

**RISK OF EXPERIMENT FAILURE –  
ANALYSIS OF CRASH TEST RELIABILITY**

**RYZIKO NIEPOWODZENIA EKSPERYMENTU –  
ANALIZA NIEZAWODNOŚCI PRÓB ZDERZENIOWYCH**

**Rafał Perz, Marek Matyjewski**

Politechnika Warszawska, Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej  
e-mail: [rperz@meil.pw.edu.pl](mailto:rperz@meil.pw.edu.pl); [mmatyjew@meil.pw.edu.pl](mailto:mmatyjew@meil.pw.edu.pl)

**Abstract:** *The research on automotive safety usually involves crash test experiments. These tests are very expensive, often difficult to replicate, which may lead to serious loss. This paper shows the crash test reliability analysis and classifies the risk of failure of such experiment. 46 frontal crash tests were conducted with the use of crash test dummies. All the tests were prepared according to the standard operating procedure (SOP) and the strict check list was followed before each run. All the tests were categorized for loss and analyzed for the cause of failure. Then the probability of failure of crash test experiment was calculated. From 46 conducted tests, 6 failed, which is 13% of all the tests. The main reason of the test failures was human mistake. The results show that probability of loss during crash tests is very likely.*

**Keywords:** *injury biomechanis, crash test, accident, injury, risk, reliability*

**Streszczenie:** *Prowadząc badania nad bezpieczeństwem pojazdów często wykonuje się próby zderzeniowe. Są to bardzo kosztowne, często trudno powtarzalne eksperymenty, których ewentualne niepowodzenie niesie za sobą poważne straty. Artykuł ten przedstawia analizę niezawodności prób zderzeniowych oraz klasyfikuje ryzyko niepowodzenia takiego testu. Przeprowadzono 46 czołowych testów zderzeniowych na torze z udziałem manekinów. W trakcie badań podążano za wcześniej przygotowaną listą kontrolną. Spośród wszystkich testów szczególną uwagę skupiono na testach nieudanych, które były poddane klasyfikacji strat i analizie przyczyny niepowodzenia. Następnie wyliczono prawdopodobieństwo niepowodzenia próby zderzeniowej i określono ryzyko. Na 46 przeprowadzonych testów, 6 testów nie powiodło się, co stanowi aż 13%. Przyczyną większości nieudanych testów był błąd ludzki. Otrzymane wyniki pokazują, że wystąpienie strat podczas testów zderzeniowych jest bardzo prawdopodobne.*

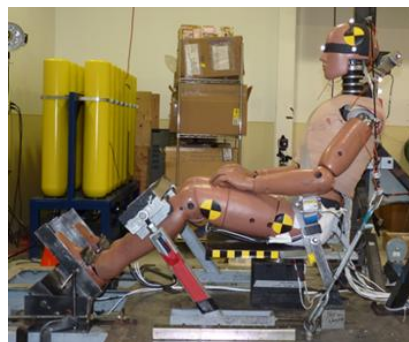
**Słowa kluczowe:** *biomechanika obrażeń, testy zderzeniowe, wypadek, obrażenia, ryzyko, niezawodność*

## 1. Wstęp

Podstawową metodą badań w obszarze biomechaniki obrażeń i bezpieczeństwa pojazdów są próby zderzeniowe [3, 4]. W znacznej większości są to bardzo kosztowne eksperymenty, podczas których rozbijane są całe samochody (rys. 1a.), wcześniej długo przygotowywane na potrzeby testu [2]. Badany pojazd jest wyposażony w wiele czujników pomiarowych, a w środku usadzone są manekiny (zazwyczaj dwa lub więcej), które same zawierają kolejny zestaw czujników (rys. 2.). Ma to na celu symulację zderzenia z przeszkodą w realnych warunkach drogowych. Niestety, charakter tych prób powoduje, że eksperyment może być przeprowadzony jednorazowo. Jakikolwiek niepowodzenie powoduje konieczność zakupu i przygotowania nowego pojazdu. Koszt przeprowadzenia takiego eksperymentu (w zależności od rodzaju pojazdu i specyfiki zderzenia) szacuje się na dziesiątki, a nawet setki tysięcy euro.



a)



b)

