

Modelowanie końcówek odcinka bariery SP-05/2 w teście zderzeniowym TB32

Daniel B. Nycz¹

¹Institut Techniczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Jana Grodka w Sanoku
email: daniel.nycz@interia.pl

STRESZCZENIE: Testy zderzeniowe drogowych barier ochronnych przeprowadzane są na odcinkach testowych, których długość musi być wystarczająca do wykazania pełnego działania systemu. Parametrem, który to określa, jest statyczne przemieszczenie boczne węzła słupek – prowadnica na początku końcówki. Przedmiotem pracy jest bariera SP-05/2 składająca się z prowadnicy B, słupków Sigma-100, wsporników trapezowych, podkładek prostokątnych i śrub M16 klasy 4.6. Odcinek testowy bariery SP-05/2 ma końcówki o długości 12.0 m, z prowadnicą typu B pod kątem, zakończoną łącznikiem czołowym pojedynczym, tzw. „baranim rogiem” położonym pod powierzchnią gruntu. W pracy przeprowadzono modelowanie dokładne (3D) końcówki bariery w celu wyznaczenia charakterystyk sztywnościowych $F(s)$. Posłużyły one do wyznaczenia parametrów uproszczonego modelu końcówek, opisanego przez dyskretne elementy belkowe. Przeprowadzono wirtualne testy zderzeniowe TB32 (samochód osobowy o masie 1500 kg, uderzenie pod kątem 20°, prędkość zderzenia 110 km/h) w dwóch wariantach: 1) bez końcówek bariery, 2) z końcówkami modelowanymi za pomocą dyskretnych elementów belkowych. Badania numeryczne wykazały znaczny wpływ końcówek odcinka testowego bariery na parametry funkcjonalne bariery w odniesieniu do testu TB32.

SŁOWA KLUCZOWE: końcówka bariery drogowej, modelowanie numeryczne, model zastępczy, test zderzeniowy TB32

1. Przedmiot, cel i zakres pracy

Zgodnie z normami [1, 2] testy zderzeniowe certyfikujące drogowe bariery ochronne wykonywane są eksperymentalnie na odcinku bariery. Długość oraz końcówki odcinka testowego bariery określa producent. Po przeprowadzonym teście zderzeniowym należy sprawdzić, że długość odcinka testowego jest wystarczająca do wykazania pełnego działania systemu [2]. Jest to określone przez statyczne przemieszczenie boczne bariery, które nie powinno występować na końcach odcinka poziomego prowadnicy. W przypadku zastosowania ukośnych końcówek bariery, pierwsza i ostatnia sekcja pomiędzy dwoma słupkami odnosi się do prowadnicy poziomej. Wynika stąd, że pierwszy (najwyższy) słupek końcówki bariery może przemieszczać się tylko wzdłuż bariery.

W świetle normy [2], końcówki skośne odcinka testowego bariery zachowują integralność i doznają przemieszczeń tylko w swojej płaszczyźnie. Zasadne jest zatem zastąpienie końcówki bariery elementem sprężysto-plastycznym na poziomie osi wzdłużnej prowadnicy B w skrajnym węźle odcinka poziomego prowadnicy.

W większości publikacji, dotyczących modelowania i symulacji testów zderzeniowych drogowych barier ochronnych, temat końcówek barier jest rzadko poruszany. W pracy [3] przeprowadzono modelowanie numeryczne i symulację testów zderzeniowych TB11 i TB42. Części bariery modelowano, stosując powłokowe elementy skończone o różnych sformułowaniach. Dalsze części bariery odwzorowano za pomocą elementów sprężystych z odpowiednimi sztywnościami. W pracy nie podano sposobu wyznaczenia tych sztywności.

Symulowane testy zderzeniowe bariery G4(1S) z prowadnicą W przedstawiono w pracy [4]. W strefie zderzenia, prowadnicę i słupki modelowano z użyciem elementów powłokowych Belytschko-Tsay. Poza strefą zderzenia uwzględniono podatność wzdłużną bariery za pomocą elementów sprężystych o odpowiednich sztywnościach.

W niniejszej pracy dokonano odwzorowania ukośnej końcówki odcinka testowego bariery SP-05/2, zagłębionej

w poboczu utwardzonym, za pomocą elementu sprężysto-plastycznego usytuowanego na poziomie osi wzdłużnej prowadnicy B, w skrajnym węźle odcinka z prowadnicą poziomą.

Bariera SP-05/2 składa się z prowadnicy B, słupków Sigma-100 i wsporników trapezowych. Zastosowano śruby M16 klasy 4.6 i podkładki prostokątne [5, 6].

