

*Piotr Świder*  
*Stanisław Wolak*

## PRZYKŁAD WERYFIKACJI PRZEBIEGU ZDARZENIA PRZY UŻYCIU PROGRAMU *V-SIM*

### *Streszczenie*

*Na przykładzie pewnego przypadku roszczenia o odszkodowanie komunikacyjne, autorzy przedstawiają specyficzny sposób weryfikacji wersji przedstawionej przez uczestników zgłoszonej kolizji, poprzez czasowo-przestrzenną analizę zająścia, przy wykorzystaniu programu komputerowego *V-SIM*.*

**Słowa kluczowe:** wyłudzenia komunikacyjne, weryfikacja komputerowa.

\* \* \*

### *1. Wstęp*

W sprawach dotyczących wyłudzeń odszkodowań komunikacyjnych, zadaniem najczęściej stawianym biegłym jest zweryfikowanie wersji przebiegu zdarzenia podawanych przez „poszkodowanego”<sup>1</sup> i „sprawcę” kolizji. Często spotykaną praktyką w tego typu sprawach jest weryfikacja tych wersji poprzez komputerową symulację ruchu pojazdów biorących udział w zdarzeniu.

Tematem niniejszego opracowania jest omówienie przykładu, w którym zastosowano wspomnianą powyżej metodę weryfikacji, przy czym do analizy wykorzystano program *V-SIM*. Dla porównania efektu, uzyskane wyniki symulacji zestawiono z wynikami klasycznych obliczeń analitycznych.

Wybrany do analizy przykład jest o tyle nietypowy, że proces weryfikacji dotyczy nie samego przebiegu kolizji, ale sekwencji zdarzeń (manewrów) wykonanych przez „sprawcę” po jej zaistnieniu. Rozstrzygające w tej sprawie było ustalenie, czy w określonym czasie istniała możliwość zjechania samochodem z drogi głównej w mającą znajdować się w pobliżu drogę boczną w taki sposób, żeby nie był on widoczny z miejsca zdarzenia. Zweryfikowanie powyższej oko-

---

**Dr inż. Piotr Świder**, Instytut Ekspertyz Sądowych, Kraków; **mgr inż. Stanisław Wolak**, Cyborg Idea, Kraków.

<sup>1</sup> Określenia „poszkodowany” i „sprawca” są opatrzone cudzysłowem, dla zaznaczenia, że są to podlegające weryfikacji role, jakie osoby te przyjęły w postępowaniu procesowym.

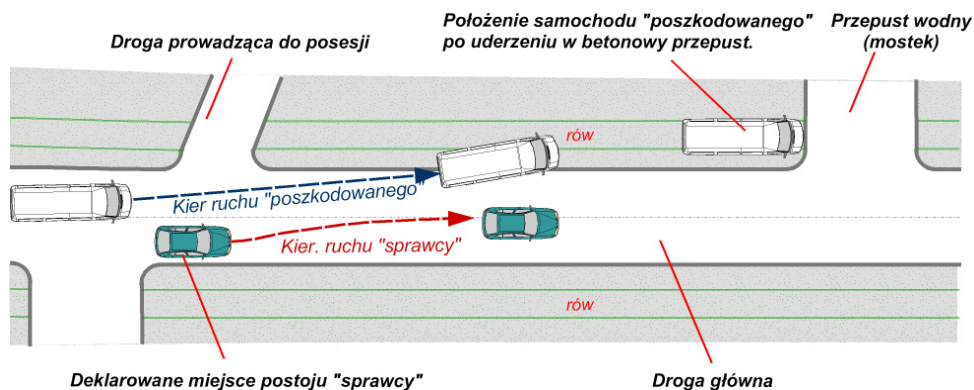
liczności sprowadzało się w istocie do wyznaczenia minimalnego czasu, którym musiałyby dysponować „sprawca” na wykonanie wspomnianego deklarowanego manewru, zanim na miejscu zdarzenia pojawił się pierwszy świadek.

### **2. Okoliczności zdarzenia**

Jak wynika z relacji uczestników, zdarzenie miało mieć przebieg typowy dla prób wyłudzeń odszkodowania i polegało na bezkolizyjnym zajęciu drogi, w wyniku którego „poszkodowany” zjechał do przydrożnego rowu, gdzie uderzył w betonowy przepust wodny (mostek). Do zjazdu poza jezdnię miało dojść podczas manewru omijania samochodu „sprawcy”, który rozpoczynał jazdę po krótkim postoju na jezdni. Powyższą sytuację drogową obrazuje szkic sytuacyjny przedstawiony na ryc. 1.

Do zdarzenia miało dojść w porze nocnej, na prostym odcinku drogi poprzedzonym łagodnym łukiem w lewo. Jeśli jechać tak jak uczestnicy zdarzenia, to droga prowadzi przez szczyt wzniesienia, za którym biegnie prosto. Za prostym odcinkiem drogi rozpoczyna się seria trzech zakrętów, z których pierwszy i ostatni prowadzą w lewo, natomiast środkowy – w prawo. Łuk w lewo, za którym doszło do zdarzenia, kończy się w odległości ok. 50 m przed mostkiem (przepustem wodnym), w który uderzył samochód „poszkodowanego”.

W rejonie miejsca kolizji droga ma jezdnię dwukierunkową, o nawierzchni asfaltowej i szerokości wynoszącej ok. 5,1 m. Do jezdni przylegają nieutwardzone, trawiasto-szutrowe pobocza. Po obu stronach drogi za poboczeniami zlokalizowane są rowy odwadniające. W chwili kolizji nawierzchnia jezdni była mokra, śliska (występowały opady deszczu).