*Rys. 1. Przykładowe próby zderzeniowe:*

a) samochód z manekinem podczas testu typu „frontal crash-test” (fot. [www.euroncap.com](http://www.euroncap.com));

b) tor – katapulta z uniwersalną platformą do testów wraz manekinem przygotowanym do testów (fot. *University of Virginia: Center for Applied Biomechanics* [8])

Podobnie jest w przypadku badań z dziedziny biomechaniki obrażeń, gdzie na torze – katapultcie przeprowadza się testy na manekinach i zwłokach [4], w celu zbadania zachowania ciała ludzkiego podczas ekstremalnych obciążeń (rys. 1b.). Wyniki tych badań wykorzystuje się później do udoskonalenia manekinów oraz w celu rozwoju biernego bezpieczeństwa pojazdów mechanicznych. Również w tym przypadku niepowodzenie eksperymentu generuje straty rzędu dziesiątek, a nawet setek tysięcy euro.



*Rys. 2. Przykładowe czujniki używane podczas testów (fot. [www.dtsweb.com](http://www.dtsweb.com))[1]*

W celu zminimalizowania strat niezbędna jest analiza ryzyka niepowodzenia eksperymentu i wyznaczenie niezawodności prób zderzeniowych. Niniejsza praca ma na celu klasyfikację strat oraz oszacowanie prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia niepożądanego – niepowodzenia testu. Dodatkowo wyznaczono ryzyko wykonania nieudanego testu i przeprowadzono analizę przyczyny niepowodzenia, z uwzględnieniem błędu ludzkiego. Całość pracy pozwoli oszacować możliwe straty podczas planowania testów zderzeniowych i pomoże usprawnić proces analizy ewentualnych niepowodzeń.

## 2. Metody

Analiza niezawodności testów zderzeniowych została przeprowadzona przy okazji badań nad zderzeniem czołowym prowadzonych na torze – katapulcie. Do badań użyto uniwersalnych platform, specjalnie przygotowanych do zderzenia czołowego. Analizę obrażeń wykonano przy użyciu dwóch różnych manekinów (w pracy celowo nie podano typów i nazw manekinów). Przeprowadzone testy podzielono ze względu na prędkość zdarzenia (wolne – do 15 km/h, średnie – 15-35 km/h, szybkie – powyżej 35 km/h) oraz pogrupowano w serie, zgodnie z parametrami i harmonogramem prowadzonych testów.

Wszystkie testy przygotowywane były z wysoką dokładnością, na każdym etapie przestrzegano protokołu prowadzenia badań na torze, a przed każdą próbą sprawdzana była szczegółowa lista kontrolna, taka sama jak w przypadku testów ze zwłokami. Wszystkie te zabiegi miały na celu zminimalizować udział błędu ludzkiego podczas eksperymentu oraz symulować procedurę testów typu „crash-test” lub testu z użyciem materiału biologicznego.

Straty poniesione w wyniku nieudanych prób podzielono na trzy kategorie, a następnie wyznaczono prawdopodobieństwo niepowodzenia testu według schematu przedstawionego na rysunku 3.

Prawdopodobieństwo niepowodzenia wyznaczono dla wszystkich przeprowadzonych testów, bez podziału na kategorie prędkości lub typ manekina. Dla wyznaczenia wartości liczbowych użyto wzoru [6, 7]:

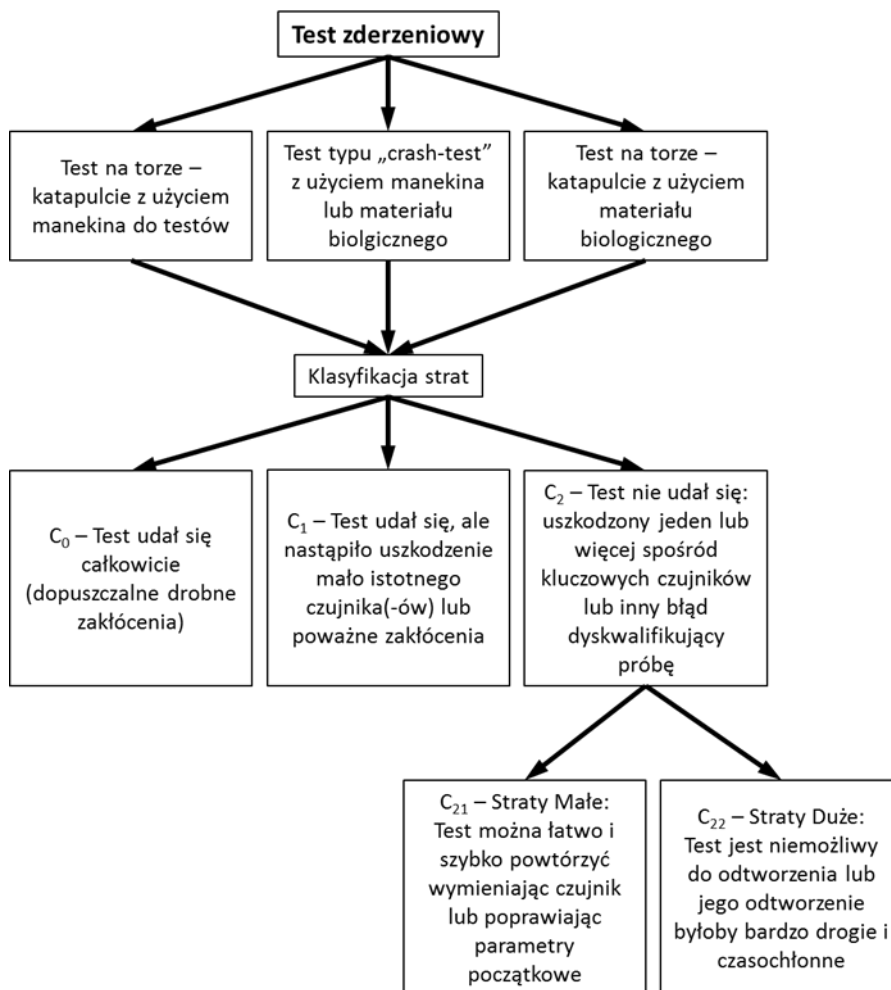
$$P_x = \frac{C_2}{N} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

$C_2$  – liczba prób zakończonych niepowodzeniem,  $N$  – liczba wszystkich prób.

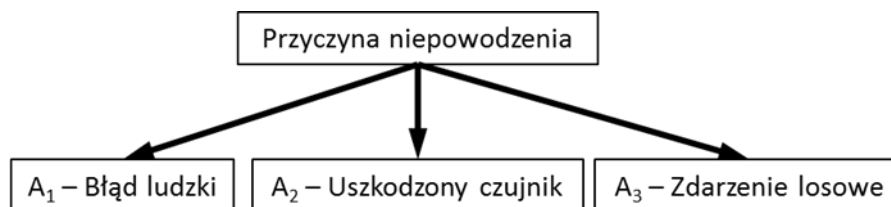
Dodatkowo przedstawiono sposób klasyfikacji strat, gdzie wyróżniono straty małe lub duże. W przypadku niniejszych badań wszystkie straty były opisane jako straty małe, z racji łatwości powtórzenia testów. Również uszkodzenia, jakie zaistniały w konfiguracji czujników nie wymagały więcej niż 24h na naprawę. Z tego powodu ryzyko strat nie było wyliczone, a jedynie jest zasugerowane jako jeden z możliwych dalszych kierunków badań.

*Risk of experiment failure – analysis of crash test reliability*  
*Ryzyko niepowodzenia eksperymentu – analiza niezawodności prób zderzeniowych*



Rys. 3. Analiza typów testów oraz klasyfikacja strat

Kategorie strat  $C_1$  oraz  $C_2$  zostały przeanalizowane pod kątem przyczyny niepowodzeń. Wyróżniono trzy podstawowe przyczyny (rys. 4), według których prowadzono dalszą klasyfikację.



Rys. 4. Przyczyny niepowodzenia prób zderzeniowych

W pracy szczególnie skupiono się na niezawodności czujników pomiarowych, które były umieszczone zarówno w manekinie, jak i na platformie symulującej pojazd, jednak nie była prowadzona dokładna klasyfikacja rodzajów czujników. Jedynym szczegółem wyróżnionym podczas analizy była informacja czy czujnik, który zawiódł, był kluczowy dla określonego typu testu. Jeżeli w teście zawiódł czujnik kluczowy, test automatycznie klasyfikowany był do kategorii C2. Informacja na ten temat umieszczona jest w tabeli 2. Dodatkowo poddano analizie jakość sygnału zapisanego z czujników.

W tym wypadku odnotowano liczbę kanałów, na których wystąpiły zakłócenia i podzielono je według ważności dla danego typu testu. Zakłócenia uwzględniono także podczas klasyfikacji wyników testów. Cały harmonogram testów, wraz z parametrami i liczbą czujników przedstawiono w tabeli 1.

