

Stanisław Wołak

ANALIZA WYPADKÓW Z UDZIAŁEM JEDNOŚLADÓW Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMU *SLIBAR+*

Streszczenie

W artykule omówiono analizę niektórych zdarzeń drogowych z udziałem pojazdów jednośladowych. Jako narzędzie do analizy wykorzystano program SLIBAR+ w wersji 2.0. Opisano kryteria związane z analizą wypadków polegających na zderzeniu samochodu z jednośladem lub najechaniu motocykla na nieruchomą przeszkodę oraz przedstawiono sposób, w jaki zaimplementowano owe kryteria do programu. Podano krótki opis sposobu wprowadzania danych i obsługi programu.

Słowa kluczowe

Metoda Slibara, program Slibar+, rekonstrukcja wypadku, pojazd jednośladowy.

* * *

1. Wstęp

W zagadnieniach związanych z komputerowym wspomaganiami rekonstrukcji wypadków z udziałem jednośladowych możliwe są dwa sposoby podejścia do tej problematyki. Można wykorzystać proste modele, bazujące na zależnościach empirycznych lub fizykalnych opisujących charakterystyczne zależności dla niektórych typów wypadków z udziałem jednośladowych. Taki sposób podejścia pozwala, przy minimalnej liczbie danych, zrekonstruować analizowane zdarzenie pod względem ilościowym.

Dysponując odpowiednim programem, wykorzystuje się złożone modele obliczeniowe, uwzględniające opis geometrii przestrzennej bryły pojazdów i ciała człowieka, ale także złożone relacje, zachodzące w strefie kontaktu brył pomiędzy sobą, podłożem czy też elementami infrastruktury drogowej. W tym ujęciu używa się rozwiązania zarówno pod względem ilościowym w postaci wartości poszczególnych parametrów, jak i jakościowym, w postaci odtworzonego charakteru ruchu. Wymaga to jednak od użytkownika dużego nakładu pracy związanego ze zgromadzeniem dużej liczby danych.

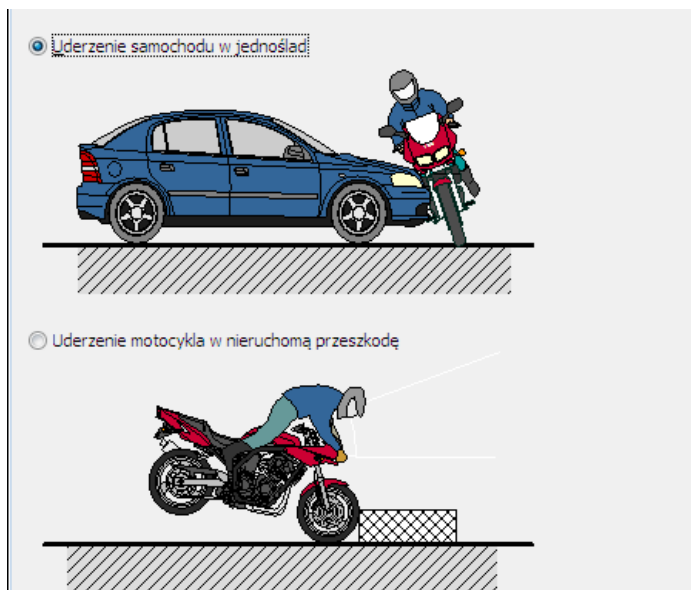
Problematyka zaprezentowana w dalszej części artykułu dotyczy zastosowania wspomnianych wyżej prostych modeli, opisujących parametry niektórych wypadków z udziałem jednoślądów, w analizie wykreślnej, opartej na kompleksowej metodzie Slibara. Zagadnienia związane z podstawami teoretycznymi dotyczącymi samej metody, jak też wskazówki dotyczące jej praktycznego wykorzystania, były już prezentowane na łamach Paragrafu na drodze¹. W tym opracowaniu opisane będą zależności, które zostały zaimplementowane do programu *Slibar+* w wersji 2.0 oraz zostanie przedstawiony sposób posługiwania się programem w analizie niektórych zdarzeń z udziałem pojazdów jednoślądowych.

2. Wykorzystanie programu *Slibar+* w analizie zdarzeń z udziałem jednoślądu

W wersji 2.0 program *Slibar+* został rozbudowany o moduły umożliwiające analizę niektórych zdarzeń z udziałem pojazdów jednoślądowych. Jako narzędzie analizy, podobnie jak w poprzedniej wersji programu, wykorzystuje się metodę graficznego poszukiwania rozwiązań, opracowaną przez prof. A. Slibara. W odniesieniu do pojazdów jednoślądowych program umożliwia analizę dwóch typów zdarzeń drogowych:

- uderzenie samochodu w pojazd jednoślądowy,
- uderzenie motocykla w nieruchomą przeszkodę.

Sposób wyboru typu wypadku w programie *Slibar+* przedstawiono na ryc. 1.



Ryc. 1. Okno dialogowe wyboru typu zdarzenia drogowego.

¹ Zob. P. Świder, *Nowe możliwości wykorzystania metody Slibara w rekonstrukcji wypadku drogowego*, Paragraf na drodze 2008, nr 5.

