

urabialne. Największą skuteczność i jakość ulepszonych warstw przy zastosowaniu CQP-15 uzyskiwano przy wzmocnieniu podłoża w gruntach spoistych, nawet o przekroczonej wilgotności optymalnej. Nieco gorsze rezultaty uzyskiwano w gruntach piaszczystych i o wilgotności mniejszej od wilgotności optymalnej.

Podsumowanie

Lokalne zasoby materiałów odpadowych stwarzają często możliwości zastosowania optymalnego zarówno pod względem ekonomicznym, jak i poprawnego technicznie. Do takich materiałów z pewnością należą popioły i łupki przywęglowe. Dodatkowym, ale bardzo istotnym, aspektem wykorzystania tych materiałów jest kwestia ochrony środowiska i redukcji jego zanieczyszczeń. Zastosowanie produktów ubocznego spalania i odpadów wstępnej obróbki węgla kamiennego pozwala na skuteczniejszą weryfikację bilansu zasobów kruszyw

naturalnych w kraju. Relatywnie niska cena takich materiałów pozwala na optymalizowanie kosztów wykonania drogowych budowli ziemnych.

Bibliografia

- [1] Gradkowski K., Wyszyński K.: *Budowle ziemne węzła skrzyżowania autostrad A1 i A4*. „Magazyn Autostrady” 8-9, 2009, s. 24–26
- [2] PN-EN 14227-3 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Mieszanki związane popiołem lotnym
- [3] PN-EN 14227-4 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Popiół lotny do mieszanek stabilizowanych hydraulicznie
- [4] PN-EN 1997-1 i 2 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne
- [5] Sajdak-Chudzik D.: *Grunt to stabilizacja*. „Infrastruktura” 7–8, 2008, s. 27–29
- [6] Szczygielski T.: *Uboczne produkty spalania w drogownictwie. Normy a aprobaty techniczne*. „Magazyn Autostrady” 10, 2009, s. 72–75
- [7] Zastosowania ubocznych produktów spalania (UPS) w budownictwie. Zbiór referatów V warsztatów 19–22 stycznia 2009, Sillian, Austria



MAREK BUJALSKI

ARCADIS Sp. z o.o.

Bezpieczeństwo motocyklistów w aspekcie stosowania drogowych barier ochronnych

Liczba motocykli na drogach Polski dynamicznie rośnie – wg danych statystycznych GUS do końca 2008 r. zarejestrowano ok. 900 tys. Z niepokojem należy stwierdzić, że przekłada się to na rosnącą liczbę wypadków i kolizji z udziałem motocyklistów.

W 2008 r. odnotowano aż 2887 zdarzenia, w tym 1228 spowodowanych przez motocyklistów. Liczba zabitych w 2008 r. wyniosła 193 osoby, a rannych 1351 (tab. 1). Roczny wzrost liczby zabitych i rannych wyniósł około 30% w stosunku do roku poprzedniego.

Tabela 1. Statystyka wypadków z udziałem motocyklistów [Dane KG Policji wg GUS]

Rok	Wypadki spowodowane przez motocyklistów	Zabici	Ranni	Wypadki z udziałem motocyklistów	Liczba zarejestrowanych motocykli
2005	820	128	873	1711	753 648
2006	858	141	919	1870	784 176
2007	953	156	1027	2297	825 305
2008	1228	193	1351	2887	około 900 tys.

Wprawdzie użytkownicy pojazdów jednośladowych są bardziej narażeni na ryzyko utraty życia niż użytkownicy pojazdów czterośladowych, to jednak ciągły i regularny wzrost wypadków i kolizji z udziałem motocyklistów jest bardzo niepokojący. Najczęściej podawaną przez statystyki policyjne przy-

czyną wypadków drogowych, także z udziałem motocyklistów jest niedostosowanie prędkości jazdy do istniejących warunków na drodze – można powiedzieć, że jest to raczej przyczyna statystyczna, a nie przyczyna faktyczna.

Wypadek drogowy jest zdarzeniem dość złożonym, a na jego zaistnienie składa się wiele czynników pośrednich tj.: stan nawierzchni jezdni, warunki widoczności, stan oznakowania, geometria drogi, stan utrzymania drogi, zachowanie innych użytkowników ruchu czy też sprawność psychofizyczna kierowcy w danej chwili.

Szczególnie narażeni na działanie tych czynników są użytkownicy drogi poruszający się pojazdem dwukołowym – nie zawsze jednak w analizach bezpieczeństwa ruchu czy też projektach organizacji ruchu oraz utrzymaniu dróg uwzględnia się ten fakt.

Dotyczy to założeń związanych z geometrią drogi (m.in. geometrią łuków poziomych), widocznością, zachowaniem odpowiedniej odległości systemów ochrony przeciwhałasowej od krawędzi jezdni, jak również zachowaniem właściwych odległości od krawędzi jezdni do systemów zabezpieczających użytkowników drogi (do drogowych barier ochronnych).

Obserwuje się brak odpowiednich działań ze strony zarządców drogi dotyczących utrzymania właściwych warunków przyczepności pojazdu do podłoża. Zaleganie warstwy żwiru i piasku na łukach poziomych jezdni jest elementem nagminnie widocznym na polskich drogach.

Nie zauważa się również odpowiednich działań ze strony projektantów drogowych zmierzających do zmniejszenia agresywności kolizyjnej drogowych barier ochronnych stałowych (wszystkich typów) przez zastosowanie dodatkowych osłon zabezpieczających nieregularne części bariery przed uderzeniem w nie motocyklisty.