*Tabela 1. Harmonogram testów i liczby kanałów aparatury pomiarowej*

Numer testu	Liczba testów w danej serii	Liczba czujników	Rodzaj testu	Typ manekina
1-3	3	78	Szybki	I
4-6	3	78	Średni	I
7-9	3	78	Szybki	I
10-12	3	66	Wolny	I
13-15	3	54	Szybki	I
16-18	3	54	Szybki	I
19-21	3	54	Szybki	I
22-23	2	54	Średni	I
24-25	2	54	Szybki	I
26-28	3	54	Szybki	I
29-31	3	52	Szybki	I
32-34	3	52	Szybki	I
35-36	2	53	Wolne	II
37-38	2	53	Szybki	II
39	1	39	Szybki	II
40	1	39	Średni	II
41-46	6	39	Szybki	II
W sumie: 46	W sumie: 46	W sumie liczba pomiarów: 2600	Wolne: 5 Średnie: 7 Szybkie: 34	Typ I: 34 Typ II: 12

### 3. Wyniki

Spośród wszystkich 46 prób, aż 6 zostało zakwalifikowanych do kategorii C2, czyli jako testy nieudane. Czynnikiem ludzkim był przyczyną strat w 3 przypadkach, zdarzenie losowe w 2 przypadkach, a uszkodzenie czujnika w jednym. Dodatkowo podczas analizy wyróżniono test nr 15, gdzie uszkodzony został czujnik. Nie był to jednak czujnik kluczowy, dlatego próbę zakwalifikowano do kategorii C1.

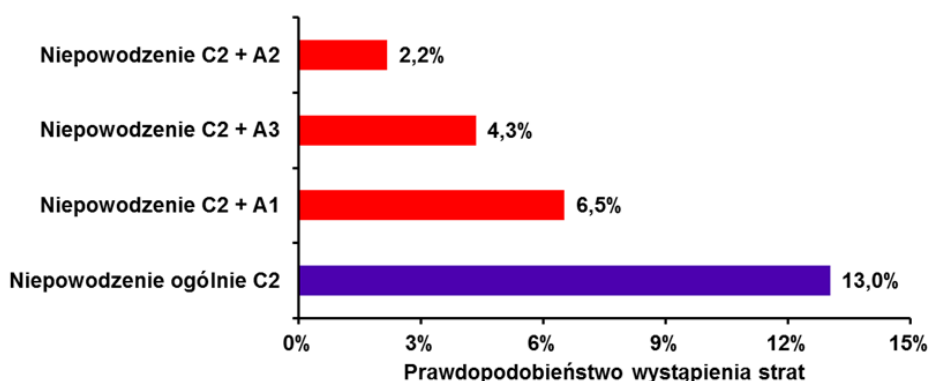
Wszystkie przypadki całkowitego niepowodzenia testów i uszkodzonych czujników zostały przedstawione w tabeli 2.

*Tabela 2. Zestawienie uszkodzeń i niepowodzeń podczas testów*

Nr testu	Rodzaj testu	Typ manekina	Klasyfikacja strat	Opis / Przyczyna	Uwagi
7	Szybki	I	C <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> – Źle zaprojektowany (i wykonany) element platformy, który uległ przemieszczeniu	
13	Szybki	I	C <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> – Zła pozycja manekina oraz źle umocowana poduszka powietrzna [6]	
15	Szybki	I	C <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> – Uszkodzony czujnik / rozłączona wtyczka wewnątrz manekina	1. Czujnik nie był kluczowy dla eksperymentu. 2. Czujnik nie został naprawiony po teście i we wszystkich dalszych próbach z manekinem typu I. był pominięty.
18	Szybki	I	C <sub>2</sub>	A <sub>3</sub> – Wada fabryczna pasa bezpieczeństwa – nie zadziałał ogranicznik siły	
19	Szybki	I	C <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> oraz A <sub>3</sub> – Wada fabryczna pasa bezpieczeństwa – pas się urwał w wyniku czego uszkodzone zostały 4x czujniki (wyrwane kable)	1. Czujniki nie były kluczowe dla eksperymentu 2. Czujniki nie zostały naprawione po teście i we wszystkich dalszych próbach z manekinem typu I. były pominięte
35	Wolny	II	C <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> – Uszkodzony czujnik / nieznaną przyczyną	1. Czujnik był kluczowy dla eksperymentu i został wymieniony 2. Czas naprawy: 24h
42	Szybki	II	C <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> – Zła konfiguracja platformy (źle dobrana poduszka powietrzna)	