*Ryc. 1. Szkic sytuacyjny miejsca zdarzenia.*

Z relacji świadków wynika, że bezpośrednio po kolizji nie widzieli samochodu „sprawcy” na miejscu zdarzenia. Pierwszym świadkiem, który znalazł się na miejscu kolizji, był kierowca samochodu osobowego, jadący w pewnej odle-

głości za pojazdem „poszkodowanego”. Jak zeznał, po wjechaniu na prosty odcinek drogi znajdujący się za szczytem wzniesienia, zobaczył przed sobą pojazd<sup>2</sup> poruszający się w tym samym kierunku. Poprzedzający go samochód znajdował się w odległości ok. 50 m przed nim i poruszał się z nieco większą prędkością, oddalając się od niego. Po chwili samochód wjechał w łuk drogi w lewo i zniknął z pola widzenia świadka. Gdy świadek pokonał ostatni z trzech zakrętów znajdujących się przed miejscem zdarzenia, zobaczył w rowie po lewej stronie drogi uszkodzony samochód „poszkodowanego”. W chwili, gdy znalazł się na miejscu zdarzenia, poza samochodem „poszkodowanego” nie widział w tym rejonie żadnych innych pojazdów.

Okoliczność tę „sprawca” tłumaczył w ten sposób, że po zajechaniu drogi „poszkodowanemu” zatrzymał swój pojazd na wysokości rozbitego samochodu, po czym wycofał i wjechał w jakąś boczną uliczkę, aby nie zagrażać ruchowi na drodze.

W tej sytuacji wyjaśnienia wymagały dwie kwestie:

- 1) ustalenie, czy „sprawca” faktycznie miał możliwość zatrzymania swojego samochodu w takim miejscu, żeby nie był widoczny z miejsca kolizji;
- 2) sprawdzenie, czy „sprawca” dysponował czasem, umożliwiającym schowanie samochodu, zanim na miejscu zdarzenia pojawił się pierwszy świadek – kierowca samochodu osobowego jadący za „poszkodowanym”.

### **3. Ustalenia dokonane w trakcie oględzin miejsca zdarzenia**

W czasie dokonanych oględzin ustaliliśmy, że po lewej stronie drogi głównej (patrzac w kierunku jazdy uczestników zdarzenia), w odległości ok. 29 m przed mostkiem, w który uderzył samochód „poszkodowanego”, zlokalizowany jest wjazd w boczną drogę prowadzącą do posesji. Topografię tej drogi przedstawia poniższa fotografia (ryc. 2).

Ukształtowanie terenu jest takie, że po zaparkowaniu pojazdu na tej drodze samochód jest niewidoczny dla osób znajdujących się na drodze głównej (w rejonie miejsca zdarzenia).

Ponadto w czasie oględzin dokonaliśmy szeregu pomiarów umożliwiających wyznaczenie czasu, po jakim świadek mógł dojechać do miejsca kolizji.

---

<sup>2</sup> Później okazało się, że był to samochód „poszkodowanego”.



Ryc. 2. Ukształtowanie drogi, na której mógł zaparkować „sprawca”.

#### **4. Czas dojazdu świadka do miejsca zdarzenia**

Do obliczenia czasu dojazdu do miejsca kolizji wykorzystaliśmy następujące informacje pochodzące od świadka:

- prowadził pojazd z prędkością ok. 50 km/h,
  - za szczytem lokalnego wzniesienia znajdującym się w odległości około 600 m przed miejscem kolizji<sup>3</sup> pojazdy świadka i „poszkodowanego” dzieliła odległość około 50 m,
- oraz informację pochodzącą od „poszkodowanego”:
- przed kolizją prowadził swój pojazd z prędkością ok. 70 km/h.

Jeżeli założyc, że na odcinku 600 m poprzedzającym miejsce kolizji kierujący utrzymywali zadeklarowaną prędkość, to świadek dojechałby do miejsca kolizji w czasie rzędu:

$$t_d = \frac{600}{50/3,6} - \frac{550}{70/3,6} = 15 [s],$$

po zaistnieniu zdarzenia.

Uwzględniając czas przejazdu odcinka, na którym była już widoczność, otrzymamy czas  $t$ , jakim po zdarzeniu dysponował „sprawca” na schowanie swego pojazdu we wspomnianej bocznej uliczce:

$$t = t_d - \frac{50}{50/3,6} = 11,4 [s]$$

---

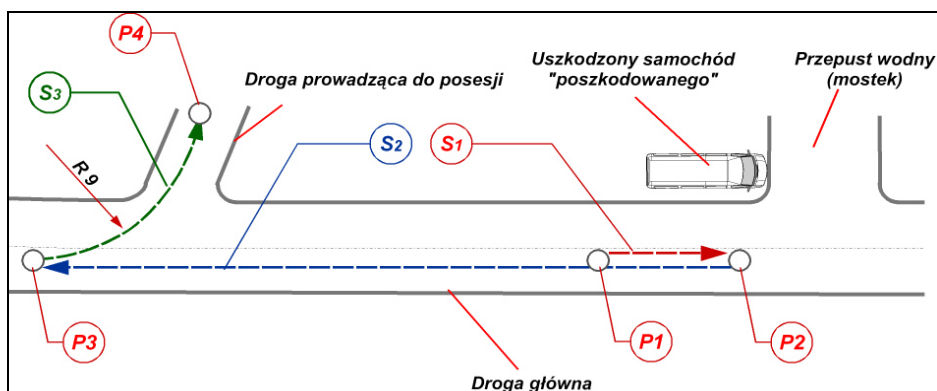
<sup>3</sup> Odległość została zmierzona w czasie oględzin.

