

Eksperymentalne i symulacyjne testy zderzeniowe bariery SP-05/2 w łuku poziomym wklęsłym

Marian Klasztorny¹, Karol Zielonka², Daniel B. Nycz³, Paweł Posuniak², Roman Romanowski⁴

¹ Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

² Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Warszawa

³ Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Sanok

⁴ ROMA Sp. z o.o., Grabowiec

email: m.klasztorny@gmail.com, k.zielonka@pimot.eu, daniel.nycz@interia.pl, p.posuniak@pimot.eu, rromanowski@roma.torun.pl

STRESZCZENIE: Przedmiotem badań jest drogowa stalowa bariera ochronna SP-05/2, składająca się z prowadnicy typu B, słupów Sigma-100 w odstępach 2.00 m i elementów trapezowych między słupkami i prowadnicą. Bariera jest ukształtowana w łuku poziomym wklęsłym o promieniu 150 m. W celu spełnienia kryteriów funkcjonalności dla bariery również w łuku poziomym wklęsłym, zastosowano nakładkę ochronną kompozytowo-pianową. Przeprowadzono cztery testy eksperymentalne przy uderzeniu pojazdami pod kątem 20°, na poligonie Przemysłowego Instytutu Motoryzacji w Warszawie, tj. TB11/CB, TB11/CBC, TB32/CB, TB32/CBC, gdzie TB11, TB32 – testy zderzeniowe zdefiniowane w normie EN-1317, CB – bariera zakrzywiona bez nakładki, CBC – bariera zakrzywiona z nakładką. Przeprowadzono modelowanie numeryczne i symulację ww. testów w systemie LS-Dyna, według autorskiej metodologii, przy zachowaniu warunków realizacji testów eksperymentalnych. Badano m.in. następujące parametry funkcjonalności bariery: ASI, THIV, szerokość pracująca, trajektoria ruchu pojazdu w polu wyjścia. Wyniki testów symulacyjnych porównano z wynikami testów eksperymentalnych. Weryfikację eksperymentalną modelowania i symulacji testów oceniono pozytywnie. Wykazano, że w przypadku testu TB32/CB nie są spełnione kryteria nałożone na pojazd w polu wyjścia, a w przypadku testu TB32/CBC kryteria te są spełnione.

SŁOWA KLUCZOWE: drogowa bariera ochronna w łuku poziomym wklęsłym, nakładka kompozytowo-pianowa, testy zderzeniowe symulacyjne, testy zderzeniowe eksperymentalne, weryfikacja

Zgodnie z normami [1, 2] testy zderzeniowe certyfikujące drogowe bariery ochronne wykonuje się eksperymentalnie na odcinku bariery. Norma [3] wprowadza możliwość certyfikacji barier drogowych nieznacznie zmodyfikowanych w stosunku do tzw. bariery nadrzędnej (certyfikowanej eksperymentalnie). Otwiera to pole do rozwijania modelowania numerycznego i symulacji drogowych testów zderzeniowych.

W latach 2013–2016 konsorcjum naukowe w składzie: Wojskowa Akademia Techniczna – Lider, Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Instytut Transportu Samochodowego, przedsiębiorstwo ROMA Sp. z o.o. zrealizowało projekt nr PBS1/B6/14/2012, pt. „Zastosowanie nakładek energochłonnych na prowadnice barier drogowych na łukach dróg”, o akronimie ENERBAR. Główne cele badań przemysłowych były następujące:

- 1) opracowanie metodologii modelowania numerycznego i symulacji testów zderzeniowych TB11, TB32 [2] drogowej bariery ochronnej SP-05/2 [4] klasy N2–W4–A [2] prostoliniowej i w łuku poziomym wklęsłym o promieniu 150 m, przy zastosowaniu kodu elementów skończonych LS-Dyna v.971 [5, 6];
- 2) walidacja eksperymentalna ww. metodologii na podstawie testu rozciągania złącza prowadnicy oraz testów zginania trójpunktowego odcinka prowadnicy B bez nakładki z nakładką ochronną [7, 8];
- 3) projekt materiałowo-konstrukcyjny nakładki kompozytowo-pianowej na prowadnicę B, zapewniającej spełnienie wszystkich warunków przyjęcia badań zderzeniowych TB11, TB32 na łukach poziomych wklęsłych [9];
- 4) modelowanie numeryczne i symulacja testów zderzeniowych o kodach TB11/SB, TB11/SBC, TB11/CB, TB11/CBC, TB32/SB, TB32/SBC, TB32/CB, TB32/CBC (SB –bariera prostoliniowa, CB–

bariera w łuku bez nakładki, CBC – bariera w łuku z nakładką) [10];

- 5) weryfikacja eksperymentalna modelowania numerycznego i symulacji czterech testów zderzeniowych TB11/CB, TB11/CBC, TB32/CB, TB32/CBC [11].

