

NUMERICAL ANALYSIS OF ROAD INFRASTRUCTURE COMPONENTS ON AN EXAMPLE OF SP -01, SP -04 AND SP -09 BARRIERS

Tadeusz Niezgodą, Wiesław Barnat, Paweł Dziewulski

Wojskowa Akademia Techniczna
Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej
Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Poland
tel.: +48 22 6839849, fax: +48 22 6839355
e-mail: barnat@vp.pl

Abstract

The paper presents results of numerical investigations on elements of road infrastructure, such as the protective barriers. Three selected structural elements of road barriers: SP-01, SP-04 and SP-09 have been analyzed. For stakes, separators and guides modelling, shell type elements were applied.

Specialised finite elements method software – MSC Dytran, permitting to quickly variable processes simulating – was used for analyse. Numeric simulations of crash process were done, for different configurations of structure solutions, and this permit to deeply analyze the road barriers deformation character.

The chosen cases of numeric models were verified in empirical mode and this permit do make a total resistance analyze of all energy absorbing structure during crash. The SP-01 barrier has the littlest value of retardation impulse, which is the result of complicated method of structure deformation resulting from bending and torsion of the stake (using an extension arm). Such important energy absorption is due to system eccentricity, resulting from eccentricity due to a long connector.

Obtained results will be used as guidelines to elaborate a method for such structures examination, and it will be possible to use them in the future research jobs in the frame of security augmentation in the road transport.

Keywords: transportation, safety, road barriers

NUMERYCZNA ANALIZA PODATNOŚCI ELEMENTÓW INFRASTRUKTURY DROGOWEJ NA PRZYKŁADZIE BARIER SP-01, SP-04 i SP-09

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki numerycznych prac badawczych nad elementami infrastruktury drogowej w postaci barier ochronnych. Analizie poddano trzy wybrane elementy konstrukcyjne barier drogowych SP-01, SP-04 i SP-09. Do zamodelowania słupków, przekładek, prowadnic użyto elementów typu shell.

Do analizy wykorzystano specjalistyczne oprogramowanie metody elementów skończonych MSC Dytran pozwalające na symulacje procesów szybkościennych. Przeprowadzone symulacje numeryczne procesu zderzenia, dla różnych konfiguracji rozwiązań konstrukcyjnych, pozwoliły na dogłębne zapoznanie się z charakterem deformacji barier drogowych.

Wybrane przypadki modeli numerycznych zostały zweryfikowane w sposób doświadczalny, co pozwoliło na kompleksową analizę wytrzymałością całej konstrukcji energochłonnej podczas zderzenia. Najmniejszą wartość impulsu opóźnienia posiada bariera SP-01. Jest to spowodowane złożonym sposobem odkształcenia konstrukcji wynikłym ze zginania i skręcania (przez zastosowanie wysięgnika) słupka. Tak duża energochłonność spowodowana jest mimośrodowością układu wynikłą z mimośrodowością spowodowaną długim łącznikiem.

Otrzymane wyniki posłużą jako wytyczne do opracowania metodyki badania tego typu struktur i będą mogły być wykorzystywane w dalszych pracach badawczych w zakresie zwiększenia poziomu bezpieczeństwa w transporcie drogowym.

Słowa kluczowe: transport, bezpieczeństwo, bariery drogowe

1. Wstęp

Transport drogowy jest jednym z najważniejszych elementów niezbędnych dla poprawnego funkcjonowania i rozwoju współczesnej gospodarki rynkowej. Pojęcie to obejmuje zarówno przewóz towarów, jak i osób w sposób zorganizowany i indywidualny.

Na bezpieczeństwo transportu składa się wiele czynników: rozważa i umiejętności kierowcy, stan techniczny pojazdu oraz infrastruktura drogi. Jeżeli jeden z tych czynników zawiedzie i dojdzie do niekontrolowanego ruchu pojazdu to najważniejsze zadanie w aspekcie ochrony życia podróżujących osób spoczywa na elementach drogowych barier energochłonnych, które muszą doprowadzić do bezpiecznego wyhamowania pojazdu.

