

ANALIZA RYZYKA ZDARZEŃ DROGOWYCH SAMOCHODU WYPADAJĄCEGO Z DROGI I RYZYKA OBRAZEŃ OSÓB, SPOWODOWANYCH KONSTRUKCJAMI WSPORCZYMI PIONOWEGO OZNAKOWANIA DROGI Z UWZGLĘDNIENIEM BARIERY OCHRONNEJ

MICHALSKI Jacek, Dr hab. inż., Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, Polska, jmichals@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-9745-9453

WOŚ Paweł, Dr inż. Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska, pwos@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0003-2730-3258

АНАЛІЗ РИЗИКУ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД ПРИ ВИЛЬОТІ АВТОМОБІЛЯ З ДОРОГИ І РИЗИКУ ПОШКОДЖЕНЬ ЛЮДЕЙ, СПРИЧИНЕНИХ КОНСТРУКЦІЯМИ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ДОРОЖНЬОЇ РОЗМІТКИ З УРАХУВАННЯМ БАР'ЄРІВ БЕЗПЕКИ

МІХАЛЬСКИ Яцек, доктор хабілітований, Жешувська Політехніка, Жешув, Польща, jmichals@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-9745-9453

ВОШ Павел, кандидат технічних наук, Жешувська Політехніка, Жешув, Польща, pwos@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0003-2730-3258

ANALYSIS OF THE RISK OF ROAD ACCIDENTS AND HUMAN INJURIES CAUSED BY A VEHICLE IMPACTING THE ROAD SIGN SUPPORT STRUCTURES INCLUDING THE PROTECTIVE BARRIERS

MICHALSKI Jacek, Doctor of Technical Science, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland, jmichals@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-9745-9453

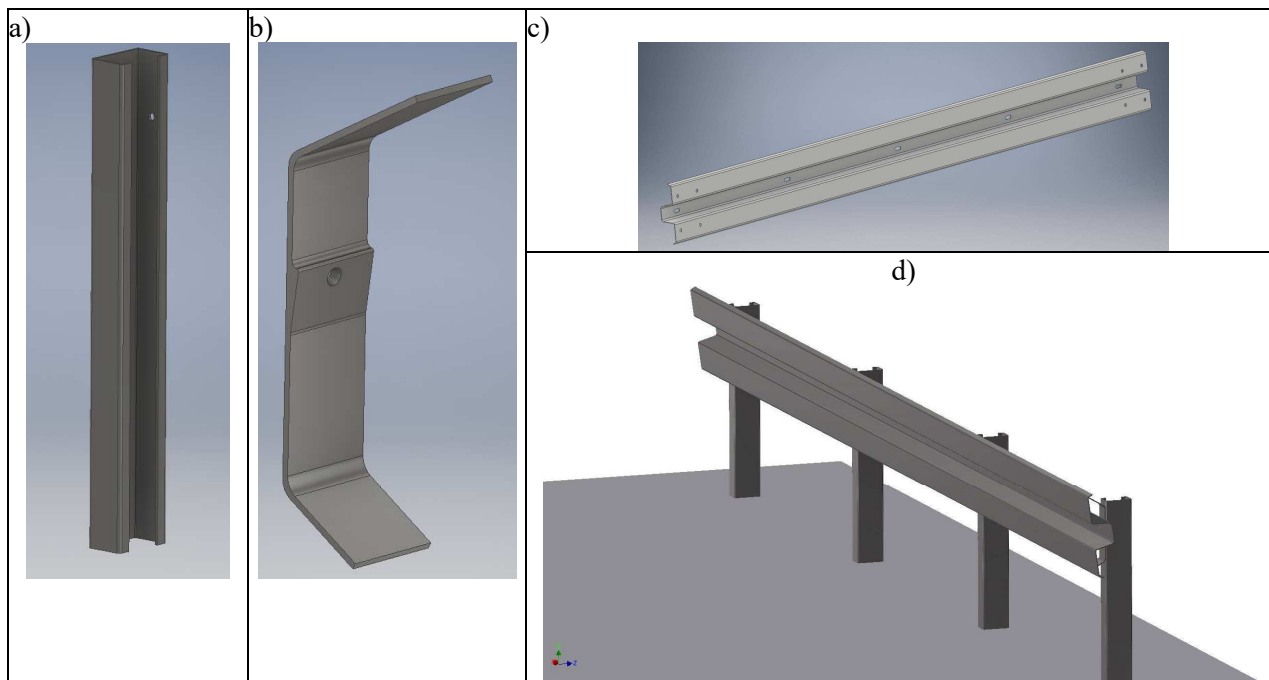
WOŚ Paweł, PhD in Technical Sciences, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland, pwos@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0003-2730-3258

WSTĘP

Bezpieczeństwo staje się jednym z najważniejszych aspektów nowoczesnego ruchu drogowego. Uderzenie samochodu w infrastrukturę drogową występuje rzadko, lecz powoduje wysokie ryzyko obrażeń, śmierci, strat finansowych oraz zagrożenia dla środowiska [1, 4, 9]. Istotną grupę zdarzeń drogowych w województwie pomorskim stanowią wypadnięcia pojazdu z drogi [3]. W przeciągu 5 lat zdarzenia te stanowiły 29,1% ogółu wypadków, 25,7% ogółu ofiar rannych i 33,1% ogółu ofiar śmiertelnych. Z kolei udział zdarzeń niebezpiecznych związanych z najechem na przeszkodę wynosi od 5,4% do 21,3% (najwięcej najechem na drzewo oraz na autostradzie A1). Zdarzenia drogowe między pojazdami wypadającymi z niej i słupami oświetlenia drogowego, konstrukcjami wsporczyami pionowego stałego oznakowania dróg i urządzeń bezpieczeństwa ruchu oraz innymi obiektami przydrożnymi, stanowią poważny problem bezpieczeństwa drogowego na arenie międzynarodowej [12, 14]. Ograniczenie poważnych konsekwencji wynikających z wypadków pojazdów z urządzeniami drogowymi stało się jednym z głównych obszarów badawczych w inżynierii drogowej i samochodowej. Przemysł motoryzacyjny opracowuje nowe pasywne i aktywne systemy bezpieczeństwa, aby zwiększyć bezpieczeństwo pasażerów pojazdów oraz bezpieczeństwo drogi i pojazdu [2]. Bariery przeciwwypadkowe konwencjonalne, są zwykle tak zaprojektowane, że samochód po uderzeniu w nie, "nie wraca" z powrotem na drogę. Osiągnięte jest to zwykle dzięki podporom, które są w stanie zatrzymać zderzenie. Stabilne systemy tych barier są w stanie zatrzymać pojazdy o masie do 40 ton. Celem współczesnych systemów bezpieczeństwa drogi jest często zapobieganie/uniemożliwienie wypadnięciu pojazdu z drogi i powstrzymanie go przed wejściem w obszar niebezpieczny, aby uniknąć lub zmniejszyć obrażenia pasażerów pojazdów i innych uczestników ruchu drogowego oraz przedmiotów. Systemy bezpieczeństwa drogowego zainstalowane na drogach publicznych w Europie muszą spełniać wymagania norm EN 1317 [5, 6, 7, 8]. Określają one skalę testów zderzenia i zakres spełnienia wymagań. Umożliwia to certyfikowanie barier bezpieczeństwa, dla docelowych poziomów ochrony. Europejskie bariery bezpieczeństwa drogowego (elastyczne, półsztywne, sztywne oraz systemy bezpieczeństwa, mają następujący zakres wymagań:

- poziom powstrzymywania, dla różnych typów pojazdów – są to cztery główne poziomy: T - tymczasowy, N - normalny, H - wysoki, H4 - bardzo wysoki;

- nasilenie uderzenia - miara skutków zderzenia dla pasażerów pojazdów, które najeżdżają na przeszkodę i stanowią zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu drogowego (brd). Stosowane są trzy parametry: wskaźnik ciężkości przyspieszenia (ASI), teoretyczna prędkość uderzenia głową (THIV) i opóźnienie uderzenia głowy po uderzeniu (PHD);
- deformacja bariery - szerokość robocza bariery, która jest odległością między stroną poręczy skierowaną w stronę ruchu przed uderzeniem a maksymalnym bocznym położeniem dowolnej większej części układu podczas uderzenia pojazdu (rys. 2a).



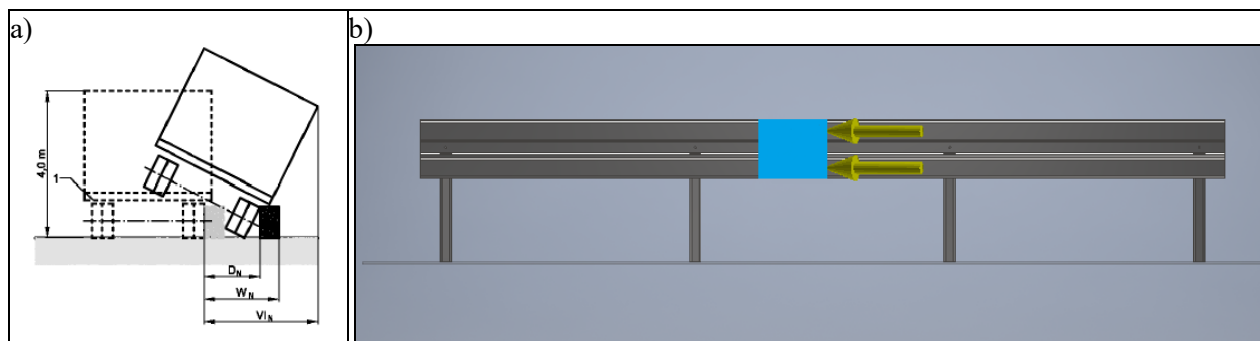
Rysunek 1 – Model CAD bariery EASY-RAIL opracowany w system Autodesk Inventor Professional 2018 zawiera: a) słup typu C 110x1750 mm, b) wspornik ER typu B oraz nakładkę stykową, c) prowadnicę typu B - nie analizowano: śruby M10x45, podkładki $\Phi 11$, nakrętki sześciokątnej M10, śruby noskowej M16x27, podkładki $\Phi 18$, nakrętki sześciokątnej M16, d) analizowany model bariery ochronnej

Figure 1 – The CAD model of the EASY-RAIL barrier developed in the Autodesk Inventor Professional 2018 system includes: a) C type pole 110x1750 mm, b) ER type B bracket and contact strip, c) B type guide - not analyzed: M10x45 screws, $\Phi 11$ washers, hex nuts M6, M16x27 tooting screw, washers $\Phi 18$, M16 hex nuts, d) analyzed protective barrier model.