Przegląd literatury oraz metodologię modelowania numerycznego i symulacji testów zderzeniowych opublikowano w pracy [5]. W ramach niniejszej pracy prezentowane są wyniki testów symulacyjnych i eksperymentalnych odpowiadające celowi 5.

Drogowa bariera ochronna SP-05/2 [4] klasy N2–W4–A [2], ze stali S235JR ocynkowanej ogniowo, jest produkowana przez przedsiębiorstwo Stalprodukt S.A., Bochnia. Głównymi elementami konstrukcyjnymi bariery są: prowadnica typu B złożona z segmentów o długości efektywnej 4,00 m, słupki Sigma-100 o długości 1,90 m, w odstępach 2,00 m, wsporniki trapezowe między prowadnicą a słupkami, podkładki prostokątne typu A [4].

Nakładkę ochronną na prowadnicę B zaprojektowano przy następujących głównych założeniach [9]:

- zastosowanie na zakrętach dróg głównych ruchu przyspieszonego (GP) w łuku poziomym kołowym o promieniu 140–220 m;
- gładka powierzchnia kontaktu nakładki z pojazdem w czasie zderzenia;
- montaż segmentów nakładki do prowadnicy B z wykorzystaniem tylko wolnych otworów w prowadnicy;

W wyniku procesu projektowania metodą kolejnych iteracji, otrzymano nakładkę, której nadano kod CFR2. Nakładka jest zbudowana z segmentów o długości całkowitej 4.70 m i długości efektywnej 4,00 m. Segment nakładki składa się z powłoki otwarcia-zamkniętej poliestrowo-szkłanej, wypełnienia piankowego w dwóch kanałach trapezowych, zamkniętego powłoką kompozytową tylną oraz połączeń stalowych z podkład-

kami prostokątnymi z gumy o twardości 70°Sh, o grubości 10 mm. Segmenty przykręcane są do prowadnicy z wykorzystaniem wolnych otworów w osi prowadnicy (co 2,00 m), za pomocą śrub M16/80 klasy 8.8, z zastosowaniem podkładek stalowych prostokątnych.

Eksperymentalne testy zderzeniowe TB11, TB32 wykonano na poligonie Przemysłowego Instytutu Motoryzacji w Warszawie, zaprojektowanym do przeprowadzania testów na wszystkie poziomy powstrzymywania systemu ochronnego. Poligon składa się z dwóch głównych części:

- tor napędowy o szerokości 3,2 m i długości 200 m, z szyną napędową, linami napędowymi, wózkiem prowadzącym i silnikiem napędowym, służący do rozpędzania pojazdów;
- plac zderzeniowy o powierzchni 1300 m² (długość 55 m, szerokość 25 m).

Konstrukcja nośna toru napędowego i placu zderzeniowego została wykonana ze betonu zbrojonego. W kanale zlokalizowanym w osi toru zamontowana została szyna napędowa, będąca prowadnicą dla wózka napędowego oraz stalowej linii napędowej. Wózek napędowy wyposażony został w system automatycznego uwalniania liny w chwili zwolnienia pojazdu z systemu napędowego oraz w system wyhamowania.

Plac zderzeniowy został dostosowany do przeprowadzania testów zderzeniowych według normy PN-EN 1317-2 na wszystkie poziomy powstrzymywania. Zapewniono możliwość szybkiej przebudowy placu do zderzeń z barierami drogowymi pod różnymi kątami (8°, 15°, 20°). Dla potrzeb badań bariery zamontowanej w łuku poziomym wklęsłym, krawędź dodatkowego obszaru placu zderzeniowego, wzdłuż której zamontowane były bariery, wpisano w okrąg o promieniu 150 m. Na powierzchni placu naniesiono znaczniki pozwalające na analizę filmów z kamery umieszczonej nad placem zderzeniowym oraz naklejało taśmę określającą pole odbicia pojazdu dla danego badania zderzeniowego. W testach zderzeniowych zastosowano aparaturę rejestrującą zgodną z wymogami zawartymi w normie [1].

