Symulacje MES, uczenie maszynowe i algorytmy optymalizacyjne jako narzędzia do poprawy funkcjonowania urządzeń BRD.

Dr inż. Dawid Bruski

Dr inż. Łukasz Pachocki

Prof. dr hab. inż. Wojciech Witkowski

Dr hab. inż. Mikołaj Miśkiewicz, prof. PG

Katedra Wytrzymałości Materiałów

Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Politechnika Gdańska

Centrum Zaawansowanej Mechaniki Obliczeniowej

cacm@pg.edu.pl

www.wilis.pg.edu.pl/en/cacm

KONGRES

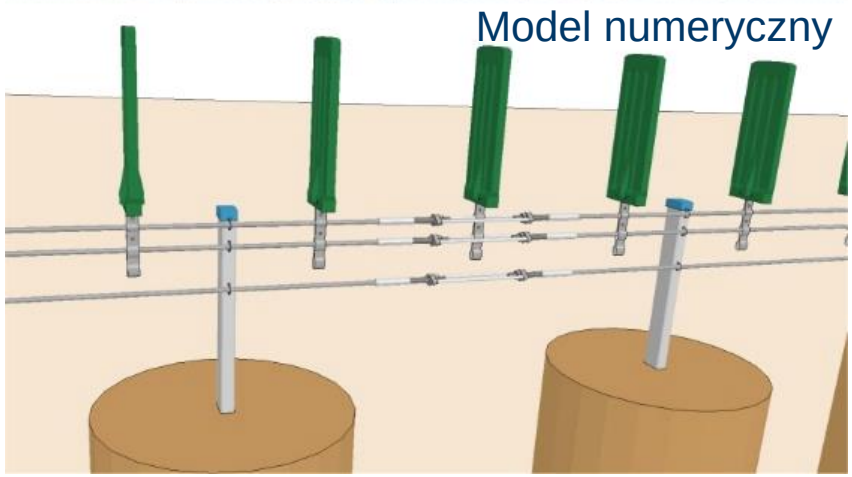
BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO 2023

Kraków, 1-3 marca 2023 r.

www.konferencjespecjalistyczne.pl

Plan prezentacji

- **Wprowadzenie**
- **Symulacje MES**
- **Uczenie Maszynowe**
- **Optymalizacja**
- **Podsumowanie**



Dlaczego warto stosować analizy komputerowe?

1. Poprawa bezpieczeństwa
2. Możliwość analizy przypadków wyjątkowych
3. Redukcja kosztów
4. Wsparcie na etapie prototypowania
5. Szybkość uzyskiwania odpowiedzi

Bariera betonowa

Bariera linowa

Bariera stalowa prowadnicowa

Symulacje numeryczne

- Program Metody Elementów Skończonych (MES): LS-DYNA.
- Zjawiska szybkozmienne: zderzenia, wybuchy, crash-testy, modelowanie samochodów (pasy bezpieczeństwa, poduszka powietrzna).
- Nieliniowe równanie ruchu dyskretyzowane po przestrzeni za pomocą MES.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}}(t)+\mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}(t)+\mathbf{f}_{int}\big(\mathbf{x}(t)\big)=\mathbf{r}(t)$$

- Bogate biblioteki praw konstytutywnych i elementów skończonych: bryłowe (3D), powłokowe (2D), ramowe (1D), specjalne (0D).
- Całkowanie równań ruchu schematem jawnym metodą różnic centralnych, wariant sumowy metody.

$$\ddot{\mathbf{x}}^{n}=\mathbf{M}^{-1}(\mathbf{r}^{n}-\mathbf{f}^{n}+\mathbf{h}^{n})$$

$$\dot{\mathbf{x}}^{n+\frac{1}{2}}=\dot{\mathbf{x}}^{n-\frac{1}{2}}+\Delta t_{n}\ddot{\mathbf{x}}^{n}$$

$$\mathbf{x}^{n+1}=\mathbf{x}^{n}+\Delta t_{n+\frac{1}{2}}\dot{\mathbf{x}}^{n+\frac{1}{2}}$$

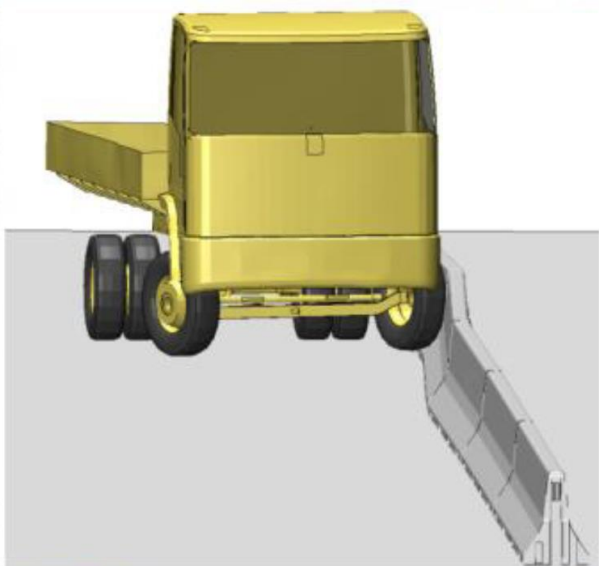
$$\mathbf{M}=\mathrm{diag}[m_{ii}]$$

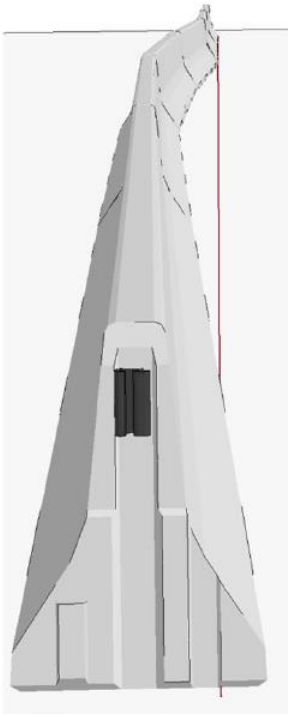
$$\mathbf{f}^{n}=\mathbf{f}_{int}^{n}(\mathbf{x}^{n})+\mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}^{n}$$

$$\Delta t_{n+\frac{1}{2}}=\tfrac{1}{2}(\Delta t_{n}+\Delta t_{n+1})$$

$$\Delta t_{crt}\le\min_{e}\frac{l_{e}}{c_{e}}$$

Bariera betonowa, test TB41, EN1317 [1]