Analizując zakłócenia zaobserwowano, że u manekina typu I. podczas każdej próby występowały zakłócenia na 4 - 15 kanałach pomiarowych. Dla manekina typu II. zakłócenia występowały zawsze na 4 - 8 kanałach pomiarowych. Biorąc jednak pod uwagę, że manekin I. miał znacznie więcej czujników niż manekin II., to udział zakłóceń w sygnałach z czujników obydwu manekinów jest porównywalny. Połowę kanałów, na których wystąpiły zakłócenia, można wyróżnić jako kanały istotne. Jednak nie zdarzyło się podczas żadnej z prób, aby zakłócenia uniemożliwiły odczyt i analizę zebranych wyników.

Otrzymane rezultaty pokazały, że to czynnik ludzki ma największy wpływ na niepowodzenie eksperymentu – 6,5 % spośród wszystkich przeprowadzonych testów. Zdarzenia losowe, w tym wypadku dwa razy zawodność pasów bezpieczeństwa, klasyfikuje się z wynikiem 4,3 % jako druga przyczyna nieudanej próby. Najmniej prawdopodobne – 2,2% – jest zaś uszkodzenie któregoś z kluczowych dla testu czujników. Ogólne prawdopodobieństwo niepowodzenia próby – C2 to aż 13 %. Wszystkie wyniki przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Prawdopodobieństwa niepowodzenia testu

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzona analiza niezawodności prób zderzeniowych pokazuje, że nawet w dokładnie kontrolowanych warunkach początkowych, nieudane testy zdarzają się dość często. Co więcej, aż połowa nieudanych prób wynika z błędu lub niedopatrzenia ludzkiego, zaś z pozoru zawodne elektroniczne czujniki pomiarowe były najrzadziej notowaną przyczyną niepowodzenia testu. Przedstawione rezultaty powinny zaś być wskazówką dla naukowców – eksperymentatorów, aby zwrócić szczególną uwagę na protokół i listę kontrolną prowadzonych badań. O ile prowadzone testy były łatwe do powtórzenia i relatywnie tanie (niskie straty), to podobne testy z udziałem prawdziwego pojazdu niosłyby dużo większe straty.

## 5. Literatura

- [1] DTS, oficjalna strona internetowa: [www.dtsweb.com](http://www.dtsweb.com)
- [2] Euro NCAP, oficjalna strona internetowa: [www.euroncap.com](http://www.euroncap.com)
- [3] Matyjewski M.: Analiza i ocena technicznych sposobów zmniejszania skutków wypadków drogowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009
- [4] Perz R.: Metodologia badania podatności klatki piersiowej na obrażenia podczas zderzenia czołowego pojazdu. 41. Zimowa Szkoła Niezawodności, Szczyrk 2013
- [5] Rokosch U.: Poduszki gazowe i napinacze pasów. WKŁ, Warszawa 2003
- [6] Szopa T.: Niezawodność i Bezpieczeństwo. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009
- [7] Szor J.B., Kuźmin F.I.: Ocena niezawodności urządzeń. Wydawnictwo naukowo – techniczne, Warszawa 1970
- [8] University of Virginia: Center for Applied Biomechanics, oficjalna strona internetowa: [www.centerforappliedbiomechanics.org](http://www.centerforappliedbiomechanics.org)



*Mgr inż. Rafał Andrzej Perz w roku 2010 ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. Obecnie pracuje na stanowisku asystenta w Instytucie Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej Politechniki Warszawskiej. Zainteresowania naukowe to biomechanika obrażeń, bezpieczeństwo bierne pojazdów, badanie wypadków, niezawodność oraz materiały kompozytowe.*



*Dr hab. inż. Marek Matyjewski w roku 1988 ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. Stopień doktora nauk technicznych otrzymał w 1996 r., a stopień doktora habilitowanego w 2010 r. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej Politechniki Warszawskiej. Jest kierownikiem Zakładu Podstaw Konstrukcji. Zainteresowania naukowe to biomechanika, bezpieczeństwo bierne samochodów i niezawodność człowieka.*