

Article citation info:

Nycz D B. Effect of the B-type guiderail joints of a road barrier on the TB11 and TB32 virtual crash tests. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2016; 71(1): 71-83, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL71.ART4>

Wpływ złączy prowadnicy B bariery drogowej na wirtualne testy zderzeniowe TB11 i TB32

D. B. NYCZ¹

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Jana Grodka w Sanoku

Streszczenie

W pracy przedstawiono wpływ złączy prowadnicy typu B bariery SP-05/2, klasy N2–W4–A, na przebieg wirtualnych testów zderzeniowych TB11 i TB32. Prowadnicę modelowano jako belkę ciągłą (bez złączy) oraz jako składającą się z 4 m odcinków połączonych elementami belkowymi modelującymi złącza. Test TB11 dotyczy samochodu osobowego o masie 900 kg, uderzającego w barierę z prędkością 100 km/h pod kątem 20°. Test TB32 dotyczy samochodu osobowego o masie 1500 kg, uderzającego w barierę z prędkością 110 km/h pod kątem 20°. Obliczenia numeryczne przeprowadzono w środowisku LS-Dyna z wykorzystaniem modeli pojazdów Geo Metro i Doge Neon, zaczerpniętych ze strony National Crash Analysis Center (NCAC). Modele pojazdów poddano niezbędnym modyfikacjom. Wyniki wirtualnych testów zderzeniowych poddano analizie pod kątem parametrów i kryteriów przyjęcia testów zderzeniowych, wymaganych przez normy PN-EN 1317-1:2010 i PN-EN 1317-2:2010. Uwzględnienie połączeń segmentów prowadnic pozwala sprawdzić, czy prowadnica zachowa ciągłość w trakcie testu zderzeniowego. Modelowanie testów zderzeniowych z prowadnicami modelowanymi jako belki ciągłe, powoduje zmniejszenie prawie wszystkich parametrów zderzeniowych, a w przypadku testu TB11 – łagodniejsze wyprowadzenie pojazdu.

Słowa kluczowe: bariera drogowa ochronna, złącza segmentów prowadnicy, wirtualne testy zderzeniowe, modelowanie numeryczne

Keywords: protective road barrier, guiderail segments joints, virtual crash tests, numerical modeling

¹ Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Jana Grodka w Sanoku, Instytut Techniczny, ul. Reymonta 6, 38-500 Sanok, e-mail: daniel.nycz@interia.pl

1. Wprowadzenie

Wirtualne testy zderzeniowe drogowych systemów powstrzymywania są przedmiotem szeregu publikacji. Stalowe bariery ochronne poddano wirtualnym i eksperymentalnym testom zderzeniowym, m.in. w pracach [1, 2, 5, 12, 13]. Prezentowane są w nich różne modele numeryczne układów pojazd – system powstrzymywania. W pracy [5] przedstawiono porównanie wyników testów zderzeniowych TB11 i TB32, eksperymentalnych i wirtualnych, w odniesieniu do ośmiu wybranych barier drogowych. Autorzy zwracają uwagę na dużą wrażliwość modelu numerycznego na zmiany niektórych parametrów modelu. Zwracają również uwagę na cechy losowe układów pojazd / bariera (właściwości materiałowe, tolerancje kryteriów badań zderzeniowych, błędy pomiarowe). Autorzy wymieniają trzy typowe formy niszczenia bariery: deformacja plastyczna prowadnicy, zginanie słupków i przegub plastyczny w przekroju utwierdzenia w podłożu oraz zerwanie połączenia prowadnicy ze słupkiem.

W pracy [12] analizie poddano barierę drogową z prowadnicą typu A, w której zastosowano łatwo odkształcalne elementy dystansowe łączące prowadnicę ze słupkami. W modelowaniu przyjęto, że prowadnica jest belką ciągłą. Wyniki numeryczne testu TB11 porównano z wynikami eksperymentalnymi (porównano tylko indeks ASI oraz szerokość pracującą W).

Modelowanie i symulacje testów zderzeniowych TB11 i TB42 dla systemu o poziomie powstrzymywania H1, przeprowadzono w pracy [2]. Zbadano wpływ czterech zmian konstrukcyjnych w barierze drogowej: 1) wprowadzenie pasa rozciąganego, 2) wprowadzenie prowadzenia rolkowego, 3) wprowadzenie liny w górnej części prowadnicy, 4) wprowadzenie liny w dolnej części prowadnicy. Wirtualne testy zderzeniowe porównano z testami eksperymentalnymi. Modele pojazdów zaczerpnięto z biblioteki publicznej NCAC [18] i dokonano na nich kilku modyfikacji. Prowadnicę modelowano jako belkę ciągłą (bez złączy). Pozostałe łączniki śrubowe bariery odwzorowano za pomocą elementów belkowych lub typu SpotWeld [6, 7]. Grunt modelowano za pomocą elementów sprężysto-tłumiących.

Modelowanie numeryczne i symulacje testów zderzeniowych wymaganych dla poziomu powstrzymywania H1, przeprowadzono w pracy [13]. Obliczenia przeprowadzono w systemie LS-DYNA. Modele numeryczne pojazdów zaczerpnięto z biblioteki NCAC [18]. W modelach wprowadzono modyfikacje. Części bariery modelowano, stosując pełnocalkowalne elementy powłokowe, z pięcioma punktami całkowania na grubości w strefie zderzenia oraz elementy powłokowe Belytschko-Tsay z trzema punktami całkowania na grubości – poza tą strefą. Złącza śrubowe prowadnica/słupki modelowano za pomocą liniowych elementów belkowych Hughes-Liu lub za pomocą więzów typu SpotWeld [6, 7]. Parametry złączy wyznaczono metodą eksperymentalno-numeryczną, bazującą na teście rozciągania złącza. Podłoże gruntowe modelowano za pomocą więzów sprężystych-lepkoplastycznych o charakterystyce zależnej od głębokości zanurzenia słupka w podłożu, wyznaczonej metodą numeryczno-eksperymentalną.