	ASI, -	THIV, km/h	W_m, m	D_M, m	Dł. kontaktu, m
Eksperyment	0,5	10	0,97 ± 0,10	0,4 ± 0,1	12
Symulacja	0,5	13	0,94	0,4	18

Bariera linowa, test TB32, EN1317 [2]

POLSKI KOMITET NORMALIZACYJNY

POLSKA NORMA

ICS 13.200; 93.080.30

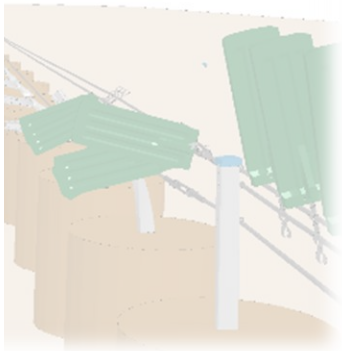
PN-EN 16303

Wprowadza

EN 16303:2020, IDT

Zastępuje

-



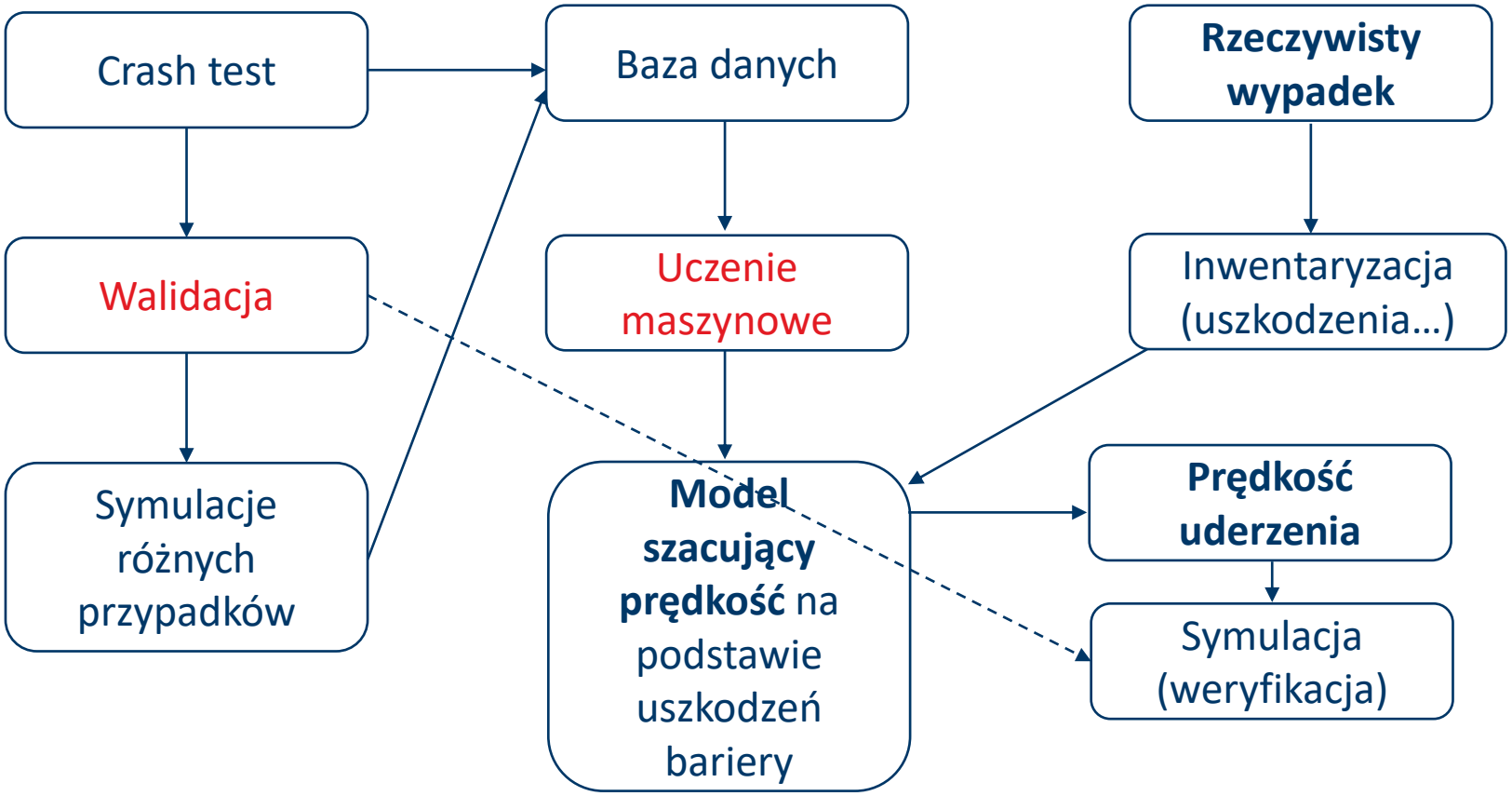
Systemy ograniczające drogę

Walidacja i weryfikacja w wirtualnych testach zderzeniowych z systemem ograniczającym pojazd

Norma Europejska EN 16303:2020 *Road restraint systems -- Validation and verification process for the use of virtual testing in crash testing against vehicle restraint system* ma status Polskiej Normy