WYNIK BADAŃ WYTRZYMAŁOŚĆCI BARIERY OCHRONNEJ DROGOWEJ I ICH ANALIZA

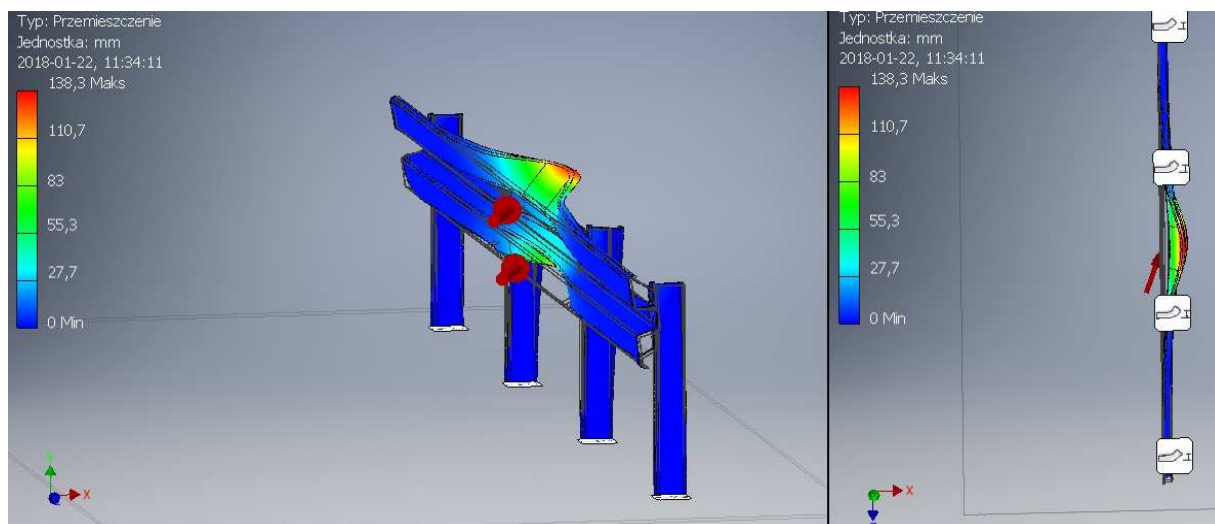
Model geometryczny drogowej bariery ochronnej dobrano na podstawie istniejącej konstrukcji bariery EASY-RAIL 1.33 (rys. 1), firmy Volkmann & Rossbach GmbH & Co. KG [10]. Ta bariera na drodze pełni funkcje bariery skrajnej, umieszczanej przy krawędzi pobocza, w celu zapobiegania wypadnięciu z drogi przez pojazd, w niebezpiecznych miejscach. Konstrukcja zapewnia poprawne współdziałanie materiału prowadnicy, jej pochylenia oraz słupów. Szerokość jednostronnego systemu wynosi 206 mm. Odległość między słupami to 1,33 m z kolei głębokość zakopania słupa w gruncie wynosi 1,05 m. Na podstawie testów zderzeniowych stwierdzono, że długość systemu ma minimalną wartość 48 m przy poziomie powstrzymywania N2. Bariera ma: klasę szerokości pracującej $W2=0,8$ m, poziom intensywności zderzenia A, ugięcie dynamiczne $D=0,7$ m, wskaźnik intensywności przyśpieszenia $ASI=0,7$ oraz teoretyczną prędkość głowy w czasie zderzenia $THIV=24$ km/h. Analizowana długość prowadnicy/segmentu wynosi 4 m, masa 1 mb konstrukcji systemu wynosi 23,6 kg oraz konstrukcja ma certyfikat CE. Przyjęto, że materiał elementów bariery to stal konstrukcyjna niestopowa ogólnego przeznaczenia, typ S235J0 (St3W). Charakterystyka tego materiału to: moduł sprężystości podłużnej (Younga) 210 GPa, sprężysty współczynnik Poissona $\nu=0,3$, gęstość objętościowa (masa właściwa) $\rho=7850$ kg/m³, granica plastyczności $gy=235$ MPa, granica wytrzymałości $fu=415$ MPa, minimalne wydłużenie $A5min=24\%$, udarność $U=27$ J w temperaturze 30°C.

Rozpatrywano dla bariery metalowej, test zderzeniowy TB3 samochodu osobowego o prędkości zderzenia 110 km/h, kącie uderzenia 20°, całkowitej masie pojazdu 1500 kg [6]. Założony czas zderzenia to 0,15 s, co



Rysunek 2 - Cechy funkcjonalne barier ochronnych: a) ugięcie dynamiczne (D_N), szerokość pracująca (W_N) oraz intruzja pojazdu (V_{IN}), b) przyjęty obszar działania siły uderzenia samochodu na prowadnicę bariery

Figure 2 - Functional features of protective barriers: a) dynamic deflection (D_N), working width (W_N) and vehicle intrusion (V_{IN}), b) assumed impact area of the car on the barrier guide.



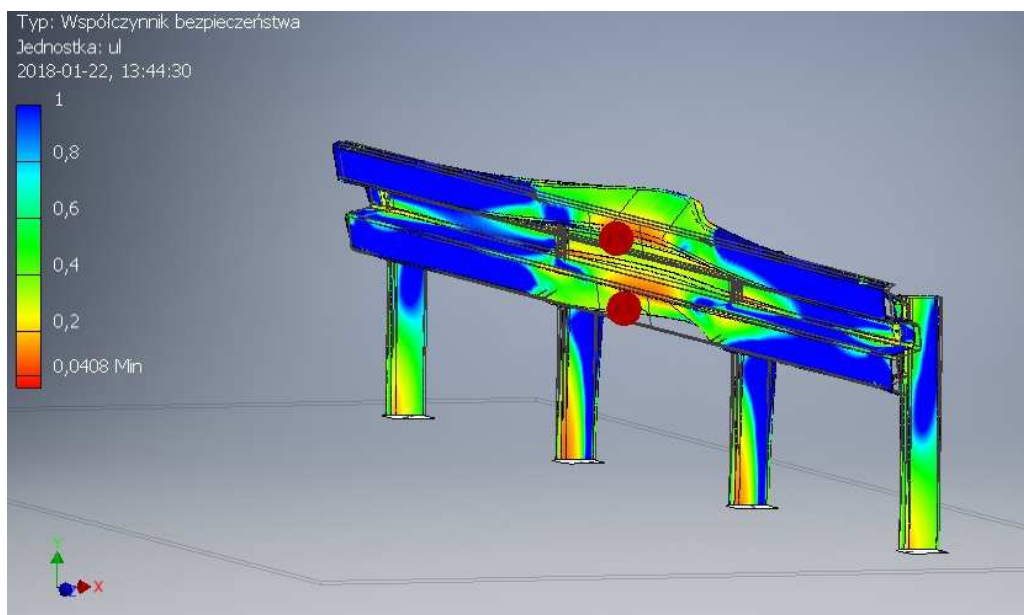
Rysunek 3 – Przeszczenie, w mm, elementów modelu bariery ochronnej po uderzeniu samochodu pod kątem 20°

Figure 3 – Displacement, in mm, elements of the protective barrier model after a car hit at an angle of 20°.

oznacza opóźnienie pojazdu 203,7 m/s², na podstawie prawa Newtona. Wartości przyjętych parametrów odpowiadają; badaniom klasyfikującym TB32 oraz poziomemu powstrzymywaniu bariery normalnemu N2. Obliczono: wartość siły wypadkowej $F=305,55$ kN; sił składowych: $F_x=104,5$ kN, $F_y=0$ kN oraz $F_z=-278,22$ kN. Siła uderzenia została przyłożona do bariery na prawdopodobną powierzchnię styku pojazdu z prowadnicą bariery (rys. 2b). Jest to uproszczony model zderzenia, gdzie nie uwzględniano sztywności i tłumienia: samochodu i gruntu z zasypką, mocujących słup typu C.