Wnioskować zatem należy, że osoby odpowiedzialne za poprawę warunków bezpieczeństwa użytkowników dróg nie zdają sobie sprawy, iż drogowe systemy zabezpieczające użytkowników drogi, takie jak bariery ochronne stalowe, betonowe, linowe oraz osłony energochłonne (z wyjątkiem niektórych konstrukcji wykonanych z tworzyw sztucznych) zostały opracowane w celu ochrony życia tylko pasażerów samochodów osobowych i ciężarowych – w ich konstrukcji i badaniach zderzeniowych nie uwzględniono pojazdów dwukołowych.

To też licznie przeprowadzone analizy wypadków drogowych z udziałem motocyklistów w Niemczech, USA, Australii, Hiszpanii oraz Francji doprowadziły do postawienia wniosków, iż drogowe bariery ochronne należy zaklasyfikować do grupy urządzeń zabezpieczających drogę, które mogą spowodować zwiększenie zagrożenia bezpieczeństwa użytkowników motocykli powodując trwale urazy ciała, a także mogą być przyczyną śmierci.

Postawienie takiej tezy było podstawą do rozpoczęcia w tych krajach badań zderzeniowych mających na celu określenie skutków uderzenia motocykla z manekinem w drogową barierę ochronną.

Badania zderzeniowe z udziałem pojazdów dwukołowych

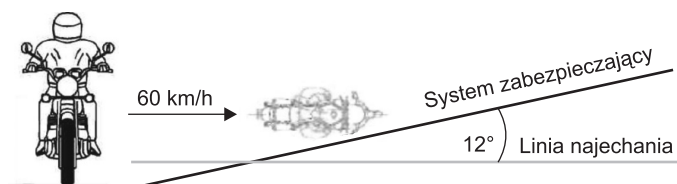
Niemiecki Federalny Instytut Badawczy Dróg (BASt), który na wniosek DEKRA Accident Research przeprowadził w warunkach rzeczywistych cykl prób zderzeniowych motocykli wyposażonych w manekina Hybryd III, uderzając w różne konstrukcje systemów drogowych barier ochronnych.

Badania i analizy miały na celu określenie bezpośredniego oddziaływania systemów ochronnych zamontowanych w poboczu drogi na motocyklistę, jak również wyodrębnienie realnych uszkodzeń poszczególnych części ciała motocyklisty.

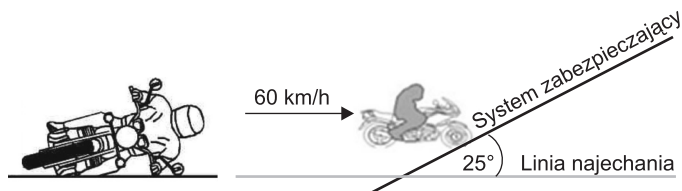
Badania zderzeniowe przeprowadzono przy wykorzystaniu 57 motocykli tej samej marki i tego samego typu, które każdorazowo wyposażono w identyczny manekin, każdy z takim samym zestawem czujników.

Test przewidywał dwa scenariusze: pierwszy uwzględniał test motocykla z manekinem poruszający się w pozycji pionowej (rys. 1), natomiast drugi uwzględniał test motocykla, który był nachylony pod kątem do powierzchni jezdni – w pozycji ślizgowej (rys. 2).

Parametr prędkości pojazdu podczas zderzenia z barierą ochronną określono na 60 km/h, zaś kąt najechania na przeszkodę uzależniony był od pozycji najechania: w przypadku pozycji pionowej motocyklisty określono 12° (rys. 1) natomiast w pozycji nachylonej (ślizgowej) 25° (rys. 2)



Rys. 1. Próba zderzeniowa: kąt najechania 12°, pozycja pionowa



Rys. 2. Próba zderzeniowa: kąt najechania 25°, pozycja nachylona (ślizgowa)

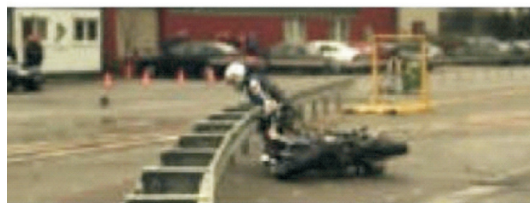
Liczba 57 testów zderzeniowych z udziałem motocykli nie była przypadkowa – określona została w wyniku przeprowadzonych wcześniejszych analiz rzeczywistych zdarzeń drogowych z udziałem motocyklistów. Analiza ta wykazała również, że w 51% z 57 badanych przypadków motocykl uderzył w barierę w pozycji pionowej, podczas gdy w 45% miało miejsce uderzenie pojazdu w pozycji nachylonej (ślizgowej), natomiast tylko w 4% uderzenie miało miejsce w pozycji nachylonej, ale nie ślizgowej.

Pozycja pionowa motocyklisty, kąt najechania na przeszkodę 12°

Próba zderzeniowa z barierą stalową wysięgnikową (SP-01)



Test został przeprowadzony przy założeniu uderzenia pojazdem dwukołowym w barierę ochronną wysięgnikową z prowadnicą stalową bez listwy zabezpieczającej. Pozycja pionowa motocyklisty oraz odsunięta od słupka na wysięgnikach prowadnica bariery stworzyły warunki najechania, w jakich kierujący motocyklem odniósł urazy ciała, które gwarantowałyby mu przeżycie. Uszkodzenie manekina dotyczyło takich części jak: ramiona, klatka piersiowa i miednica – przy czym czujniki



Fot. 1. Bariera stalowa, kąt najechania 12°, pozycja pionowa motocyklisty [2]

zarejestrowały wartości na poziomie zadawalającym, gdzie obrażenia pomimo wielokrotnego kontaktu manekina z nieregularnymi i otwartymi profilami konstrukcji bariery były niewielkie.