### 5. Minimalny czas wykonania manewru zjazdu w boczną drogę

Do wyznaczenia minimalnego czasu, jakim musiałby dysponować „sprawca” na wykonanie zadeklarowanego manewru, wykorzystaliśmy – porównawczo – dwie metody:

- 1) **Metodę obliczeń „ręcznych”**<sup>4</sup>, polegającą na wykonaniu szeregu stosunkowo prostych obliczeń, przy założeniu średnich wartości: przyspieszenia, opóźnienia, czasu zmiany biegu oraz czasu obrotu koła kierownicy (skrętu).
- 2) **Metodę komputerowej symulacji ruchu**, przyjmując z bazy danych programu *V-SIM* model pojazdu odpowiadający temu, którym miał się posługiwać „sprawca”.

W obu metodach przyjęto identyczne wartości czasu zmiany biegu i czasu obrotu kołem kierownicy (skrętu). Tor ruchu samochodu „sprawcy” z zaznaczeniem przywołanych niżej pozycji pośrednich P1–P4 jest przedstawiony schematycznie na rycinie 3.



Ryc. 3. Prawdopodobna sekwencja manewrów samochodu „sprawcy”.

Do analizy założyliśmy następującą sekwencję manewrów „sprawcy”.

- 1) W chwili zdarzenia jechał z prędkością ok. 20 km/h i rozpoczął gwałtowne hamowanie (poz. P1 na ryc. 3) tak, żeby zatrzymać się na wysokości rozbitego samochodu „poszkodowanego” (poz. P2).
- 2) W czasie 1,0 sekundy włączył bieg wsteczny i następnie cofał z ekstremalnym przyspieszeniem.
- 3) Rozpoczął ekstremalne hamowanie, zatrzymując samochód w miejscu, z którego mógł wjechać w położoną po lewej stronie drogę do posesji<sup>5</sup> (poz. P3);
- 4) Po zatrzymaniu, w czasie 1,0 s przełączył bieg na jedynekę, a następnie, w kolejnej sekundzie, skręcił kierownicą w lewo i rozpoczął ekstremalnie przyspieszać.

<sup>4</sup> Jest to popularna, kolokwialna nazwa obliczeń analitycznych, wykonywanych za pomocą kalkulatora.

<sup>5</sup> Pokazaną na ryc. 2.

5) Hamując gwałtownie zatrzymał samochód w miejscu, w którym pojazd ten mógł nie być widoczny z okolicy miejsca zdarzenia (poz. P4).

Długości odcinków oznaczonych na rycinie 3 symbolami  $S_2$  i  $S_3$  wyznaczyliśmy pomiarami dokonanyymi na miejscu zdarzenia. Wynoszą one odpowiednio 37 m i 13 m. Długość odcinka  $S_1$  odpowiada drodze hamowania samochodu „sprawcy” z prędkości 20 km/h.

**5.1. Oszacowanie minimalnego czas wykonania manewru (metoda „ręczna”)**

Łączny czas potrzebny na wykonanie analizowanego manewru opisuje równanie:

$$t = t_1 + t_{zb} + t_2 + t_{zb} + t_o + t_3, \tag{1}$$

gdzie:

- $t_1$  – czas hamowania na odcinku  $S_1$ ,
- $t_{zb}$  – czas zmiany biegów: z pierwszego na wsteczny (poz. P2, ryc. 3) i ze wstecznego na pierwszy (poz. P3, ryc. 3),
- $t_2$  – czas przejazdu odcinka  $S_2$ ,
- $t_o$  – czas obrotu kołem kierownicy (skreću, poz. P3, ryc. 3),
- $t_3$  – czas przejazdu odcinka  $S_3$ .

Czasy przejazdu odcinków  $S_2$  i  $S_3$  opisują następujące zależności:

$$\begin{aligned} t_2 &= t_{2r} + t_{2u} + t_{2h} \\ t_3 &= t_{3r} + t_{3h} \end{aligned}, \tag{2}$$

gdzie:

- $t_{2r}$  – czas rozpędzania z poz. P1 do uzyskania prędkości maksymalnej na biegu wstecznym,
- $t_{2u}$  – czas przejazdu z ustaloną prędkością maksymalną,
- $t_{2h}$  – czas hamowania z prędkości maksymalnej do zatrzymania w poz. P3,
- $t_{3r}$  – czas rozpędzania na biegu pierwszym z poz. P3,
- $t_{3h}$  – czas hamowania do zatrzymania pojazdu w poz. P4.

Wyznaczenie całkowitego czasu ( $t$ ) wykonania manewrów sprowadza się do obliczenia czasów pośrednich  $t_1$ ,  $t_2$  i  $t_3$ , które przedstawia się następująco.

- Czas hamowania na odcinku  $S_1$  określa wzór  $t_1 = \frac{V_p}{a_h}$ ; (3)

- Czas przejazdu odcinka  $S_2$  składa się z trzech czasów:
  - 1) czasu rozpędzania do prędkości maksymalnej  $t_{2r} = \frac{V_m}{a_r}$ ; (4)

- 2) czasu hamowania z prędkości maksymalnej do zatrzymania (poz. P3) .....  $t_{2h} = \frac{V_m}{a_h}$ ; (5)

3) czasu przejazdu samochodu ze stałą prędkością równą prędkości maksymalnej, który obliczamy wykorzystując zależność:

$$S_2 = \frac{V_m^2}{2 \cdot a_r} + V_m \cdot t_{2u} + \frac{V_m^2}{2 \cdot a_h}, \quad (6)$$

z której, po przekształceniu, otrzymujemy:

$$t_{2u} = \frac{S_2}{V_m} - \frac{V_m}{2} \cdot \left( \frac{1}{a_r} + \frac{1}{a_h} \right); \quad (7)$$

4) całkowity czas przejazdu odcinka  $S_2$ ,  $t_2 = t_{2r} + t_{2u} + t_{2h}$ . (8)

Czas przejazdu odcinka  $S_3$  obliczamy w sposób następujący.