Przedstawione wyniki analizy zawierają: wartości przemieszczenia elementów bariery ochronnej oraz wartości współczynnika bezpieczeństwa tych elementów. Czerwona barwa obszaru na modelach (rys. 3, 4) oznacza największe jego deformacje w efekcie uderzenia oraz odpowiednio najmniejszy (najgorszy) współczynnik bezpieczeństwa. Model uderzenia samochodu w barierę ochronną pod kątem 20°, jest charakterystycznym przypadkiem wypadnięcia z drogi przez pojazd, na skutek celowego zjechania z drogi lub ucieczki z jezdni w celu uniknięcia innego, groźniejszego zderzenia. Z analizy, wynika że największe przemieszczenie bariery miało wartość 138,3 mm, oraz najmniejszy współczynnik bezpieczeństwa miał odpowiednio wartość 0,0408.

Otrzymane wartości przemieszczeń są stosunkowo niewielkie w odniesieniu do parametrów bezpieczeń-



Rysunek 4 - Współczynnik bezpieczeństwa na danym obszarze bariery po uderzeniu samochodu pod kątem 20°

Figure 4 - The safety factor in a given area of the barrier after a car hit at an angle of 20°.

stwa bariery EASY-RAIL 1.33, gdzie klasa szerokości pracującej to $W2 \leq 0,8$ m, natomiast wartość ugięcia dynamicznego $D_N \leq 0,7$ m. Świadczy to o „zapasie przemieszczenia” tego modelu bariery i możliwości absorpcji energii generowanej przy uderzeniu pojazdów o większej masie, niż 1500 kg, przyjętej do przeprowadzenia analizy. Należy jednak zaznaczyć, że jest to bariera stalowa, zaprojektowana przede wszystkim dla samochodów osobowych, o czym świadczy przypisany do niej poziom powstrzymywania N2.

Analizując otrzymane wartości współczynnika bezpieczeństwa (rys.4) w poszczególnych strefach modelu bariery ochronnej można stwierdzić, że najbardziej zagrożony powstaniem uszkodzeń obszar znajduje się w miejscu bezpośredniego uderzenia w prowadnicę bariery, a także na dolnych częściach słupków przy podłożu. Pozwala to wyznaczyć najsłabsze oraz najbardziej zagrożonych części całej konstrukcji. Wartość współczynnika bezpieczeństwa to: wartość różnicy naprężeń rzeczywistych w konstrukcji i naprężeń dopuszczalnych podzielona przez wartość naprężeń dopuszczalnych. Im mniejsza wartość współczynnika od liczby 1, tym bardziej prawdopodobne są odkształcenia, pęknięcia i inne rodzaje uszkodzeń materiału. Należy jednak podkreślić, że analiza statyczna nie odzwierciedla rzeczywistego zachowania bariery ochronnej. Bowiem samochód uderzający w barierę nie zatrzyma się na niej, zaraz po zderzeniu. W rzeczywistości pojazd będzie się ślizgał po prowadnicy bariery, wytracając prędkość i związaną z nią energię kinetyczną, dążąc przy tym do odbicia i powrotu na drogę, o ile wcześniej nie dojdzie do przewrócenia/zerwania bariery lub innych zdarzeń niepożądanych. Zamieszczone obliczenia wytrzymałościowe miały jedynie na celu zobrazowanie zachowania bariery w momencie uderzenia, gdy energia samochodu jest maksymalna, a powstałe deformacje w konstrukcji bariery są największe.

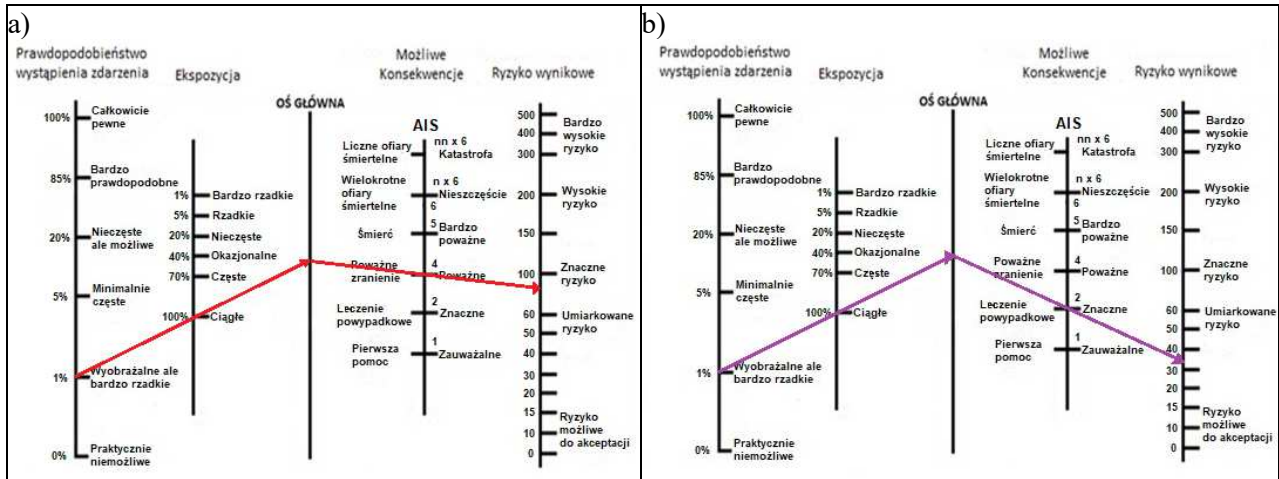
WYNIK BADAŃ RYZYKA ZDARZEŃ DROGOWYCH SAMOCHODU WYPADAJĄCEGO Z DROGI I ANALIZA RYZYKA OBRAŻEŃ OSÓB, SPOWODOWANYCH KONSTRUKCJAMI WSPORCZYMI PIONOWEGO OZNAKOWANIA DROGI Z UWZGLĘDNIENIEM BARIERY OCHRONNEJ