Końcówka bariery SP-05/2 jest odcinkiem o długości 12.0 m, z prowadnicą typu B pod kątem, zakończoną łącznikiem czołowym pojedynczym, tzw. „baranim rogiem” [5, 6]. Występują w niej słupki o różnych długościach, w odstępach 2 m (4 odcinki) i 4 m (1 odcinek). W węźle łączącym końcówkę bariery z prowadnicą poziomą występuje łącznik ukośno-poziomy prowadnicy. „Barani róg” jest usytuowany pod powierzchnią gruntu.

2. Model numeryczny dokładny (3D) i uproszczony (1D) końcówki bariery SP-05/2

Model numeryczny końcówki bariery SP-05/2 wykonano w środowisku Altair HyperMesh 13.0. Ze względu na skomplikowaną geometrię w miejscu zagłębienia prowadnicy w gruncie, wycięto część gruntu w tym obszarze. Takie uproszczenie jest zgodne z praktyką stosowaną na poligonach do testów zderzeniowych.

Grunt opisano za pomocą modelu materiałowego *MAT_SOIL_AND_FOAM [7, 11]. Elementy stalowe bariery SP-05/2 opisano za pomocą modelu sprężysto-plastycznego z umocnieniem izotropowym, tj. *MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY [7]. Stałe materiałowe poszczególnych komponentów systemu, zaczerpnięto z atestu producenta.

Zastosowano wymuszenia kinematyczne od 0 do 200 mm, liniowo narastające w czasie 0.2 s (prędkość wymuszenia 1 m/s) w kierunku wzdłużnym i poprzecznym do prowadnicy. Na podstawie uzyskanych wykresów $F(s)$ (siła – przemieszczenie) wyznaczono parametry modelu uproszczonego (1D) końcówki bariery.

W modelu numerycznym testów zderzeniowych systemu SP-05/2, zakończenie bariery odwzorowano za pomocą dyskretnego elementu belkowego (ELFORM_6)

z przypisanym modelem materiałowym *MAT_068_NONLINEAR_PLASTIC_DISCRETE_Beam [7]. W modelu tym, deklaruje się 6 sztywności (3 translacyjne i 3 rotacyjne) opisujące działanie elementu w zakresie liniowo-sprężystym oraz 6 charakterystyk opisujących działanie elementu w zakresie plastycznym. Nie jest możliwe zdefiniowanie różnych sztywności przy rozciąganiu i ścisaniu. Ociążenie przebiega po sztywności początkowej. Dyskretny element belkowy usytuowano na poziomie osi wzdłużnej prowadnicy B, w skrajnym węźle odcinka poziomego prowadnicy.

3. Symulowany test zderzeniowy TB32

Przeprowadzono wirtualny test zderzeniowy TB32 (samochód osobowy o masie 1500 kg, uderzenie pod kątem 20°, prędkość zderzenia 110 km/h) dla systemu SP-05/2.

Metodologię modelowania numerycznego i symulacji testów zderzeniowych rozwinięto w pracach [8–10]. Zastosowano odcinek testowy bariery o długości 60.0 m, w dwóch wariantach: 1) bez końcówek bariery (kod TB32_C); 2) z końcówkami bariery modelowanymi za pomocą dyskretnych elementów belkowych (kod TB32_D).

Tabela 1 zawiera wyniki symulowanych testów zderzeniowych TB32, gdzie ASI – wskaźnik intensywności przyspieszenia, THIV – prędkość teoretycznej głowy w czasie zderzenia, VCDI – wskaźnik odkształcenia kabiny pojazdu, W_m – szerokość pracująca, L – długość odcinka interakcji pojazdu z barierą, v_r – prędkość residualna w momencie utraty kontaktu pojazdu z barierą.

W obydwu przypadkach wyprowadzenie pojazdu na jezdnię jest prawidłowe. W porównaniu do testu TB32_C, wprowadzenie końcówek bariery powoduje zwiększenie ASI o 5.9% i prędkości residualnej o 12.9% oraz zmniejszenie THIV o 32.4%, szerokości pracującej o 14.0% i długości oddziaływania pojazdu z barierą o 9.1%.

Tabela 1. Porównanie wyników symulowanych testów zderzeniowych

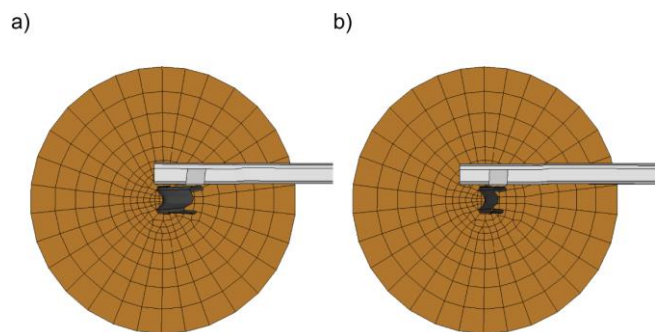
Model układu dyskretnego	ASI	THIV [km/h]	VCDI
TB32_C	0.68	17.99	RF0010000
TB32_D	0.72	12.17	RF0010000
	W_m [m]	L [m]	v_r [km/h]
TB32_C	1.29	18.44	62.82
TB32_D	1.11	16.77	70.91