Trajektoria ruchu motocykla i motocyklisty (fot. 1) określona została na podstawie analizy zapisu filmu z kamery rejestrującej zdarzenie w przedziale czasowym wynoszącym 300 milisekund od momentu uderzenia w prowadnicę bariery. Motocykl osiągnął swoje końcowe położenie w 28 metrze od punktu pierwszego kontaktu z przeszkodą, zaś manekin przeemieścił się na odległość 21 m od pierwszego punktu.

Pomiary obciążenia działającego na głowę manekina, klatkę piersiową, miednicę i kość udową w momencie uderzenia pierwotnego w prowadnicę bariery ochronnej oraz wtórnego o powierzchnię drogi przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki testu zderzeniowego: bariera stalowa (kątnajechania 12°) pozycja pionowa motocyklisty [2]

Obciążenia części ciała sylwetki manekina	Uderzenie pierwotne	Uderzenie wtórne	Granica biomechaniczna
Głowa [HIC ₃₆]	4	277	1000
Głowa [a _{3ms}]	9 g	74 g	80 g
Klatka piersiowa [a _{3ms}]	13 g	n. a.	60 g
Miednica [a _{3ms}]	7 g	10 g	60 g
Kość udowa [F _{lewa}]	0 kN	4,1 kN	10 kN
Kość udowa [F _{prawa}]	2,6 kN	0,2 kN	10 kN

Zarejestrowane wyniki wskazują na niski poziom ryzyka obrażeń ciała motocyklisty. Siła ściskająca prawą kość udową podczas podstawowego uderzenia wyniosła 2,6 kN – jest to wartość znacząca, ale wyraźnie poniżej granicy 10 kN. Wyniki z odczytów czujników dla wtórnego uderzenia manekina są również zadawalające i nie przekraczają parametrów granicy biomechanicznej.

Próba zderzeniowa z barierą betonową (BPS-1)



Konstrukcja betonowej bariery ochronnej w odróżnieniu od bariery stalowej nie posiada nieregularnych i otwartych profili – tworzy monolit o regularnym kształcie.

W przeprowadzonym teście zderzeniowym motocykl po pierwotnym uderzeniu w betonową barierę przesunął się po jej zarysie ściany bocznej bariery, aż do jego zatrzymania, nie odrywając się od bariery. Manekin został poddany działającym siłom (energia kinetyczna), które doprowadziły do wyrzucenia go nad barierę, osiągając w rezultacie punkt końcowy po przeciwnej stronie systemu zabezpieczającego (fot. 2). Odległość od uderzenia pierwotnego w przeszkodę do końcowego punktu przemieszczenia manekina wyniosła 26 m, natomiast odległość przemieszczenia motocykla 38 m. Pomiary obciążeń poszczególnych części ciała, podobnie jak w poprzedniej próbie zderzeniowej, nie wykazały wartości, które wywołałyby obrażenia zagrażające życiu motocyklisty (tab. 3). Prawa kość udowa manekina podczas zderzenia poddana



Fot. 2. Bariera betonowa, kątnajechania 12°, pozycja pionowa motocyklisty [2]

Tabela 3. Wyniki testu zderzeniowego: bariera betonowa (kątnajechania 12°) pozycja pionowa motocyklisty [2]

Obciążenia części ciała sylwetki manekina	Uderzenie pierwotne	Uderzenie wtórne	Granica biomechaniczna
Głowa [HIC ₃₆]	0	164	1000
Głowa [a _{3ms}]	3 g	47 g	80 g
Klatka piersiowa [a _{3ms}]	4 g	20 g	60 g
Miednica [a _{3ms}]	11 g	29 g	60 g
Kość udowa [F _{lewa}]	0 kN	0,6 kN	10 kN
Kość udowa [F _{prawa}]	4,5 kN	0,1 kN	10 kN

została działaniu dość wysokiej siły o wartości 4,5 kN – jednak wyraźnie poniżej granicy uszkodzenia trwałego określonego granicą biomechaniczną siły o wartości 10 kN.

Analiza zapisu z kamery i czujników wykazała również, że zarówno motocykl jak i manekin podczas uderzenia w barierę betonową nie wytracili swej prędkości, co przełożyło się na otrzymanie niskich wartości przeciążeń działających na motocyklistę. W związku z tym ryzyko zagrożenia życia, a także poziom trwałych uszkodzeń części ciała podczas uderzenia w barierę betonową jest zdecydowanie niższy niż w przypadku systemów wykonanych z elementów stalowych.

Można zatem zdefiniować takie oddziaływanie systemu jako negatywne, gdyż betonowe bariery ochronne nie rozpraszają tyle energii kinetycznej rozpędzonego pojazdu i manekina co bariery ochronne o konstrukcji stalowej, nawet przy uwzględnieniu otrzymanych niewielkich wartości uderzenia wtórnego. Należy mieć na uwadze również to, że uderzenie wtórne nie ma znamion powtarzalności i jest elementem przypadku przy dość dużym stopniu ryzyka zagrożenia życia.