	Uszkodzone słupki, szt.
Eksperyment	12
Symulacja	13

Przykład 1 – szacowanie prędkości uderzenia pojazdu w barierę ochronną



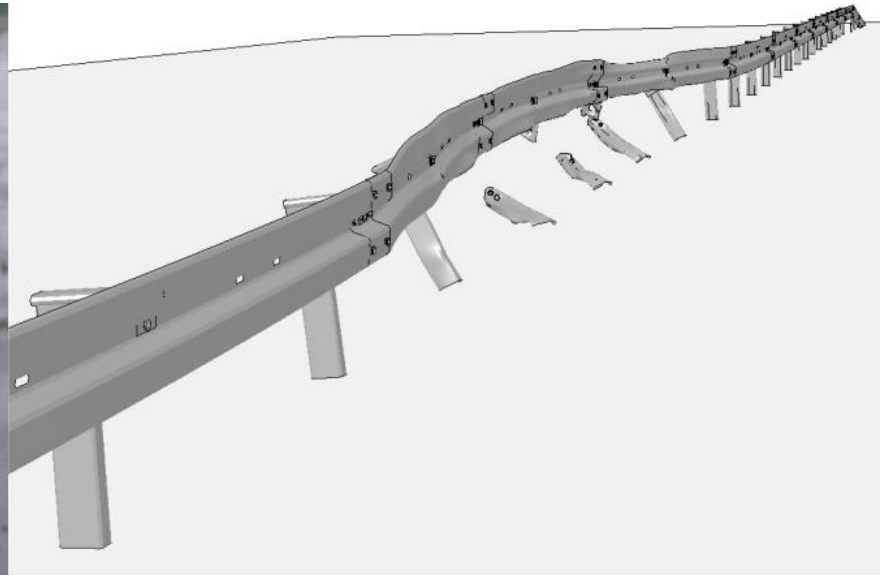
Przykład 1 – szacowanie prędkości uderzenia pojazdu w barierę ochronną

- **Rekonstrukcja wypadku**

Masa pojazdu 1460 kg

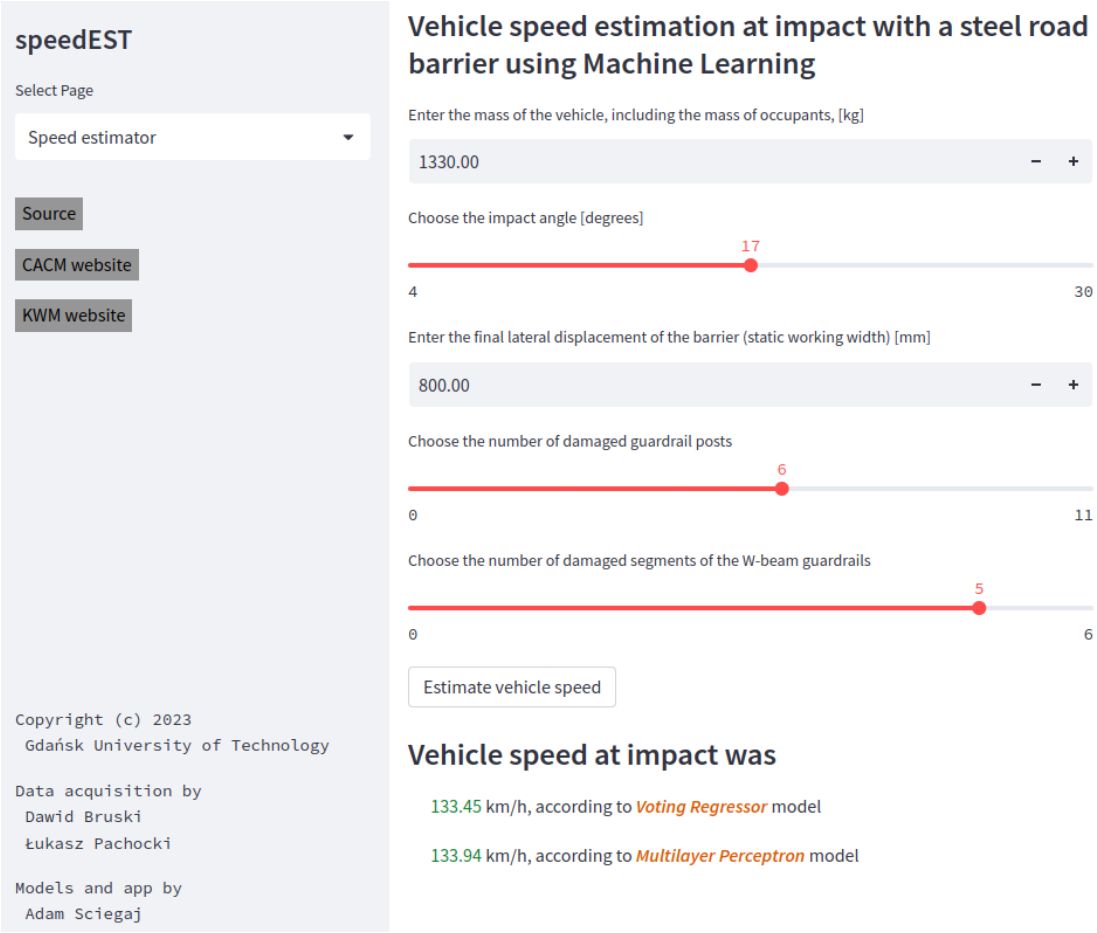
Kąt uderzenia 14 stopni

Prędkość uderzenia 155 km/h

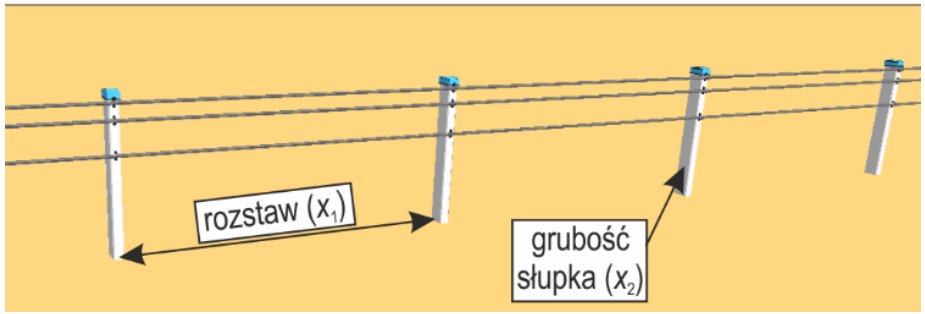


Przykład 1 – szacowanie prędkości uderzenia pojazdu w barierę ochronną

- **Wersja testowa narzędzia: http://www.speedest.pl/ (data dostępu: 22.02.2023r.)**