Możliwości symulacji drogowych testów zderzeniowych w systemie LS-DYNA zaprezentowano w pracy [1]. Przedmiotem badań jest bariera G4(1S) z prowadnicą typu W i przesztywnionymi słupkami typu W150×13. W strefie zderzenia z pojazdem, prowadnicę i słupki modelowano z użyciem elementów powłokowych w sformułowaniu Belytschko-Tsay, z trzema punktami całkowania na grubości. Połączenia śrubowe M32 modelowano w sposób uproszczony. Podłoże modelowano za pomocą ortogonalnych więzów sprężystych do głębokości 1 m. Poza strefą zderzenia uwzględniono tylko podatność wzdłużną bariery za pomocą więzów sprężystych. Model pojazdu o masie 2000 kg zaczerpnięto z biblioteki NCAC [18], odpowiednio go modyfikując. Wyniki symulacji porównano z negatywnym wynikiem testu eksperymentalnego. Symulacje wykorzystano do przeprojektowania bariery tak, aby spełnić kryteria przyjęcia badań zderzeniowych.

Celem niniejszej pracy jest porównanie wpływu złączy przewodnicy systemu SP-05/2 na wyniki wirtualnych testów zderzeniowych TB11 i TB32. Przewodnicę modelowano jako belkę ciągłą – bez złączy śrubowych (kody TB11_C, TB32_C) oraz jako 4 m segmenty połączone elementami belkowymi odwzorowującymi łączniki śrubowe (kody TB11_S, TB32_S). Analizie poddano parametry i kryteria drogowych testów zderzeniowych wymagane przez normy [14, 15].

2. Badany system oraz testy zderzeniowe objęte analizą

Przedmiotem pracy jest skrajna zewnętrzna bariera drogowa SP-05/2, klasy N2-W4-A. Producentem systemu jest firma Stalprodukt S.A, z siedzibą w Bochni [16, 17]. System może być również stosowany na pasach rozdziału (dwie równoległe bariery).

Bariera składa się z odcinków przewodnicy typu B o długości całkowitej 4.30 m (długość efektywna 4.00 m), słupków Sigma o długości 1.9 m oraz wsporników trapezowych i podkładek prostokątnych. Wszystkie elementy bariery wykonane są ze stali konstrukcyjnej S235JR i poddane procesowi cynkowania ogniowego. Jako łączniki zastosowano śruby M16 klasy 4.6 [16, 17].

Warunkiem dopuszczenia do stosowania bariery drogowej klasy N2-W4-A jest spełnienie warunków norm [14, 15] w odniesieniu do testów zderzeniowych TB11 i TB32. Test TB11 dotyczy samochodu osobowego o masie 900 kg, uderzającego w barierę z prędkością 100 km/h pod kątem 20°. Test TB32 dotyczy samochodu osobowego o masie 1500 kg, uderzającego w barierę z prędkością 110 km/h pod kątem 20°.

Zgodnie z kartą produktu [17], systemu SP-05/2 spełnia wymogi norm [14, 15] dla testów zderzeniowych TB11 i TB32. Producent podał niektóre wyniki tych testów: ASI = 0.8, THIV = 23.0 km/h, VCDI = RF0001000, $W_m = 1.1$ m.

3. Parametry badań zderzeniowych

W czasie testów zderzeniowych system powstrzymywania (zgodnie ze swoją klasą działania) oraz pojazd, powinny spełnić wymagania dotyczące: intensywności zderzenia, odkształcenia systemu powstrzymywania, zachowania się systemu powstrzymywania oraz zachowania się badanego pojazdu.

Parametr ASI (wskaźnik intensywności przyspieszenia) jest wielkością określającą uciążliwość ruchu podczas zderzenia z systemem powstrzymywania, dla osoby znajdującej się w pobliżu punktu pomiaru. Obliczany jest jako wartość maksymalna z funkcji [14, 15]:

$$ASI(t) = \sqrt{\left(\frac{\bar{a}_x(t)}{\hat{a}_x}\right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_y(t)}{\hat{a}_y}\right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_z(t)}{\hat{a}_z}\right)^2} \quad (1)$$

gdzie:

$$\bar{a}_j(t) = \frac{1}{\delta} \int_t^{t+\delta} a_j(t) dt, \quad j = x, y, z \quad (2)$$

oraz $\hat{a}_x, \hat{a}_y, \hat{a}_z$ - graniczne wartości składowych przyspieszeń w kierunkach x, y, z (w Europie odpowiednio 12g, 9g i 10g); $a_x(t), a_y(t), a_z(t)$ - składowe przyspieszenia środka masy pojazdu; $\bar{a}_x(t), \bar{a}_y(t), \bar{a}_z(t)$ - składowe przyspieszenia środka masy pojazdu, przepuszczone przez czterobiegunowy bezfazowy filtr cyfrowy Butterwortha, o niskiej przepustowości, o częstotliwości granicznej 13Hz (wartości składowych przyspieszenia uśrednione w ruchomym przedziale czasowym $\delta = 50\text{ms}$); $\delta = 50\text{ms}$ - ruchomy interwał czasu.

Poziomy intensywności zderzenia przyjmują wartości: poziom A: $\text{ASI} \leq 1.0$; poziom B: $\text{ASI} \leq 1.4$; poziom C: $\text{ASI} \leq 1.9$ [14, 15].