Odcinek testowy bariery SP-05/2 miały długość 64,00 m mierzoną wzdłuż łuku wklęsłego o promieniu 150 m. Część środkowa o długości 40,00 m składała się z 10 segmentów prowadnicy o długości efektywnej 4,00 m i słupków Sigma-100 zamontowanych co 2,00 m. Końcówki bariery, o długości 12,00 m każda, montowano poziomo.

Kąt zderzenia wynosił 20° we wszystkich testach. Teoretyczny punkt zderzenia, tj. przecięcie osi toru napędowego z łukiem lica prowadnicy znajdował się w odległości 7,50 m od środka odcinka testowego bariery.

Przeprowadzono następujące eksperymentalne i symulacyjne testy zderzeniowe bariery SP-05/2 w łuku poziomym wklęsłym o promieniu R=150 m:

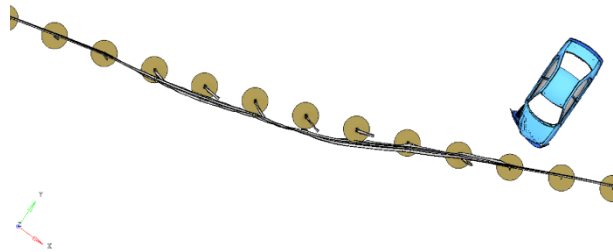
- test TB11/CB, v=91,1 km/h;
- test TB11/CBC, v=108,5 km/h;
- test TB32/CB, v=97,7 km/h;
- test TB32/CBC, v=103,7 km/h.

gdzie v – prędkość zderzenia, CB – bariera bez nakładki, CBC – bariera z nakładką.

Symulacje wykonano stosując algorytm explicit kodu elementów skończonych LS-Dyna v.971. Zastosowano metodologię modelowania numerycznego i symulacji opisaną w [5]. Wyniki symulacyjnych i eksperymentalnych

testów zderzeniowych porównano ze sobą w zakresie trajektorii ruchu pojazdu, wykresu ASI(t), uszkodzeń pojazdu i parametrów funkcjonalności bariery SP-05/2.

Na rys. 1 pokazano kluczowy wynik dla testu TB32/CB, pokazujący niespełnienie warunków nałożonych na pole wyjścia pojazdu Dodge Neon.



Rys. 1. Porównanie eksperymentalnego (u góry) i symulacyjnego (u dołu) testu TB32/CB w widoku z góry, w chwili 2,0 sek (prędkość zderzenia v=97,7 km/h)

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] PN-EN 1317-5+A2:2012. Systemy ograniczające drogę – część 5: Wymagania w odniesieniu do wyrobów i ocena zgodności dotycząca systemów powstrzymujących pojazd.
- [4] System N2-W4-A (SP-05/2), Stalprodukt S.A., Bochnia, 2011.
- [5] Kłasztorny 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>.
- [6] Hallquist J. O., LS-DYNA Keyword User's Manual, Livermore Software Technology Corp., Livermore, CA, USA, May 2007
- [7] Modelowanie złączy śrubowych w barierze SP-05/2, Kłasztorny M. (red.). Raport badawczy WAT-R5-2014, Warszawa, 2014.
- [8] Kłasztorny M., Nycz D.B., Kiczko A., Walidacja eksperymentalna modelowania i symulacji nakładki CFR2, Raport badawczy WAT-R7-2015, Warszawa, 2015.
- [9] Projekt techniczny i wizualizacja nakładki CFR2 bariery SP-05/2, Kłasztorny M. (red.). Raport badawczy WAT-ROMA-R4-2015, Warszawa, 2015.
- [10] Nycz D.B., Modelowanie i badania numeryczne testów zderzeniowych bariery klasy N2-W4-A na łukach dróg, Praca doktorska, Wydawnictwo WAT, Warszawa 2015.
- [11] Kłasztorny M., D.B. Nycz, K. Zielonka, P. Posuniak, Weryfikacja eksperymentalna modelowania i symulacji testów zderzeniowych objętych projektem ENERBAR, Raport badawczy WAT-PIMOT-R10-2016, Warszawa, 2016.