1) Czas rozpędzania samochodu na pierwszym biegu,  $t_{3r}$ , obliczamy wykorzystując zależność:

$$S_3 = \frac{a_r \cdot t_{3r}^2}{2} + \frac{V_0^2}{2 a_h}. \quad (9)$$

Podstawiając w miejsce  $V_0$  zależność  $V_0 = a_r \cdot t_{3r}$  a następnie przekształcając równanie, otrzymujemy wyrażenie:

$$t_{3r} = \sqrt{\frac{2 S_3 a_h}{a_r(a_h + a_r)}}. \quad (10)$$

2) Czas hamowania wynosi  $t_{3h} = \frac{a_r \cdot t_{3r}}{a_h}$ . (11)

3) Całkowity czas przejazdu odcinka  $S_3$  wynosi  $t_3 = t_{3r} + t_{3h}$ . (12)

Do obliczeń zostały przyjęte następujące wartości liczbowe:

- średnie opóźnienie hamowania na mokrej nawierzchni  $a_h = 5$  [m/s<sup>2</sup>];
- średnie przyspieszenie na biegach pierwszym i wstecznym przyjęto wariantowo, w zakresie od  $a_r = 1,5$  [m/s<sup>2</sup>] do 3 [m/s<sup>2</sup>], co 0,5 [m/s<sup>2</sup>];
- prędkość początkowa samochodu (poz. P1)  $V_p = 20$  [km/h],
- długość odcinka  $S_2 = 37$  [m] (ryc.3);
- długość odcinka  $S_3 = 13$  [m] (ryc 3);
- prędkość maksymalna na biegu wstecznym  $V_m = 25$  [km/h];
- czas zmiany biegu  $t_{zb} = 1,0$  [s];
- czas obrotu kołem kierownicy  $t_o = 1,0$  [s].

Wyniki obliczeń są zestawione w tabeli 1. Z przedstawionych „ręcznych” obliczeń wynika, że dla całego zakresu przyjętych parametrów „sprawca” nie

dysponował czasem umożliwiającym schowanie samochodu, zanim na miejscu zdarzenia pojawił się pierwszy świadek<sup>6</sup>.

Trzeba jednak pamiętać, że obliczenia wykonano przy założeniu średnich wartości opóźnień i przyspieszeń uzyskiwanych przez pojazd. W tej sytuacji interesujące wydaje się zweryfikowanie tak przeprowadzonych obliczeń poprzez komputerową symulację ruchu pojazdu.

*Tabela 1. Wyniki uzyskane metodą obliczeń „ręcznych”*

Czas wykonania manewrów [s]		Średnie przyspieszenie na biegach pierwszym i wstecznym			
		1,5 [m/s <sup>2</sup> ]	2,0 [m/s <sup>2</sup> ]	2,5 [m/s <sup>2</sup> ]	3,0 [m/s <sup>2</sup> ]
Hamowanie na odcinku $S_1$	$t_1$	<b>1,11</b>	<b>1,11</b>	<b>1,11</b>	<b>1,11</b>
Zmiana biegu z I na R	$t_{zb}$	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
Przejazd odcinka $S_2$ $\Sigma =$	$t_{2r}$	4,63	3,47	2,78	2,31
	$t_{2u}$	2,32	2,9	3,24	3,48
	$t_{2h}$	1,39	1,39	1,39	1,39
	$t_2$	<b>8,34</b>	<b>7,76</b>	<b>7,41</b>	<b>7,18</b>
Zmiana biegu z R na I	$t_{zb}$	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
Obrót kołem kierownicy	$t_o$	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
Przejazd odcinka $S_3$ $\Sigma =$	$t_{3r}$	3,65	3,05	2,63	2,33
	$t_{3h}$	1,1	1,22	1,32	1,4
	$t_3$	<b>4,75</b>	<b>4,27</b>	<b>3,95</b>	<b>3,73</b>
<b>Całkowity czas wykonania manewru</b>	<b><math>t</math></b>	<b>17,2</b>	<b>16,14</b>	<b>15,47</b>	<b>15,01</b>

<sup>6</sup> Przypomnijmy: czas ten wynosił 11,4 s.

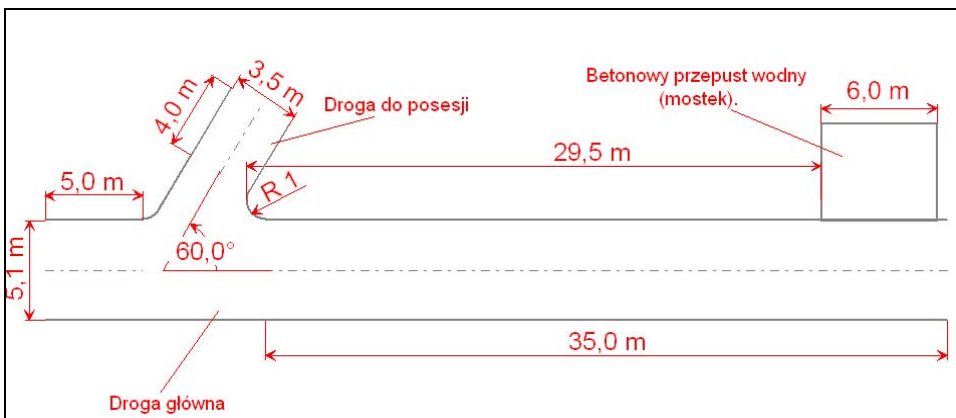


## 5.2. Symulacyjne odtworzenie deklarowanego manewru

Symulację manewru przeprowadziliśmy w programie *V-SIM*. Wprowadzanie kolejnych zadań realizowanych w procesie symulacji odpowiada realizacji manewrów przedstawionych wcześniej na rycinie 3.