Przykład 2 – Wyznaczanie wskaźników z testu zderzeniowych



x_1, m	x_2, mm	Model	Wm, m	ASI, -	THIV, km/h	Długość kontaktu, m
1,3	4,7	Model uczenia maszynowego	1,92	0,4545	17,9	19,5
		Symulacja	1,83	0,4812	18,7	17,8
1,4	3,5	Model uczenia maszynowego	2,20	0,4515	16,2	22,4
		Symulacja	2,14	0,4450	16,0	21,1
1,8	4	Model uczenia maszynowego	2,30	0,4115	15,7	23,8
		Symulacja	2,17	0,4358	15,9	23,1
2,3	4,3	Model uczenia maszynowego	2,33	0,4127	15,9	24,1
		Symulacja	2,36	0,3956	15,3	23,9
3	3,7	Model uczenia maszynowego	2,65	0,3769	14,0	31,0
		Symulacja	2,65	0,3763	13,9	30,4
Mean absolute error			0,06	0,02	0,38	0,91

Bariera linowa, test 3-11 wg MASH, Pojazd: SUV [3]

- **Sformułowanie problemu optymalizacyjnego**

$$\begin{cases} \min. & \left[M(x_1, x_2),\ W_{\mathrm{m}}(x_1, x_2)\right] \\ \text{s.t.} & 1.0 \le x_1 \le 3.0\ \mathrm{m} \\ & 3.0 \le x_2 \le 5.0\ \mathrm{mm} \\ & \mathrm{ASI}(x_1, x_2) \le 0.5 \end{cases}$$

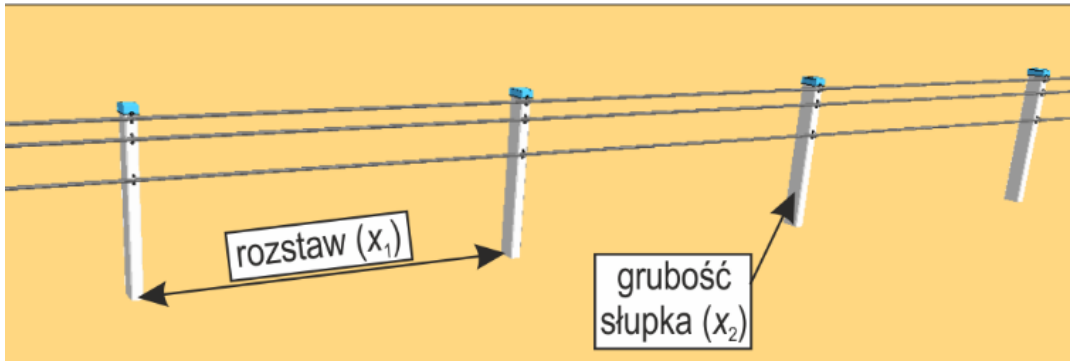
M **– masa bariery**

W_{m} **– szerokość pracująca**

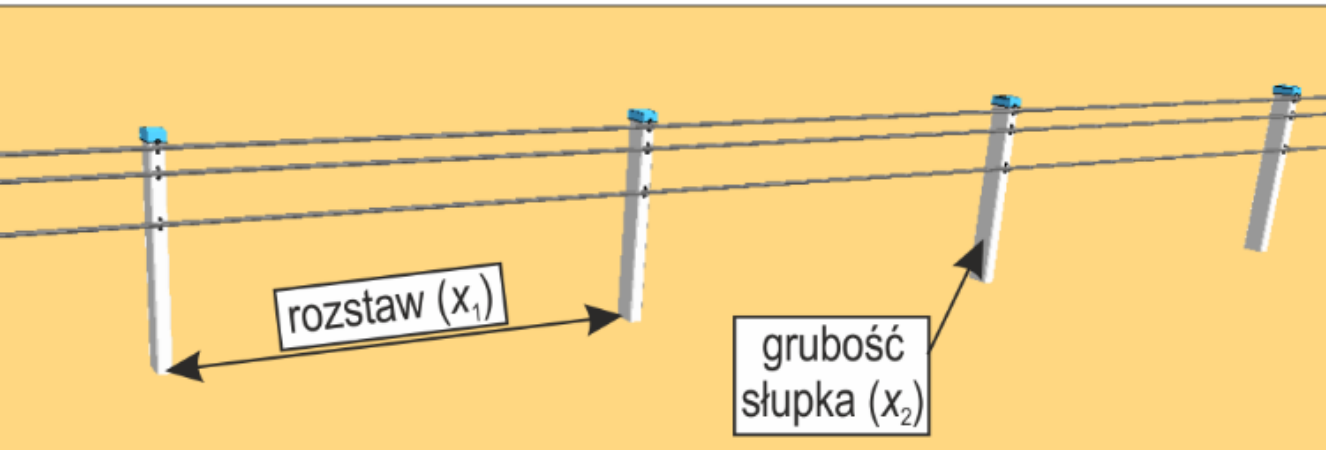
x_1 **– rozstaw słupków**

x_2 **– grubość słupka**

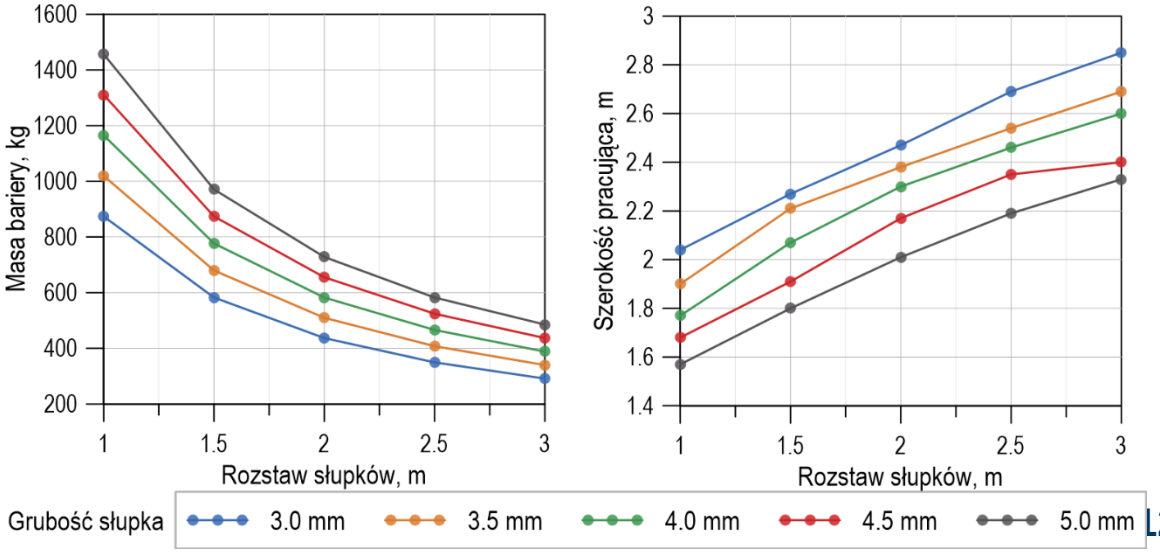
ASI – wskaźnik intensywności przyspieszenia



