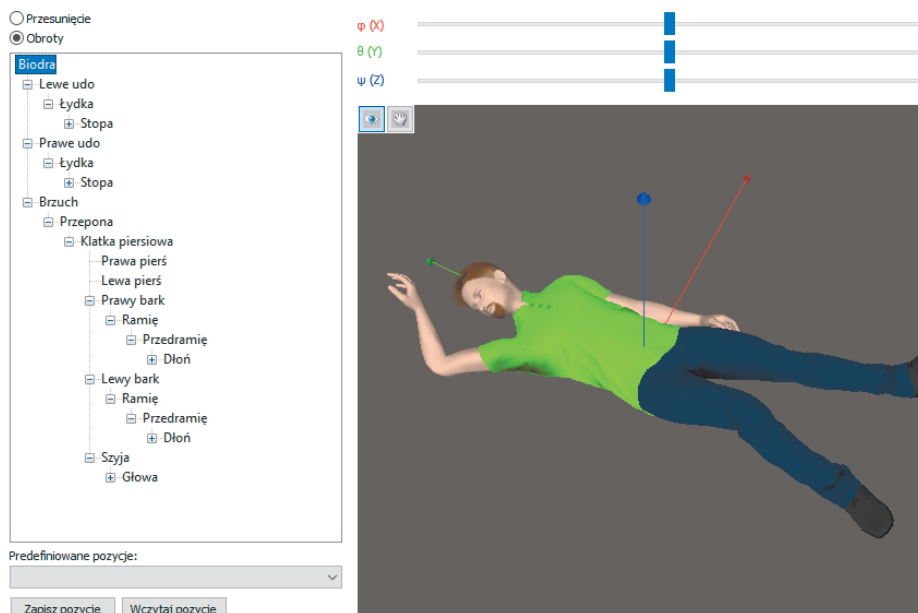
Ryc. 11. Uproszczona sylwetka ciała człowieka w programach PLAN/V-SIM 1.0–4.0.

Jednak taki uproszczony obiekt nie był w stanie prawidłowo odwzorować ciała, które nie leży dokładnie płasko (np. leży na pochyłości terenu lub ma np. uniesione kolano) oraz nie odwzorowuje prawidłowo szerokości poszczególnych elementów ciała. Dlatego też w programie V-SIM 5.0 (2022) wprowadzono nowy obiekt służący do odwzorowania położenia ciała człowieka bazujący na trójwymiarowej, anatomicznej sylwetce ciała. Obiekt ten oprócz ustawienia płci i wzrostu umożliwia ustalenie wyglądu poprzez wybór elementów ubioru, itp. (ryc. 12).



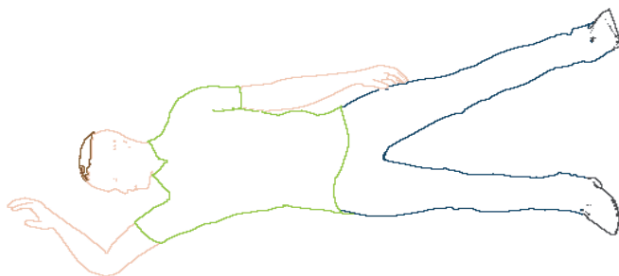
Ryc. 12. Ustawienia wyglądu (ubrania, itp.) ciała człowieka w programie V-SIM 5.0.

Ciało podzielone jest na 53 segmenty, których położenie i orientację zarówno w zakresie anatomicznego ruchu, jak i poza nim (zwichnięcia stawów), można dowolnie modyfikować (ryc. 13). Dodatkowo można wyłączyć wizualizację niektórych segmentów, przedstawiając ciało (lub same jego segmenty) po amputacjach, do których czasem dochodzi przy potraśnięciach z dużymi prędkościami.



Ryc. 13. Przykładowe ustawienie pozycji ciała zwizualizowane w programie V-SIM 5.0.

Ustalona pozycja ciała przedstawiana jest zarówno na szkicu 2D jak i przy wizualizacji 3D. Na szkicu 2D ma ona postać obrysu w rzucie z góry sylwetki 3D, który jest czytelny na wydrukach (ryc. 14).