W ostatnich latach obserwujemy wzrost roli transportu drogowego zarówno w kraju, jak i zagranicą. O bezpieczeństwie transportu decyduje wiele czynników, m.in. stan techniczny pojazdów, umiejętności prowadzącego pojazd oraz elementy infrastruktury drogowej. W niniejszym artykule obiektem badań były fragmenty barier drogowych SP-01, SP-04 i SP-09, ze szczególnym uwzględnieniem sztywności badanych obiektów. Tego typu konstrukcje montowane są m.in. wzdłuż autostrad, dróg szybkiego ruchu, mostów oraz niejednokrotnie, z uwagi na duże natężenie i specyfikę polskich dróg oraz ruchu tranzytowego w małych miastach i wsiach. Głównym zadaniem elementów infrastruktury drogowej jest nie tylko nie tylko wyhamowanie pojazdu podczas zderzenia, ale również ochrona budynków mieszkalnych znajdujących się w pobliżu drogi.

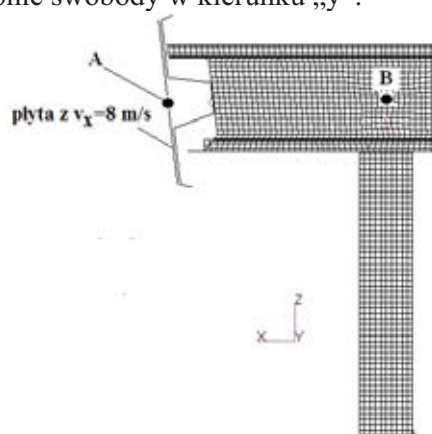
Celem artykułu było przedstawienie wyników z analizy numerycznej barier drogowych służących do poprawy bezpieczeństwa w transporcie drogowym.

2. Opis badanych obiektów

Do zamodelowania słupków, przekładek, prowadnic użyto elementów typu shell. Przeprowadzone symulacje numeryczne procesu zderzenia, dla różnych konfiguracji rozwiązań konstrukcyjnych, pozwoliły na dogłębne zapoznanie się z charakterem deformacji barier drogowych. Wybrane przypadki modeli numerycznych zostały zweryfikowane w sposób doświadczalny, co pozwoliło na kompleksową analizę wytrzymałością całej konstrukcji energochłonnej podczas zderzenia.

Do analizy wykorzystano specjalistyczne oprogramowanie metody elementów skończonych MSC Dytran pozwalające na symulacje procesów szybkozmiennych. Stworzone modele numeryczne wykorzystane w symulacjach zostały zweryfikowane na drodze eksperymentalnej.

W artykule przedstawiono wyniki badań sztywności dla barier drogowych SP-01, SP-05 i SP-09 obciążonych płytą testową o masie 1000 kg, rys 1, poruszającą się z prędkością początkową 8 m/s. Model numeryczny bariery został utwierdzony u podstawy słupka. Krańcowym węzłom pasa, w celu uzyskania symetrii, odebrano translacyjne stopnie swobody w kierunku „y”.

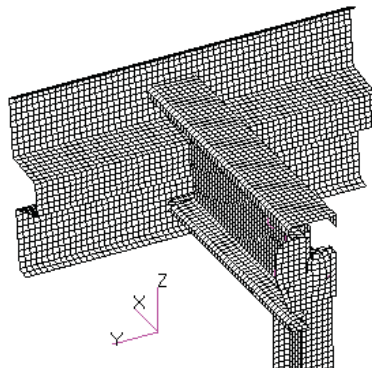


Rys. 1. Sposób obciążenia modelu słupka, oznaczenie punktów A- znajdujący się na płycie testowej, B – znajdujący się na słupku

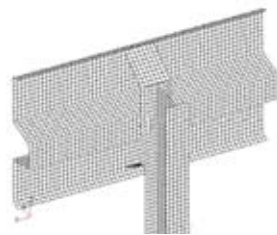
Fig. 1. Loading method for the numerical model of the post: point A - on the test plate, point B – on the post

Modele numeryczne zostały zwalidowane przy pomocy badań doświadczalnych wykonanych w Katedrze Mechaniki i Informatyki Stosowanej Wojskowej Akademii Technicznej. Ze względów komercyjnych bariery drogowe posiadają wiele wspólnych elementów konstrukcyjnych. Przykładowo wspólnymi elementami są słupki i pasy. Różnice konstrukcyjne pomiędzy poszczególnymi barierami

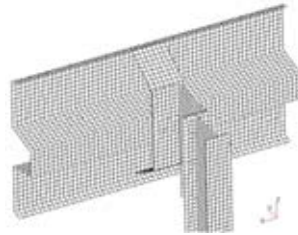
wynikają z zastosowania różnych łączników. Modele numeryczne badanych barier przedstawiono na rysunkach 2-4.



