

Projektowanie drogowych tymczasowych barier ochronnych dla samochodów osobowych

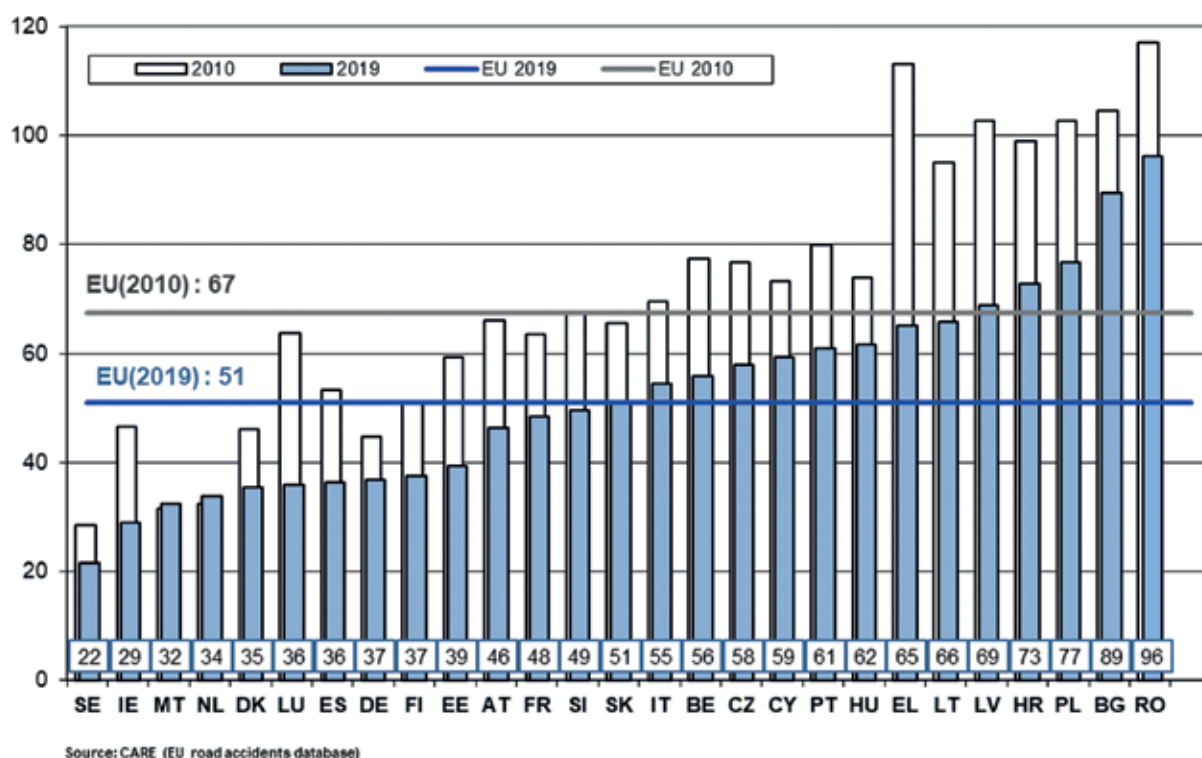
Prof. dr hab. inż. Maria Kaszyńska, dr inż. Adam Zieliński, mgr inż. Szymon Skibicki, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

1. Wprowadzenie

Globalne światowe statystyki pokazują, że blisko 1,3 mln ludzi umiera każdego roku w wypadkach drogowych (średnio 3287 zgonów dziennie), a 20–50 mln osób zostaje rannych lub niepełnosprawnych. Wypadki drogowe należą do 9 najczęstszych przyczyn śmierci i stanowią 2,2% wszystkich zgonów na świecie. O ile nie zostaną podjęte pilne działania, przewiduje się, że wypadki związane z ruchem drogowym staną się piątą główną przyczyną śmierci ludzi do 2030 roku [1]. Statystyki dotyczące wypadków drogowych w Europie wskazują, że rocznie ginie około 22 800 osób (dane z 2019 roku [2]) i wykazują trend spadkowy, który średnio wyniósł 24 % między rokiem 2010 a 2019 (rys. 1).

Dla porównania w Stanach Zjednoczonych co roku w wypadkach drogowych ginie ponad 37 000 osób, a 2,35 mln jest rannych lub niepełnosprawnych. Ponadto co roku umiera w wyniku wypadków drogowych ponad 1600 dzieci w wieku poniżej 15 lat [1]. Łącznie 37 461 osób zginęło w wypadkach samochodowych w 2016 r. Śmierć ta miała miejsce w 34 439 wypadkach z udziałem 52 241 pojazdów mechanicznych. Był to 6-procentowy wzrost liczby zgonów w porównaniu z 2015 r i największą liczbą zgonów w ruchu drogowym od 2007 r. [3].

W Polsce według opracowania Komendy Głównej Policji dotyczącego wypadków drogowych w 2020 roku na drogach zginęło 2491 osób, a 26 463 zostało rannych. Obserwuje się trend spadkowy o około 40 % w ciągu ostatnich 9 lat (od 2011 do 2020 r.) [4].