2.1. Uderzenie samochodu w jednośladał

W programie *Slibar+* jako podstawowe kryteria w analizie zdarzeń polegających na uderzeniu samochodu w jednośladał przyjmuje się:

- odrzut pojazdu jednośladowego,
- odrzut kierującego pojazdem jednośladowym, rozumiany jako odległość od miejsca zderzenia do miejsca jego powypadkowego położenia,
- rozrzut odłamków szkła – kryterium obejmuje zarówno odłamki szkła pochodzące z samochodu, jak i z pojazdu jednośladowego.

Z uwagi na to, że w wypadkach polegających na uderzeniu przodem samochodu w pojazd jednośladowy wskazuje się na ich podobieństwo do potrącenia pieszego przez samochód, również w programie *Slibar+* użytkownik ma możliwość wyboru kryteriów, które były stosowane w przypadku potrącenia pieszego, a które mogą być również pomocne w analizie uderzenia samochodu w pojazd jednośladowy. Do tej grupy należą:

- hamowanie samochodu, z opcjonalnym uwzględnieniem długości śladów hamowania, co pozwala ograniczyć obszar możliwych rozwiązań ze względu na prędkość uderzenia,
- rozrzut odłamków szkła samochodu (szyby czołowej lub reflektora²),
- rodzaj nadwozia (zakładka *Samochód*), co istotne przy korzystaniu z kryterium rozrzutu odłamków szkła szyby lub reflektora samochodu.

2.1.1. Odrzut jednośladał

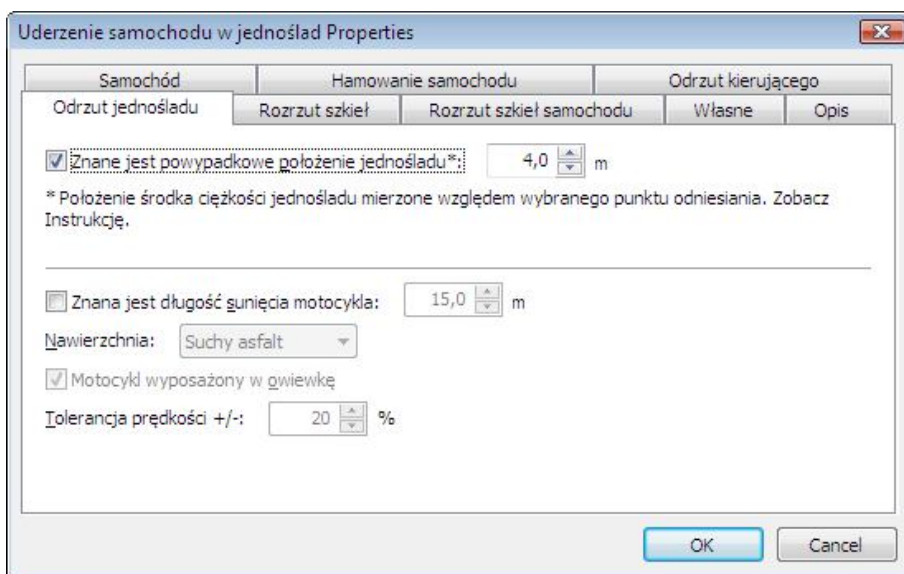
W zakładce **Odrzut jednośladał** użytkownik wprowadza współrzędną położenia pojazdu jednośladowego po wypadku (ściśle: jego środka ciężkości), zmierzoną względem układu odniesienia, którego początek przyjmowany jest w sposób następujący:

- W sytuacji, gdy użytkownik korzysta z kryterium *Hamowanie samochodu* początek układu przyjmowany jest przez program automatycznie, na wysokości przodu samochodu w jego położeniu powypadkowym, a dodatni kierunek osi położenia jest zgodny z pierwotnym kierunkiem ruchu samochodu przed zderzeniem.
- W sytuacji, gdy nie korzystamy z kryterium *Hamowanie samochodu*, położenie układu wyznacza użytkownik, poprzez przypisanie wartości zero w miejscu położenia wybranego śladu. Nie może to być ślad dowolny, a jedynie taki, którego położenie względem przyjętego układu opisane jest w funkcji prędkości i stanowi jedno z kryteriów zastosowanych w programie. Dla przykładu, jeżeli globalnym układem odniesienia ma być układ związany z powypadkowym położeniem motocykla, to po wybraniu kryterium **Odrzut jednośladał**, w polu **Znane jest powypadkowe położenie jednośladał** wpisujemy wartość „0”, co oznacza, że

² Dotyczy to szyb czołowych, hartowanych oraz kloszy reflektorów wykonanych ze szkła.

początek globalnego układu odniesienia będzie umiejscowiony na wysokości środka ciężkości motocykla w jego położeniu powypadkowym. Od tej chwili położenie pozostałych śladów należy podawać jako współrzędną odczytaną względem tego układu.

Jako dodatkowe kryterium można wykorzystać zależność prędkości kolizyjnej od drogi sunięcia po podłożu. Zastosowanie tej formuły³ pozwoli ograniczyć zakres poszukiwań ze względu na prędkość uderzenia. W programie zastosowano zróżnicowanie współczynnika tarcia ze względu na: rodzaj nawierzchni (asfalt, trawa), stan nawierzchni (sucha, mokra) oraz wyposażenie (motocykl wyposażony lub niewyposażony w owiewkę). Jako standardowy błąd oszacowania prędkości uderzenia dla tego kryterium program przyjmuje wartość $\pm 20\%$.