Symulację przeprowadziliśmy w sposób przedstawiony poniżej.

- 1) Na projekcie umieszczono aktywne elementy środowiska (skrzyżowanie, odcinek drogi), tworząc układ dróg przedstawiony na rycinie 4.
- 2) Dla każdego z wprowadzonych elementów zdefiniowano rodzaj nawierzchni (mokry asfalt), pozostawiając bez zmian zaproponowane przez program wartości współczynnika przyczepności<sup>7</sup>.

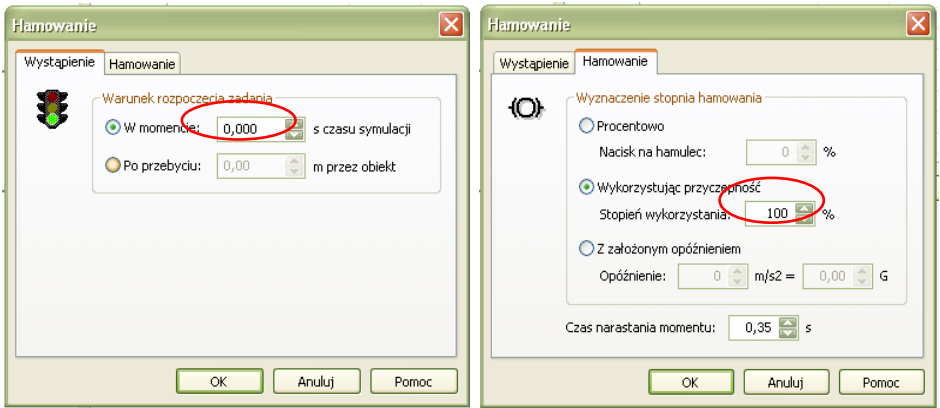


Ryc. 4. Układ dróg – wymiary geometryczne.

- 3) Z bazy danych programu wybrano samochód VW Golf II 1,3, a następnie umieszczono go na projekcie<sup>8</sup>. Dla wybranego pojazdu zdefiniowano jego parametry ruchu (dialog **Właściwości pojazdu**):
  - Zakładka **Początkowo** – prędkość początkowa 20 [km/h].
  - Zakładka **Zadania** – wybrano **Hamowanie** (ryc. 5). W zakładce **Wystąpienie** wybrano opcję **W momencie** i wpisano wartość (0,0). W zakładce **Hamowanie** wybrano opcję **Wykorzystując przyczepność** i pozostawiono wartość domyślną (100%).

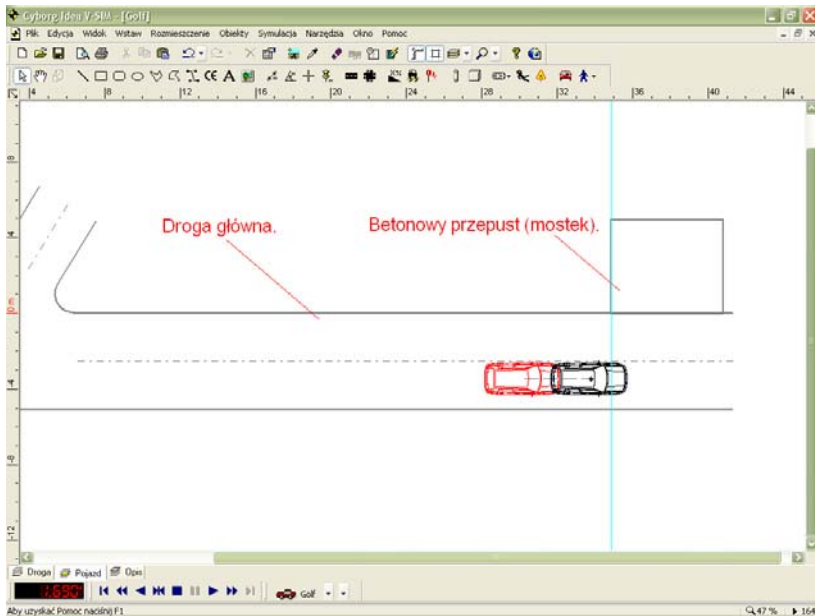
<sup>7</sup> Program domyślnie przyjmuje na mokrej jezdni wartości współczynnika: przylgowego 0,5, ślizgowego 0,4.

<sup>8</sup> Zaleca się umieszczanie elementów środowiska i pojazdów w odrębnych warstwach. Wykorzystanie opcji **WARSTWY** skutecznie zapobiega przypadkowym zmianom położenia obiektów umieszczanych w przestrzeni roboczej programu (np. elementów środowiska względem obiektów symulacji).



Ryc. 5. Okna dialogowe zadania „Hamowanie”.