Parametr THIV (prędkość teoretycznej głowy w czasie zderzenia), podobnie jak ASI, służy do oceny intensywności zderzenia, w odniesieniu do osób znajdujących się w pojeździe, podczas kolizji z systemem powstrzymywania [14, 15]. Zakłada się, że osoba wewnątrz pojazdu jest obiektem (teoretyczną głową) poruszającym się swobodnie w taki sposób, że podczas zmiany kierunku ruchu pojazdu (uderzenia w system powstrzymywania) głowa przemieszcza się w dalszym ciągu prostoliniowo i niezależnie od pojazdu, aż do momentu uderzenia w powierzchnię wewnętrzną pojazdu (ściany teoretycznej kabiny). Wartość prędkości zderzenia teoretycznej głowy z ruchomą teoretyczną kabiną pojazdu jest parametrem THIV. Algorytm wyznaczania parametru THIV można znaleźć w pracach [11, 19]. Dla poziomów intensywności zderzenia A, B, C wartość THIV spełnia warunek $\text{THIV} \leq 33 \text{ km/h}$ [14, 15].

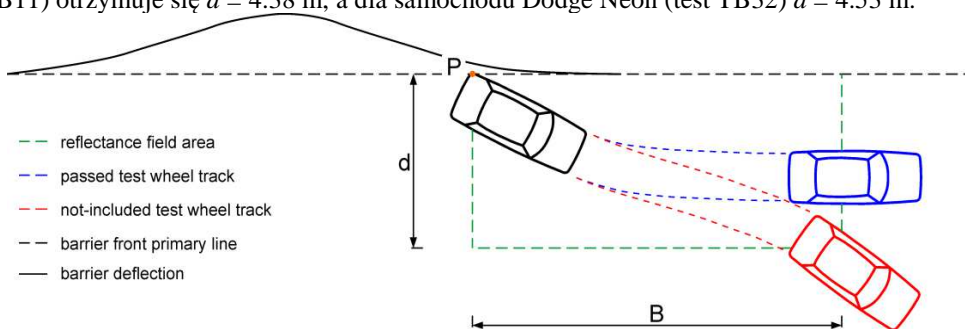
Wskaźnik odkształcenia kabiny pojazdu VCDI, określa znormalizowane odkształcenie wnętrza pojazdu. Zapis parametru VCDI w formie XYabcdefg, obejmuje zarówno miejsce, jak i rozległość uszkodzeń kabiny pojazdu, gdzie XY – miejsce odkształcenia kabiny pojazdu, abcdefg – indeksy określające procentowe zmniejszenie siedmiu wewnętrznych wymiarów kabiny pojazdu [14, 15].

Szerokość pracująca W_m jest maksymalną poprzeczną odległością pomiędzy dowolną częścią nieodkształconej bariery od strony ruchu a maksymalnym dynamicznym położeniem dowolnej części tej bariery [14, 15].

Po zderzeniu, pojazd osobowy o długości L [m] i szerokości S [m] powinien odsunąć się od bariery ochronnej tak, aby ślad koła nie przekroczył linii równoległej do pierwotnej linii bariery od strony ruchu w odległości

$$d = 2.2 + S + 0.16L \quad (3)$$

w granicach odległości $B = 10.0 \text{ m}$ od punktu P (punktu najbliższego dolnego końca bariery ochronnej), w którym ślad ostatniego z kół pojazdu ponownie przecina linię czoła bariery od strony ruchu po początkowym zderzeniu (rys. 1) [14, 15]. Dla samochodu Geo Metro (test TB11) otrzymuje się $d = 4.38 \text{ m}$, a dla samochodu Dodge Neon (test TB32) $d = 4.53 \text{ m}$.



Rys. 1. Pole odbicia oraz trajektorie ruchu kół pojazdu [14, 15]

4. Modele numeryczne analizowanych układów

Do wirtualnych testów zderzeniowych TB11 i TB32, wykorzystano modele pojazdów Geo Metro i Doge Neon, opracowane przez NCAC [18]. Model Geo Metro zawiera ponad 33000 elementów skończonych (ponad 35000 węzłów). Model Doge Neon zawiera ponad 279000 elementów skończonych (ponad 283000 węzłów). Wstępne testy zderzeniowe (m.in. uderzenie centralne i pod kątem 20° pojazdu w sztywną ścianę) wykazały konieczność wprowadzenia szeregu modyfikacji i uzupełnień modelu pojazdu: m.in. zmiana modelu opisującego pracę opon, korekta modelu zawieszenia, wprowadzenie dynamicznej relaksacji (grawitacja) przed rozpoczęciem procesu zderzenia pojazdu z barierą, korekta opcji modeli kontaktu oraz kart kontrolnych.

Odcinki bariery SP-05/2 o długości 60 m posiatkowano 4-węzłowymi powłokowymi elementami skończonymi w sformułowaniu Belytscho-Tsay, z całkowaniem zredukowanym w płaszczyźnie elementu (sformułowanie ELFORM_2 według [6, 7]) i 5 punktami całowania po grubości.

Grunt, w którym osadzone są stalowe słupki SIGMA bariery SP-05/2, odwzorowano poprzez walce o promieniu 1.00 m i wysokości 1.30 m. Posiatkowano je elementami bryłowymi o topologii HEX8 oraz PENTA6, z przypisanym sformułowaniem ELFORM_1 (elementy bryłowe ze stałym całowaniem) [6, 7].