Ryc. 2. Zakładka **Odrzut jednoślądu**.

2.1.2. Odrzut kierującego jednoślądem

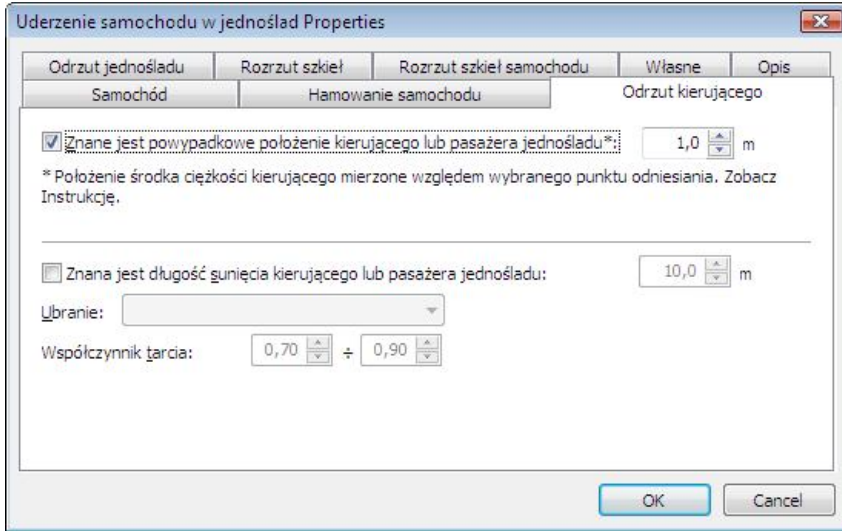
W zakładce **Odrzut kierującego** użytkownik wprowadza współrzędną położenia środka ciężkości kierującego w jego położeniu powypadkowym, zmierzona/obliczona względem przyjętego układu odniesienia⁴. Podobnie jak w przypadku kryterium odrzutu pojazdu, również tutaj można dodatkowo wykorzystać zależność prędkości kolizyjnej od drogi sunięcia po podłożu, co pozwoli ograniczyć zakres poszukiwań ze względu na prędkość uderzenia.

W programie zastosowano zróżnicowanie współczynnika tarcia ze względu na rodzaj ubrania (tekstylne, skórzane), które miał na sobie kierujący w chwili

³ Zob. ryc. 2. – parametry w dolnej części okna dialogowego.

⁴ Zob. punkt 2.1.1.

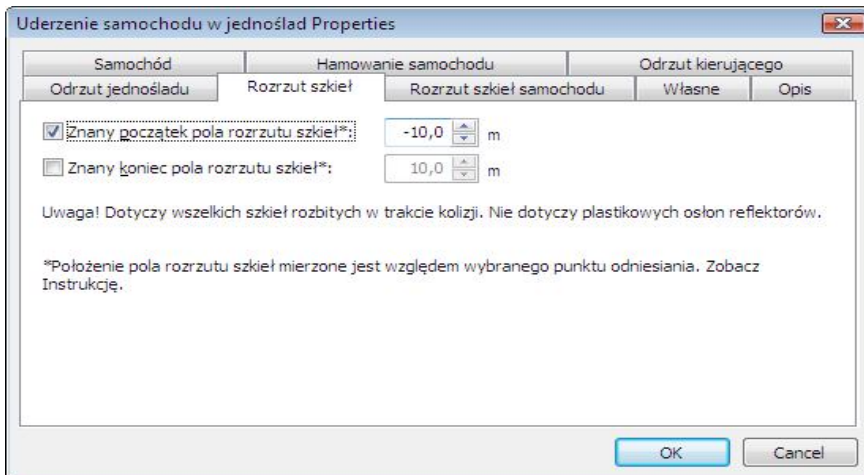
zdarzenia. Krzywe graniczne uzyskuje się dla minimalnej i maksymalnej wartości współczynnika tarcia.



Ryc. 3. Zakładka Odrzut kierowcy.

2.1.3. Rozrzut odłamków szkła

Kolejne kryterium pozwala na oszacowanie prędkości kolizyjnej lub miejsca zderzenia w zależności od położenia początku lub końca pola rozrzutu odłamków szkła (ryc. 4).



Ryc. 4. Zakładka Rozrzut szkła.

Użytkownik programu wprowadza odpowiednio położenie początku lub końca pola rozrzutu odłamków szkła względem przyjętego układu odniesienia⁵.

W odróżnieniu od kryterium *Rozrzut szkła samochodu*, stosowanego w analizie zderzeń z udziałem pieszych, nie ma tutaj podziału ze względu na pochodzenie odłamków szkła, tzn. nie ma znaczenia, czy odłamki pochodzą z szyby czołowej samochodu, czy też z reflektora samochodu bądź motocykla. Nie ma też zróżnicowania ze względu na rodzaj nadwozia⁶ samochodu, który uderzył w pojazd jednośladowy.