Ocenę ryzyka zdarzeń drogowych samochodu zjeżdżającego z drogi i analizę obrażeń osób, spowodowaną konstrukcjami wsporczyimi pionowego stałego oznakowania drogi z uwzględnieniem barier ochronnych, przeprowadzono na podstawie opracowanego kalkulatora ryzyka, przez firmę WIMED i Zakład Badania Wypadków Drogowych Instytutu Ekspertyz Sądowych w Krakowie [11], zamieszczoną także w publikacji [13]. Z pac tych wynika że, konstrukcje oparte na profilu X-307, powodują powstanie w wyniku zderzeń z samochodami, mniejszej różnicy prędkości Δv , niż tradycyjne konstrukcje rurowe $\Phi 60$ mm/3,2 mm.



Rysunek 5 - Trzy warianty ustawienia tablicy informacyjnej na poboczu drogi krajowej DK94 w mieście Łańcut

Figure 5 - Three variants of the information board setting on the side of the national road DK94 in the city of Łańcut.



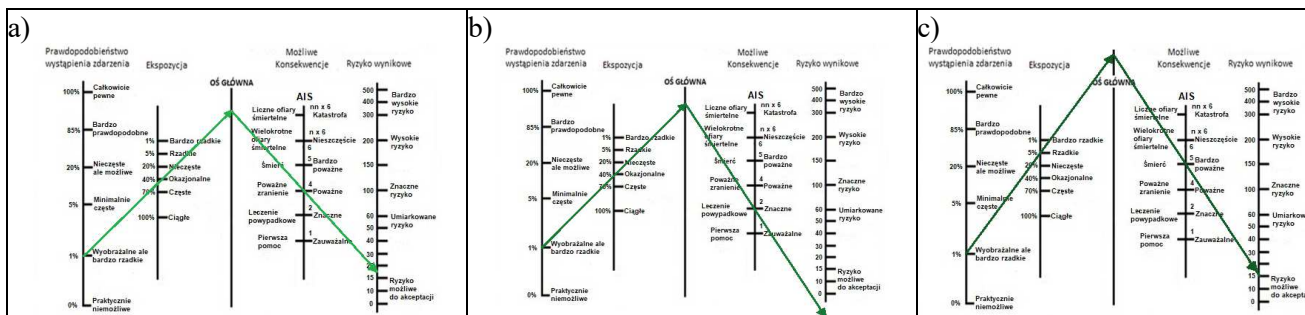
Rysunek 6 - Wyznaczanie stopnia ryzyka zdarzeń drogowych dla wariantu: a) I (obiekt niechroniony, rura stalowa), b) III (obiekt niechroniony, podatna konstrukcja wsporcza)

Figure 6 - Determining of the risk level of road events for the variant: a) I (unprotected structure, steel pipe), b) III (unprotected structure, flexible support structure).

W analogicznych warunkach badania zderzeń, uzyskano dużo niższe wartości parametru ASI i THIV, mieszcząc się w wymaganiach normy [6], dla profilu X-307.

Kalkulator ryzyka [11, 13] zawiera dane: prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia, ekspozycja, możliwe konsekwencje AIS. Wyznacza z kolei ryzyko wynikowe. Przyjmuje dla prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia, charakterystyczne wartości: praktycznie niemożliwe 0%, wyobrażalne ale rzadkie 1%, minimalnie częste 5%, nieczęste ale możliwe 30%, bardzo prawdopodobne 85% oraz całkowicie pewne 100%. Wartości charakterystyczne ekspozycji to: bardzo rzadkie 1%, rzadkie 5%, nieczęste 30%, okazjalne 40%, częste 70% oraz ciągle 100%. Możliwe konsekwencje, o wartościach ciężkości obrażeń skali AIS wynoszą: zauważalne 1, znaczne 2, poważne 4, bardzo poważne 5, nieszczęście i wielokrotne ofiary śmiertelne $n \times 6$, katastrofa i liczne ofiary śmiertelne $nn \times 6$. Ryzyko wynikowe ma skalę wartości punktową od 1 do 500. Charakterystyczne jego wartości to: ryzyko możliwe do zaakceptowania 1-15, umiarkowane ryzyko 16-60, znaczne ryzyko 61-100, wysokie ryzyko 101-300 oraz bardzo wysokie ryzyko od 301 do 500.

Przyjęto w publikacji trzy sposoby umieszczenia i ochrony tablicy drogowskiej, znajdującej się w pobliżu jezdni, dla oceny ryzyka zdarzeń niepożądanych. Kolejnie analizowano: dotychczasowe rozwiązanie - tablica drogowская zamocowana jest na konstrukcji wsporczej wykonanej ze stalowych rur o średnicy 60 mm i grubości ścianki 3,2 mm, wariant I; tablica drogowская jest zasłonięta przez analizowaną w publikacji barierę ochronną, wariant II; oraz konstrukcja wsporcza, wykonana jest z bezpiecznych profili podatnych X-307, wariant III (rys. 6). Dla wariantu II, gdzie konstrukcja wsporcza jest z profili podatnych X-307, wyodrębniono trzy przypadki ryzyka zdarzenia drogowego: obiekt chroniony, rura stalowa, dotarcie do obiektu; obiekt chroniony, rura stalowa, kolizja z barierą; oraz obiekt chroniony, rura stalowa, przewrócenie na barierze.



Rysunek 7 – Wyznaczanie stopnia ryzyka zdarzeń drogowych dla wariantu:

a) II (obiekt chroniony, rura stalowa, dotarcie do obiektu), b) II (obiekt chroniony, rura stalowa, kolizja z barierą), c) II (obiekt chroniony, rura stalowa, przewrócenie na barierze)

Figure 7 – Determining of the risk level of road events for the variant:

a) I (unprotected structure, steel pipe), b) III (unprotected structure, flexible support structure).