Rys. 1. Trend w śmiertelnych wypadkach drogowych w zależności od kraju w latach 2010–2019 [2]

Od 1984 roku na szczeblu regionalnym podjęto wiele działań mających na celu zmniejszenie liczby wypadków drogowych. Rada EU przyjęła decyzję w sprawie utworzenia wspólnotowej bazy danych o wypadkach drogowych (1993/704 / WE). W 2010 roku Unia Europejska ponowiła zobowiązanie do poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, ustalając cel zmniejszenia liczby wypadków drogowych o 50% do 2020 roku [5]. Chociaż bezpośrednim celem podejmowanych działań jest poprawa bezpieczeństwa na drogach, aby ochronić kierowców, pasażerów, pieszych i rowerzystów, to istnieje duża grupa ludzi, którzy są najbardziej zagrożeni. Tę grupę stanowią osoby pracujące przy budowie dróg i autostrad oraz przeprowadzający wymagane okresowe konserwacje i usprawnienia. Ponieważ coraz więcej robót drogowych jest wykonywanych na drogach otwartych dla ruchu, więc aby uniknąć dużego zatłoczenia, wymagane jest przyspieszenie robót oraz praca w porze nocnej, co wpływa na zwiększenie ryzyka dla pracowników drogowych.

Europejska Rada Bezpieczeństwa Transportu (*The European Transportation Safety Council*) poinformowała, że ryzyko pracy w strefach roboczych przy budowach dróg znacznie przewyższa ryzyko pracy budowlanej w innych miejscach [6] (ostatnie badanie w Holandii 2006–2007 r.). Jeżeli chodzi o ryzyko dla użytkowników dróg, międzynarodowy przegląd badań kolizyjnych przeprowadzony w ramach europejskiego projektu ARROWS ujawnił, że strefy obszarów roboczych charakteryzują się zazwyczaj wyższymi wskaźnikami kolizji w ruchu drogowym w porównaniu z równoważnymi odcinkami nierobotniczymi [7].

Istnieje wiele powodów, dla których pojazdy opuszczają drogę i kończy się to wypadkiem. Można tu wyróżnić przede wszystkim takie powody jak: błąd kierowcy, awaria pojazdu i/lub warunki panujące na drodze. Błędy kierowcy obejmują: zmęczenie, lekkomyślność i nieuwagę kierowcy, jazdę pod wpływem narkotyków lub alkoholu, nadmierną prędkość, brak dostosowania stylu jazdy do warunków pogodowych (słońce, śnieg, deszcz, lód, mgła), próbę uniknięcia kolizji z innym pojazdem, zwierzęciem lub przeszkodą na drodze. Awaria pojazdu obejmuje: awarie elementów, takich jak kierownica, układ hamulcowy, rozerwanie opon i/lub uszkodzenie tylnych świateł. Warunki panujące na drodze to: słaba widoczność spowodowana warunkami pogodowymi, zmniejszone tarcie nawierzchni, niedostateczny drenaż, złe oznakowanie, oznakowanie lub wytyczenie, dziury, niebezpieczne zakręty, przeszkody lub zwierzęta na drodze. Obecność przeszkód na drodze jest często spowodowana nieodpowiednim

załadunkiem materiałów na samochody dostawcze. W Polsce tylko w 2020 roku podczas robót drogowych oznakowanych tymczasowo wydarzyły się aż 84 wypadki, w których zginęło 12 osób, a 104 zostały rane [4]). Dodatkowo w wypadkach związanych z najechaniem na bariery ochronne zginęło 38 osób, a 367 zostały rannych (raport nie precyzuje rodzaju barier [4]). Istnieje ogólnoświatowe zainteresowanie zmniejszeniem śmiertelnych wypadków drogowych. Aby osiągnąć taki cel, podejmowane są działania w trzech głównych obszarach [8]: zwiększenie bezpieczeństwa osób (*safer people*), zwiększenie bezpieczeństwa pojazdów (*safer vehicles*) oraz zwiększenie bezpieczeństwa infrastruktury drogowej (*safer roads*). Jednym z istotnych sposobów na zwiększenie bezpieczeństwa infrastruktury drogowej jest stosowanie odpowiednich tymczasowych barier drogowych, które mają za zadanie chronić pracowników pracujących przy budowach/naprawach dróg przed zderzeniem z pojazdami.

W artykule omówiono proces projektowania innowacyjnej tymczasowej bariery ochronnej spełniającej wymagania normy EN 1317 [13] i zapewniającej poziom bezpieczeństwa T1/W1. Zadanie było realizowane w ramach projektu badawczo rozwojowego prowadzącego do wdrożenia w działalności gospodarczej innowacyjnej tymczasowej bariery jako systemu Techniki Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego [20]. Zaprojektowanie takiej bariery było dużym wyzwaniem, które zakończyło się wdrożeniem.

2. Wymagania projektowe dotyczące wykonania tymczasowych barier ochronnych

Testy zderzeniowe w skali rzeczywistej są najpowszechniejszą metodą oceny bezpieczeństwa barier i balustrad mostowych, poduszek zderzeniowych, tłumików montowanych na ciężarówkach, urządzeń kontroli ruchu w strefach roboczych i wielu innych elementów mających zapewnić bezpieczeństwo podczas zderzeń. Ponieważ wiele różnych jednostek przeprowadza takie testy, istnieje potrzeba ujednoczenia procedur i kryteriów stosowanych do oceny barier w ruchu drogowym. Raport NCHRP 350 [9] zawiera zalecane procedury oceny bezpieczeństwa drogowego, które opierają się na literaturze przedmiotu, zaawansowanej analizie wytrzymałościowej (w tym procedurach przyjmowanych przez ośrodki zagraniczne) oraz opinii uznanych ekspertów. Opracowany w USA Manual for Assessing Safety Hardware (MASH) [10] podręcznik na temat przeprowadzania testów zderzeniowych i oceny ich jakości, jest zgodny z raportem