Rys. 2. Model numeryczny bariery drogowej SP-01
Fig. 2. Numerical model of the SP-01 road barrier



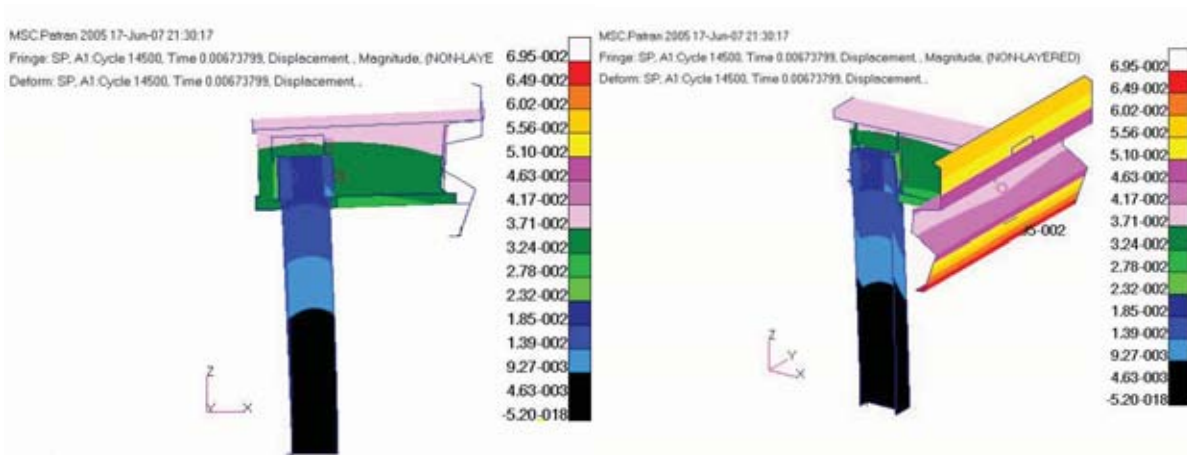
Rys. 3. Model numeryczny bariery drogowej SP-04
Fig. 3. Numerical model of the SP-04 road barrier



Rys. 4. Model numeryczny bariery drogowej SP-09
Fig. 4. Numerical model of the SP-09 road barrier

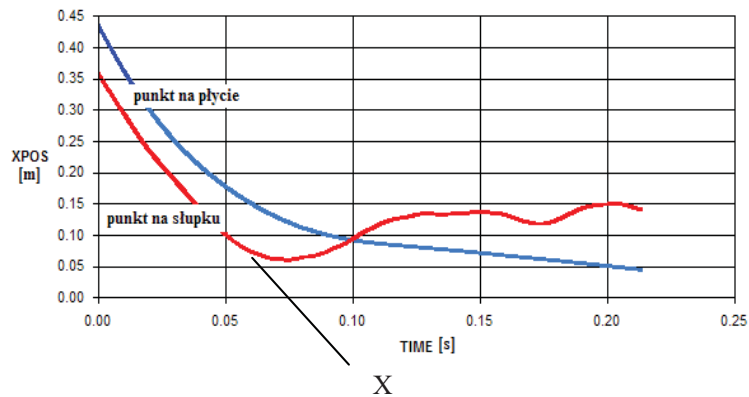
3.1. Wyniki analizy bariery SP-01

W początkowym okresie analizy numerycznej nastąpiło odkształcenie się całej bariery (rys. 5). Najbardziej podatny element bariery SP-01 jest słupek, na którym zamontowane są pozostałe elementy bariery.



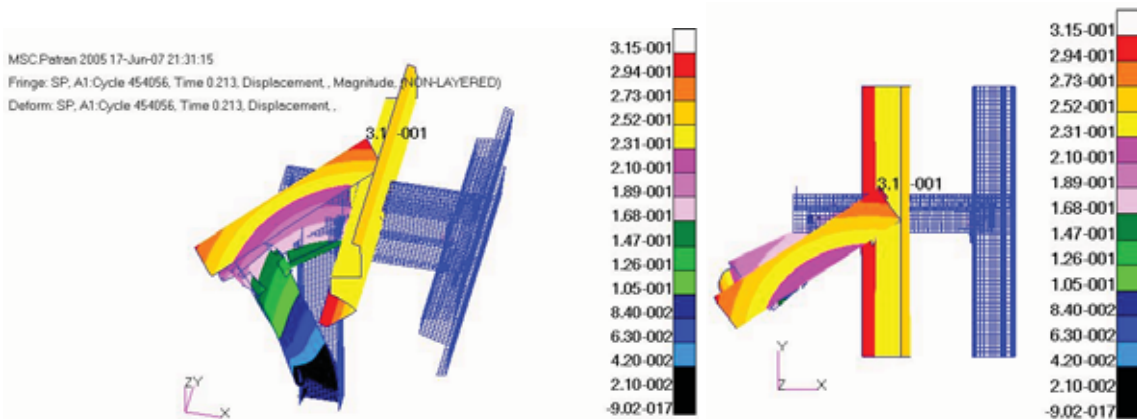
Rys. 5. Początkowa deformacja bariery drogowej SP-01
Fig. 5. Initial deformation of the SP-01 road barrier