Ryc. 14. Wizualizacja ustalonej pozycji ciała w 2D w programie V-SIM 5.0.

Do odwzorowania pozycji ciała człowieka w dokumentacji miejsca zdarzenia drogowego mogą być wykorzystane zarówno pomiary 3D wykonane za pomocą systemu pomiarowego eSURV (opracowanego w 2014 r.), jak i zdjęcia położenia ciała przekształcone do postaci ortofotomap za pomocą oprogramowania PHOTO-RECT (opracowanego w 2010 r.), rezultaty skanowania 3D przeprowadzonego za pomocą stacjonarnych skanerów laserowych (ryc. 15) lub ręcznych skanerów światła strukturalnego (ryc. 16) oraz modele 3D wykonane na podstawie zdjęć (ryc. 17). W każdym z tych przypadków położenie ciała może być przedstawione w programie PLAN lub V-SIM.



Ryc. 15. Odtworzenie pozycji ciała (manekin) za pomocą chmury punktów 3D pozyskanej za pomocą stacjonarnego skanera laserowego.



Ryc. 16. Odtworzenie pozycji ciała (manekin) za pomocą chmury punktów 3D pozyskanej za pomocą skanera ręcznego.



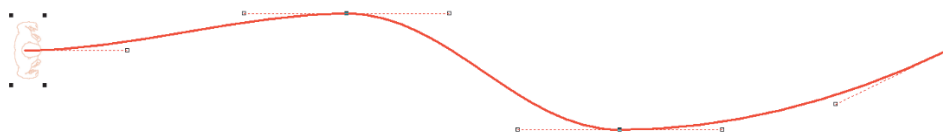


Ryc. 17. Odtworzenie pozycji ciała (manekin) za pomocą chmury punktów 3D utworzonej ze zdjęć wykonanych z drona.

### 5. Odtworzenie przemieszczania się pieszych na miejscu zdarzenia

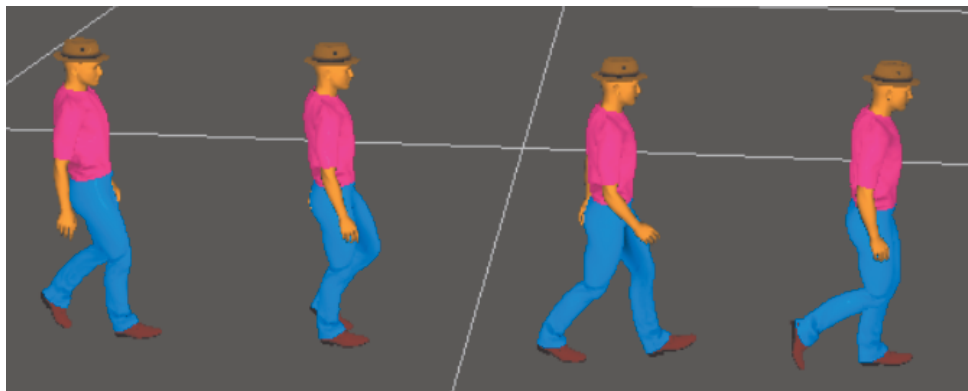
W trakcie rekonstrukcji zdarzenia niejednokrotnie zachodzi potrzeba odtworzenia przemieszczania się pieszych w okolicach miejsca zdarzenia bezpośrednio przed, a niejednokrotnie również po jego wystąpieniu. Mogą być to bezpośredni uczestnicy zdarzenia, ale również świadkowie czy inne osoby pośrednio związane ze zdarzeniem.

Możliwość odtworzenia takiego ruchu oferuje program V-SIM już od jego pierwszej wersji. Istnieje możliwość wyboru poruszającej się postaci, a także sterowania jej ruchem na zasadach kinematyki. Można zadawać warunki początkowe w postaci początkowej pozycji i prędkości oraz zadawać tor ruchu (ryc. 18), zmiany prędkości czy kierunku. Program zawiera wbudowane tabele prędkości poruszania się pieszych w różnych warunkach, identyczne jak wcześniej opisany program TITAN. Program następnie odtwarza tak zadany sposób poruszania się każdego z pieszych synchronicznie z innymi obiektami symulacji, w tym w szczególności z pojazdami samochodowymi poruszającymi się na zasadzie dynamiki.