Tabela 1. Kryteria badań zderzeniowych dotyczących pojazdów zgodnie z normą EN 1317 [13]

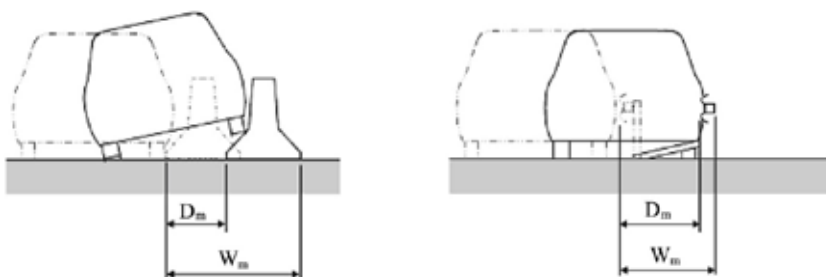
Badanie	Prędkość zderzenia km/h	Kąt zderzenia stopnie	Całkowita masa pojazdu kg	Typ pojazdu
TB11	100	20	900	Samochód osobowy
TB21	80	8	1300	Samochód osobowy
TB22	80	15	1300	Samochód osobowy
TB31	80	20	1300	Samochód osobowy
TB32	110	20	1300	Samochód osobowy
TB41	70	8	10000	Sztywny HGV
TB42	70	15	10000	Sztywny HGV
TB51	70	20	13000	Autobus
TB61	80	20	16000	Sztywny HGV
TB71	65	20	30000	Sztywny HGV
TB81	65	20	38000	Przegubowy HGV

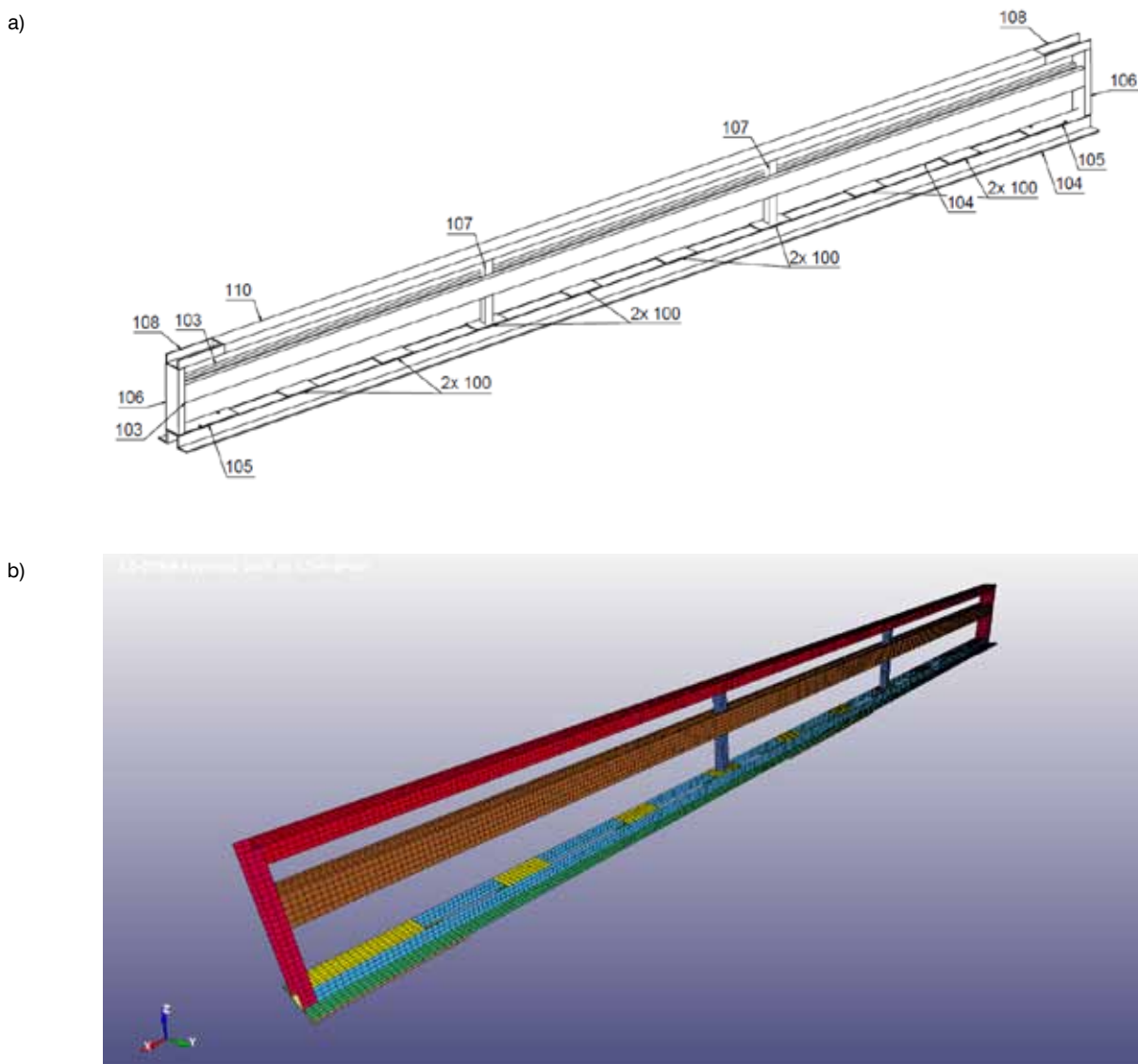
NCHRP 350 [9, 11]. Ostatnia edycja MASH została opublikowana w 2016 roku [12], przedstawia jednolite wytyczne dotyczące testów zderzeniowych stałych i tymczasowych urządzeń zapewniających bezpieczeństwo na autostradzie (w tym barier drogowych) i podaje kryteria oceny wyników testów zderzeniowych. Równoległe z przygotowaniem pierwszej edycji MASH [10], Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN) przygotował podobny dokument dla Unii Europejskiej (UE). Prace nad dokumentami zarówno w USA i CEN były monitorowane i dołożono wszelkich starań, aby zharmonizować ze sobą oba opracowania. Dokumenty zawierają jednak pewne różnice ze względu na specyfikę ruchu w USA i UE. Odpowiednią normą europejską jest EN 1317 [13], która składa się z ośmiu części i została przygotowana przez Komitet Techniczny CEN/EC. Wszelkie urządzenia zapewniające bezpieczeństwo na autostradach w UE muszą spełniać zapisy normy EN 1317 [13]. Norma EN 1317-2 wprowadza 4 główne poziomy powstrzymywania (małe, normalne, podwyższone, bardzo wysokie). Każdy z tych poziomów jest dodatkowo podzielony na kilka podkategorii. Prezentowany artykuł dotyczy barier spełniających wymagania dla poziomu powstrzymywania T1 (powstrzymywanie małe). Ten poziom powstrzymywania wymaga przeprowadzenia testu TB21, w którym należy użyć samochodu osobowego o masie 1300 kg, który będzie miał prędkość zderzeniową 80 km/h oraz będzie uderzał w barierę pod kątem 8°.