Próba zderzeniowa z barierą stalową, wyposażoną w dodatkową osłonę zabezpieczającą (SP-05)

Założenia do tej próby zderzeniowej przewidywały, iż konstrukcja bariery ochronnej stalowej zostanie wyposażona w dodatkową osłonę listwową zabezpieczającą przed uderzeniem motocykla i manekina w słupki bariery. Taka konstrukcja systemu spowodowała dość bezpieczny przebieg trajektorii pojazdu, w którym pierwotne uderzenie w prowadnicę bariery ochronnej spowodowało przekierowanie motocykla z dala od prowadnicy bariery i motocyklisty, zwiększając tym samym jego bezpieczeństwo. Jednocześnie na skutek działających sił rozpędzonego pojazdu oraz przeciwnie działających sił wywołanych oddziaływaniem prowadnicy bariery na prawe udo manekina zostaje on odłączony od pojazdu, przy czym nie zostaje wyrzucony za barierę lecz upada na prowadnicę bariery, a następnie przesuwając się po niej zachowuje bezpieczną trajektorię z końcowym punktem zatrzymania na jezdni od strony najechania motocykla (fot. 3).

Wyniki obciążeń działających na manekina i jego części podczas pierwotnego uderzenia motocykla w system bariery ochronnej oraz wtórnego w momencie uderzenia manekina o nawierzchnię zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki testu zderzeniowego: bariera stalowa z osłoną zabezpieczającą (kąta najechania 12°) pozycja pionowa motocyklisty [5]

Obciążenia części ciała sylwetki manekina	Uderzenie pierwotne	Uderzenie wtórne	Granica biomechaniczna
Głowa [HIC ₃₆]	5	383	1000
Głowa [a _{3ms}]	10 g	84 g	80 g
Klatka piersiowa [a _{3ms}]	13 g	51 g	60 g
Miednica [a _{3ms}]	18 g	12 g	60 g
Kość udowa [F _{lewa}]	-2,9 kN	-0,6 kN	10 kN
Kość udowa [F _{prawa}]	-6,7 kN	-0,8 kN	10 kN

Uzyskane parametry uderzenia pierwotnego pokazują, że obciążenia poza prawą kością udową są niewielkie i wyraźnie są poniżej limitów granicy biomechanicznej. Siła ściskająca prawą kość udową podczas pierwotnego uderzenia wyniosła 6,7 kN.

Porównując jednak wyniki tabelaryczne tego testu z wynikami badań barier betonowych oraz barier stalowych wysięgnikowych bez dodatkowej listwy zabezpieczającej wynik ten przedstawia się niezadawalająco – może być również interpretowany jako przykład najgorszych otrzymanych parametrów zderzeniowych w próbie pionowej. W przypadku wtórnego uderzenia głowy przyspieszenie głowy a_{3ms} przekroczyło parametr dopuszczalny granicy biomechanicznej co może wskazywać na trwałe uszkodzenia głowy.

Należy jednak pamiętać, że wtórne uderzenie manekina nie jest możliwe do przewidzenia i przy każdej próbie zderzeniowej może ono przybierać różne wartości. Istotnymi argumentami z tego testu są: właściwe zachowanie (wyprowadzenie)

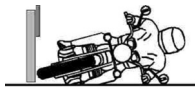
motocykla oraz zatrzymanie motocyklisty przed barierą (po stronie najazdu) przy dość korzystnych wartościach parametrów uderzenia pierwotnego.



Fot. 3. Bariera stalowa z osłoną zabezpieczającą, kąt najechania 12°, pozycja pionowa motocyklisty

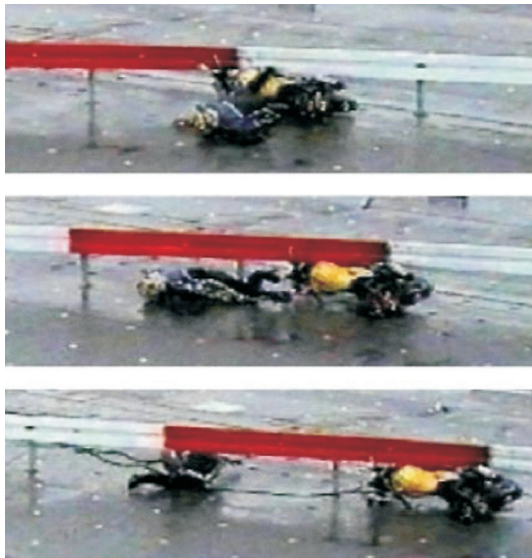
Pozycja motocyklisty nachylona (ślizgowa) – kąt najechania na przeszkodę 25°

Próba zderzeniowa z barierą ochronną stalową (SP-05)



Motocykl z manekinem podobnie jak w poprzednich próbach został rozpędzony do prędkości przewidzianej 60 km/h – jednak w momencie uderzenia w barierę w wyniku przesuwu bokiem po jezdni (tarcia) miał już prędkość 47 km/h. Uderzenie motocykla nastąpiło w słupek bariery ochronnej, powodując jego zatrzymanie pod prowadnicą systemu zabezpieczającego już po pierwotnym uderzeniu. Manekin na skutek działających sił oddzielił się od motocykla i uderzył w kolejny słupek, wytracając całkowitą swoją prędkość (fot. 4). Odległość pomiędzy punktem pierwotnego uderzenia a ostatecznym miejscem zatrzymania wyniosła dla motocykla 2 m, a dla manekina 5 m.