Ryc. 18. Przykładowy tor ruchu pieszego – wizualizacja 2D.

Do wersji 4.0 programu V-SIM wizualizacja ruchu pieszego odbywała się na zasadzie przemieszczania i obrotu statycznej sylwetki ciała „zamrożonej” w jednej, konkretnej fazie ruchu. Ograniczona była również możliwość wpływu użytkownika na wygląd tej postaci. W wersji 5.0 program przedstawia ruch pieszego w sposób zgodny z naturalnym sposobem poruszania się człowieka, uwzględniając poruszanie się poszczególnych kończyn. Program posiada wbudowane zestawy animacji poruszania się człowieka z różnymi prędkościami (niezależnie kobiety i mężczyzny) i potrafi płynnie przechodzić pomiędzy tymi animacjami dla odtworzenia poruszania się z zadaną przez użytkownika stałą lub zmienną prędkością (ryc. 19).



Ryc. 19. Wizualizacja 3D naturalnego ruchu ciała człowieka w V-SIM 5.0.

Użytkownik ma również możliwość zmiany wyglądu (wzrost, kolor skóry, elementy ubioru, itp.), identycznie jak dla opisanego wcześniej odwzorowania położenia ciała pieszego.

## 6. Modelowanie potrąceń pieszych

W przeważającej części rekonstruowanych zdarzeń z udziałem pieszych dochodzi do ich potrącenia przez pojazd samochodowy. Możliwość właściwego zamodelowania takiego wypadku jest więc bardzo istotna.

Już od pierwszej wersji programu V-SIM istniała możliwość analizy potrącenia pieszego animowanego na zasadach kinematyki, jak opisano wcześniej. Program w automatyczny sposób wykrywał potrącenie pieszego poprzez detekcję nakładania się sylwetek pieszego i pojazdu w przestrzeni dwuwymiarowej, a następnie analizował jego przebieg zgodnie z modelem impulsowym zderzenia (model Kudlicha-Slibara). Na potrzeby analizy zderzenia obiekt kinematyczny był chwilowo traktowany jak obiekt dynamiczny (bryła sztywne) z zadanymi przez użytkownika parametrami masowymi (masa, położenie środka ciężkości, główne momenty bezwładności). Zderzenie takie mogło być analizowane w sposób automatyczny lub ręczny. W trybie ręcznym użytkownik miał możliwość wyboru chwili



wymiany impulsów siły zderzenia, korekty punktu przyłożenia impulsu, korekty orientacji płaszczyzny tarcia oraz współczynników tarcia i restytucji. Pomimo detekcji wystąpienia w 2D zderzenie analizowane było w pełni w przestrzeni 3D. W wyniku takiego zderzenia do pojazdu przykładany był odpowiedni impuls siły, jednak program nie analizował dalszego ruchu pieszego, gdyż przyjęcie jego ruchu jako bryły sztywnej wiązałoby się ze zbyt daleko idącym uproszczeniem.

Aby przezwyciężyć te ograniczenia w wersji 5.0 programu V-SIM wprowadzono wielobryłowy model ciała pieszego, jako rezultat realizacji projektu „Wielobryłowy model ciała człowieka do analizy wypadków drogowych” (POIR.01.01.01-00-0758/16). Funkcjonalność ta pozwala analizować zachowanie ciała człowieka na zasadach dynamiki, jako obiektu złożonego z wielu brył sztywnych zarówno w trakcie przebiegu samego potrącenia jak i jego dalszego ruchu, aż do ostatecznego zatrzymania.



Ryc. 20. Analiza potrącenia pieszego za pomocą modelu wielobryłowego w V-SIM 5.0.