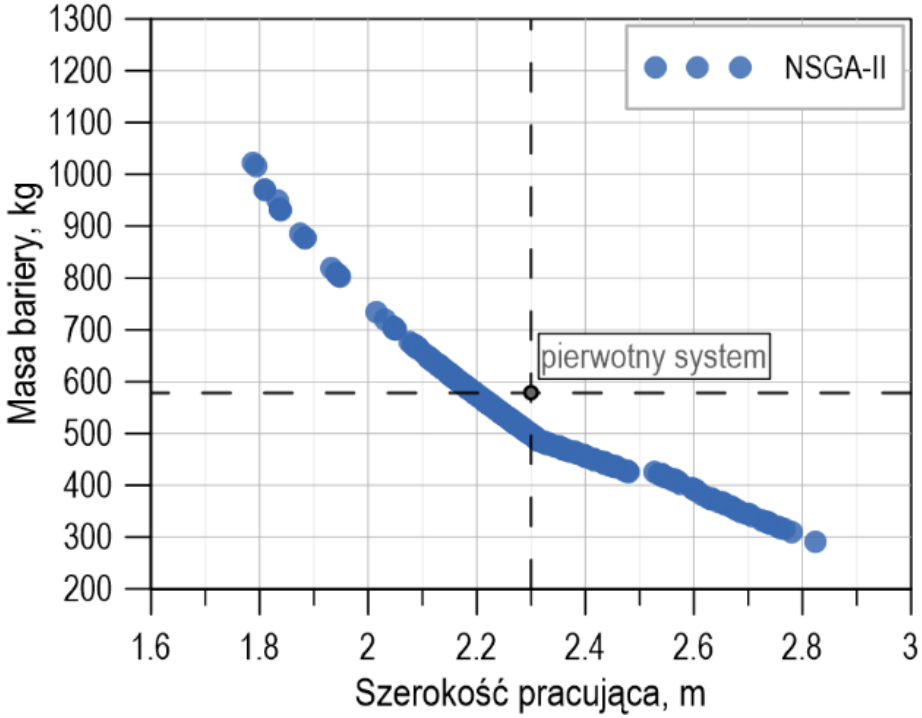
Bariera linowa, test 3-11 wg MASH, Pojazd: SUV [3]



$$\begin{cases} \min. & \left[M(x_1,x_2),\ W_{\mathrm{m}}(x_1,x_2)\right] \\ \text{s.t.} & 1.0 \le x_1 \le 3.0\ \mathrm{m} \\ & 3.0 \le x_2 \le 5.0\ \mathrm{mm} \\ & \mathrm{ASI}(x_1,x_2) \le 0.5 \end{cases}$$



Bariera linowa, test 3-11 wg MASH, Pojazd: SUV [3]



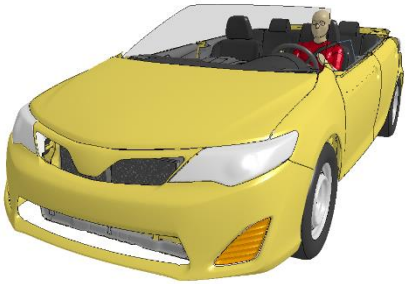
Wariant	Zmienne		Masa, kg	Redukcja masy	
	x_1, m	x_2, mm		kg	%
Pierwotny	2,0	4,0	582,6	-	-
Optymalny	2,8	4,8	499,4	83,2	14,3

Centrum Zaawansowanej Mechaniki Obliczeniowej (CACM)

Kompleksowe badania i analizy funkcjonowania różnych urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego (BRD) oraz zapewnienie realnego wsparcia na międzynarodowym poziomie różnym podmiotom zajmującym się i stosującym urządzenia BRD

Zakres działań

- Symulacje MES
- Analizy parametryczne
- Analizy wrażliwości
- Optymalizacja urządzeń BRD
- Budowa narzędzi
- Analiza problemów projektowych

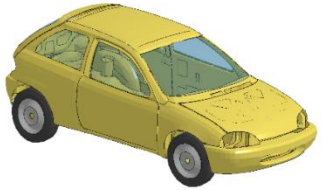


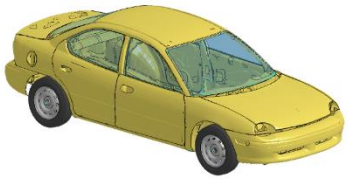
Centrum Zaawansowanej Mechaniki Obliczeniowej (CACM)

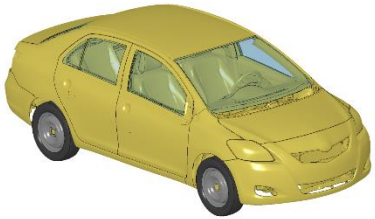
Kompetencje i doświadczenie

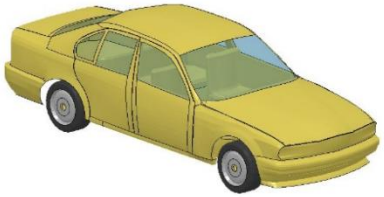
1. **Wiedza i doświadczenie w stosowaniu metod numerycznych i Metody Elementów Skończonych (MES).**
2. **Obecność w kraju i w Europie (kilkaset artykułów i wystąpień konferencyjnych na temat symulacji numerycznych i analiz różnych zagadnień inżynierskich).**
3. **13 crash testów, 2000+ symulacji MES w ramach kilku projektów badawczych**
4. **Kilkaset zrealizowanych ekspertyz i badań naukowych.**
5. **Stosowanie różnorodnych metod związanych z MES, symulacjami numerycznymi, projektowania eksperymentu, metamodelami, sztuczną inteligencją oraz optymalizacją.**
6. **Wykorzystywanie autorskich programów do pre- i post- processingu napisanych m.in. w językach Python, Fortran, C++, C, Java, Scilab, Matlab.**
7. **Doświadczenie w przeprowadzaniu symulacji na dużych klastrach obliczeniowych.**