Elementy wykonane ze stali konstrukcyjnej S235JR (system SP-05/2) opisano modelem sprężysto-plastycznym z umocnieniem izotropowym, uwzględniającym kryterium niszczenia bazujące na efektywnych odkształceniach plastycznych *MAT_024_PIECEWISE_LIENAR_PLASTICITY [6, 7]. Stałe materiałowe zaczerpnięto z certyfikatu jakości produktu firmy Stalprodukt [9–11]. Grunt opisano modelem materiałowym *MAT_005_SOIL_AND_FOAM [6, 7]. Jest to prosty model stosowany do opisu zachowania pian i gruntów w przypadku, gdy ich stałe materiałowe nie są w pełni określone. Stałe materiałowe gruntu zaczerpnięto ze strony NCAC [18].

Bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na funkcjonalność barier ochronnych są łączniki śrubowe. W systemie SP-05/2 występują połączenia śrubowe prowadnic oraz prowadnic ze słupkiem SIGMA.

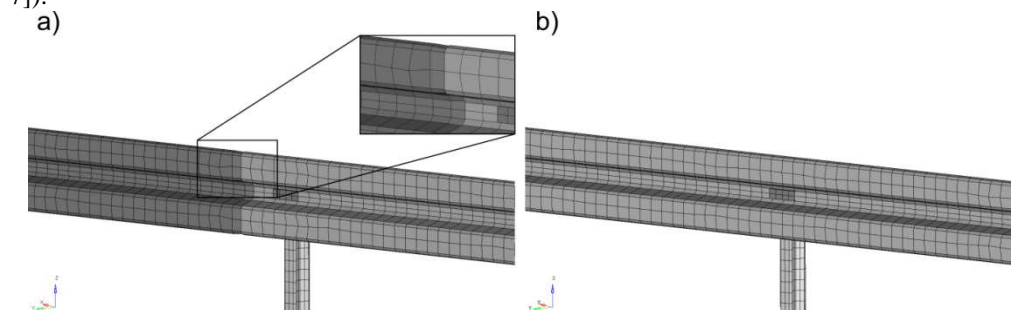
W pracach [4, 11] wykazano, że głównym i pożądanym mechanizmem niszczenia połączeń śrubowych słupków z prowadnicami, jest ścięcie łącznika śrubowego. Łączniki śrubowe w tych węzłach zamodelowano za pomocą *CONSTRAINED_GENERALIZED_WELD_SPOT [6, 7], z odpowiednimi nośnościami wynikającymi z klasy wytrzymałości śrub [17].

W wielu pracach, m.in. [2, 3, 12], prowadnicę traktuje się jako belkę ciągłą, pomijając połączenia śrubowe segmentów. W niniejszej pracy zbadano wpływ tych połączeń na wirtualne testy zderzeniowe TB11 i TB32 bariery SP-05/2 (rys. 2), modelując prowadnicę jako belkę ciągłą oraz jako belkę składającą się z segmentów połączonych śrubami.

Dla połączeń śrubowych prowadnic opracowano metodę wyznaczania zastępczych charakterystyk sztywnościowych [8–11]. Metoda polega na: 1) wyznaczenie eksperymentalnej charakterystyki sprężysto-plastycznej pojedynczego złącza śrubowego segmentów prowadnicy, poddanego próbie rozciągania ze ścinaniem (wycięte z pełnego złącza 6-śrubowego); 2) modelowanie 3D pojedynczego złącza śrubowego w celu wyznaczenia opcji/parametrów modelowania i symulacji prowadzących do zgodności wyniku numerycznego z wynikiem eksperymentalnym; 3) modelowanie 2D (model zastępczy) pojedynczego złącza śrubowego segmentów prowadnicy z zastosowaniem elementu belkowego odwzorowującego charakterystykę sztywnościową złącza; 4) modelowanie 3D rozciągania ze ścinaniem pełnego

złącza śrubowego segmentów prowadnicy z wykorzystaniem wyznaczonych opcji/parametrów modelowania i symulacji w celu wyznaczenia charakterystyki sztywnościowej; 5) modelowanie 2D (model zastępczy) pełnego złącza śrubowego segmentów prowadnicy [8–11].

Połączenia śrubowe segmentów prowadnic opisano za pomocą elementów belkowych z przypisanymi parametrami sztywnościowymi wyznaczonymi na podstawie powyższej metody (model materiałowy *MAT_68_NONLINEAR_PLASTIC_DISCRETE_Beam [6, 7]).