Uderzenie to wywołało działanie bardzo dużych obciążeń na głowę manekina podczas pierwotnego uderzenia o przeszkodę – powyżej norm biomechanicznych – co świadczyć może o tym, że kierowca pojazdu w tych warunkach by najprawdopodobniej nie przeżył. W momencie wtórnego uderzenia manekina w słupek (po odłączeniu od pojazdu) czujniki wykazały już tylko takie przeciążenia, które wywołały



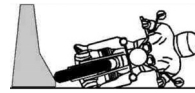
Fot. 4. Bariera stalowa, kąt najechania 25°, pozycja nachylona (ślizgowa) motocyklisty [2]

Tabela 5. Wyniki testu zderzeniowego: bariera stalowa (kąt najechania 25°) pozycja nachylona motocyklisty [2]

Obciążenia części ciała sylwetki manekina	Uderzenie pierwotne	Uderzenie wtórne	Granica biomechaniczna
Głowa [HIC ₃₆]	1074	66	1000
Głowa [a _{3ms}]	125 g	28 g	80 g
Klatka piersiowa [a _{3ms}]	39 g	39 g	60 g
Miednica [a _{3ms}]	15 g	57 g	60 g
Kość udowa [F _{lewa}]	3,4 kN	1,2 kN	10 kN
Kość udowa [F _{prawa}]	0,5 kN	2,4 kN	10 kN

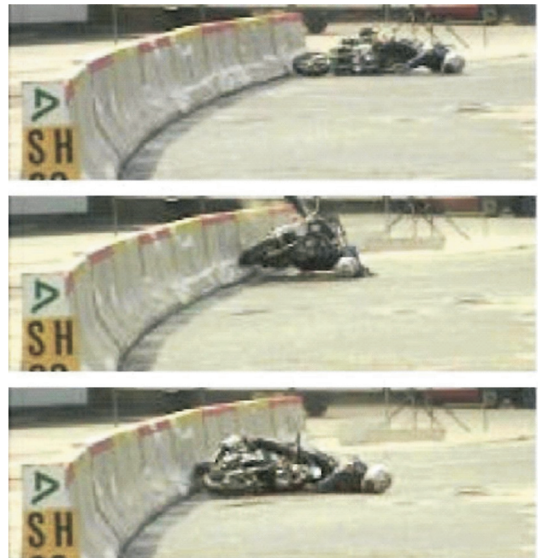
złamanie lewego ramienia oraz dość znaczne uszkodzenia miednicy. Całościowe wyniki crash testu przedstawiono w tabeli 5.

Próba zderzeniowa z barierą betonową (BPS-1)



Trajektorię ruchu motocykla i motocyklisty przedstawiono na fotografii 5. Parametry uderzenia w barierę ochronną betonową miały podobne wartości jak w poprzedniej próbie, gdy motocykl z manekinem zatrzymały się na słupku stalowym bariery.

Wyniki pomiaru obciążeń działających na motocyklistę w momencie pierwotnego oraz wtórnego uderzenia przedstawione są w tabeli 6. Przebieg próby zderzeniowej nie miał tak nagłego wytracenia energii kinetycznej jak w przypadku bariery stalowej przy kontakcie ze słupkiem, jednak parametry uderzenia pierwotnego, na tyle były duże, że wskazują na wystąpienie ciężkich, zagrażających życiu trwałych obrażeń ciała. Uszkodzenia głowy manekina znacznie przewyższały dopuszczalne normy biomechaniczne. Proces uderzenia wtórnego przebiegał przy niskich parametrach na skutek częściowo wytracenia energii podczas uderzenia pierwotnego jak również braku nieregularnych i otwartych profili stalowych.



Fot. 5. Bariera betonowa, kąt najechania 25°, pozycja nachylona (ślizgowa) motocyklisty [2]

Tabela 6. Wyniki testu zderzeniowego: bariera betonowa (kąt najechania 25°) pozycja nachylona motocyklisty [2]

Obciążenia części ciała sylwetki manekina	Uderzenie pierwotne	Uderzenie wtórne	Granica biomechaniczna
Głowa [HIC ₃₆]	1346	1	1000
Głowa [a _{3ms}]	135 g	8 g	80 g
Klatka piersiowa [a _{3ms}]	50 g	4 g	60 g
Miednica [a _{3ms}]	16 g	4 g	60 g
Kość udowa [F _{lewa}]	4,1 kN	3,0 kN	10 kN
Kość udowa [F _{prawa}]	1,6 kN	0 kN	10 kN

Próba zderzeniowa z barierą stalową wyposażoną w dodatkową osłonę zabezpieczającą (SP-01)



Przebieg z testu zderzeniowego oraz trajektorii przemieszczenia się manekina i motocykla pokazane są na fotografii 6.

Przeprowadzona analiza wykazała, że pomimo uzyskania małych odległości od punktu pierwotnego uderzenia pojazdu do miejsca jego zatrzymania (ok. 1 m) oraz niewielkiego przemieszczenia manekina (ok. 7 m) rozproszenie energii kinetycznej było dość duże przy rozkładzie na zderzenie pierwotne i wtórne.

Szczegółowe zestawienie otrzymanych wyników pokazano w tabeli 7.