Tabela 2. Intensywność zderzeniowa zgodnie z normą EN 1317 [13]

Poziom siły uderzenia	Wartość		
A	$ASI \leq 1,0$	i	$THIV \leq 33 \text{ km/h}$
B	$ASI \leq 1,4$		
C	$ASI \leq 1,9$		

W tabeli 1 przedstawiono kryteria badań zderzeniowych dotyczących pojazdów zgodnie z normą EN 1317 [13]. Do określenia pomiaru intensywności zderzeniowych używa się dwóch parametrów: ASI – pomiar wskaźnika intensywności przyśpieszenia; $THIV$ – pomiar teoretycznej prędkości głowy w czasie zderzenia. Bariera będąca celem projektu powinna spełniać intensywność zderzeniową na poziomie A. Dla tego poziomu intensywności zderzeniowej $ASI \leq 1,0$ oraz $THIV \leq 33 \text{ km/h}$ (tab. 2). Odształcenia barier ochronnych charakteryzują: ugięcie dynamiczne D_m , szerokość pracująca W_m oraz wychylenie

**Rys. 2.** Ugięcie dynamiczne D_m , szerokość pracująca W_m [13]



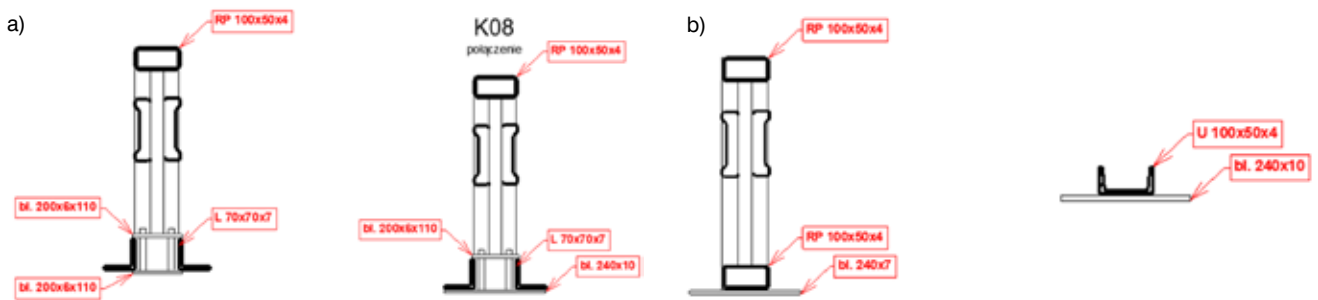
Rys. 3. Przykładowe koncepcje tymczasowych barier poddane analizie MES: a) szkic koncepcyjny bariery k08, b) model bariery koncepcyjnych k08 w programie LS-DYNA

pojazdu V_{Im} (rys. 2). Wchylenie pojazdu dotyczy jedynie bardzo ciężkich samochodów.