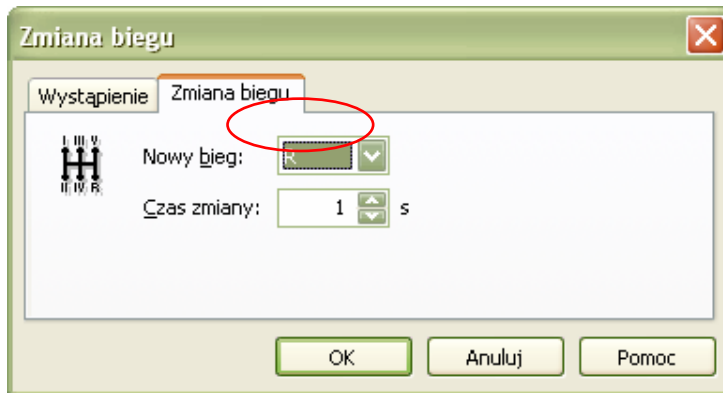
- 4) Dla zadanych parametrów ruchu uruchomiono proces symulacji, a po jej zakończeniu (dla czasu symulacji  $t = 1,21$  s) skorygowano ustawienie samochodu tak, aby po zatrzymaniu przednie koła znajdowały się na wysokości betonowego przepustu (mostka). Ustawienie samochodu względem przepustu po zakończeniu tego etapu symulacji jest pokazane na rycinie 6.



Ryc. 6. Ustawienie samochodu względem przepustu.

5) W kolejnym kroku wprowadzono kolejno następujące zadania:

- **Zmiana biegu** – w oknie dialogowym ustawiono parametr **Nowy bieg**, zaznaczając na liście pozycję „R” (ryc. 7). Dla parametru **Czas zmiany** wpisano wartość 1 [s].



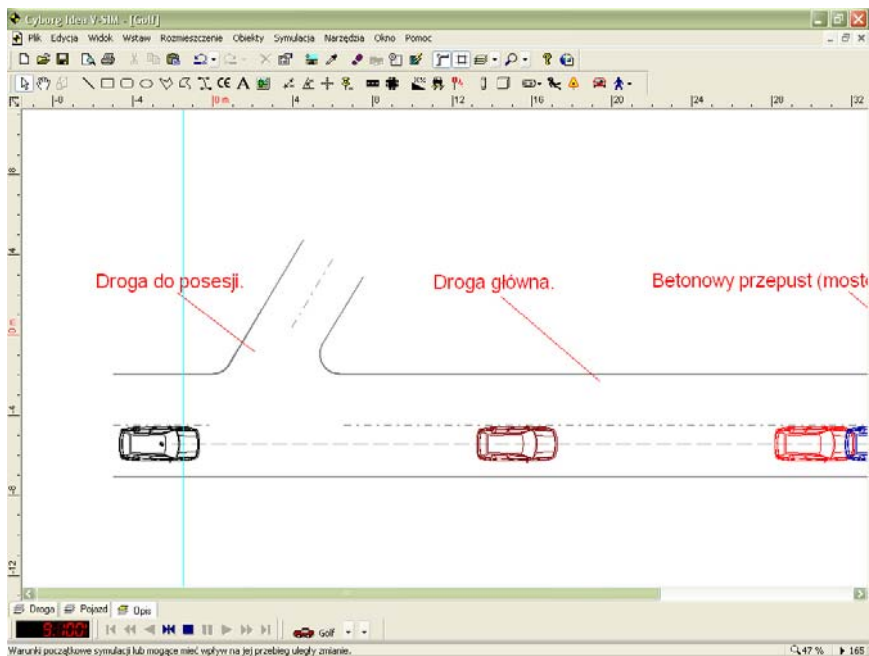
Ryc. 7. Okno dialogowe „Zmiana biegu”.

- **Przyspieszanie** – w oknie dialogowym tego zadania dla parametru **Nacisk na pedał przyspieszenia**: pozostawiono wartość domyślną (100%).

**UWAGA:** Przy wprowadzeniu powyższych zadań szczególną uwagę należy zwrócić na czas rozpoczęcia realizacji manewru przyspieszania. Zbyt wczesne zainicjowanie tego procesu (tj. zanim zakończyła się realizacja zadania **Zmiana biegu**) spowoduje przerwanie symulacji.

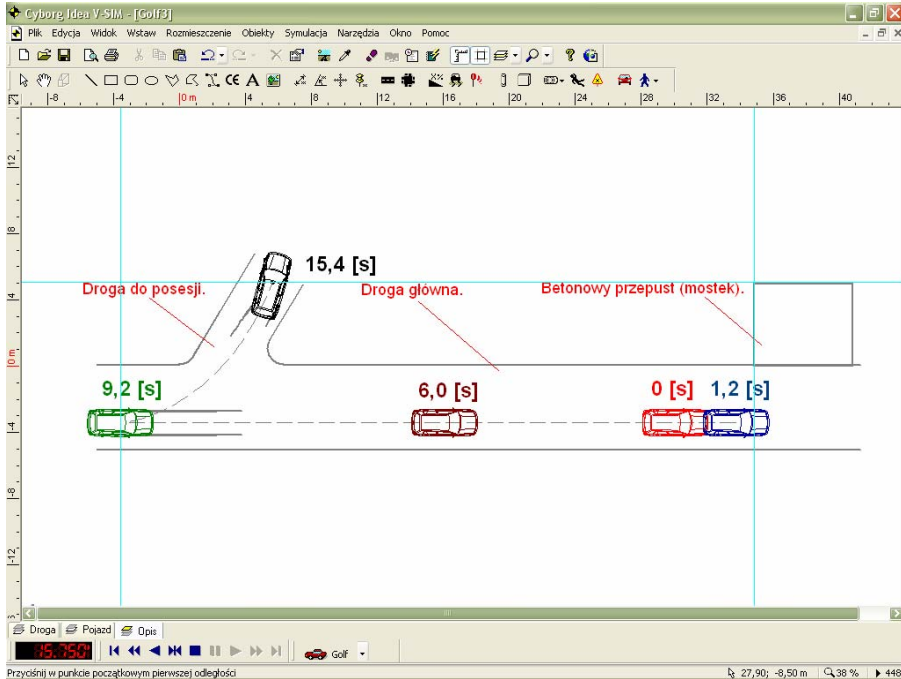
6) Realizacja wprowadzonych zadań spowodowała ruch samochodu do tyłu. Ponieważ manewr cofania powinien zakończyć się zatrzymaniem pojazdu w miejscu umożliwiającym wjazd na drogę prowadzącą do posesji (poz. P3) – zdefiniowano nowe zadanie hamowania. W tym celu zatrzymano proces symulacji w chwili, gdy pojazd znajdował się w pewnej odległości przed wjazdem w boczną drogę (np. dla czasu symulacji  $t = 6,0$  [s]). W oknie dialogowym **Hamowanie** wybrano opcję **Wykorzystując przyczepność** i pozostawiono wartość domyślną (100%). Proces symulacji powtórzono kilkakrotnie, zmieniając czas rozpoczęcia hamowania<sup>9</sup> w taki sposób, aby doprowadzić do zatrzymania pojazdu w pozycji pokazanej na rycinie 8 (sylwetka koloru czarnego). Wymagane położenie samochodu uzyskano dla czasu rozpoczęcia hamowania wynoszącego  $t = 6,29$  [s].