Wszystkie otrzymane parametry zostały sklasyfikowane znacznie poniżej dopuszczalnych norm biomechanicznych

Tabela 7. Wyniki testu zderzeniowego: bariera stalowa z osłoną zabezpieczającą (kąt najechania 25°) pozycja nachylona motocyklisty [1]

Obciążenia części ciała sylwetki manekina	Uderzenie pierwotne	Uderzenie wtórne	Granica biomechaniczna
Głowa [HIC ₃₆]	69	584	1000
Głowa [a _{3ms}]	33,2 g	101 g	80 g
Klatka piersiowa [a _{3ms}]	11 g	9 g	60 g
Miednica [a _{3ms}]	12 g	14 g	60 g
Kość udowa [F _{lewa}]	0,4 kN	0,8 kN	10 kN
Kość udowa [F _{prawa}]	-2,8 kN	-0,8 kN	10 kN



Fot. 6. Bariera stalowa z osłoną zabezpieczającą, kąt najechania 25°, pozycja pozioma (ślizgowa) motocyklisty [1]

z wyjątkiem wtórnego uderzenia głowy, przy którym mierzone przyspieszenia wyniosły 101 g. Jest to wprawdzie znacznie powyżej dopuszczalnej normy granicy biomechanicznej, niemniej należy pamiętać (o czym już wcześniej wspomniano), że uderzenie wtórne jest kontynuacją uderzenia pierwotnego i nie ma znamion powtarzalności – jest elementem przypadku przy dość dużym stopniu ryzyka zagrożenia życia. Konsekwencją zarejestrowania dużego przyspieszenia wtórnego głowy jest również HIC₃₆ wtórnego uderzenia, które miało wysoką wartość 584, ale wyraźniej poniżej granicy 1000.

Analiza badań zderzeniowych

Wyniki wszystkich przedstawionych testów zderzeniowych tj. przy kącie najechania 12° oraz 25° porównano w dwóch odrębnych tabelach, w których zestawiono podstawowe parametry uzyskane podczas prób zderzeniowych motocykla z manekinem przy uderzeniu pierwotnym oraz wtórnym w barierę.

W tabeli 8 przedstawiono zestawienie porównawcze trzech prób zderzeniowych – uderzenie motocyklisty w barierę stalową z osłoną zabezpieczającą, barierę stalową bez osłony zabezpieczającej oraz barierę betonową – wszystkie próby były wykonane przy kącie najechania pojazdu 12° w pozycji pionowej motocyklisty. Tabela 9 ma identyczny układ porównawczy – dotyczy jednak najazdu pojazdu na system bariery ochronnej pod kątem 25° w pozycji nachylonej motocyklisty (ślizgowej).

Po analizie danych tabelarycznych można jednoznacznie stwierdzić, iż zachodzi regularna odwrotność uzyskanych wyników – pomiędzy wynikami otrzymanymi z testu w którym

motocyklista utrzymywał pozycję pionową i kiedy był w pozycji nachylonej (ślizgowej). W przypadku najechania motocykla na barierę pod kątem 12° w pozycji pionowej motocyklisty – parametry uzyskane podczas uderzenia wtórnego z reguły przyjmują wielkości zdecydowanie wyższe niż parametry uderzenia pierwotnego. **Takie ułożenie wyników świadczy o możliwości zmniejszenia skutków zdarzenia poprzez prace nad zabezpieczeniem otwartych profili bariery ochronnej w górnej jej części (np.: zabezpieczenie elementów mocowania prowadnicy do słupka).**

Natomiast podczas najechania motocykla na barierę pod kątem 25° w pozycji nachylonej motocyklisty (ślizgowej) – parametry uzyskane podczas uderzenia pierwotnego w barierę ochronną (bez osłony zabezpieczającej) przyjmują wielkości odwrotne w odniesieniu do wyników poprzednich i są zdecydowanie wyższe niż parametry uderzenia wtórnego. **Te wyniki świadczą natomiast o możliwości zmniejszenia skutków zda-**

Tabela 8. Zestawienie wyników badań z prób zderzeniowych przy uderzeniu motocykla pod kątem 12° w pozycji pionowej [Zestawienie własne]

Obciążenia części ciała sylwetki manekina	Uderzenie pierwotne			Uderzenie wtórne			Granica biomechaniczna
	Bariera stalowa z osłoną zabezpieczającą	Bariera stalowa	Bariera betonowa	Bariera stalowa z osłoną zabezpieczającą	Bariera stalowa	Bariera betonowa	
Głowa [HIC ₃₆]	4	5	0	277	383	164	1000
Głowa [a _{3ms}]	9 g	10 g	3 g	74 g	84 g	47 g	80 g
Klatka piersiowa [a _{3ms}]	13 g	13 g	4 g	n, a,	51 g	20 g	60 g
Miednica [a _{3ms}]	7 g	18 g	11 g	10 g	12 g	29 g	60 g
Kość udowa [F _{lewa}]	0 kN	-2,9 kN	0 kN	4,1 kN	-0,6 kN	0,6 kN	10 kN
Kość udowa [F _{prawa}]	2,6 kN	-6,7 kN	4,5 kN	0,2 kN	-0,8 kN	0,1 kN	10 kN

Tabela 9. Zestawienie wyników badań z prób zderzeniowych przy uderzeniu motocykla pod kątem 25° w pozycji nachylonej do jezdni (ślizgowej) [Zestawienie własne]

Obciążenia części ciała sylwetki manekina	Uderzenie pierwotne			Uderzenie wtórne			Granica biomechaniczna
	Bariera stalowa z osłoną zabezpieczającą	Bariera stalowa	Bariera betonowa	Bariera stalowa z osłoną zabezpieczającą	Bariera stalowa	Bariera betonowa	
Głowa [HIC ₃₆]	69	1074	1346	584	66	1	1000
Głowa [a _{3ms}]	33,2 g	125 g	135 g	101 g	28 g	8 g	80 g
Klatka piersiowa [a _{3ms}]	11 g	39 g	50 g	9 g	39 g	4 g	60 g
Miednica [a _{3ms}]	12 g	15 g	16 g	14 g	57 g	4 g	60 g
Kość udowa [F _{lewa}]	0,4 kN	3,4 kN	4,1 kN	0,8 kN	1,2 kN	3,0 kN	10 kN
Kość udowa [F _{prawa}]	-2,8 kN	0,5 kN	1,6 kN	-0,8 kN	2,4 kN	0 kN	10 kN

zenia poprzez zastosowanie zabezpieczeń osłaniających słupki bariery i przestrzeń pomiędzy prowadnicą a powierzchnią gruntu.