Model ten został szczegółowo przedstawiony w [7, 8, 9] więc nie będzie tutaj szerzej opisany. Kierunki rozwoju modelu pieszego, które zostaną wprowadzone w kolejnych wersjach programu V-SIM są następujące:

- modelowanie ciał dzieci (aktualnie dostępne są tylko ciała dorosłego mężczyzny lub kobiety);
- modelowanie kierujących lub pasażerów jednośladów i indywidualnych środków transportu;
- modelowanie kierujących lub pasażerów pojazdów samochodowych;
- modelowanie najechania samochodu na ciało pieszego;

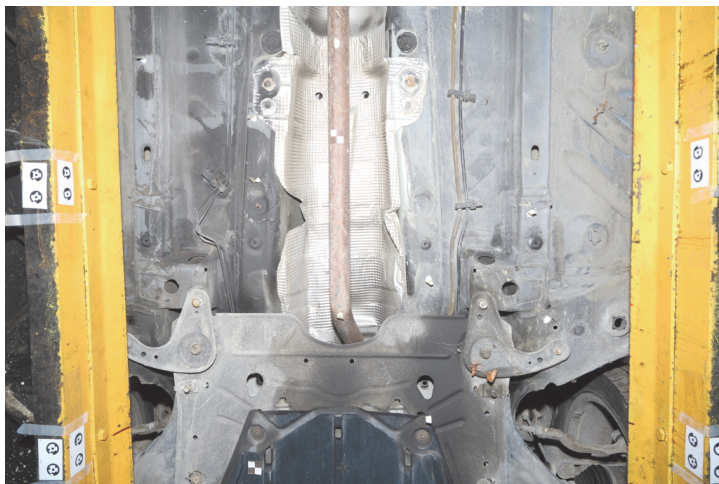
- wykorzystanie, opisanego wcześniej, anatomicznego kształtu ciała do detekcji zakresu przestrzeni zajmowanej przez części ciała i wizualizacji jego wyglądu.

### **7. Modelowanie trójwymiarowe w analizie najechania na ciało człowieka**

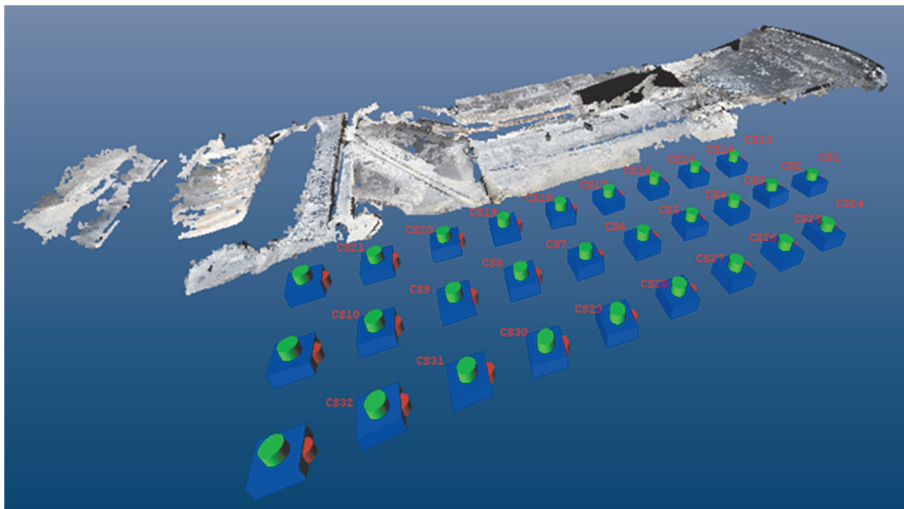
Niezależnie od dostępności dynamicznych modeli zachowania ciała człowieka wiele wniosków można wyciągnąć na podstawie czysto graficznej analizy uwzględniającej np. korelację pomiędzy kształtem nadwozia pojazdu, a kształtem ciała człowieka.

Kilka lat temu firma CYBID uczestniczyła w postępowaniu mającym na celu rekonstrukcję specyficznego zdarzenia mającego związek z wypadkami drogowymi. W opisywanym zdarzeniu uczestnik zdarzenia został pobity i po osunięciu się na ziemię został przejechany przez samochód osobowy. Chodziło o ustalenie, czy obrażenia spowodowane najechaniem przez samochód były tymi śmiertelnymi. Analizę przeprowadzono na bazie geometrii 3D i kinematyki ruchu.