<sup>9</sup> Okno dialogowe **Hamowanie**, zakładka **Wystąpienie**, parametr **W momencie**.



Ryc. 8. Ustawienie pojazdu umożliwiające skręt w drogę do posesji.

- 7) Po zatrzymaniu pojazdu w wymaganym położeniu wprowadzono kolejno zadania:
  - **Zmiana biegu** – w oknie dialogowym ustawiono parametr **Nowy bieg**, zaznaczając na liście pozycję „I” (pierwszy bieg). Dla parametru **Czas zmiany** wpisano wartość 1 [s].
  - **Skręt kierownicą** – w oknie dialogowym **Skręt kierownicą** wpisano wartość kąta obrotu  $320^\circ$ , natomiast w polu **Czas wykonania manewru** wpisano wartość 1 [s].
  - **Przyspieszenie** – w oknie dialogowym tego zadania dla parametru **Nacisk na pedał przyspieszenia** pozostawiono wartość domyślną (100%).
- 8) W ostatnim etapie symulacji wprowadzono zadanie hamownia. Efektem wprowadzenia tego zadania było zatrzymanie pojazdu na drodze prowadzącej do posesji. Metoda postępowania dotycząca wyznaczenia czasu, po którym należy rozpocząć hamowanie, została omówiona w punkcie 6. Przód samochodu powinien zatrzymać się w odległości około 6 m od lewej krawędzi jezdni drogi głównej. Wymagane położenie uzyskano dla czasu rozpoczęcia hamowania wynoszącego  $t = 13,8$  [s].  
Wynik przeprowadzonej symulacji jest przedstawiony graficznie na rycinie 9.



Ryc. 9. Efekt symulacji po zrealizowaniu wszystkich opisanych zadań.

Na rycinie pokazane są pozycje pośrednie, w których następowało zatrzymanie pojazdu. Sylwetki samochodu zaznaczone kolorami: czerwonym, niebieskim, zielonym i czarnym, odpowiadają pozycjom P1, P2, P3 i P4, zaznaczonym na schemacie przedstawionym na rycinie 3. Dodatkowo kolorem brązowym zaznaczono sylwetkę w miejscu, w którym nastąpiło zatrzymanie symulacji celem wprowadzenia zadania **Hamowanie**, opisanego w punkcie 6. Zaznaczona pozycja pośrednia odpowiada czasowi symulacji wynoszącemu 6,0 [s].

Minimalny czas wykonania manewru wyznaczony metodą komputerowej symulacji ruchu wynosi 15,4 [s], a więc jest większy od czasu, po którym na miejsce zdarzenia przybył pierwszy świadek (14,1 [s]). Przeprowadzony proces symulacji sprzeciwia się zatem wersji zdarzenia przedstawionej przez „sprawcę”.

\* \* \*

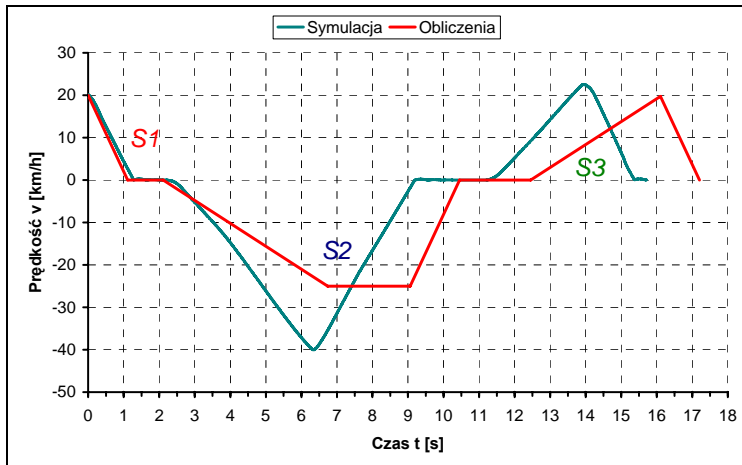
Należy zauważyć, że przy zastosowaniu symulacji komputerowej zostały uwzględnione następujące dodatkowe czynniki wpływające na ruch pojazdu, których uwzględnienie przy obliczeniach „ręcznych” jest w praktyce niemożliwe:

- charakterystyka zewnętrzna silnika konkretnego samochodu,
- poślizg sprzęgła występujący przy ruszaniu samochodu i zmianie biegu,
- przełożenia układu napędowego konkretnego samochodu oraz jego sprawność,
- momenty bezwładności silnika, układu napędowego i kół,
- czasy narastania opóźnień i przyspieszeń,

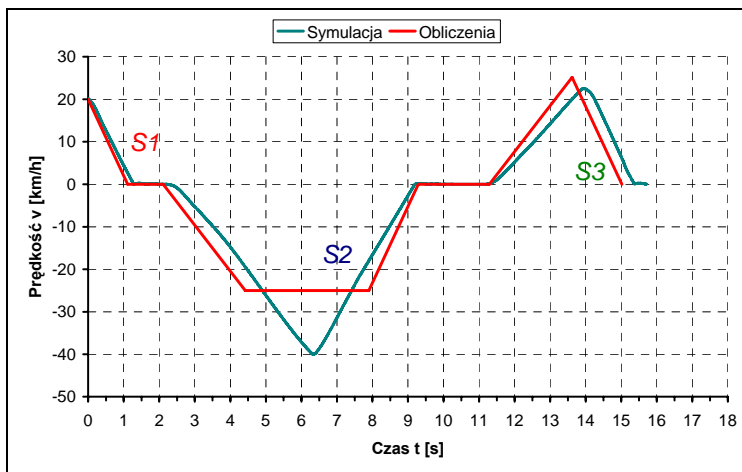
## z notatnika bielego

- dynamika poprzeczna i podłużna samochodu,
- możliwość wykorzystania współczynników przyczepności opon do jezdni.

W celu łatwego porównania uzyskanych wyników, na rycinie 10 i 11 przedstawione są przebiegi prędkości w funkcji czasu dla obu zastosowanych metod.



Ryc. 10. Porównanie przebiegów prędkości w funkcji czasu, uzyskanych w wyniku symulacji (kolor zielony) oraz obliczeń przy założeniu  $a_r=1,5 \text{ m/s}^2$  (kolor czerwony).



Ryc. 11. Porównanie przebiegów prędkości w funkcji czasu, uzyskanych w wyniku symulacji (kolor zielony) oraz obliczeń przy założeniu  $a_r=3 \text{ m/s}^2$  (kolor czerwony).

Symbolami S1, S2 i S3 opisano zmiany prędkości na odpowiadających im odcinkach S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> i S<sub>3</sub> (ryc. 3). Porównując przedstawione na rycinie 11 przebiegi czasowe można stwierdzić, że uzyskane w symulacji przyspieszenie na biegu wstecznym było minimalnie mniejsze od maksymalnego, założonego w oblicze-

niach. Podobna uwaga odnosi się do opóźnienia hamownia, które uzyskiwał pojazd podczas jazdy do tyłu. Mniejsza wartość opóźnienia uzyskiwana podczas jazdy do tyłu wynika zapewne z dynamiki podłużnej samochodu. Mianowicie dociążenie kół tylnych w wyniku przechyłu wzdłużnego nie rekompensuje spadku sił stycznych na kołach przednich, które są odciążane. Ponadto mechanizmy hamulcowe kół tylnych projektowane są na mniejsze wartości momentu hamującego.

W wyniku symulacji okazało się również, że samochód na biegu wstecznym rozwinął znacznie większą prędkość od tej, którą przyjął do obliczeń.

\* \* \*

Jak wykazano w niniejszym opracowaniu, wyniki uzyskane na drodze obliczeń analitycznych („ręcznych”) silnie zależą od prawidłowego doboru parametrów ruchu pojazdu (w tym przypadku przyspieszenia i opóźnienia). Przy prawidłowych założeniach wyniki uzyskane drogą obliczeń i drogą symulacji nie odbiegają znacząco od siebie.

Warto w tym miejscu nadmienić, że w dostępnej literaturze nie publikowano do tej pory danych dotyczących przyspieszeń i opóźnień uzyskiwanych przez samochody osobowe podczas jazdy do tyłu. Z tego względu obliczenia przeprowadzone metodą „ręczną” mogą sprawiać pewne trudności przy doborze parametrów ruchu podczas jazdy do tyłu.

## 6. Konkluzje

1. Przeprowadzona symulacja pozwoliła na precyzyjne obliczenie czasu niezbędnego dla wykonania sekwencji manewrów zadeklarowanej przez „sprawcę”. W omawianym przypadku znajomość tego czasu umożliwia zakwestionowanie wersji zdarzenia podawanej przez „sprawcę”.
2. Czas ten oczywiście można obliczyć również analitycznie. W przedstawionym przypadku wynik takiego obliczenia nie odbiega rażąco od wyniku symulacji, a w każdym razie nie zmienia konkluzji obliczeń<sup>10</sup>. Widać jednak, że w stosunku do symulacji komputerowej obliczenia są pracochłonne. Są one ponadto obciążone błędami szacowania wartości przyspieszeń i opóźnień i nie uwzględniają czasów narastania tych przyspieszeń i opóźnień, możliwych poślizgów kół itp. czynników występujących w realnym ruchu pojazdu.
3. Program *V-SIM* umożliwia nie tylko symulację ruchu i zderzeń pojazdów, ale również, co wykazano na omówionym przykładzie, symulację złożonych manewrów z uwzględnieniem zmian biegów (cofanie, jazda do przodu).

---

<sup>10</sup> Konkluzja uległaby zmianie, gdyby do obliczeń „ręcznych” przyjął (szacunkowo) jeszcze większą wartość przyspieszenia niż  $3 \text{ m/s}^2$ . Symulacja, oparta na realnych parametrach dynamicznych samochodu, weryfikuje takie intuicyjne szacowanie.