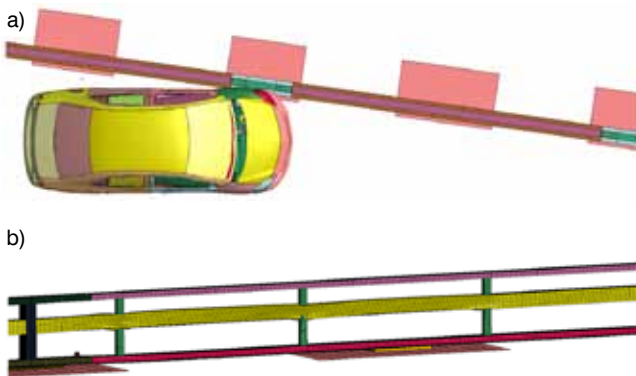
Według normy EN 1317 [13] szerokość pracująca W_m jest to odległość między boczną powierzchnią czołową od strony ruchu przed zderzeniem z systemem ograniczającym drogę i maksymalnym dynamicznym bocznym położeniem jakiegokolwiek części systemu. Dynamiczne ugięcie D_m jest to maksymalne boczne, dynamiczne przemieszczanie bocznej powierzchni czołowej systemu powstrzymującego od strony ruchu. Ugięcie dynamiczne i szerokość pracująca umożliwia określenie warunków instalowania każdej bariery ochronnej, a także określenie odległości przed barierą, zapewniających zadowalające działanie systemu. Szczegółowe wyjaśnienie definicji poszczególnych charakterystyk (D_m , W_m , V_{Im}) znajduje się w normie EN 1317.

3. Koncepcja projektu bariery tymczasowej

Jednym z głównych problemów przy projektowaniu barier tymczasowych jest brak możliwości zastosowania mocowania do podłoża/nawierzchni. Z tego powodu najistotniejszymi parametrami wpływającymi na możliwość bezpiecznego użytkowania bariery są jej masa, sztywność oraz rozstaw podpór. Prace projektowe obejmowały analizę schematów statycznych i dynamicznych rozpatrywanego układu. Analizowano m.in.: siłę uderzenia, siłę tarcia podczas zderzenia i po zderzeniu, współczynnik tarcia statycznego, współczynnik tarcia kinematycznego, prędkość uderzenia, prędkość bariery po uderzeniu oraz masę układu barier. Konkluzją z przeprowadzonych analiz było uzyskanie modelu bariery o jak największej sztywności przy minimalnej masie. Stworzono model analityczny, który obliczał



Rys. 4. Przekroje wybranych koncepcji tymczasowych barier: a) przekroje przez barierę K08, b) przekroje przez barierę K09



Rys. 5. Testy zderzeniowe w programie LS-DYNA: a) uderzenie pojazdu w barierę (model MES) – widok z góry, b) bariera po teście zderzeniowym (model MES)

przemieszczenie bariery w zależności od jej masy (kg/mb) i sztywności wyrażonej przez zastępczy moment bezwładności przekroju uwzględniający stosunek modułów sprężystości użytych materiałów konstrukcyjnych (cm^4). Wstępnie opracowano ponad 130 różnych barier dla których uzyskano wartości masy i sztywności w przedziale 45–100 kg/mb i 320–1800 cm^4 , przy których obliczone przemieszczenie bariery było w przedziale od 55 do 65 cm.

Na podstawie badania rynku przeprowadzonego na potrzeby projektu [20] wykonano przegląd aktualnych rozwiązań komercyjnych barier, klasyfikowanych jako T1/W1. Do tych barier należą m.in. ProTec100, ProTec120, ARMORGUARD firmy Lindsay, Zoneguard firmy Asset, SafeZone. Na rynku nie ma za wiele rozwiązań przeznaczonych tylko dla T1/W1 a masa barier jest stosunkowo wysoka – masywne bariery betonowe i podwyższa koszty transportu. Geometria bariery pożądana przez producenta to szerokość rdzenia bariery mniejsza lub równa 10 cm, całkowita szerokość bariery mniejsza/równa 24 cm, wysokość bariery około 50 cm. Segmenty powinny mieć długość 12 lub 6 m. Ze względów logistycznych masa bariery powinna kształtować się od 40 do 60 kg/mb. Dzięki temu takie rozwiązanie umożliwiłoby przetransportowanie w jednym składzie

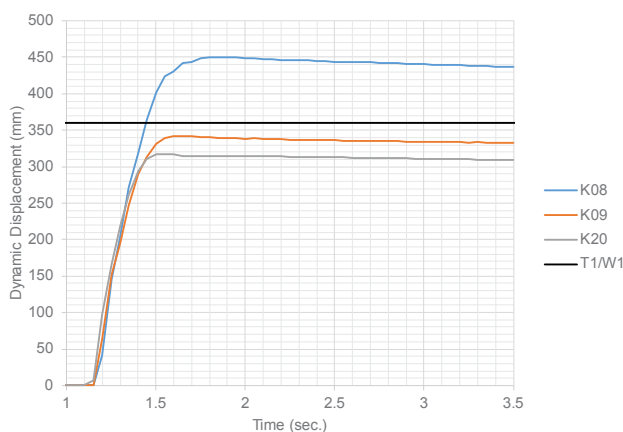
od 400 do 600 m bariery. Istniejące rozwiązania z wykorzystaniem barier betonowych skracają długość barier w jednym transporcie około dwukrotnie lub więcej. Ze względu na dużą złożoność zjawiska, jakim jest uderzenie pędzącego pojazdu w barierę tymczasową, najefektywniejszym rozwiązaniem projektowym jest zastosowanie programów do zaawansowanych analiz numerycznych. Na podstawie przeglądu literatury wybrano najefektywniejszy program do obliczeń, jakim jest LS-DYNA. Analizy wstępne zostały wykonane za pomocą metody elementów skończonych (MES) przy użyciu specjalistycznego oprogramowania LS-DYNA. Zastosowane oprogramowanie jest zalecane przy rozwiązywaniu tego typu problemów [13–18]. Całość zagadnienia jest rozwiązywana nieliniowo.