Centrum Zaawansowanej Mechaniki Obliczeniowej (CACM)


Geo Metro (900 kg)


Dodge Neon (1300 kg)

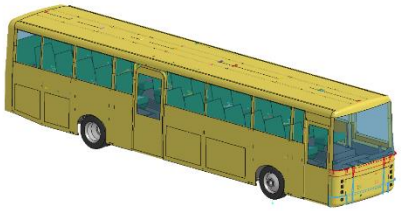

Toyota Yaris (1300 kg)

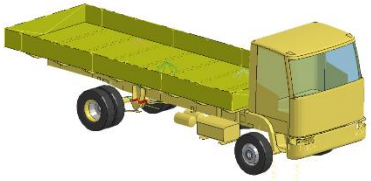

BMW E34 (1500 kg)

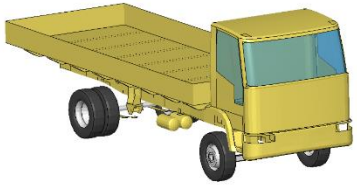
Honda Accord (1500 kg)

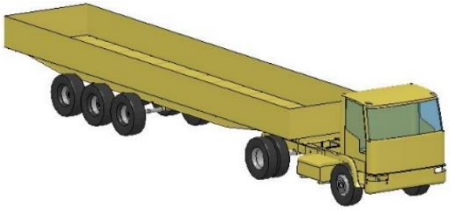
Toyota RAV4 (1250 kg)

Ford Explorer (2200 kg)

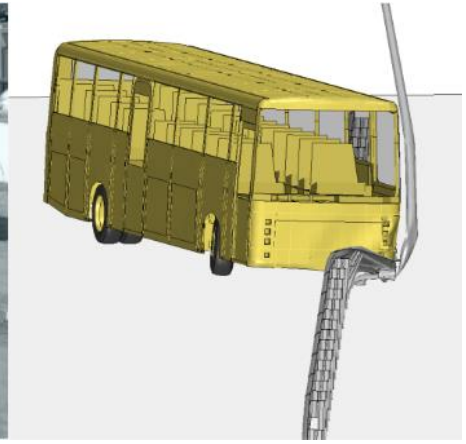

Autobus (13 t)

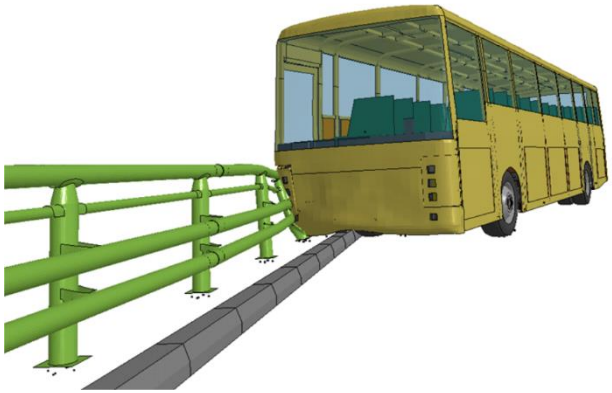

HGV (10 t)

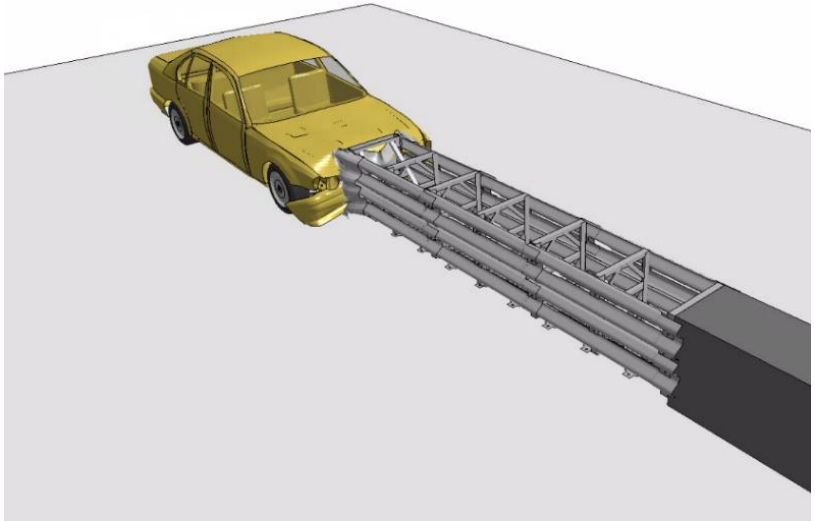

HGV (16 t)

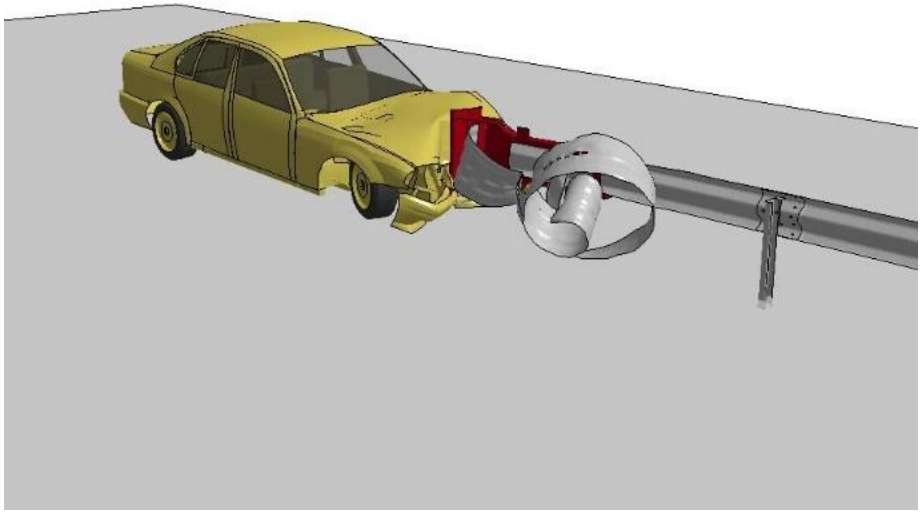

HGV (38 t)