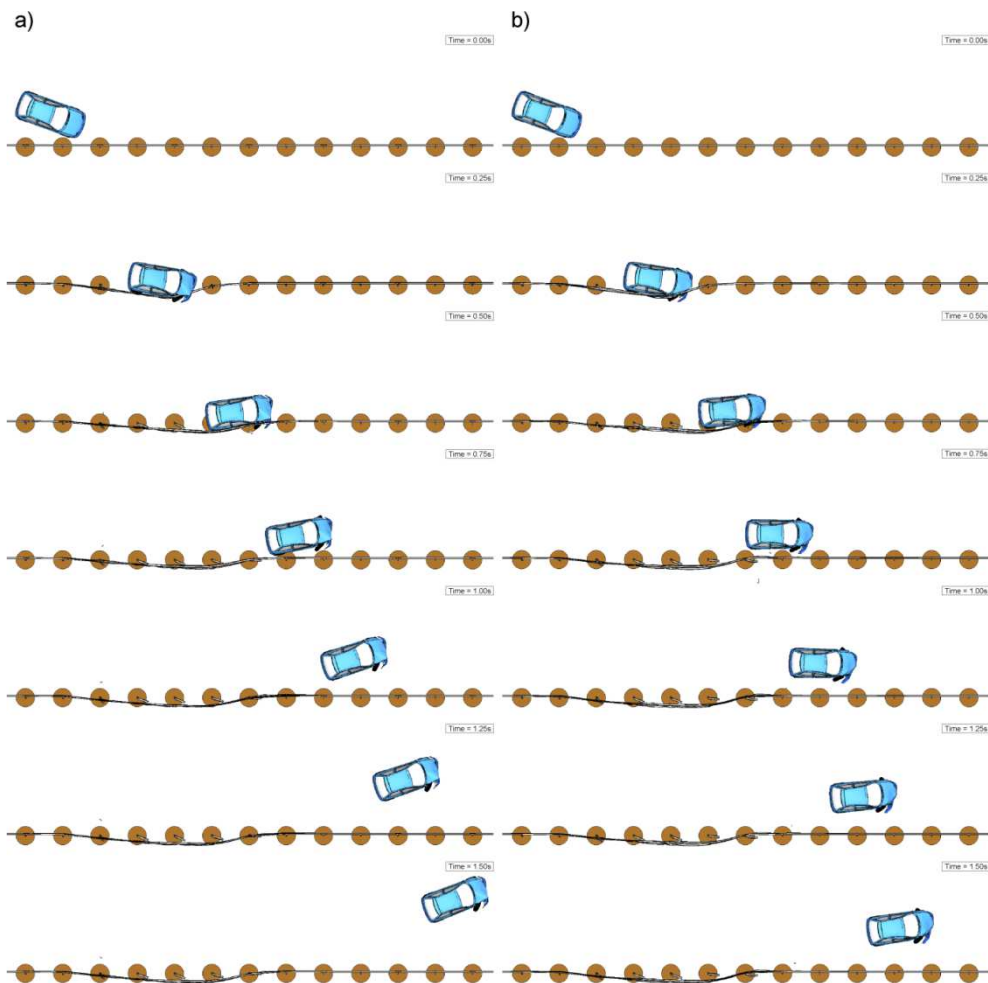
Rys. 2. Model numeryczny prowadnicy systemu SP-05/2: a) prowadnica składająca się z segmentów połączonych elementami belkowymi opisującymi łączniki śrubowe; b) prowadnica jako belka ciągła

5. Wirtualne testy zderzeniowe TB11

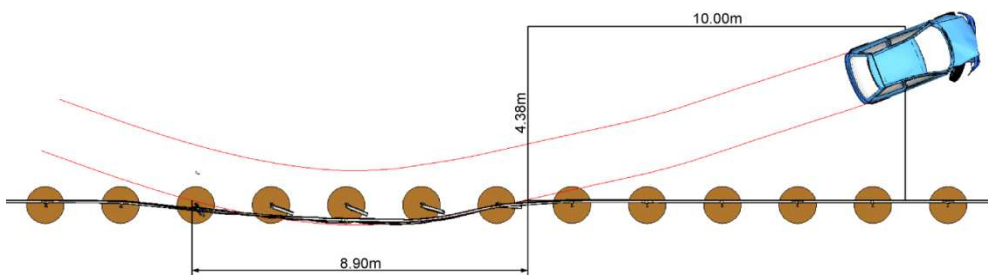
Wyniki symulacji testów zderzeniowych TB11_S i TB11_C, przedstawiono na rys. 3. Uszkodzenia oraz deformacja pojazdu dotyczy tylko przedniego zestawu kołowego. Dla bariery składającej się z 4 m odcinków pojazd jest bliski niespełnienia warunku normowego dotyczącego wyprowadzenia w polu odbicia (rys. 4). Długość oddziaływania pojazdu z barierą wynosi 8.90 m. W trakcie kolizji nie następuje zniszczenie (erozja) elementów belkowych odzwierciedlających pracę złączy śrubowych prowadnic. Dla prowadnicy ciągłej występuje łagodne wyprowadzenie pojazdu w normowym polu odbicia (rys. 5). Długość oddziaływania pojazdu z barierą wynosi 8.31 m.

Na rys. 6 przedstawiono porównanie bilansów energetycznych obydwu testów. Dla testu TB11_S, w wyniku kolizji pochłonięciu ulega 85.1% energii kinetycznej pojazdu, a energia pochłonięta w wyniku niszczenia materiałów wynosi 0.168 MJ. Prędkość rezydualna pojazdu w momencie zakończenia interakcji pojazdu z barierą ($t = 0.716$ s) wynosi 47.2 km/h. Dla testu TB11_C, w wyniku kolizji pochłonięciu ulega 92.5% energii kinetycznej pojazdu, a energia pochłonięta w wyniku niszczenia materiałów wynosi 0.189 MJ. Prędkość rezydualna pojazdu w momencie zakończenia interakcji pojazdu z barierą ($t = 0.644$ s) wynosi 36.7 km/h.

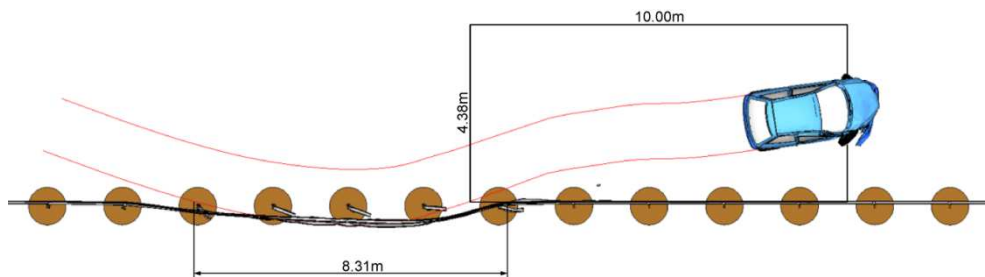
W tabeli 1 zestawiono wyniki przeprowadzonych wirtualnych testów zderzeniowych TB11. Porównując z prowadnicą składającą się z 4 m odcinków, zastosowanie prowadnicy w formie belki ciągłej spowodowało zwiększenie ASI o 3.7% oraz zmniejszenie THIV o 1.7%, szerokości pracującej o 2.3%, długości oddziaływania pojazdu z barierą o 6.6% i prędkości residualnej o 22.2%.