2.1.4. Podstawy teoretyczne dotyczące uderzenia samochodu w jednośląd

Formuły, które zostały zaimplementowane do programu *Slibar+*, zostały opracowane przez firmę DEKRA na podstawie badania rzeczywistych wypadków z udziałem samochodu i pojazdu jednośladowego⁷. Analizie poddano ponad 300 wypadków polegających na uderzeniu przodem samochodu w pojazd jednośladowy. Z tej grupy wyselekcjonowano 37 zdarzeń, dla których w sposób niebudzący wątpliwości możliwe było ustalenie miejsca zderzenia. Wynikiem tych działań było wyznaczenie równań opisujących zależności odległości odrzutu pojazdu jednośladowego lub kierującego tym pojazdem od prędkości uderzenia oraz określenie zależności, opisujących położenie początku i końca pola rozrzutu odłamków szkła w funkcji prędkości uderzenia. Charakterystyczne w tych badaniach było to, że pomiar odległości odrzutu był wykonywany od miejsca kolizji do miejsca powypadkowego położenia jednośladu lub kierującego jednośladem. Taki sposób pomiaru odrzutu obejmował zarówno fazę lotu w powietrzu, jak i fazę sunięcia po podłożu. Do wyznaczenia zależności brano pod uwagę tylko te przypadki, w których występował swobodny ruch pozderzeniowy, tj. nie doszło do szepienia kierującego jednośladem z pojazdem, którym kierował.

Położenia pola rozrzutu odłamków szkła (ich początku lub końca) pochodzących z kolidujących pojazdów, uzyskane z analizy rzeczywistych zdarzeń drogowych, były porównywane z wynikami badań doświadczalnych, w których szyby pojazdu lub klosze reflektorów były rozbijane przy użyciu specjalnego urządzenia (iglicy). Okazało się, że obszar wyznaczony liniami granicznymi na podstawie badań doświadczalnych zawiera się w całości w obszarze wyznaczonym przez krzywe otrzymane w wyniku analizy rzeczywistych zdarzeń drogowych. Przy czym linie graniczne odpowiadające położeniu końca pola pokrywają się, natomiast linie wyznaczające położenie początku pola wraz ze wzrostem prędkości kolizyjnej oddalają się od siebie – w przypadku analizy rzeczywistych wypadków początek pola rozrzutu znajduje się bliżej miejsca zderzenia w porównaniu z po-

⁵ Zob. punkt 2.1.2.

⁶ Podział ze względu na rodzaj nadwozia był wprowadzony w badaniach doświadczalnych, gdzie jednym z parametrów była wysokość położenia reflektora lub szyby czołowej nad podłożem.

⁷ H. Burg, *Rekonstruktionsunterlagen aus einer Auswertung realer Unfälle zwischen Zweirad und Vierradfahrzeugen*, Der Verkehrsunfall 1979, nr 9.

łożeniem początku pola rozrzutu uzyskany w badaniach eksperymentalnych. Taki stan rzeczy wynika zapewne z tego, że w przypadku rzeczywistych kolizji część odłamków odbija się od kolidujących ze sobą pojazdów – ich ruch nie jest ruchem swobodnym.

Wykorzystując w praktyce zależność na odrzut pojazdu jednośladowego, trzeba pamiętać, że omawiane zależności obejmują zakresem zastosowań całą rodzinę pojazdów jednośladowych, tj. rower, motorower i motocykl. Jest to następstwem przyjętego sposobu analizy, który nie uwzględniał zróżnicowania pojazdów jednośladowych pod tym względem. Podobnie nie wprowadzono zróżnicowania ze względu na kategorię samochodu, z którym pojazd jednośladowy kolidował. W grupie zdarzeń poddanych analizie uczestniczyły samochody różnych kategorii: osobowe, dostawcze, ciężarowe i autobusy.

2.2. Uderzenie motocykla w nieruchomą niską przeszkodę

Specyfika tych wypadków jest taka, że wysokość przeszkody uniemożliwia przejechanie przez nią motocykla, a równocześnie, w chwili wyrzucenia osób jadących na motocyklu spowodowanego zderzeniem, nie dochodzi do kontaktu tych osób z przeszkodą.

Najechanie na przeszkodę skutkuje gwałtownym zatrzymaniem (lub istotnym zmniejszeniem prędkości) pojazdu, czego następstwem jest wyrzucenie osób jadących na motocyklu na pewną odległość, zależną od:

- prędkości kolizyjnej,
- kąta wyrzutu (mierzonego względem poziomu jezdni),
- współczynnika tarcia pomiędzy ubraniem kierującego lub pasażera a podłożem.

W praktyce można korzystać z dwóch zależności. Pierwsza pozwala na wyznaczenie prędkości kolizyjnej na podstawie całkowitego przemieszczenia osób jadących na motocyklu, licząc od miejsca zderzenia do miejsca ich powypadkowego położenia. Zależność ta uwzględnia zarówno fazę lotu w powietrzu, jak i fazę sunięcia po podłożu. Druga zależność umożliwia obliczenie prędkości kolizyjnej tylko na podstawie długości fazy lotu, tj. odległości, jaką kierujący lub pasażer pokonują w powietrzu, od miejsca zderzenia do miejsca pierwszego kontaktu z podłożem. Zależność ta jest przekształceniem równania na zasięg rzutu ukośnego.