Centrum Zaawansowanej Mechaniki Obliczeniowej (CACM)









Wnioski

1. **Symulacje numeryczna są użytecznym i wiarygodnym narzędziem do badań zachowania urządzeń BRD podczas wypadków.**
2. **Uczenie maszynowe oraz analiza wrażliwości są przydatnym narzędziem do analizy, a następnie zwiększania efektywności funkcjonowania urządzeń BRD.**
3. **Simulation-Based Design Optimization (SBDO) jest skuteczną metodologią optymalizacji urządzeń BRD.**
4. **Łączenie symulacji MES, uczenia maszynowego oraz algorytmów optymalizacyjnych pozwala na kompleksową analizę funkcjonowania urządzeń BRD oraz upraszcza proces modyfikacji i optymalizacji.**

POLITECHNIKA GDAŃSKA

Wybrane publikacje

1. Pachocki Ł., Bruski D.: Modeling, simulation, and validation of a TB41 crash test of the H2/W5/B concrete vehicle restraint system, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 20, iss. 62, 2020, pp. 1-23. DOI: 10.1007/s43452-020-00065-7.

2. Bruski D., Burzyński S., Witkowski W., Analysis of passenger car crash with a cable barrier installed with anti-glare screens on a horizontal convex road curve with 400 m radius, *International Journal of Impact Engineering*, 173, 104486, 2022, pp. 1-16, DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2022.104486.

3. Bruski D., Fa. ng H.: Metamodel-based optimization of a high-tension cable barrier in crash tests with a large SUV (to be published)

4. Wolny R., Bruski D., Budzyński M., Pachocki Ł., Wilde K., Influence of a Lighting Column in the Working Width of a W-Beam Barrier on TB51 Crash Test, *Materials*, 15(14), 4926, 2022, pp. 1-19, DOI: 10.3390/ma15144926.

5. Budzyński M., Jamroz K., Jeliński Ł., Bruski D., Pachocki Ł., Bagiński G., Assessing Roadside Hybrid Energy Absorbers Using the Example of SafeEnd, *Materials*, 15(5), 1712, 2022, pp. 2-16, DOI: 10.3390/ma15051712. (140 pkt.)

6. Budzyński M., Jamroz K., Wilde K., Witkowski W., Jeliński Ł., Bruski D.: The role of numerical tests in assessing road restraint system functionality, *European Transport Research Review*, vol. 12, iss. 30, 2020, pp. 1-11. DOI: 10.1186/s12544-020-00424-8.

7. Wilde K., Bruski D., Budzyński M., Burzyński S., Chróścielewski J., Jamroz K., Pachocki Ł., Witkowski W.: Numerical Analysis of TB32 Crash Tests for 4-cable Guardrail Barrier System Installed on the Horizontal Convex Curves of Road, *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*, 2019, pp. 1-17, DOI: 10.1515/ijnsns-2018-0169.

8. Bruski D., Burzyński S., Chróścielewski J., Jamroz K., Pachocki Ł., Witkowski W., Wilde K.: *Experimental and numerical analysis of the modified TB32 crash tests of the cable barrier system*, Engineering Failure Analysis, 104, 2019, pp. 227-246, DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.05.023.

9. Pachocki Ł., Daszkiewicz K., Łuczkiewicz P., Witkowski W.: Biomechanics of Lumbar Spine Injury in Road Barrier Collision–Finite Element Study, Front. Bioeng. Biotechnol., 9, 2021, DOI: 10.3389/fbioe.2021.760498

POLITECHNIKA GDAŃSKA

HISTORIA MĄDROŚCIĄ
PRZYSZŁOŚĆ WYZWANIEM

Praca została wykonana w ramach projektów „Urządzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego” (nr umowy DZP/RID--I-67/13/NCBR/2016).
Obliczenia wykonano na komputerach Centrum Informatycznego Trójmiejskiej Akademickiej Sieci Komputerowej.

Podziękowania

Praca została wykonana w ramach wspólnego przedsięwzięcia **GDDKiA** oraz **NCBiR**:

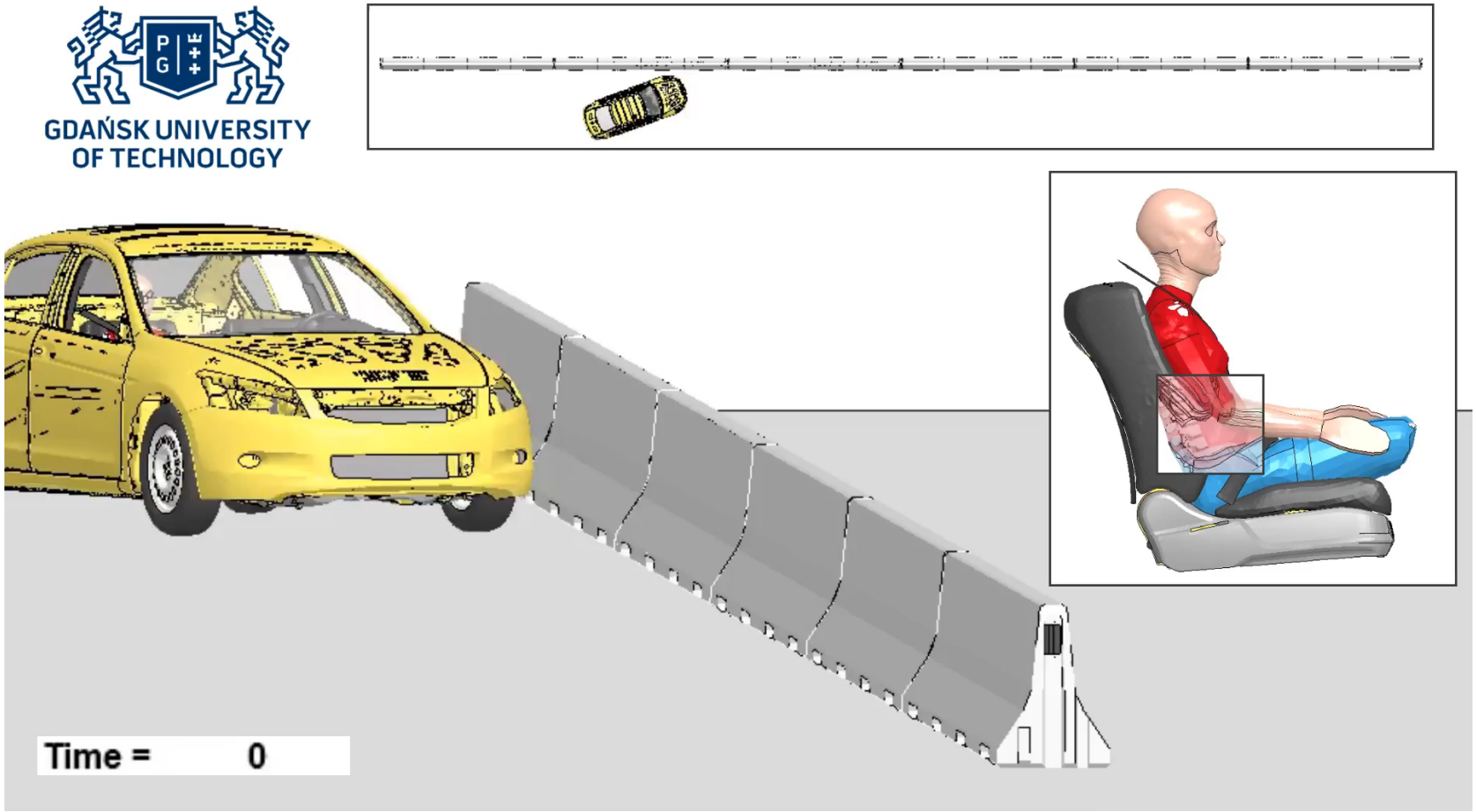
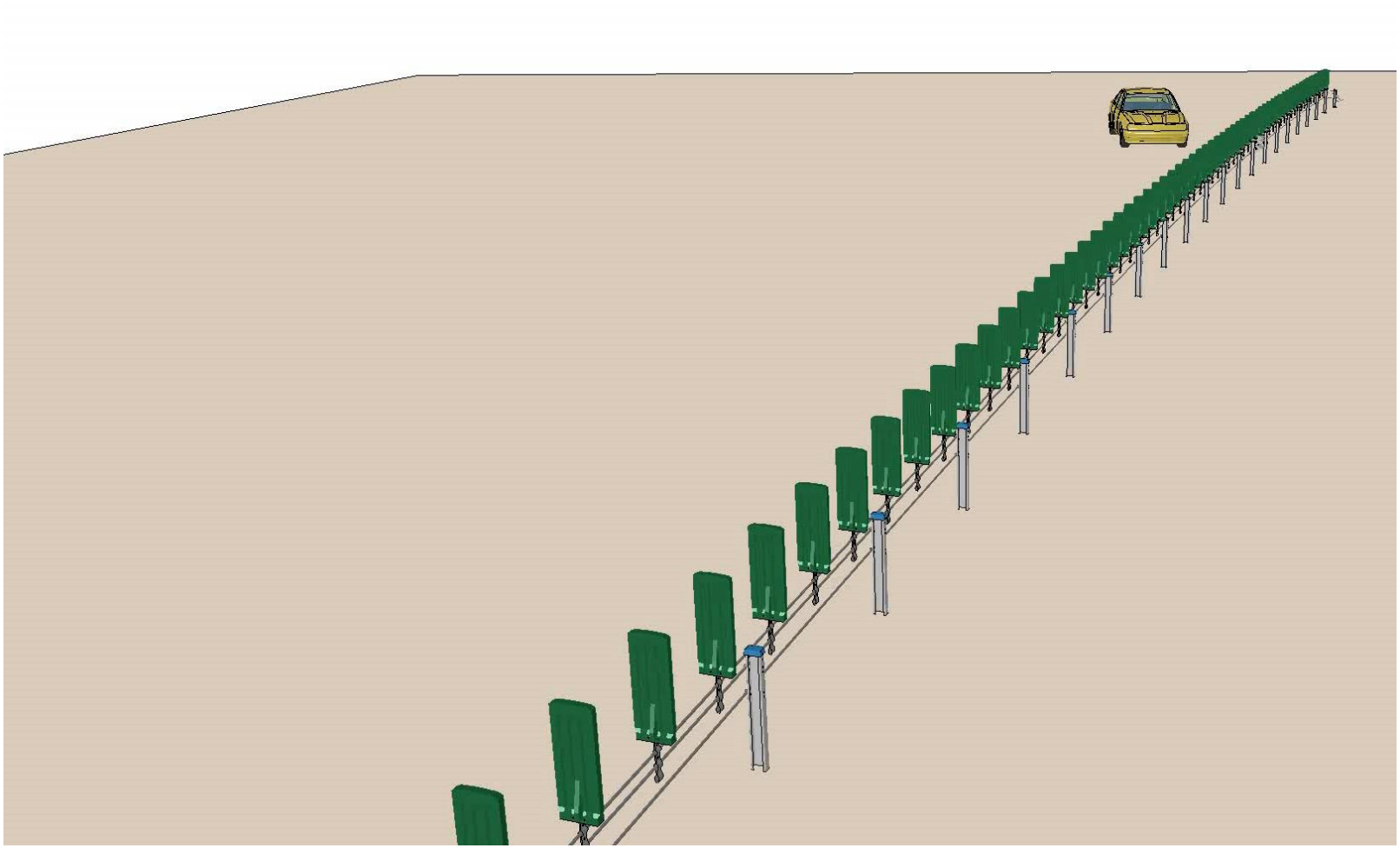
- **RID 3A** „Urządzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego” (nr umowy DZP/RID--I-67/13/NCBR/2016).
- **RID 3B** „Wpływ czasu i warunków eksploatacyjnych na trwałość i funkcjonalność elementów bezpieczeństwa ruchu drogowego” (nr umowy DZP/RID-I-64/12/NCBR/2016)

oraz dzięki funduszom **IDUB** Politechniki Gdańskiej:

- Aplikacja i metody do szacowania prędkości uderzenia zostały wykonane w ramach projektu „Methods for speed estimation of a vehicle at impact with a road safety barrier” (nr umowy DEC-36/2021/IDUB/I.3.3, program Argentum).

Obliczenia wykonano na komputerach Centrum Informatycznego Trójmiejskiej Akademickiej Sieci Komputerowej.

TB32, bariera betonowa



TB32, bariera betonowa