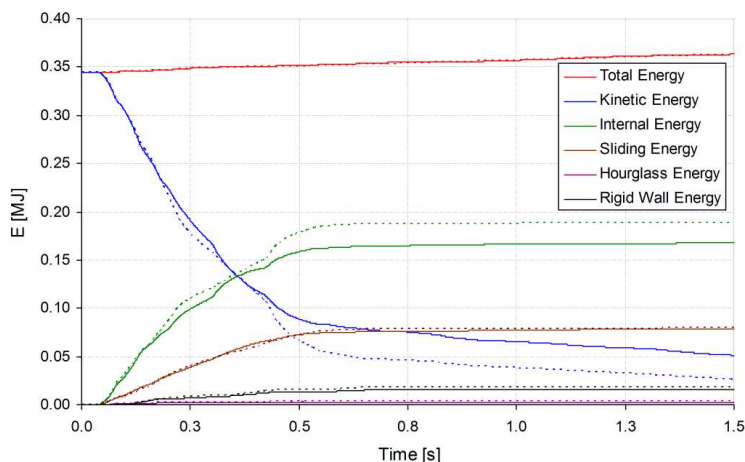
Rys. 3. Animacja testu zderzeniowego TB11 – widok z góry: a) TB11_S; b) TB11_C



Rys. 4. Wyprowadzenie pojazdu po zderzeniu z barierą oraz długość oddziaływania pojazdu na barierę dla testu TB11_S – widok z góry



Rys. 5. Wyprowadzenie pojazdu po zderzeniu z barierą oraz długość oddziaływania pojazdu na barierę dla testu TB11_C– widok z góry



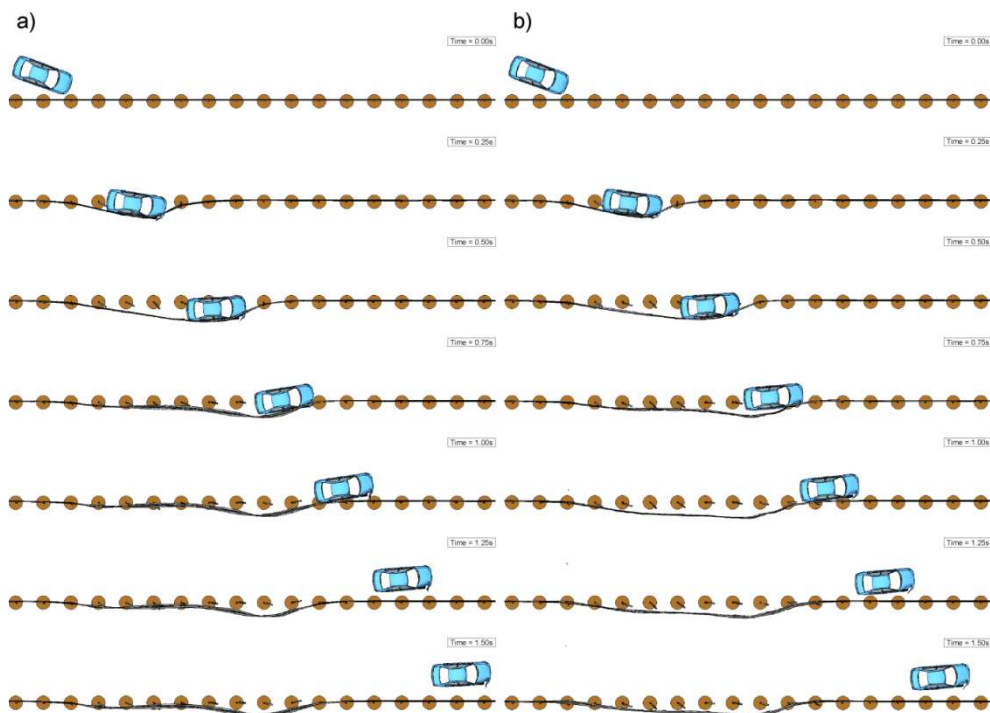
Rys. 6. Porównanie bilansu energetycznego dla testów TB11: linie ciągłe – TB11_S; linie przerywane – TB11_C

6. Wirtualne testy zderzeniowe TB32

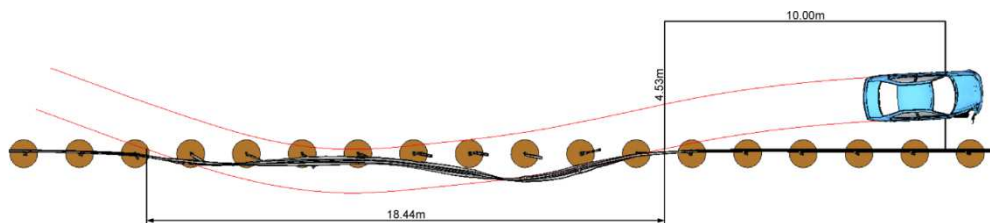
Wyniki symulacji testów zderzeniowych TB32_S i TB32_C przedstawiono na rys. 7. Uszkodzenia oraz deformacja pojazdu dotyczy tylko przedniego zestawu kołowego. Dla bariery składającej się z 4 m odcinków pojazd jest prawidłowo wyprowadzony w normowym polu odbicia (rys. 8). Długość oddziaływania pojazdu z barierą wynosi 18.44 m. Dla prowadnicy ciągłej, wyprowadzenie pojazdu w normowym polu odbicia jest także prawidłowe (rys. 9). Długość oddziaływania pojazdu z barierą wynosi 17.64 m.