W wyniku analizy numerycznej płyta testowa przemieściła się o 0.4 m rys 6, a punkt na słupku przemieścił się trwale o 0.2 m. Charakterystycznym dla wykresy czas przemieszczenie węzłów bariery i płyty testowej jest punkt X, pokazany na rys 6. W chwili 0.075 s nastąpiło mimośrodowe skrócenie się słupka.



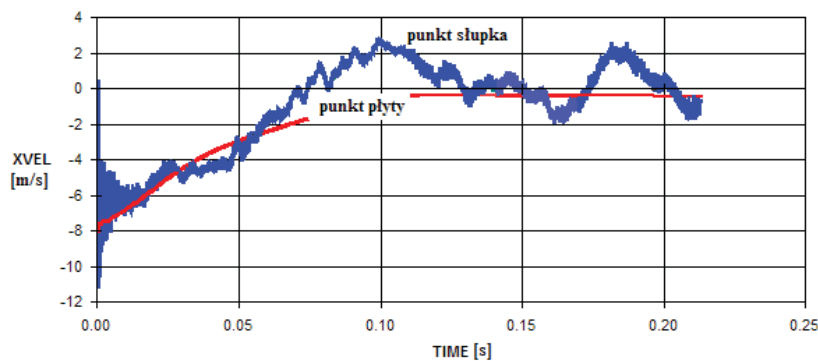
Rys. 6. Wykres przemieszczenia punktów bariery SP-01 umieszczonych na słupku i płycie
 Fig. 6. Displacement plot for points on the SP-01 barrier, located on the post and on the plate

Charakter deformacji całej bariery przedstawiono na rys. 7. Mimośrodowe odkształcenie bariery drogowej SP-01 jest spowodowane mimośrodowym łącznikiem. Taki łącznik jest stosowany w barierach mostowych – niepozwalających na spadnięcie pojazdów z mostów i wiaduktów.



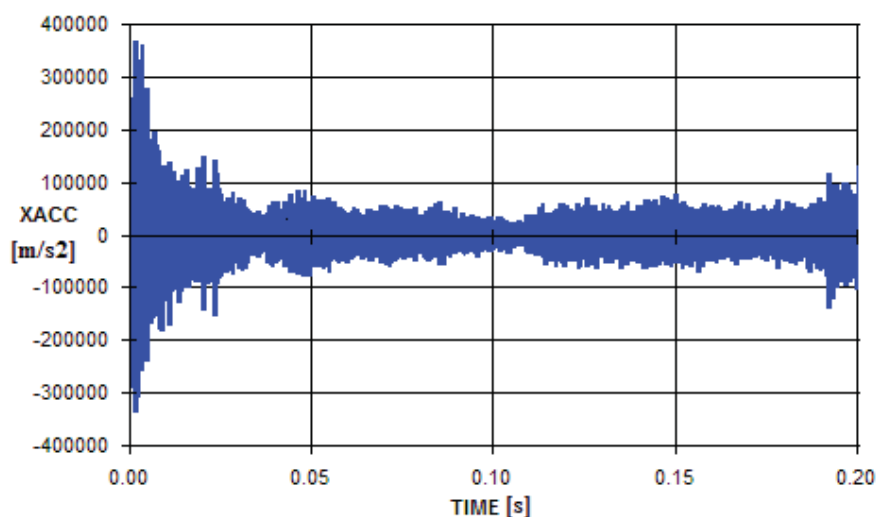
Rys. 7. Końcowa – mimośrodowa deformacja bariery drogowej SP-01
 Fig. 7. The final - eccentric deformation of the SP-01 road barrier

W czasie 0.1 sekundy nastąpiło wyhamowanie płyty testowej, wykres zmiany prędkości płyty testowej i punktu na słupku przedstawiono na rys 8.