Ryzyko wynikowe obrażeń istotnych, uderzenia w rurę stalową $\Phi 60$ mm/3,2 mm jest znaczne, oszacowana wartość wynosi 90 punktów (rys. 6a). Natomiast dla kolizji z bezpiecznym profilem okształcalnym X-307 (rys. 6b) nakreślona linia stopnia ryzyka przebiega inaczej - ma wartość wynikową 35 punktów; jest to umiarkowane ryzyko. Różnica wynika ze zmiany prędkości samochodu po zderzeniu – wynoszącej 21 km/h (uderzenie w rurę stalową 60 mm) oraz zmiany prędkości równej 7 km/h (uderzenie w profil X-307). Powoduje to zmniejszenia ciężkości obrażeń z AIS równej 4 do wartości AIS równej 2.

Wyznaczone ryzyko wynikowe umiarkowane, 17 punktów dla wariantu II (obiekt chroniony, rura stalowa, dotarcie do obiektu) wynika z możliwych konsekwencji, poważne AIS równe 4 (rys. 7a). Z uwagi na wykonanie słupów konstrukcji wsporczej z rur stalowych, przyjęto jak dla wariantu I: prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń - wyobrażalne ale bardzo rzadkie oraz ekspozycja częsta 70%. Ponadto przyjęto, że długość bariery przed znakiem to, co najmniej 30 m [12]. Skumulowana liczba pojazdów samochodowych wypadających z drogi wynosi 95%, dla ich prędkości 110 km/h oraz ich liczba to 80% także dla prędkości 110 km/h. Doświadczalny (teoretyczny) kąt opuszczenia drogi, dla tej prędkości ma wartość 10° (5°). Z kolei minimalna długość bariery ochronnej ma wartość 130 m, dla prędkości pojazdu samochodowego 110 km/h [12].

Drugi analizowany przypadek wariantu II (obiekt chroniony, rura stalowa, kolizja z barierą) ma zerowe ryzyko wynikowe (rys. 7b). Wynika to z znacznie mniejszej wartości możliwych konsekwencji AIS, wynoszących 2.

Ostatni przypadek wariantu II (obiekt chroniony, rura stalowa, przewrócenie na barierze) powoduje ryzyko wynikowe umiarkowane (rys. 7c). Przewrócenie się samochodu po najechaniu na barierę drogową występuje rzadko. Jest to nieliczna grupa, stanowiąca około 5% wszystkich kolizji samochodów. Należy zaznaczyć, że pomimo niewielkiej liczby tych samochodów, konsekwencje AIS dachowania lub przewrócenia na bok dla osób znajdujących się wewnątrz samochodu, są zazwyczaj bardzo poważne, wynoszą 5. Wynika to zwykle z małej odporności konstrukcji samochodu na tego typu uderzenia.

Po wyznaczeniu poszczególnych ryzyk cząstkowych zsumowano ich wartości wynikowe (Tabela 1). Liczba punktów wariantu II wynosi ok. 32-33. W zestawieniu z wariantem I, dla którego wynosiła ona około 85-90 punktów, rozwiązanie polegające na zasłonięciu pionowego stałego znaku informacyjnego, barierą ochronną drogową jest bezpieczniejsze. Ryzyko wynikowe wariantu III oszacowano na 34-35 punktów. Jest to wartość bardzo zbliżoną do wariantu II. Oznacza to, że ryzyko kolizji jest podobne w przypadku, gdy tablicę informacyjną wsparto standardowymi rurami stalowymi i zasłonięto barierą ochronną oraz w przypadku tablicy niechronionej, podpartej podatną konstrukcją wsporcą.

W tej sytuacji należałoby szczegółowo rozważyć aspekty finansowe związane z wyborem najlepszego rozwiązania. Koszt bariery o przyjętej długości, co najmniej 30 m prawdopodobnie będzie większy, niż koszt pozostałych rozważanych wariantów. Prawidłowe zabezpieczenie znaku według projektu RISER [12] wymaga zastosowania bariery ochronnej o długości, co najmniej 60 m, której koszty z pewnością przewyższą cenę podatnej konstrukcji wsporczej tablicy drogowej.

Tabela 1 – Oszacowane wartości ryzyka zdarzeń drogowych dla poszczególnych rozwiązań konstrukcji wsporczych pionowego oznakowania drogi z uwzględnieniem barier ochronnych

Table 1 – Estimated risk values for road incidents for individual solutions of support structures for vertical road marking including protective barriers.

Ryzyko wynikowe, wariant I	Ryzyko wynikowe, wariant II (suma ryzyk cząstkowych)	Ryzyko wynikowe, wariant III
85 - 90 punktów	32 - 33 punktów	34 - 35 punktów

PODSUMOWANIE

Statyczna analiza wytrzymałości wykazała, że wartości maksymalnego przemieszczenia, w strefie przyłożenia siły do bariery ochronnej, są niewielkie w porównaniu do parametrów bezpieczeństwa bariery EASY-RAIL 1.33. W teście badawczym TB32, ta bariera ma klasę szerokości pracującej W2 równą 0,8 m, natomiast wartość ugięcia dynamicznego D wynosi 0,7 m [6]. Świadczy to o zapasie przemieszczenia tego modelu bariery i możliwości absorpcji energii generowanej przy uderzeniu pojazdów o większej masie, niż 1500 kg (przyjętej do przeprowadzenia analizy). Jest to jednak bariera ochronna drogowa, zaprojektowana przede wszystkim dla samochodów osobowych, o czym świadczy przypisany do niej poziom powstrzymywania N2.

Na podstawie wartości współczynnika bezpieczeństwa, w poszczególnych strefach modelu bariery ochronnej można stwierdzić, że najbardziej zagrożony obszar znajduje się w miejscu bezpośredniego uderzenia w prowadnicę bariery, a także na dolnych częściach słupów przy podłożu. Jego małe wartości w obszarze konstrukcji, pozwalają wyznaczyć najsłabsze oraz najbardziej zagrożone części całej konstrukcji bariery.