Kształt ciała uszkodzonego wraz z widocznymi obrażeniami wewnętrznymi pozyskany został za pomocą tomografii komputerowej (TK). Na jej podstawie opracowano trójwymiarowy model ciała człowieka. Model podwozia pojazdu uczestniczącego w zdarzeniu pozyskany został natomiast na podstawie szeregu zdjęć, częściowo nakładających się, wykonanych od dołu z różnych miejsc (ryc. 21 i 22).

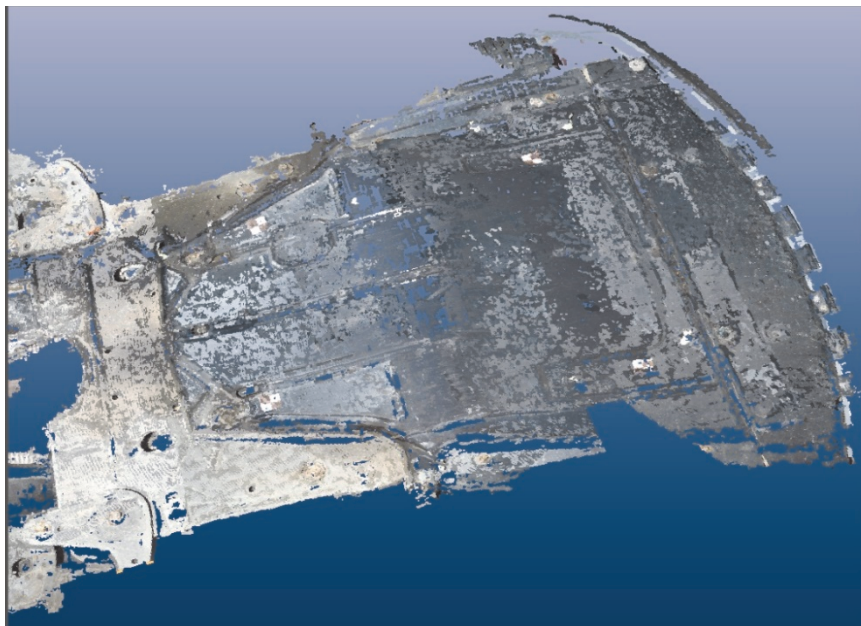


*Ryc. 21. Jedno ze zdjęć podwozia pojazdu. Widoczne markery fotogrametryczne.*



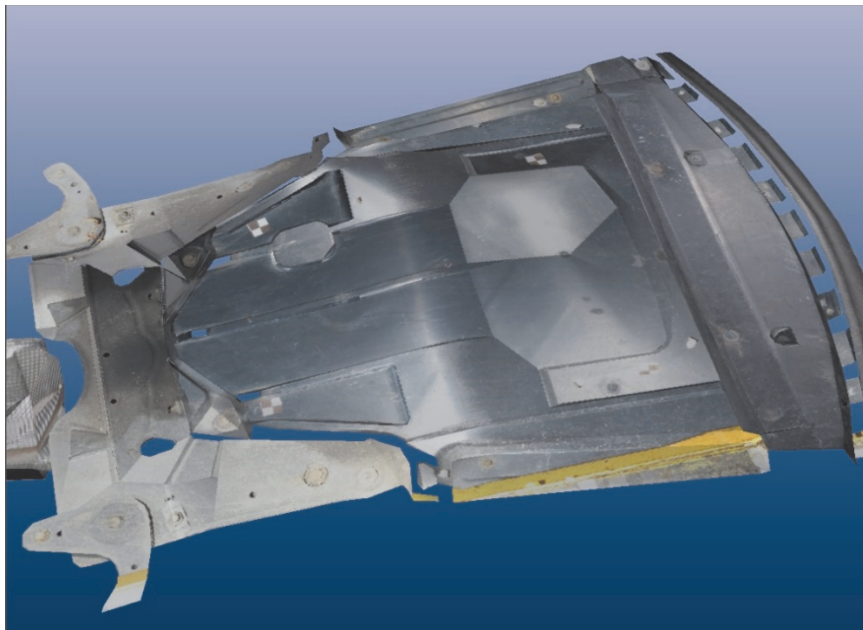
Ryc. 22. Poszczególne pozycje aparatu fotograficznego i tworzony model podwozia.