Powyższa analiza rynku, literatury oraz wymogów projektu [20] pozwoliła na stworzenie kilku koncepcji bariery w konstrukcji stalowej (ze względu na ciężar), które zostały poddane analizie numerycznej w LS-DYNA. Użyty w badaniach komputer ma 5888 rdzeni, 38 TB RAM, 1.4 PB Disk i ma wydajność około 250 TFlops [19].

Przykładowe koncepcje takich barier przedstawiono na rysunkach 3 oraz 4. Dodatkowo na rysunku 3b przedstawiono model MES wykonany w programie LS-DYNA.

4. Wyniki symulacji numerycznych

Do przeprowadzonych analiz porównawczych wykorzystano MAT001 – MAT_ELASTIC. Jest to izotropowy materiał hipoelastyczny, dostępny dla belek, powłok i elementów stałych w programie LS-DYNA. Właściwości materiału potrzebne do pełnego zdefiniowania modelu materiałowego to gęstość masy, moduł Younga i współczynnik Poissona. Określono typowe właściwości stali gatunku S235. Powłoka Belyschko-Lin-Tsay została wdrożona w programie LS-DYNA ze względu na jej wysoką skuteczność. Zastosowano lepką formę kontroli klepsydry Flanagan-Belytschko ze współczynnikiem 0,05. Na rysunku 5 przedstawiono wizualizację testów zderzeniowych bezpośrednio z programu LS-DYNA.



Rys. 6. Przemieszczenie boczne wybranych barier koncepcyjnych

Stworzono trzy proste modele barier: k08, k09 i k20, które sprawdzono podczas testów zderzeniowych przeprowadzonych za pomocą programu LS-DYNA. Do wszystkich analiz wykorzystano współczynnik tarcia równy 0,5 uzyskany od producenta podkładów gumowych. Dodatkowo w ramach projektu [20] przeprowadzono weryfikację badawczą współczynnika tarcia na wybranych modelach barier. Badania weryfikacyjne potwierdziły dane producenta.

Na rysunku 6 przedstawiono wyniki maksymalnego przemieszczenia łańcucha barier uzyskanego podczas symulacji w programie LS-DYNA. Z serii barier koncepcyjnych „k”, bariery k09 i k20 spełniają wymagania normy EN 1317 w zakresie kategorii T1/W1. Bariera k08 znacznie przekroczyła dopuszczalne przemieszczenia normowe. Po optymalizacji barier spełniających warunki normowe wybrano barierę do testów zderzeniowych.

5. Weryfikacja wyników podczas testów zderzeniowych

Rzeczywiste testy zderzeniowe wykonano w laboratorium DTC Dynamic Test AG (akredytacja nr STS 0492). Testy wykonano dla wybranej bariery koncepcyjnej o masie 256 kg, która otrzymała nazwę GP-500 dla potrzeb testów. Laboratorium Dynamic Test Center AG posiada specjalnie zaprojektowany tor do testów zderzeniowych przygotowany zgodnie z wytycznymi normy [13]. Samochody używane do testów mają masę odpowiadającą wymaganiom normy [13], a ponadto zainstalowaną zaawansowaną aparaturę pomiarową oraz system bezpieczeństwa w postaci zdalnego hamowania pojazdu. Cały pomiar jest rejestrowany superszybkimi kamerami, w celu precyzyjnego określenia zachowania się pojazdu podczas testu. Rysunek 7 przedstawia widok na plac przeznaczony do testów zderzeniowych oraz barierę po teście zderzeniowym.