Rozważania dotyczące szacowania poziomu ryzyka dla trzech wariantów ustawienia przeszkód przy drodze wykazały, że w celu ich zabezpieczenia, korzystne byłoby zastosowanie bariery ochronnej o długości nie mniejszej niż 30 m. Ryzyko wynikające z kolizji pojazdu z podatną konstrukcją wsporczą jest praktycznie identyczne jak w przypadku konfiguracji, w której tablica drogowaskazowa została zasłonięta przez barierę ochronną. Biorąc natomiast pod uwagę kwestie finansowe, najkorzystniejszym wyjściem okazuje się właśnie skorzystanie z podatnych profili podpierających tablicę. Pozostawienie obecnego ustawienia znaku informacyjnego, na drodze krajowej DK94, wiąże się z dużym niebezpieczeństwem w razie kolizji, co wykazało obliczone ryzyko wynikowe.

LITERATURA

1. Abhijith K.V.; Kumar P. (2019) Field investigations for evaluating green infrastructure effects on air quality in open-road conditions. *Atmospheric Environment*, 301, 132-147.
2. Borovinsek M., Vesenjnak M., Ulbin M., Ren Z. (2007) Simulation of crash tests for high containment levels of road safety barriers. *Engineering Failure Analysis*, 14, 8, 1711-1718.
3. Jamroz K., Antoniuk M., Jeliński Ł., Wachnicka J., Gronowska K. (2015) Częstość i konsekwencje wypadnięcia pojazdu z drogi na przykładzie województwa pomorskiego. *Drogownictwo*, 4-5, 117-125.
4. Jamroz K., Budzynski M., Romanowska A., Zukowska J., Oskarbski J. (2019) Experiences and challenges in fatality reduction on polish roads. *Sustainability*, 11, 4, Article Number: 959.
5. PN-EN 1317-1:2010 (2010) Systemy ograniczające drogę - Część 1: Terminologia i ogólne kryteria metod badań. PKN, Warszawa.
6. PN-EN 1317-2:2010 (2010) Systemy ograniczające drogę - Część 2: Klasy działania, kryteria przyjęcia badań zderzeniowych i metody badań barier ochronnych i balustrad. PKN, Warszawa.
7. PN-EN 1317-5+A2:2012 (2012) Systemy ograniczające drogę - Część 5: Wymagania w odniesieniu do wyrobów i ocena zgodności dotycząca systemów powstrzymujących pojazd. PKN, Warszawa.
8. PN-EN 12767:2008 (2008) Bierne bezpieczeństwo konstrukcji wsporczych dla urządzeń drogowych - Wymagania i metody badań. PKN, Warszawa.
9. Otte D., Haasper C., Eis V., Schaefer R. (2008) Characteristics of pole impacts to side of passenger cars in european traffic accidents and assessment of injury mechanisms - Analysis of German and UK in-depth data. *Stapp Car Crash Journal*, 52, 2008-P-403.
10. Strona internetowa (2019): <http://www.hus-gmbh.com/de/ce-service?id=64>.

11. Strona internetowa (2019): WIMED, Oznakowanie Dróg Sp. z o.o., ul. Tarnowska 48, 33-170 Tuchów, Poland, www.wimed.pl/info@wimed.pl, NIP: 685-230-95-96, Regon: 180188573, Numer rejestrowy: 000033746, Zarejestrował: Sąd Rejonowy Kraków-Śródmieście XII Wydz. Gosp. KRS, pod nr 0000270367, kapitał 31.300.000,00 zł.

12. Thomson R., Fagerlind H., Martinez A. V., Amenguel A., Naing C., Hill J., Hoschopf H., Dupré G., Bisson O., Kelkka M., van der Horst R., Garcia J. (2006) Roadside infrastructure for safer european roads. Project RISER funded by the European Community under the 'Competitive and Sustainable Growth' Programme (1998-2002), Chalmers University of Technology, report: 28/02/2006.

13. Unarski J., Wach W., Dąbczyński Z., Bohatkiewicz J. (2008) Analiza ryzyka wielkości obrażeń w kolizjach z niektórymi obiektami przydrożnymi. Informacja Nr 65. Klub Inżynierii Ruchu, Biuro Zarządu, ul. Leśna 40, 62-081 Przeźmierowo k/Poznań. Bochnia - Tuchów – Raciechowice, listopad 2008.

14. Wu W., Thomson R. (2007) A study of the interaction between a guardrail post and soil during quasi-static and dynamic loading. International Journal of Impact Engineering, 34, 5, 883–898.

STRESZCZENIE

MICHALSKI Jacek, WOŚ Paweł. Analiza ryzyka zdarzeń drogowych samochodu wypadającego z drogi i ryzyka obrażeń osób, spowodowanych konstrukcjami wsporczy pionowego oznakowania drogi z uwzględnieniem bariery ochronnej / MICHALSKI Jacek, WOŚ Paweł // Wisnyk Narodowego Uniwersytetu Transportu. – K. : NTU, 2019. – № 3 (45).

Szacowano poziom ryzyka zdarzenia drogowego i obrażeń dla trzech wariantów ustawienia konstrukcji wsporczych stałego pionowego oznakowania dróg z uwzględnieniem barier ochronnych. Przyjęto model bariery drogowej EASY-RAIL 1.33 firmy Volkmann & Rossbach GmbH & Co. KG. Zamieszczono wynik statycznego przemieszczenia i współczynnika bezpieczeństwa wytrzymałości modelu bariery dla kąta teoretycznego uderzenia 20° przez samochód osobowy o masie 1500 kg z prędkością 110 km/h oraz czasie zderzenia 0,15 s. Obliczenia statyczne wykonano w systemie Autodesk Inventor Professional 2018, bazując na kształcie, wymiarach i charakterystyce materiału tej konstrukcji. Siłę uderzenia przyłożono na założoną powierzchni styku pojazdu z prowadnicą bariery. Prowadnicę modelowano jako belkę ciągłą (bez połączeń). Wykazano, że w celu zabezpieczenia drogowej tablicy drogowo-kazowej, znajdującego się przy drodze, korzystne byłoby wykorzystanie bariery ochronnej drogowej, o długości nie mniejszej niż 30 m. Stwierdzano także, że ryzyko wynikające z kolizji pojazdu z innowacyjną podatną konstrukcją wsporczą tablicy drogowo-kazowej, jest praktycznie identyczne jak w przypadku konfiguracji, w której tablica drogowo-kazowa zostałaby zasłonięta przez barierę ochronną. Ze względów finansowych, korzystniejszym wyjściem jest zastosowanie podatnych profili podpierających tablicę informacyjną.