Na rys. 10 przedstawiono porównanie bilansów energetycznych obydwu testów. Dla testu TB32_S, w wyniku kolizji pochłonięciu ulega 61.2% energii kinetycznej pojazdu, a energia pochłonięta w wyniku niszczenia materiałów wynosi 0.346 MJ. Prędkość rezydualna pojazdu w momencie zakończenia interakcji pojazdu z barierą ($t = 1.012$ s) wynosi 62.8 km/h. Dla testu TB32_C, w wyniku kolizji pochłonięciu ulega 69.9% energii kinetycznej pojazdu, a energia pochłonięta w wyniku niszczenia materiałów wynosi 0.364 MJ. Prędkość rezydualna pojazdu w momencie zakończenia interakcji pojazdu z barierą ($t = 1.044$ s) wynosi 57.6 km/h.

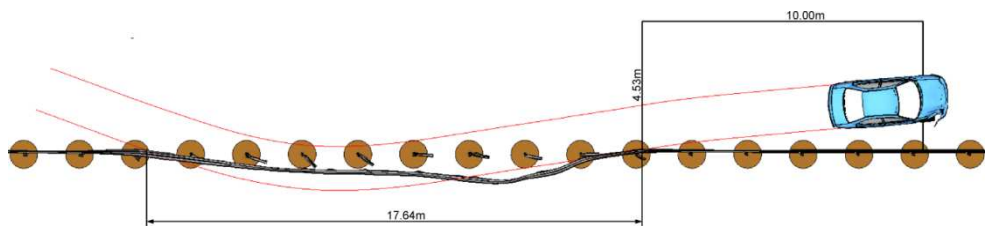
W tabeli 1 zestawiono wyniki przeprowadzonych wirtualnych testów zderzeniowych TB32. Porównując z prowadnicą składającą się z 4 m odcinków, zastosowanie prowadnicy w formie belki ciągłej spowodowało zmniejszenie ASI o 7.4%, THIV o 6.8%, szerokości pracującej o 9.3%, długości oddziaływania pojazdu z barierą o 4.3% i prędkości rezydualnej o 8.1%. W trakcie kolizji pojazdu z barierą dla testu TB32 następuje erozja (zniszczenie) dwóch elementów belkowych odzwierciedlających pracę łączników śrubowych segmentów prowadnicy (rys. 11). Pomimo tego, ciągłość prowadnicy zostaje zachowana.



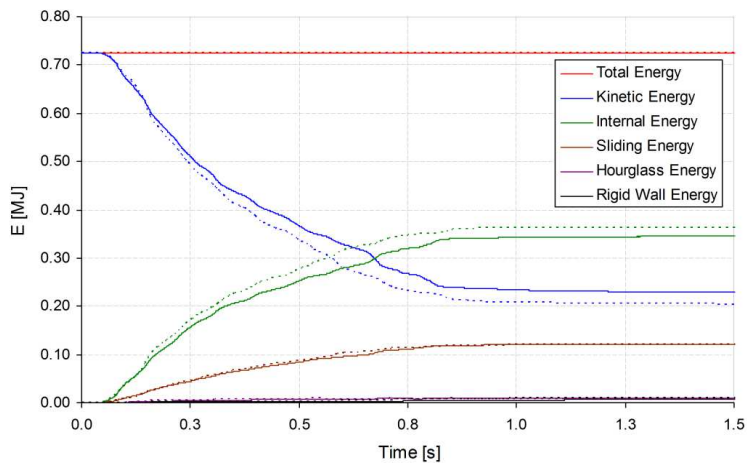
Rys. 7. Animacja testu zderzeniowego TB32 – widok z góry: a) TB32_S; b) TB32_C



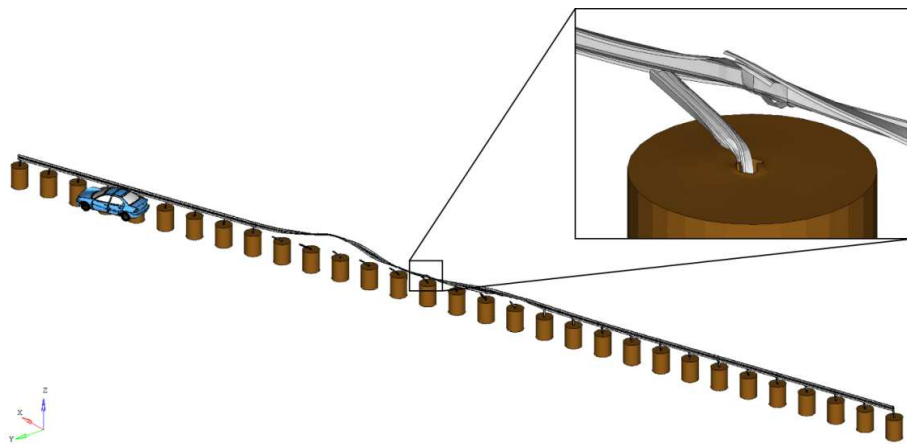
Rys. 8. Wyprowadzenie pojazdu po zderzeniu z barierą oraz długość oddziaływania pojazdu na barierę dla testu TB32_S – widok z góry



Rys. 9. Wyprowadzenie pojazdu po zderzeniu z barierą oraz długość oddziaływania pojazdu na barierę dla testu TB32_C – widok z góry



Rys. 10. Porównanie bilansu energetycznego dla testów TB32: linie ciągłe – TB32_S; linie przerywane – TB32_C