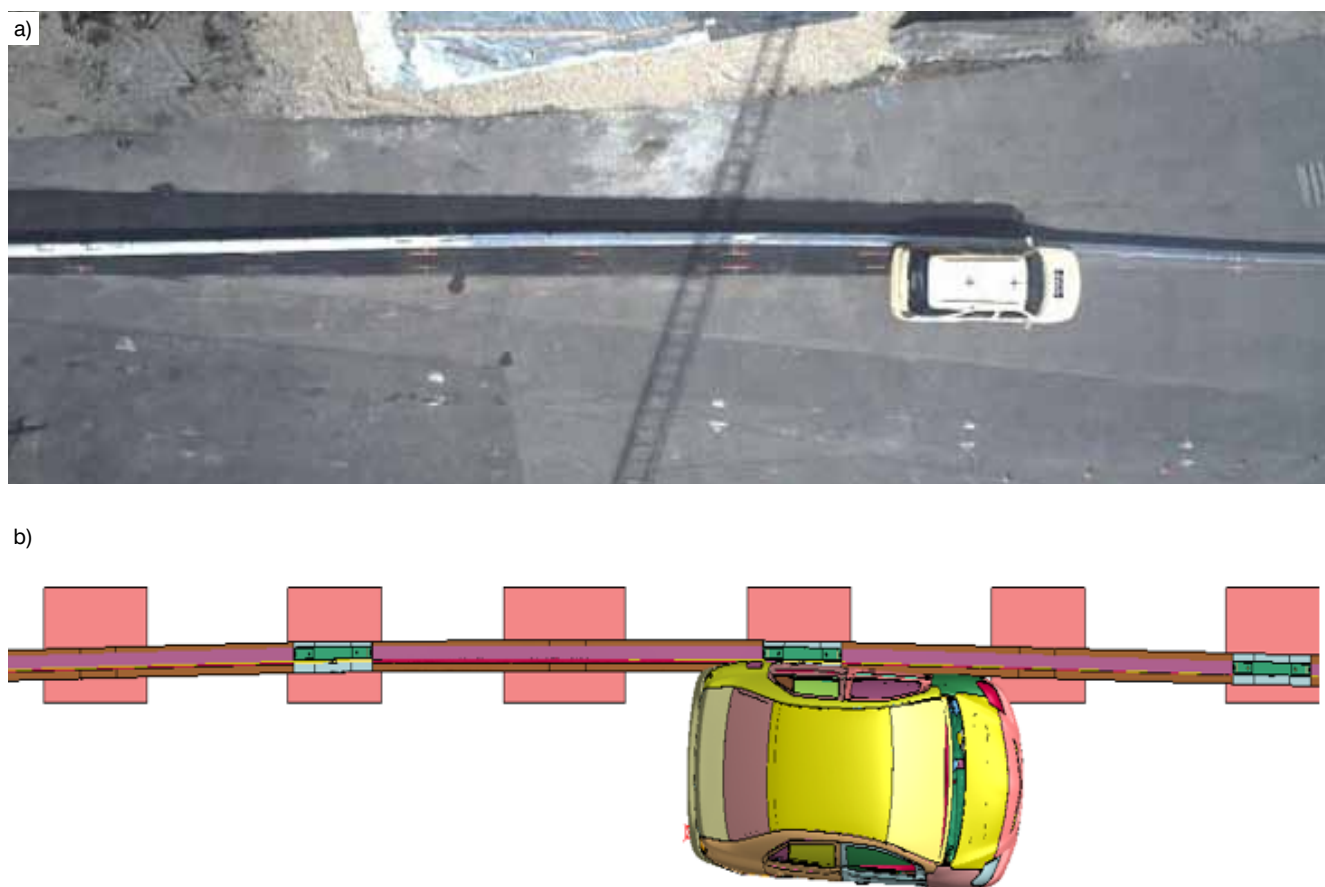


Rys. 7. Testy zderzeniowe: a) bariera przygotowana do testów, b) bariera po teście zderzeniowym

Tabela 3. Wyniki testów zderzeniowych

Nazwa parametru wg EN 1317	Wartość [m]
Ugięcie dynamiczne	0,4
Znormalizowane ugięcie dynamiczne	0,4
Szerokość pracująca	0,7
Znormalizowana szerokość pracująca	0,6

Odbływały się one w słoneczny dzień, bez opadów, na suchym torze testowym o powierzchni asfaltowej. Pojazd został przyspieszony do wymaganej prędkości zderzenia zgodnej z normą (80 km/h) za pomocą specjalnego systemu napędowego. Prowadzenie pojazdu odbyło się za pośrednictwem systemu prowadzenia szynowego. Dziesięć metrów przed punktem uderzenia pojazd został odłączony od zaczepu holowniczego (który był częścią systemu napędowego), a następnie uwolniony od wszelkich wpływów hamowania, układu kierowniczego lub silnika. Następnie nastąpiło uderzenie w zadany punkt bariery. W tabeli 3 przedstawiono wyniki testów zderzeniowych. Maksymalne przemieszczenie nastąpiło w łączniku między segmentami 8 i 9. Na podstawie założeń normy EN 1317-2:2010 bariera GP-500 została zaliczona do klasy T1/W1, co potwierdziło poprawność przeprowadzonych symulacji obliczeniowych.



Rys. 8. Porównanie testów zderzeniowych z wynikami analizy MES: a) testy zderzeniowe, b) model numeryczny

Prędkość, masa oraz kąt uderzenia pojazdu w modelu MES są różne od danych uzyskanych w teście zderzeniowym. Taki dobór parametrów jednak zapewnia tę samą energię kinetyczną uderzenia, co można uznać za poprawnie dobrane parametry. Rzeczywisty test zderzeniowy wykazuje pewne różnice w stosunku do parametrów testowych w normach, jednak różnice te mieszczą się w dopuszczalnym marginesie dokładności. Ponadto finalne wartości uzyskane podczas testów są przeliczane do wartości normowych.

Model bardzo dobrze przewidywał długość kontaktu i prędkość pojazdu po zderzeniu. Różnica w długości kontaktu wynosiła 10%, a różnica w prędkości pojazdu po zderzeniu tylko 1%.

Porównanie zachowania się bariery podczas rzeczywistych testów zderzeniowych oraz podczas symulacji MES przedstawiono na rysunku 8. Dodatkowo rysunek 8b przedstawia uderzenie pojazdu w barierę podczas testu zderzeniowego wykonanego w środowisku LS-Dyna. Na rysunku widać uderzenie pojazdu w połączenie między segmentem siódmym i ósmym bariery. Uzyskane w symulacji odkształcenia są podobne do tych uzyskanych z rzeczywistych testów

zderzeniowych. Porównanie wykazało, że bariery zachowują się podobnie po zderzeniu samochodu. W obu przypadkach zderzenie samochodu z barierą trwa około 1,2 sekundy, a ogólny kształt odkształceń został dobrze przybliżony przez model MES.