Jako dodatkowe kryterium, pozwalające ograniczyć zakres poszukiwań ze względu na prędkość uderzenia, można stosować zależność opisującą zmianę długości całkowitej motocykla lub rozstawu jego osi w funkcji prędkości uderzenia.

2.2.1. Wyrzut kierującego lub pasażera

Opis kryteriów dotyczących wyrzutu kierującego lub pasażera został potraktowany łącznie. Do obu przypadków stosuje się te same zależności i parametry – różnica pomiędzy nimi wynika jedynie ze zróżnicowania wartości parametrów.

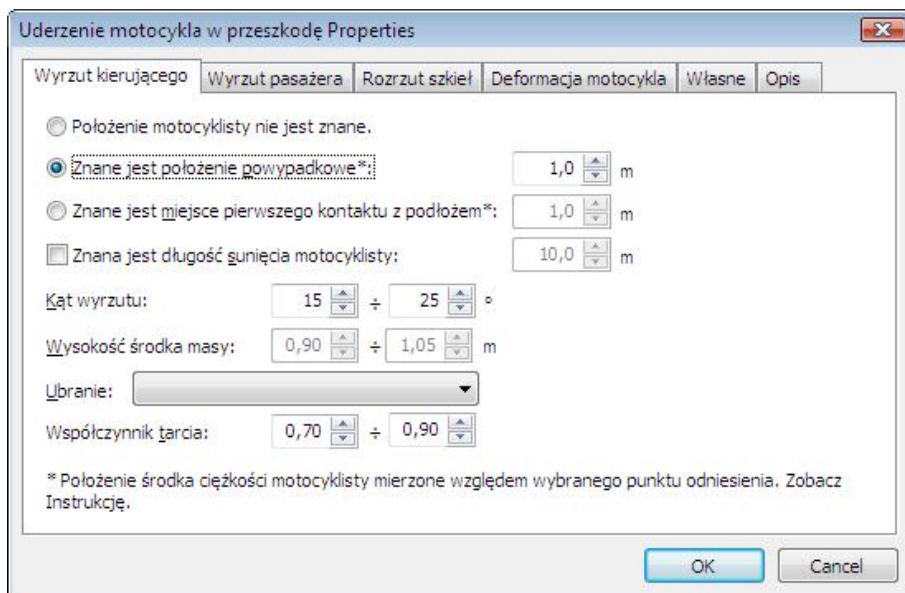
z problemów rekonstrukcji wypadków i opiniowania

W zakładkach *Wyrzut kierującego*, *Wyrzut pasażera*, zdefiniowane są dwa niezależne kryteria. Pierwsze z nich można wykorzystać, gdy znane jest powypadkowe położenie kierującego lub pasażera motocykla.

Kryterium to uwzględnia zarówno fazę lotu w powietrzu, jak i fazę sunięcia po podłożu. Wybór tego kryterium wymaga określenia takich parametrów, jak:

- zakres kąta wyrzutu,
- zakres wysokości środka masy kierującego motocyklem nad podłożem,
- rodzaj ubrania i związany z tym zakres współczynnika tarcia.

Program automatycznie proponuje typowe zakresy wartości parametrów (ryc. 5).

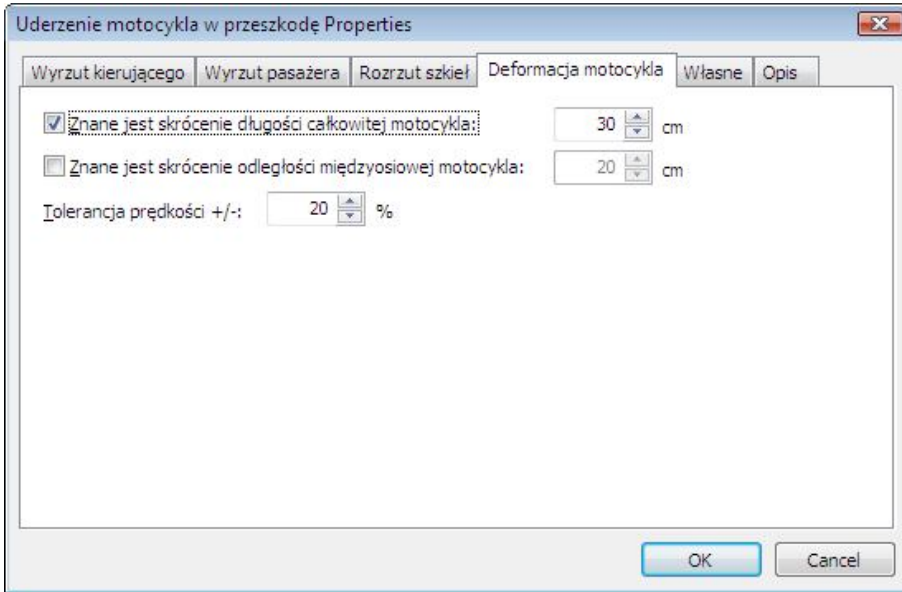


Ryc. 5. Zakładka *Wyrzut kierującego/pasażera*.