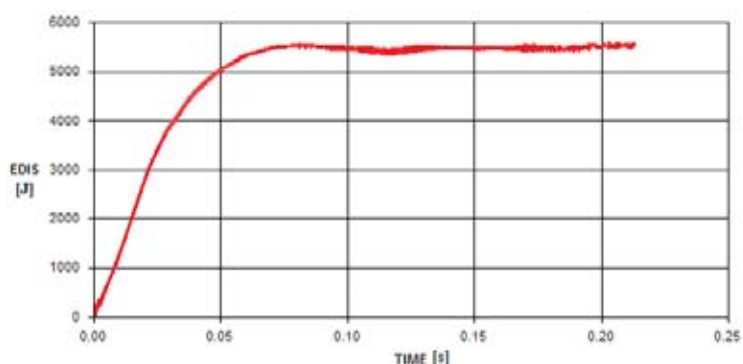
Rys. 8. Wykres zmiany prędkości punktów umieszczonych na barierze SP-01 i płycie testowej
 Fig. 8. Velocity plot for points on the SP-01 barrier and on the test plate

Maksymalne opóźnienie płyty testowej wyniosło 350000 m/s². Wykres zmiany opóźnienia przedstawiono na rys 9.



Rys. 9. Wykres zmiany opóźnienia dla bariery SP-01
 Fig. 9. Deceleration plot for the SP-01 barrier

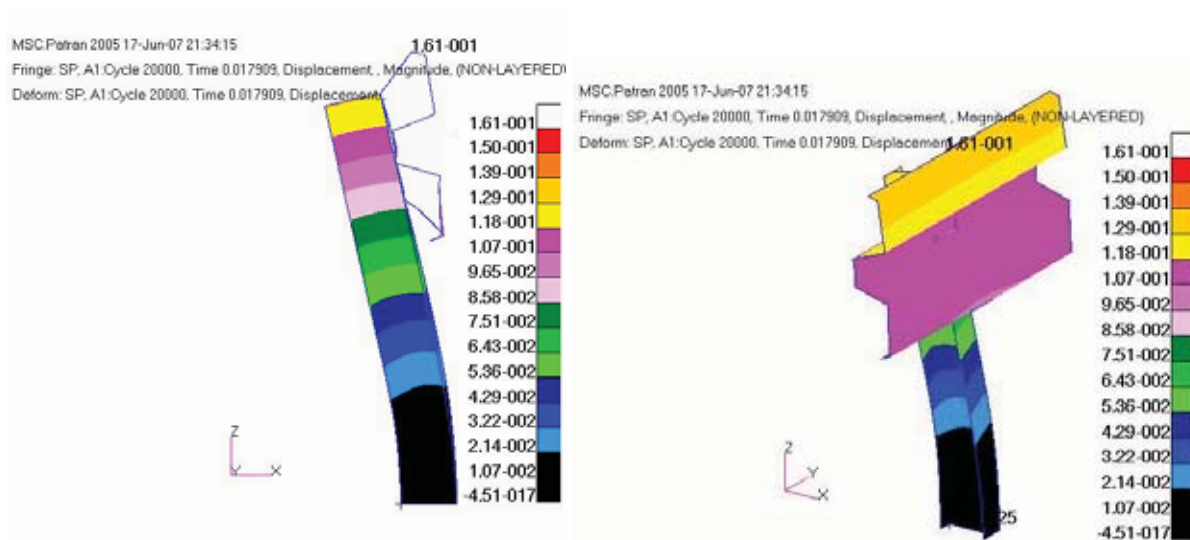
W wyniku uderzenia płytą testową bariera pochłonęła energię odkształcenia równą 5500 J (rys. 10).



Rys. 10. Wykres zmiany energii odkształcenia słupka SP-01
 Fig. 10. Deformation energy plot for the SP-01 post

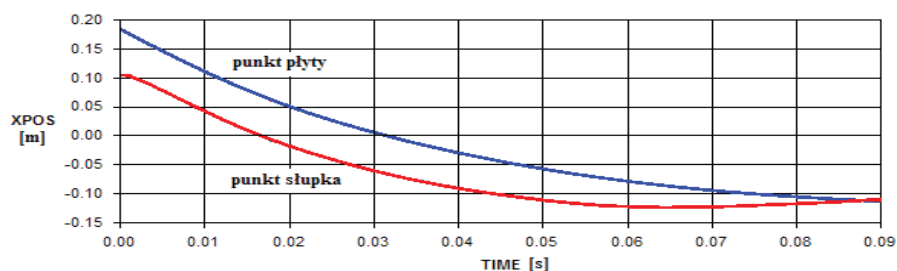
3.2. Wyniki analizy bariery SP-04

Pominięcie mimośrodowego wspornika, znajdującego się przy barierze SP-01, powoduje symetryczne odkształcenie bariery drogowej. Deformacja całej bariery drogowej została pokazana na rys. 11.