Analiza wykazała również, że ryzyko trwałych obrażeń części ciała motocyklistów jest znacznie mniejsze, gdy w konstrukcjach barier ochronnych zastosowano dodatkowe zabezpieczenie w formie listwowej osłony zabezpieczającej.

Poprawa wskaźników dotyczy przede wszystkim przypadków, gdy motocykl z kierowcą uderza w drogowy system zabezpieczający pod kątem 25° w pozycji nachylonej do jezdni (ślizgowej).

Zamontowanie dodatkowej osłony zabezpieczającej wyeliminowało narażenie motocyklisty na działanie nieregularnych części bariery (w tym słupka) podczas pierwotnego uderzenia, wyeliminowało również ewentualne zawadzenie podczas przemieszczania się manekina już po pierwotnym zderzeniu z systemem ochronnym.

Zastosowanie osłony zabezpieczającej pozwoliło również na zamortyzowanie energii kinetycznej manekina w efekcie deformowania jej podczas uderzenia. Należy jednak zwrócić uwagę, że tylko w jednym z przedstawionych przypadków motocykl został skierowany wystarczająco daleko od systemu zabezpieczającego użytkownika drogi (od bariery ochronnej) po pierwotnym uderzeniu pojazdu – jest to sygnał, że są niezbędne dalsze prace nad konstrukcjami zabezpieczającymi uderzenie motocyklisty w barierę, gdyż ciągła bliskość pojazdu i kierującego są dla niego dodatkowym zagrożeniem życia.

Po szczegółowej analizie przebiegu badań zderzeniowych oraz osiągniętych wynikach nasuwają się również pytania: czy konstrukcja manekina jest na tyle prawidłowo zaprojektowa-

wana by przewidzieć wszystkie możliwości wystąpienia ryzyka oraz obrażeń motocyklisty, na jakie mogą być oni narażeni podczas zderzenia z systemem zabezpieczającym i przeszkodami, jak również czy reakcja rzeczywista motocyklisty byłaby zbliżona do warunków, jakie zostały wypracowane w teście zderzeniowym?

Konkluzja

Brak odpowiednich baz danych o rzeczywistych zderzeniach motocyklistów z systemami zabezpieczającymi użytkownikami drogi (barierami ochronnymi), a w związku z tym brak możliwości przeprowadzania analiz wypadkowych wymusza na ośrodkach naukowych badanie charakterystyk zdarzenia wypadku w formie badania zderzeniowego z udziałem manekina bądź w formie komputerowych symulacji.

Obydwie formy nie dają jednak zadowalającej odpowiedzi na pytanie: jakie będą ostateczne skutki zderzenia motocyklisty z systemami zabezpieczającymi.

Wśród dużej grupy motocyklistów oraz zarządców dróg istnieją obawy dotyczące potencjalnych obrażeń, jakich można doznać w wyniku zderzenia motocyklisty nie tylko z barierą ochronną stalową czy betonową, ale z wcześniej nie wspomnianymi w niniejszym tekście systemami drogowych barier ochronnych linowych. Obawy te wywołały i wywołują dość ożywioną dyskusję wokół tego tematu. Z przykrością należy stwierdzić, że do tej pory niewiele zrealizowano badań poligonowych ze zderzeń motocykla z drogową barierą ochronną linową, które by potwierdziły lub zaprzeczyły nasuwające się wątpliwości.

Jednym z większych projektów odpowiadających na te wątpliwości jest projekt DEKRA opracowany w Monash University's Department of Civil Engineering, który opracował symulację komputerową zakładającą uderzenie w drogową barierę linową z udziałem modelu motocykla o nazwie MADYMO.

Były to pierwsze badania, w których symulacje wykazały, że uderzenie motocyklisty w pozycji pionowej (przy kącie najeżdżania 12°) w barierę linową wywołują obrażenia ciała na tyle niewiele różniące się od pozostałych systemów barier ochronnych, że potencjalne życie kierowcy w przypadku kontaktu z barierą linową nie jest bardziej zagrożone. Przyczyną takich wniosków jest uzyskanie dość podobnych wartości opóźnień działających na motocyklistę podczas pierwotnego uderzenia motocykla w system zabezpieczający.

Rozłożenie czterech lin bariery na odpowiedniej wysokości modelowego motocykla wyklucza również potocznie przyjętą tezę o występowaniu potencjalnego „efektu brzytwy”. Dzieje się tak, ponieważ kierowca siedzący na motocyklu przyjmuje najczęściej pozycję pionową lub nachyloną (ślizgową) przy powierzchni jezdni – w obu przypadkach korpus i głowa motocyklisty znajdują się poza linami.