6. Podsumowanie

Rezultatem realizowanego w latach 2018–2020 projektu o nazwie „Projekt badawczo-rozwojowy przedsiębiorstwa «GP Sp. z o. o.» prowadzący do wdrożenia w działalności gospodarczej innowacyjnej tymczasowej Bariery Ochronnej T1/W1 jako systemu Techniki Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego” [20] było zaprojektowanie i wykonanie ekonomicznej drogowej bariery tymczasowej spełniającej warunki T1/W1 według normy EN 1317 [13].

Proces projektowy wspomagany był przez analizy teoretyczne, modelowe, badania laboratoryjne i symulacyjne (MES). Finalnie do rzeczywistych testów zderzeniowych wybrano barierę lżejszą i bardziej ekonomiczną GP-500 o szerokości 100 mm. Przeprowadzone testy zderzeniowe przez Laboratorium Dynamic Test Center AG

potwierdziły skuteczność zaprojektowanej bariery dla kategorii T1/W1. Symulacja numeryczna dała zbliżone rezultaty co do długości kontaktu pojazdu podczas zderzenia, prędkości pojazdu po zderzeniu, deformacji bariery, rozkładu uszkodzeń oraz czasu uderzenia do wartości uzyskanych w rzeczywistych testach zderzeniowych. Ogólne zachowanie systemu bariery podczas symulacji zderzenia w programie LS-DYNA zostało dobrze odwzorowane.

Zaprojektowana bariera po rzeczywistych testach zderzeniowych uzyskała certyfikat potwierdzający wymagane dla danej kategorii parametry.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Road Crash Statistics. Association for safe international road travel. <http://asirt.org/Initiatives/Informing-Road-Users/Road-Safety-Facts/Road-Crash-Statistics>, August 31, 2018
- [2] Mobility and Transport. Road Safety. European Commission Report https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics_en#, May 20, 2021
- [3] General Statistics. Insurance Institute of Highway Safety Highway Loss Data Institute. <https://www.iihs.org/iihs/topics/t/general-statistics/topicoverview>, August 31, 2018
- [4] Komenda Główna Policji. Biuro Ruchu Drogowego, Wypadki drogowe w Polsce w 2020 roku, Warszawa, 2021
- [5] Road Deaths in the European Union – Latest Data | ETSC. <https://etsc.eu/euroadsafetydata>, August 31, 2018
- [6] Brinkhuis B., Increasing Road Worker Safety in The Netherlands. p. 1.
- [7] Road Safety at Work Zones. Preventing Road Accidents and Injuries for the Safety of Employees. <https://etsc.eu/wp-content/uploads/Report-6.pdf>, August 31, 2018
- [8] Ren Z, Vesenjak M., Computational and experimental crash analysis of the road safety barrier. *Engineering Failure Analysis* 2005;12(6):963–73. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2004.12.033>
- [9] Ross H. E., Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features. Transportation Research Board. Washington, D.C.: National Research Council, National Academy Press, 1993
- [10] MASH. Manual for Assessing Safety Hardware. American Association of State Highway Transportation Officials, 2009
- [11] Dreznes M., MASH Compared to NCHRP 350. *Roadside Safety Design and Devices*; 2012
- [12] MASH. Manual for Assessing Safety Hardware. American Association of State Highway Transportation Officials, 2016
- [13] EN 1317: Parts Are from the European Committee for Standardization. Central Secretariat, Rue de Stassart 36, B-1050, Brussels, Belgium, 2011
- [14] Welcome to Livermore Software Technology Corp. | Livermore Software Technology Corp. <http://www.lstc.com>, August 31, 2018
- [15] Logan DLA. *First Course in the Finite Element Method Using Algor*, Brooks/Cole Publishing Co, 2000
- [16] Nielsen C. V., Zhang W., Alves L. M., Bay N., Martins P. A. F., Finite Element Formulations. In *Modeling of Thermo-Electro-Mechanical Manufacturing Processes*. Springer
- [17] Hallquist JO. *LS-DYNA Theory Manual*. Livermore software Technology corporation, 3/2006
- [18] Waszczuk K. G., *Development of Efficient Finite Element Model for Truck Mounted Attenuator*, 2013
- [19] High Performance and Parallel Computing. Hopper Cluster. Auburn University. <http://www.auburn.edu>.
- [20] Kaszyńska M., Nowak A., Zieliński A., Skibicki S., Projekt badawczo-rozwojowy przedsiębiorstwa GP Sp. z o. o. prowadzący do wdrożenia w działalności gospodarczej innowacyjnej tymczasowej Bariery Ochronnej T1/W1 jako systemu Techniki Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego. Raport końcowy projektu, Szczecin, 2020



Wydział Inżynierii Lądowej
Politechniki Warszawskiej



Serdecznie zaprasza do udziału w drugiej części

Ogólnopolskiego Zjazdu Dziekanów

wydziałów kształcących na kierunku Budownictwo

w dniach 10 – 11 czerwca 2021 r.

Współorganizatorem drugiej części wydarzenia jest

Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej w Płocku.



Politechnika
Warszawska



Wydział Budownictwa,
Mechaniki i Petrochemii
w Płocku

POLITECHNIKA WARSZAWSKA



Wydział
Inżynierii Lądowej
POLITECHNIKA WARSZAWSKA

zdkb2021@il.pw.edu.pl
www.zjazddziekanow.il.pw.edu.pl