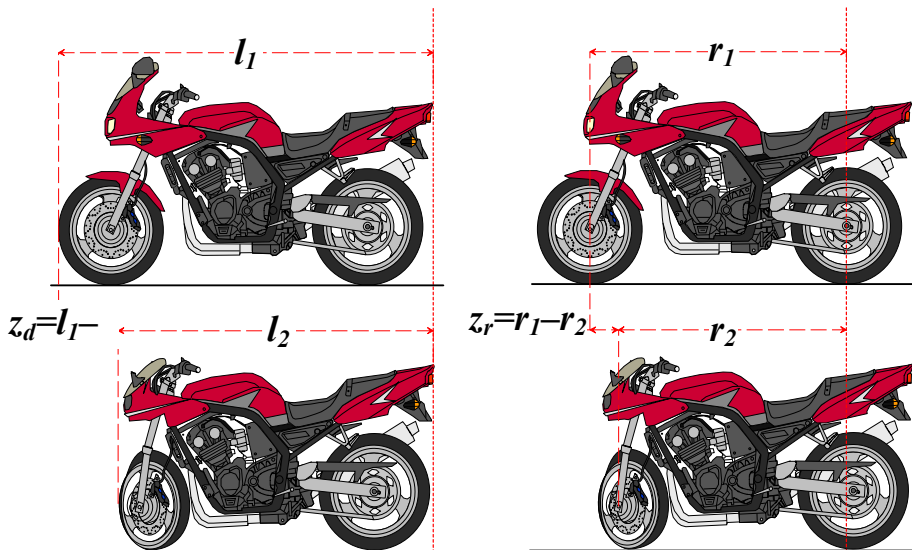
Drugie z kryteriów można wykorzystać, jeżeli znane jest miejsce pierwszego kontaktu kierującego lub pasażera z podłożem. W tym przypadku prędkość kolizyjna określana jest na podstawie odległości pokonanej przez kierującego lub pasażera w fazie lotu. Krzywe graniczne odpowiadają minimalnym i maksymalnym wartościom parametrów.

2.2.2. Deformacja motocykla

W zakładce *Deformacja motocykla* użytkownik ma możliwość wyboru jednego lub obu kryteriów umożliwiających obliczenie wartości prędkości zderzenia: na podstawie zmiany długości całkowitej motocykla lub zmiany jego rozstawu osi (ryc. 6).



Ryc. 6. Zakładka *Deformacja motocykla*.



Ryc. 7. Sposób pomiaru wielkości deformacji motocykla.

2.2.3. Podstawy teoretyczne dotyczące uderzenia motocykla w przeszkodę

Wyniki analizy rzeczywistych, dobrze udokumentowanych zdarzeń tego typu pozwoliły na określenie liniowej zależności między skróceniem rozstawu osi

pojazdu jednośladowego a prędkością kolizyjną⁸. Podobną zależność uzyskano podczas badań przeprowadzonych przez firmę Priester-Weyde-Baumruck⁹ w 2001 r. Badaniom stanowiskowym poddano motocykle japońskie klasy średniej o pojemnościach skokowych od 250 do 400 cm³ (Honda CB 400N, Suzuki GSX 250, Yamaha XS 400). Badania przeprowadzono na specjalnie zaprojektowanym stanowisku z użyciem wahadła. Zamocowany do wahadła motocykl uderzał przodem w nieodkształcalną i nieprzesuwną betonową przeszkodę o dużej masie. Beton na przeszkodę był tak dobrany, aby uderzenie nie powodowało jego pęknięcia bądź kruszenia. W chwili uderzenia motocykl był ustawiony prostopadłe do przeszkody. Taki sposób przeprowadzenia badań powodował, że prędkość kolizyjna była w przybliżeniu jednakowa, a wartość EES, będąca równoważnikiem energii zamienionej na pracę deformacji, była jedynie o około 1 km/h niższa od prędkości kolizyjnej. Zależności opracowane na podstawie opisanych badań stanowiskowych zastosowano jako jedno z kryteriów w programie *Slibar+*.

3. Interpretacja efektu działania programu

Po wprowadzeniu do programu parametrów wszystkich kryteriów, które mamy zamiar zastosować, należy zatwierdzić dialog, klikając przycisk **OK** lub naciskając klawisz **Enter**. W tym momencie program dokona poszukiwań rozwiązań spełniających poszczególne reguły i zaprezentuje, w formie graficznej, wynik działania w oparciu o zadane opcje.