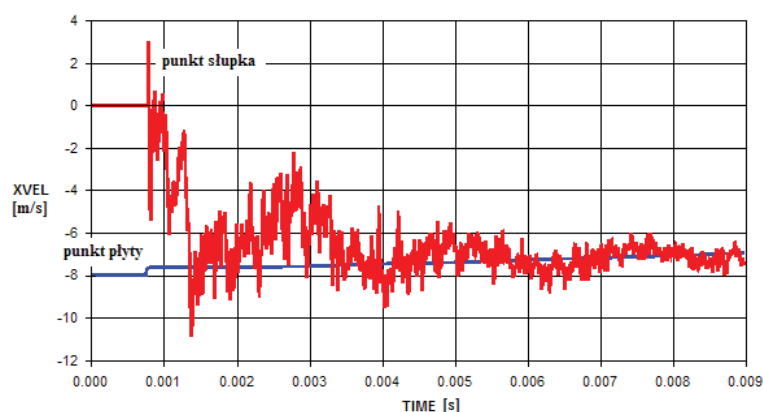
Rys. 11. Końcowa – deformacja bariery drogowej SP-04
 Fig. 11. The final deformation of the SP-04 road barrier

W wyniku przeprowadzonej analizy numerycznej płyta testowa przemieściła się trwale o 0.1 m rys. 12.



Rys. 12. Wykres przemieszczenia punktów bariery SP-04 umieszczonych na słupku i płycie
Fig. 12. Displacement plot for points on the SP-04 barrier, located on the post and on the plate

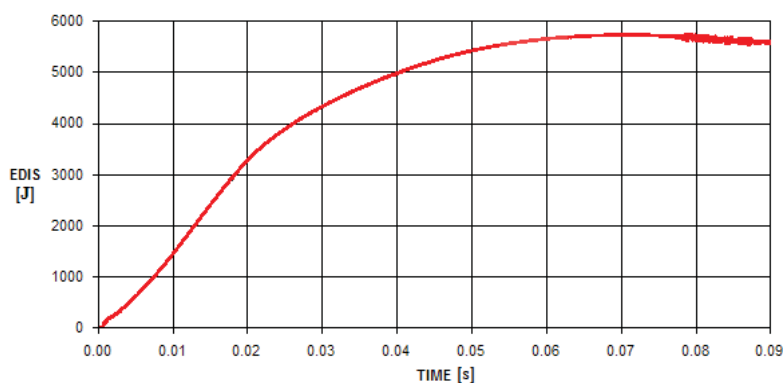
W czasie 0.0007 sekundy nastąpiło wyhamowanie płyty testowej, wykres zmiany prędkości płyty testowej i punktu na płycie przedstawiono na rys 13.



Rys. 13. Wykres zmiany prędkości punktów umieszczonych na barierze SP-04 i płycie testowej
Fig. 13. Velocity plot for points on the SP-04 barrier and on the plate

Maksymalne opóźnienie wyniosło 600000 m/s² i jest ono około dwukrotnie większe niż w przypadku wyników analizy bariery SP-01.