Występowały jednak przypadki podczas symulacyjnych badań zderzeniowych, w których kończyny dolne motocyklisty na skutek dociążenia pojazdu do lin uniemożliwiały swobodne oddzielenie się od pojazdu. Przypadek ten wywoływał w efekcie dość znaczne wartości opóźnień działających na motocyklistę, w wyniku których wtórne uderzenie motocyklisty o jezdnię miało znamiona wysokiego ryzyka, a w konsekwencji odniesienia dużych obrażeń ciała czy też nawet utraty życia.

Symulacje wykazały również, że najniebezpieczniejszym dla motocyklisty elementem barier ochronnych linowych są nieosłonięte części wsporcze bariery – słupki.

Należy pamiętać, że nie jest to sytuacja odosobniona – występujące w tym przypadku duże chwilowe opóźnienia podczas zderzenia motocyklisty z systemem zabezpieczającym drogę (barierą ochronną linową) są efektem nieosłoniętych słupków bariery, zatem są identyczne jak w przypadku uderzenia przez motocyklistę w nieosłonięty słupek przy każdej barierze stalowej.

Są to jednak wyniki badań symulacyjnych, gdzie autorzy zastrzegają sobie, iż opracowane badania mają charakter wstępny i mogą służyć jako analizy uzupełniające – zapewniając jednocześnie, że ciągle są prowadzone prace nad dopracowaniem modelu pojazdu MADYMO i modelu manekina oraz odpowiednim ich skalibrowaniem.

Warto podkreślić, że brak zajęcia jednoznacznego stanowiska autorów prowadzących badania symulacyjne m.in. nad barierami linowymi nie miał wpływu na powstanie innych niezależnych opinii i raportów dotyczących tych systemów. Raport EuroRAP „AFB20(2) Roadside Design Subcommittee on International Activities Statement on Motorcyclists and Safety Barriers January 31, 2009” stwierdza jednoznacznie, iż **systemy drogowych barier ochronnych linowych nie są bardziej niebezpieczne niż systemy drogowych barier ochronnych stalowych – także w przypadku bezpieczeństwa motocyklistów.**

Należy jednak pamiętać, że wszystkie systemy drogowych barier ochronnych są konstrukcją przeznaczoną do zmniejszenia

skutków wypadku lub kolizji przy założeniach: najeżdżania pojazdu czterokołowego o masie minimalnej 900 kg (warunek ten wynika z normy EN 1317 i jej wymagań) oraz przy dodatkowym zabezpieczeniu użytkowników pojazdu przez zapięcie w trzy punktowe pasy bezpieczeństwa.

W związku z powyższym prace projektowe związane z bezpieczeństwem użytkowników dróg powinny mieć na względzie nie tylko bezpieczeństwo użytkowników pojazdów czterokołowych, ale także zabezpieczenia przed skutkami uderzenia motocyklistów w drogowe bariery ochronne na łukach poziomych drogi.

Z przykrością należy stwierdzić, że w Polsce na dzień dzisiejszy nie ma żadnych wypracowanych standardów projektowych umożliwiających stosowanie osłon zmniejszających skutki wypadku w zderzeniu motocyklisty z drogową barierą ochronną. Mając na względzie tę sytuację prawną, jak również dość szybko wzrastającą liczbę wypadków z udziałem motocyklistów oraz rosnącą liczbę zarejestrowanych motocykli nasuwa się pytanie, czy nie należałoby stworzyć odpowiednich standardów projektowych (w tym wytycznych stosowania), które stanowiłyby uzupełnienie dla obecnie powstających przepisów dotyczących zasad stosowania urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego – drogowych i mostowych barier ochronnych?

Bibliografia

- [1] S. Peldschus, E. Schuller, J. Koenig, M. Gaertner, D. García Ruiz, A. Mansilla: Technical bases for the development of a test standard for impacts of powered two-wheelers on roadside barriers – Paper Number 07-0332
- [2] F. A. Berg, P. Rücker, M. Gärtner, J. König, R. Grzebieta, R. Zou: Motorcycle impacts to roadside barriers – real-world accident studies, crash tests and simulations carried out in Germany and Australia – Paper Number 05-0095
- [3] T. Piegłowski: The Influence of Wire Rope Barriers on Motorcyclists, 2005
- [4] Raport EuroRAP „AFB20(2) Roadside Design Subcommittee on International Activities Statement on Motorcyclists and Safety Barriers, January 31, 2009”
- [5] T. Martinsson, Vägverket och Victoria Lindgren, Vägverket – Säkrare MC på väg – Exempelsamling med åtgärdsförslag, January 31, 2009
- [6] Raport EuroRAP, Barriers to change: designing safe roads for motorcyclists. Position paper on motorcycles and crash barriers, December 2008
- [7] The Federation of European Motorcyclists Associations (FEMA) – Final Report of the Motorcyclists & Crash Barriers Project. A project to develop recommendations to Road Traffic Authorities for reducing injuries to motorcyclists in collision with crash barriers
- [8] L. Mikołajków: Drogowe bariery ochronne, 1983
- [9] PN-EN 1317-1: 2001 Systemy ograniczające drogę. Część 1: Terminologia i ogólne kryteria metod badań
- [10] PN-EN 1317-2: 2001 Systemy ograniczające drogę. Część 2: Klasy działania, kryteria przyjęcia badań zderzeniowych i metody badań barier ochronnych
- [11] Załącznik nr 4 do rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003r w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunkach ich umieszczania na drogach” Dz.U. nr 220, załącznik do nru poz. 2181 z dnia 23 grudnia 2003 r.
- [12] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dz.U. z dnia 14 maja 1999 r.