Rys. 11. Zniszczenie dwóch dolnych połączeń śrubowych prowadnicy

Tabela 1. Porównanie wyników analizowanych wirtualnych testów zderzeniowych

Układ dynamiczny	ASI	THIV [km/h]	VCDI	W_m [m]	L^1 [m]	PPO ²⁾	E^3 [MJ]	v_r^4 [km/h]
eksperyment [17]	0.8	23	RF0001000	1.1	-	-	-	-
TB11_S	0.78	20.23	RF0010000	0.87	8.90	tak	0.168	47.2
TB11_C	0.81	19.89	RF0010000	0.85	8.31	tak	0.189	36.7
TB32_S	0.68	17.99	RF0010000	1.29	18.44	tak	0.346	62.82
TB32_C	0.63	16.76	RF0010000	1.17	17.64	tak	0.364	57.62

¹⁾ długość odcinka interakcji pojazdu z barierą

²⁾ poprawne zachowanie pojazdu w polu odbicia

³⁾ energia pochłonięta w wyniku niszczenia materiałów

⁴⁾ prędkość rezydualna w momencie wyjścia pojazdu z oddziaływania z barierą

7. Podsumowanie

W pracy przedstawiono wpływ złączy prowadnicy typu B bariery SP-05/2 na przebieg wirtualnych testów zderzeniowych TB11 i TB32. Prowadnicę modelowano jako belkę ciągłą (bez złączy) oraz jako składającą się z 4 m odcinków połączonych elementami belkowymi odzwierciedlającymi pracę złączy. W przypadku testu TB11 przyjęcie prowadnicy jako belki ciągłej powoduje prawidłowe wyprowadzenie pojazdu przez barierę. Uwzględnienie połączeń śrubowych segmentów prowadnic powoduje, że kryterium wyprowadzenia pojazdu jest bliskie niespełnienia. Dla testu TB32 efekt ten nie występuje. Dla obydwu testów, TB11 i TB32, następuje zmniejszenie parametrów zderzenia przy prowadnicy modelowanej jako belka ciągła (z wyjątkiem parametru ASI dla testu TB11). Uwzględnienie połączeń segmentów prowadnic jest bardzo ważne w przypadku badań numerycznych nowych systemów powstrzymywania. Możliwe jest wówczas sprawdzenie, czy system zachowa swoją ciągłość i integralność w trakcie kolizji (nie nastąpi przerwanie prowadnicy) oraz czy pojazd jest poprawnie wyprowadzony na jezdnię.

Finansowanie

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego PBS1/B6/14/2012 (akronim ENERBAR), finansowanego w latach 2013–2015 przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Literatura

- [1] Atahan A O. Finite element simulation of a strong-post W-beam guardrail system. *Simulation*. 2002; 78(10): 587-599.
- [2] Borovinsek M, Vesenjsek M, Ulbin M, Ren Z. Simulation of crash test for high containment levels of road safety barriers. *Engineering Failure Analysis*. 2007; 14(8): 1711-1718.
- [3] Dziewulski P. Numerical analysis of car – road barrier crash tests. *Proc. III Symp. on Advances in Manufacturing Technologies and Machinery Structures*; 2009; Kazimierz Dolny, Poland.

- [4] Engstrand K E. Improvements to the weak-post W-beam guardrail [master thesis]. Worcester Polytechnic Institute; 2000. 130 p.
- [5] Goubel C, Di Pasquale E, Massenzio M, Ronel S. Comparison of crash tests and simulations for various vehicle restraint systems. 7th European LS-DYNA Conference. DYNAmore, GmbH; 2009; Detroit, USA.
- [6] Hallquist J O. LS-DYNA Keyword User's Manual. Livermore Software Technology Corporation. 2007.
- [7] Hallquist J O. LS-DYNA Theory Manual. Livermore Software Technology Corporation. 2006.
- [8] Klasztorny M, Kiczko A, Nycz D. Modelowanie numeryczne i symulacja rozciągania połączenia śrubowego segmentów prowadnicy B bariery drogowej. Konferencja Naukowo-Techniczna Techniki Komputerowe w Inżynierii; 2014; Licheń Stary, Polska, 77-78.
- [9] Klasztorny M, Nycz D, Romanowski R K. Rubber/foam/composite overlay onto guide B of barrier located on road bend. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2016; 69(3): 65-86.
- [10] Klasztorny M, Romanowski R K, Nycz D. Nakładka kompozytowo-pianowa na prowadnicę B drogowej bariery ochronnej w łuku poziomym wklęsłym – część 2: Modelowanie i symulacja testów zderzeniowych. Materiały kompozytowe. 2015; 4: 8-10.
- [11] Nycz D. Modelowanie i badania numeryczne testów zderzeniowych bariery klasy N2-W4-A na łukach dróg [dissertation]. Wojskowa Akademia Techniczna; 2015.
- [12] Ren Z, Vasenjak M. Computational and experimental crash analysis of the road safety barrier. Engineering Failure Analysis. 2005; 12(6): 963-973.
- [13] Vasenjak M, Borowinsek M, Ren Z. Computational simulations of road safety barriers using LS-DYNA. LS-DYNA Anwenderforum, Frankenthal; 2007: 1-8.
- [14] PN-EN 1317-1:2010. Systemy ograniczające drogę – część 1: Terminologia i ogólne kryteria metod badań.
- [15] PN-EN 1317-2:2010. Systemy ograniczające drogę – część 2: Klasy działania, kryteria przyjęcia badań zderzeniowych i metody badań barier ochronnych i balustrad.
- [16] Stalowe bariery ochronne. Stalprodukt S.A.; 2006, Bochnia.
- [17] System N2 W4 (SP-5/2). Stalprodukt S.A.; 2011, Bochnia.
- [18] Vehicle Models (cited 18 Sep 2014). Available from: <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>.
- [19] The American Association of State Highway and Transportation Officials. Manual for Assessing Safety Hardware (cited 18 Sep 2014). Available from: http://books.google.pl/books?id=LV0mSYE9-S0C&printsec=frontcover&hl=pl&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.