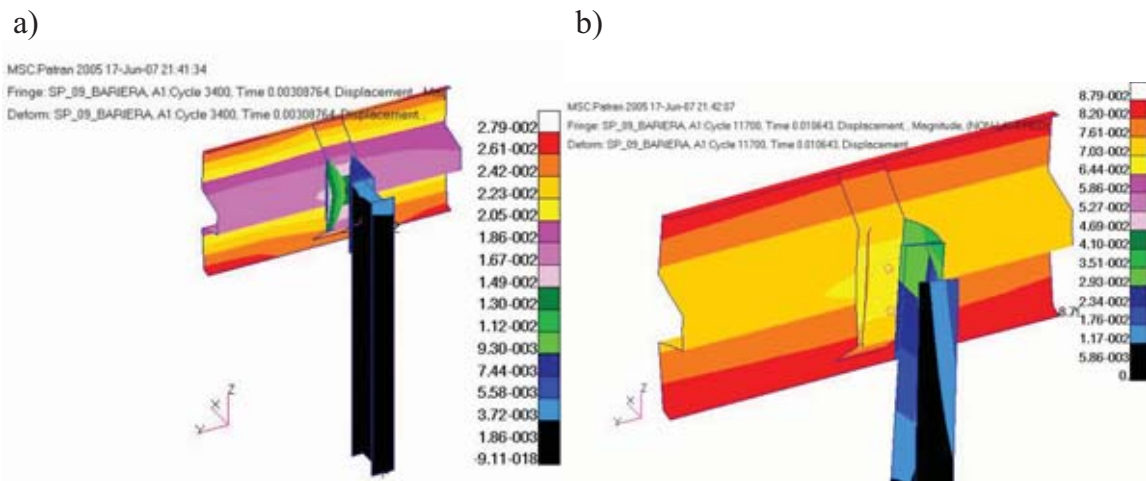
W wyniku uderzenia płytą testową bariera pochłonęła energię odkształcenia równą 5700 J (rys. 14).



Rys. 14. Wykres zmiany energia odkształcenia bariery SP-04
Fig. 14. Deformation energy plot for the SP-04 road barrier

3.3. Wyniki analizy bariery SP-09

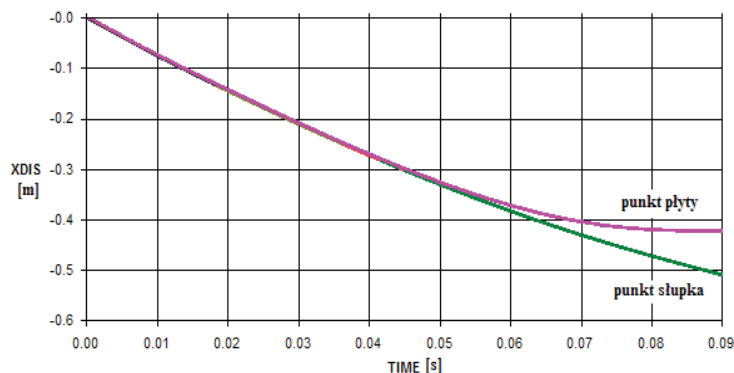
Podobnie jak w przypadku bariery SP-01 zastosowanie łącznika w kształcie ceownika powinno spowodować mimośrodową deformację bariery drogowej. Deformacja bariery została pokazana na rys. 15.



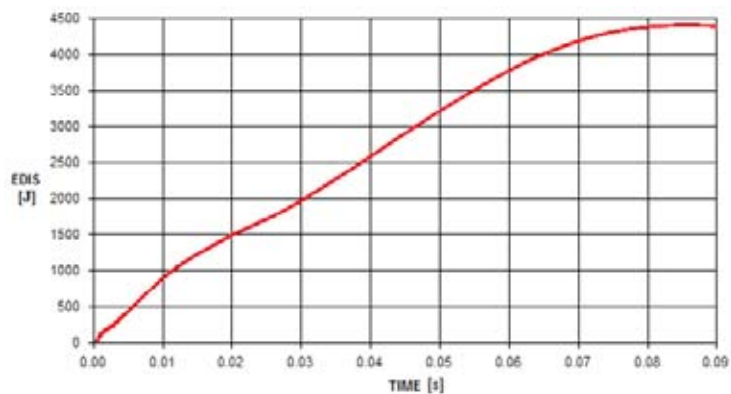
Rys. 15. Deformacja bariery drogowej SP-09, a – początkowa, b- końcowa
 Fig. 15. Deformation of the SP -09 road barrier, a - initial, b - final

Barak wyraźnej mimośrodowości jest spowodowany wiotkim (w porównaniu z barierą SP-01) łącznikiem.

W wyniku analizy numerycznej bariery SP 09 płyta testowa przemieściła się o 0.41 m, wykres przemieszczenia punktów znajdujących się na płycie i słupku pokazano na rys. 16. W wyniku uderzenia słupki pochłonięły energię odkształcenia najmniejsza ze wszystkich badanych barier równą 4400 J, wykres zmiany energii odkształcenia przedstawiono na rys 17.