Na podstawie wszystkich zdjęć, wykorzystując technologię *Structure from Motion* (SfM) w specjalizowanym oprogramowaniu (*Agisoft Metashape*) utworzony został trójwymiarowy model podwozia w postaci chmury punktów (ryc. 23).



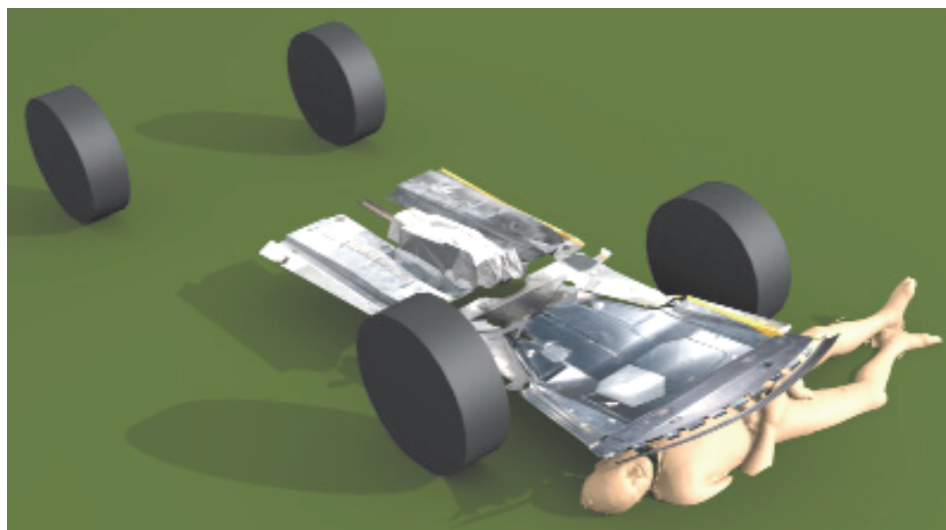
Ryc. 23. Model podwozia w postaci chmury punktów.

Następnie model ten przetworzony został do postaci teksturowanej siatki trójkątów (*mesh*), która później została wykorzystana w animacji (ryc. 24).



*Ryc. 24. Model 3D podwozia w postaci teksturowanej siatki.*

Ostatecznie, tak opracowane modele zostały zestawione w formie animacji odtwarzającej na zasadzie kinematyki sposób poruszania się pojazdu i ciała człowieka znajdującego się pod nim, co pozwoliło na wyciągnięcie wniosków na temat mechanizmu powstania poszczególnych obrażeń.



*Ryc. 25. Wybrany kadr z analizy mechanizmu najechania na ciało.*



## 8. Manekin ciała człowieka

W ramach realizacji przywołanego już powyżej projektu badawczego firma CYBID pozyskała unikalny manekin (ryc. 26) oraz opracowała dodatkową aparaturę (opomiarowanie, system zwalniania w trakcie próby), pozwalające przeprowadzać fizyczne eksperymenty odtwarzające zachowanie się ciała ludzkiego m.in. w trakcie zdarzeń drogowych. Szczegółowy opis tego manekina i jego możliwości oraz dodatkowej aparatury przedstawiony został w [10], więc nie będzie tutaj szerzej opisany. Jednak z praktycznego punktu widzenia, dla opracowujących opinie z zakresu rekonstrukcji wypadków, będzie możliwość współpracy z firmą CYBID i wykorzystania tego manekina w eksperymentach pozwalających rozwikłać bardziej skomplikowane przypadki.



Ryc. 26. Manekin PRIMUS przeznaczony do walidacji programu V-SIM 5.0, a także dalszych eksperymentów.

## 9. Podsumowanie

Paleta rozwiązań w postaci programów komputerowych i systemów pomiarowych, przeznaczonych zarówno do wspomaganie dokumentacji oraz analizy zdarzeń drogowych z udziałem pieszych, jak również prowadzenia badań i eksperymentów umożliwiających badanie przebiegu tych zdarzeń, jest sukcesywnie rozwijana przez firmę CYBID od początku jej działalności.