SŁOWA KLUCZOWE: BEZPIECZEŃSTWO RUCHU DROGOWEGO, KOLIZJA, BARIERY OCHRONNE, WYPADEK DROGOWY, PROJEKTOWANIE ZNAKÓW DROGOWYCH.

РЕФЕРАТ

МІХАЛЬСЬКІ Яцек, ВОШ Павель. Аналіз ризику дорожньо-транспортних пригод при вильоті автомобіля з дороги і ризику пошкоджень людей, спричинених конструкціями вертикальної дорожньої розмітки з урахуванням бар'єрів безпеки / МІХАЛЬСЬКІ Яцек, ВОШ Павель // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ, 2019. – Вип. 3 (45).

У статті оцінюється рівень ризику дорожньо-транспортних пригод і людських травм для трьох варіантів допоміжних конструкцій дорожніх знаків, включаючи наявність захисних бар'єрів. Була прийнята модель дорожнього бар'єру EASY-RAIL 1.33 фірми Volkmann & Rossbach GmbH & Co. KG. Наведено результати статичного зміщення і коефіцієнта міцності бар'єрної моделі та модельованого впливу пасажирського вагону масою 1500 кг, який рухається зі швидкістю 110 км / год за час 0,15 с при куті польоту 20 градусів. Статичні розрахунки виконувалися в системі Autodesk Inventor Professional 2018 на основі форми, розмірів та характеристик матеріалу аналізованої конструкції. Сила удару наносилася на передбачувану контактну поверхню транспортного засобу з бар'єрною огорожею. Огорожу моделювали як безперервну балку (без стикувальних елементів). Було показано, що для того, щоб захистити дорожню вивіску, було б корисно використовувати шлагбаум безпеки дороги довжиною 30 м і більше. Також було виявлено, що ризик зіткнення транспортного засобу з інноваційною гнучкою опорною конструкцією вивіски практично ідентичний вивіскам із захисним

бар'єром. З фінансових причин бажано використовувати гнучкі профілі, що підтримують інформаційні вивіски.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БЕЗПЕКА РУХУ, ЗІТКНЕННЯ, ЗАХИСНІ БАР'ЄРИ, ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНА ПРИГОДА, КОНСТРУКЦІЯ ДОРОЖНІХ ЗНАКІВ.

ABSTRACT

MICHALSKI Jacek, WOŚ Paweł. Analysis of the risk of road accidents and human injuries caused by a vehicle impacting the road sign support structures including the protective barriers. *Visnyk of National Transport University. Series «Technical sciences»*. Scientific and Technical Collection. Kyiv. National Transport University. 2019. Vol. 3 (45).

The paper assesses the level of risk of traffic accident and human injuries for three variants of the road signs support structures including the presence of protective barriers. The road barrier model EASY-RAIL 1.33 of Volkmann & Roszbach GmbH & Co. KG was adopted. The results of the static displacement and the strength safety factor for the barrier model and simulated impact with the speed of 110 km/h in the time of 0.15 sec at the hit angle of 20 degrees by a passenger car of a 1500 kg mass are provided. Static calculations were performed in the Autodesk Inventor Professional 2018 system, based on the shape, dimensions and material characteristics of analyzed construction. The impact force was applied to the assumed contact surface of the vehicle with a barrier fence. The fence was modeled as a continuous beam (without joining elements). It was shown that in order to protect a road signboard, it would be beneficial to use a road safety barrier with a length of 30 m or more. It was also found that the risk of a vehicle collision with an innovative flexible supporting structure of the signboard is practically identical to the signboards with the protective barrier. For financial reasons, it is preferable to use flexible profiles supporting the information signboards.

KEYWORDS: TRAFFIC SAFETY, COLLISION, PROTECTIVE BARRIERS, TRAFFIC ACCIDENT, DESIGN OF ROAD SIGNS.

AUTORZY:

MICHALSKI Jacek, dr hab. inż., prof. Politechniki Rzeszowskiej, profesor, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, jmichals@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1570, 35-959, Rzeszów, Polska, Al. Powstańców Warszawy 12, orcid.org/0000-0002-9745-9453.

WOŚ Paweł, dr inż., Politechnika Rzeszowska, adiunkt, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, pwos@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1355, 35-959, Rzeszów, Polska, Al. Powstańców Warszawy 12, orcid.org/0000-0003-2730-3258.

АВТОРИ:

МІХАЛЬСКИ Яцек, професор, доктор хабілітований, Жешувська Політехніка, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння і транспорту, jmichals@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1570, 35-959, Жешув, Польща, бульвар Повстанців Варшави 12, orcid.org/0000-0002-9745-9453.

ВОШ Павель, кандидат технічних наук, Жешувська Політехніка, доцент, кафедра двигунів внутрішнього згоряння і транспорту, pwos@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1355, 35-959, Жешув, Польща, бульвар Повстанців Варшави 12, orcid.org/0000-0003-2730-3258.

AUTHORS:

MICHALSKI Jacek, Professor, Doctor of Technical Science, Rzeszow University of Technology, professor of the internal combustion engines and transport department, jmichals@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1570, 35-959, Rzeszow, Poland, Warsaw Insurgents Boulevard 12, orcid.org/0000-0002-9745-9453.

WOŚ Paweł, PhD in Technical Sciences, Rzeszow University of Technology, associate professor of the internal combustion engines and transport department, pwos@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1355, 35-959 Rzeszow, Poland, Warsaw Insurgents Boulevard 12, orcid.org/0000-0003-2730-3258.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Любас Януш, доктор технічних наук, професор, Жешувська політехніка, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння і транспорту, Жешув, Польща.

Матейчик В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Lubas Janush, Doctor of Technical Sciences, professor, Rzeszow University of Technology, professor of the internal combustion engines and transport department, Rzeszow, Poland.

Mateichyk V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, professor of the ecology and life safety department, Kyiv, Ukraine.