Uwzględnienie w symulacji końcówek bariery istotnie zmniejsza statyczne ugięcie boczne bariery. Dla testów TB32_C i TB32_D, ekstremalne wartości bezwzględne ugięć bocznych wynoszą odpowiednio 1008 mm i 759 mm. Maksymalne przemieszczenie wzdłużne końca prowadnicy poziomej testowanego odcinka dla testu TB32_C wynosi 144.3 mm, a dla testu TB32_D wynosi 76.7 mm. Na rys. 1 przedstawiono końcową deformację wzdłużną prowadnicy i słupka na końcu prowadnicy poziomej.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały znaczny wpływ końcówek odcinka testowego bariery na parametry funkcjonalne bariery SP-05/2 w odniesieniu do testu TB32. Następuje m.in. istotne zmniejszenie szerokości pracującej oraz długości oddziaływania pojazdu z barierą.

W pracy rozwinięto metodologię modelowania ukośnych końcówek odcinka testowego drogowej bariery ochronnej SP-05/2. Metodologia jest następująca: 1) opracowanie modelu geometrycznego 3D odcinka końcowego skośnego z prowadnicą zagłębioną w gruncie; 2) opracowanie modelu numerycznego 2D/3D odcinka końcowego skośnego z prowadnicą zagłębioną w gruncie; 3) przyłożenie wymuszenia kinematycznego 0-200 mm w czterech kierunkach, do przekroju skrajnego końcówki prowadnicy; 4) wyznaczenie charakterystyk sztywnościowych $F(s)$ w przekroju skrajnym końcówki prowadnicy; 5) odwzorowanie końcówek za pomocą dyskretnych elementów belkowych zamocowanych do przekrojów skrajnych; 6) przeprowadzenie modelowania i symulacji testu zderzeniowego dla środkowego odcinka testowego bariery z zastosowaniem dyskretnych elementów belkowych modelujących końcówki bariery.



Rys. 1. Końcowa deformacja wzdłużna prowadnicy i słupka na końcu odcinka poziomego prowadnicy bariery SP-05/2 (chwila 1.5 s po rozpoczęciu zderzenia): a) TB32_C; b) TB32_D

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego nr PBS1/B6/14/2012 (akronim ENERBAR), współfinansowanego przez NCBiR, zrealizowanego w latach 2013-2016.

Literatura

- [1] PN-EN 1317-1:2010. *Systemy ograniczające drogę – część 1: Terminologia i ogólne kryteria metod badań.*
- [2] PN-EN 1317-2:2010. *Systemy ograniczające drogę – część 2: Klasy działania, kryteria przyjęcia badań zderzeniowych i metody badań barier ochronnych i balustrad.*
- [3] Vesenjak M., Borovinšek M., Ren Z., *Computational simulations of road safety barriers using LS-DYNA*, 6. LS-DYNA Anwenderforum, CD Proc. pp. 1-8, DYNAmore, GmbH, Frankenthal, 2007.
- [4] Atahan A. O., *Finite element simulation of a strong-post W-beam guardrail system*, Simulation, 78, 10 (2002) 587–599.
- [5] System N2 W4 (SP-5/2), Stalprodukt S.A., Bochnia, 2011.
- [6] Stalowe bariery ochronne, Stalprodukt S.A., Bochnia, 2006.
- [7] Hallquist J. O., *LS-DYNA Keyword User's Manual*, Livermore Software Technology Corp., Livermore, CA, USA, May 2007.
- [8] Nycz D., *Modelowanie i badania numeryczne testów zderzeniowych bariery klasy N2-W4-A na łukach dróg*, Praca doktorska, Wydawnictwo WAT, Warszawa 2015
- [9] Klasztorny M., Nycz D., Romanowski R.: *Rubber/Foam/Composite Overlay on Guide B of Barrier Located on Road Bend*, The Archives of Automotive Engineering - Archiwum Motoryzacji, 69, 3 (2015), pp. 65 – 86.
- [10] Klasztorny M., Nycz D.B., Szurgott P.: *Modelling and Simulation of Crash Tests of N2-W4-A Category Safety Road Barrier in Horizontal Concave Arc*, Int. Journal of Crashworthiness, 2016, <http://dx.doi.org/10.1080/13588265.2016.1212962>.
- [11] National Crash Analysis Center, USA, <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>, uploaded 2014-09-18.