Przedstawione w niniejszym artykule, opracowane przez CYBID narzędzia i wykorzystywane metody umożliwiają przeprowadzenie analizy czasoprzestrzennej zdarzenia, sporządzenie dokumentacji, w tym dokumentacji opartej o pomiar i modelowanie 3D, modelowanie potrącenia pieszego jako obiektu kinematycznego, zastosowanie metody Slibara w analizie potrąceń pieszych, wizualizację kształtu, położenia i ruchu ciała człowieka w ruchu. Zaprezentowano tu także model wielobryłowy ciała człowieka, wprowadzony w programie symulacyjnym V-SIM i wskazano najistotniejsze kierunki jego rozwoju, mające na celu dostarczenie narzędzi do badań zachowania kierowcy i pasażera pojazdu, opracowanie modelu ciała dziecka czy prowadzenia analiz najechania na ciało człowieka. Wskazano na nową możliwość realizowania eksperymentów ukierunkowanych na badania zachowania ciała ludzkiego z wykorzystaniem biozgodnego manekina człowieka.

Lektura powyższego opracowania może przyczynić się do rozwinięcia u użytkowników umiejętności świadomego dobierania odpowiednich rozwiązań, bazując na znajomości ich możliwości i ograniczeń.

## Bibliografia

- [1] Bułka, D., Wdowicz, D., Putanowicz, R., Kędziora, K. (2021). Nowy model wielobryłowy pieszego do symulacji zderzeń. *Paragraf na Drodze*, numer specjalny.
- [2] Bułka, D., Wolak, S. (2008). Analiza możliwości wspomaganie rekonstrukcji wypadku przy wykorzystaniu różnych programów komputerowych. *IV Konferencja naukowo-szkoleniowa „Rozwój techniki samochodowej a ubezpieczenia komunikacyjne”*. Radom: Wydawnictwo Politechniki Radomskiej.
- [3] CYBID (2022). *Program komputerowy Cybid TITAN 2.0. Instrukcja obsługi*.
- [4] CYBID (2022). *Program komputerowy Cybid SLIBAR+ 2.0. Instrukcja obsługi*.
- [5] CYBID (2019). *Program komputerowy Cybid PLAN 4.0. Instrukcja obsługi*.
- [6] CYBID (2022). *Program komputerowy Cybid V-SIM 5.0. Instrukcja obsługi*.
- [7] Janczur, R., Zawaleń, J. (w druku). Rekonstrukcja i analiza przebiegu wypadku z udziałem pieszego przy wykorzystaniu programu V-SIM 5.0 – przykłady. *Paragraf na Drodze*.
- [8] Kędzierski, M. (w druku). Wyniki symulacji biomechanicznych opracowanych za pomocą programów V-SIM i PC-Crash. *Paragraf na Drodze*.
- [9] Wdowicz, D., Bułka, D. (w druku). Model pieszego CYBID Multibody. Specyfikacja, generator modelu, prace badawcze nad rozwojem modelu. *Paragraf na Drodze*.
- [10] Wdowicz, D. (w druku). Próby potrąceniowe z użyciem manekinów pieszego. Manekin PRIMUS – konstrukcja i unikalne cechy. *Paragraf na Drodze*.

\* \* \*

## Supporting pedestrian events reconstruction using a multi-body model, additional V-SIM 5.0 tools and other CYBID solutions

### **Abstract**

Various potential applications of the solutions developed over the years by the CYBID company, along with the characteristics of their limitations and possibilities in the documentation and analysis of road incidents involving pedestrians are presented. The discussion covers, *inter alia*:

- time-distance analysis of an incident involving a pedestrian,
- documentation of the road accident scene,
- modeling of hitting a pedestrian as a kinematic object,
- application of the Slibar method in the analysis of pedestrian hits,
- 3D measurements of traces of a road accident involving pedestrians,
- 3D modeling in the analysis of vehicle running over a human body,
- visualization of the anatomical shape and position of a human body,
- visualization of the natural movement of the human body,
- a multibody model of the human body in the V-SIM simulation program,
- possibility of experimentally checking the behavior of the human body during various types of road accidents.

Directions for the future development of the multibody model of the human body used in the V-SIM 5.0 program, including its new functionalities and new potential uses are also presented.

### **Key words**

Event reconstruction, pedestrian accidents, a multibody model, CYBID solutions, V-SIM 5.0.