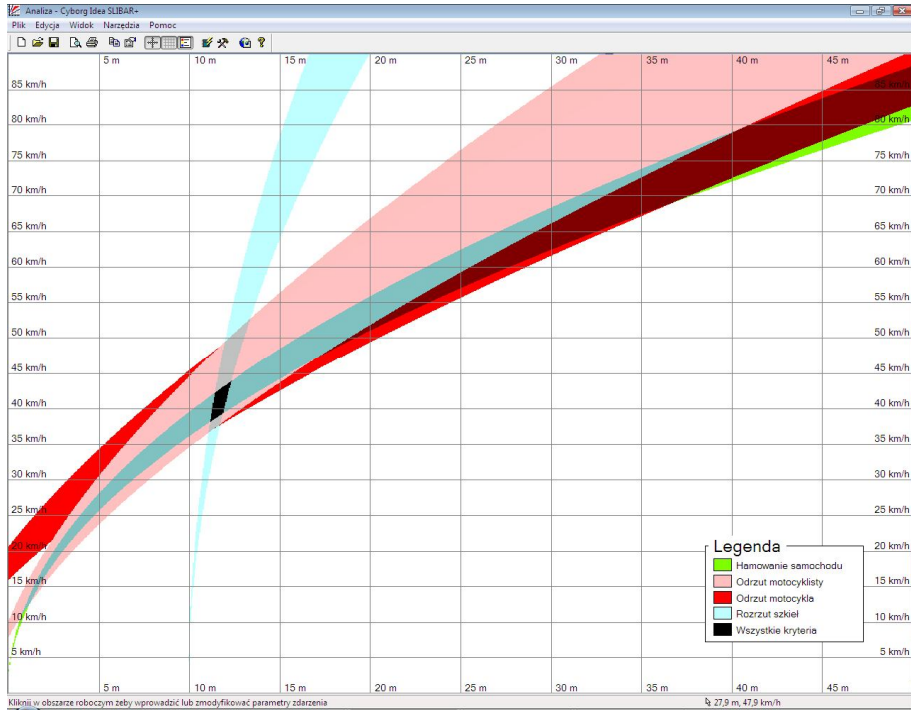
Wynikiem analizy przeprowadzonej w programie jest wykres w skali droga – prędkość, na którym, w postaci kolorowych obszarów, zaznaczono pary wartości (położenie miejsca zderzenia i prędkość pojazdu), które spełniają poszczególne reguły. Położenie punktu zderzenia podawane jest jako odległość tego punktu od początku przyjętego w analizie układu odniesienia.

Zakres, dokładność poszukiwań, jak i kolory, którymi oznaczane są rozwiązania spełniające poszczególne reguły, można zmieniać za pomocą opcji programu. W szczególny sposób (kolorem czarnym) zaznaczany jest obszar, w którym wartości spełniają wszystkie wybrane reguły, co stanowi zasadniczy wynik przeprowadzonej analizy. Środek geometryczny tego obszaru można traktować jako współrzędne najbardziej prawdopodobnego miejsca i prędkości zderzenia (ryc. 8). Jeżeli zaś na wykresie nie ma takiego obszaru, to oznacza to, że zadane reguły są ze sobą sprzeczne.

W trakcie przesuwania kursora myszy po roboczym obszarze programu, w którym wyświetlany jest wykres, na pasku statusu, u dołu okna programu, pojawiają się współrzędne (droga i prędkość) punktu, nad którym znajduje się kursor myszy.

⁸ A. Baxter, *Motorcycle Accidents Investigation*, IPTM, Floryda 1997.

⁹ Priester-Weyde-Baumruck, *Zderzenia motocykli – EES*, dysk multimedialny CD 2001.



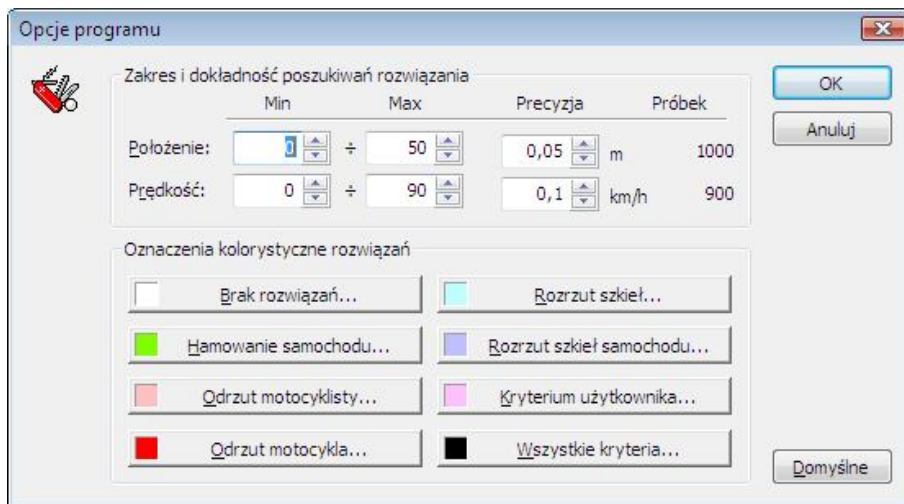
Ryc. 8. Przykładowy wykres uzyskany z programu.

Pozostałe, rzadziej używane opcje, które mają wpływ na działanie programu i prezentowanie rozwiązania, zebrane są w dialogu **Opcje programu**. Za pomocą tego dialogu można zmieniać zakresy drogi i prędkości, w których prowadzone będą poszukiwania rozwiązania, dokładność (rozdzielczość) poszukiwań oraz kolory, jakimi oznakowane będą obszary na wykresie, w których spełnione są poszczególne kryteria.

Należy zwrócić uwagę, że zadanie dużego zakresu poszukiwań przy jednocześnie dużej dokładności może spowodować znaczne wydłużenie czasu pracy programu, a także znacznie powiększy liczbę danych, które będą przenoszone przy eksporcie wyników działania programu. Przyciśnięcie przycisku **Domyślne** spowoduje powrót wszystkich ustawień w tym dialogu do wartości domyślnych, pierwotnie zaproponowanych przez program.