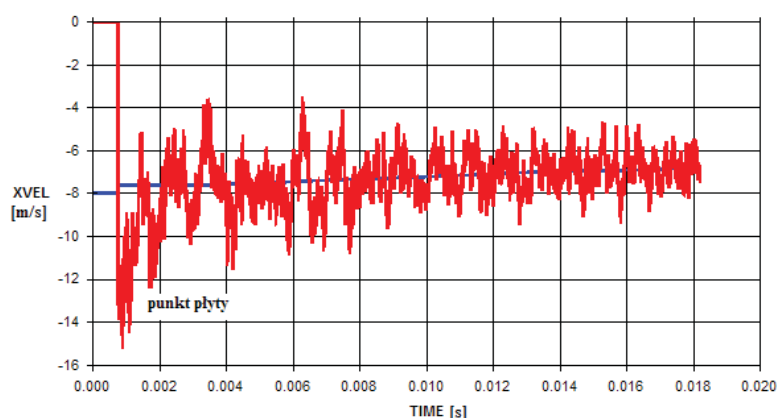


Rys. 16. Wykres przemieszczenia punktów bariery SP-09 umieszczonych na słupku i płycie
 Fig. 16. Displacement plot for points on the SP-09 barrier, located on the post and on the plate



Rys. 17. Wykres zmiany energia odkształcenia słupka SP-09
 Fig. 17. Deformation energy plot for the SP-09 post

Podobnie jak w przypadku bariery SP-04 płyta testowa zatrzymała się na barierze drogowej po czasie 0.0005 s. Charakter zmiany prędkości punktów dla modelu bariery SP-09 przedstawiono na rysunku 18.



Rys. 18. Wykres zmiany prędkości punktów umieszczonych na barierze SP-09 i płycie testowej
 Fig. 18. Velocity plot for points on the SP-09 road barrier and on the test plate

Maksymalne opóźnienie, jakiemu uległ punkt na płycie testowej wyniosło $2.2e6 \text{ m/s}^2$.

4. Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono fragment prac nad barierami drogowymi. Największą energochłonnością charakteryzują się bariery SP-01 i SP-04, zestawienie otrzymanych wyników pokazano w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie wyników z analizy numerycznej barier SP-01, SP-04 i SP-09

| Lp. | Rodzaj bariery | Przemieszczenie trwale punktu na słupku | Opóźnienie | Energia odkształcenia słupka |
|-----|----------------|-----------------------------------------|------------------|------------------------------|
| | | [m] | $[\text{m/s}^2]$ | [J] |
| 1. | SP-01 | 0.2 | 350000 | 5500 |
| 2. | SP-04 | 0.1 | 600000 | 5700 |
| 3. | SP-09 | 0.41 | 2200000 | 4400 |

Najmniejszą wartość impulsu opóźnienia posiada bariera SP-01. Jest to spowodowane złożonym sposobem odkształcenia konstrukcji wynikłym ze zginania i skręcania (przez zastosowanie wysięgnika) słupka. Tak duża energochłonność spowodowana jest mimośrodowością układu wynikłą z mimośrodowością spowodowanej długim łącznikiem. Proponowana metoda oparta na badaniach numerycznych pozwoli na wyeliminowanie kosztownych i długotrwałych badań rzeczywistych obiektów. Otrzymane wyniki posłużą jako wytyczne do opracowania metodyki badania tego typu struktur i będą mogły być wykorzystywane w dalszych pracach badawczych w zakresie zwiększenia poziomu bezpieczeństwa w transporcie drogowym.

Literatura

- [1] Barnat, W., Niezgoda, T., *Badania energochłonności elementów podatnych w aspekcie zastosowanych materiałów*, Journal of Kones Powertrain and Transport vol 14 No 1/2007.
- [2] Niezgoda, T., Ochelski, S., Barnat, W., *Doświadczalne badanie wpływu rodzaju wypełnienia podstawowych struktur kompozytowych na energie zniszczenia*, Acta mechanica et automatica vol 1 no 1 2007.
- [3] Niezgoda, T., Barnat, W., *Numeryczna Analiza Wpływu Kształtu Podstawowych Struktur Kompozytowych na Energię Zniszczenia*, III Sympozjum Mechaniki Zniszczenia Materiałów i Konstrukcji Augustów, 1 – 4 czerwca 2005.
- [4] Niezgoda, T., Barnat, W., *Analiza pasa bariery drogowej wzmocnionej elementami kompozytowymi w zastosowaniu do poprawy energochłonności elementów infrastruktury*. Górnictwo Odkrywkowe 5-6/2006.