4. Eksport danych z programu

Wynik działania programu, w postaci wykresu z naniesioną opcjonalnie siatką współrzędnych i legendą, można przenieść za pomocą **Schowka** Windows do innego programu, pracującego pod kontrolą systemu **Windows**. Tak przeniesiony wykres może stać się np. częścią opinii sporządzanej w edytorze tekstowym **Microsoft Word**.



Ryc. 9. Przykładowe okno dialogu *Opcje programu*.

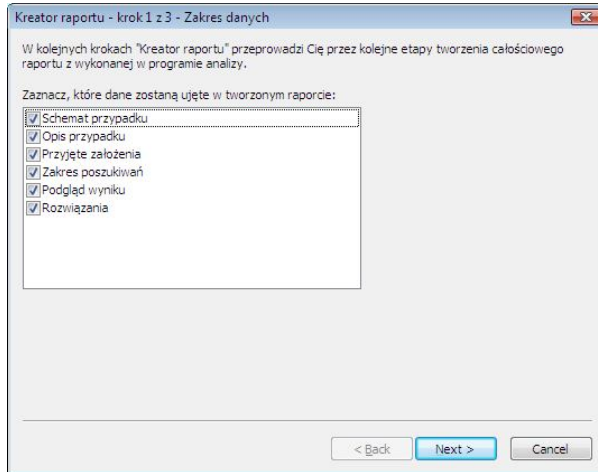
Oprócz skopiowania do *Schowka*, wykres z programu może być również wyeksportowany do pliku graficznego w formacie wektorowym. Obsługiwane są dwa formaty wektorowych plików graficznych; *Metaplik Windows* (WMF) lub *Rozszerzony Metaplik Windows* (EMF). Aby wyeksportować wykres do pliku, należy wybrać polecenie *Eksportuj* z menu *Plik*. Po wybraniu tego polecenia, użytkownik zostanie zapytany o wybór typu, nazwę oraz lokalizację tworzonego pliku.

5. Raport z wykonanej analizy

Niezależnie od wspomnianego wcześniej wykresu droga – prędkość, który jest zasadniczym wynikiem pracy programu, program *SLIBAR+* umożliwia również automatyczne wygenerowanie raportu, zawierającego przyjęte założenia oraz numeryczny opis wyniku przeprowadzonej analizy.

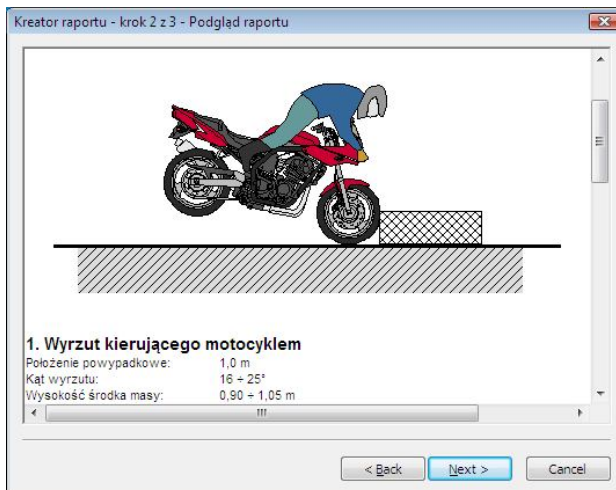
Aby wygenerować raport, należy, po wykonanej analizie, gdy program wyświetla wykres, wybrać polecenie *Raport* z menu *Narzędzia*. Wyświetlony zostanie wówczas dialog *Kreator raportu* w formie kreatora z dwiema zakładkami.

Pierwsza zakładka, *Zakres danych*, umożliwia określenie zbioru danych, które zostaną uwzględnione w raporcie (ryc. 10). Wybór odpowiedniego pola spowoduje umieszczenie danych w tworzonej raporcie.



Ryc. 10. Dialog *Kreator raportu – Zakres danych*.

Druga zakładka, *Podgląd raportu*, umożliwia zapoznanie się z treścią i wyglądem wygenerowanego raportu. Aby przejść do następnej zakładki, należy kliknąć przycisk *Dalej*. Kreator raportu przejdzie do okna dialogowego (ryc. 11), umożliwiającego: wydruk, zapis raportu do pliku tekstowego lub skopiowanie raportu do *Schowka* systemu *Windows*, co daje możliwość wklejenia treści raportu do dowolnej aplikacji obsługującej narzędzie przenoszenia przez schowek.



Ryc. 11. Dialog *Kreator raportu – Podgląd raportu*.

ANALYSIS OF ACCIDENTS INVOLVING SINGLE TRACK VEHICLES USING THE *SLIBAR+* PROGRAM

Abstract

In the article, the author discusses the analysis of certain road incidents involving single track vehicles. The *SLIBAR+* program, version 2.0 was used as the instrument of analysis. Criteria linked with analysis of accidents consisting in the collision of a car with a single track vehicle or a motorbike crashing into an immobile object are described, and the way in which these criteria are implemented into the program is also presented. The author gives a short description of how data are input and how the program is used.

Key words

Slibar method, *Slibar+* program, accident reconstruction, single track vehicle.