

XIV Międzynarodowa Konferencja Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego

GAMBIT 2023

NOWA DEKADA - NOWE DZIAŁANIA - NOWE TECHNOLOGIE

Politechnika Gdańska, 29-31 maja 2023



PATRONAT HONOROWY



ORGANIZATORZY WARSZTATÓW



**XIV Międzynarodowa Konferencja
Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego**

GAMBIT 2023

Nowa Dekada – Nowe Działania – Nowe Technologie

Politechnika Gdańska, 29-31 maj 2023

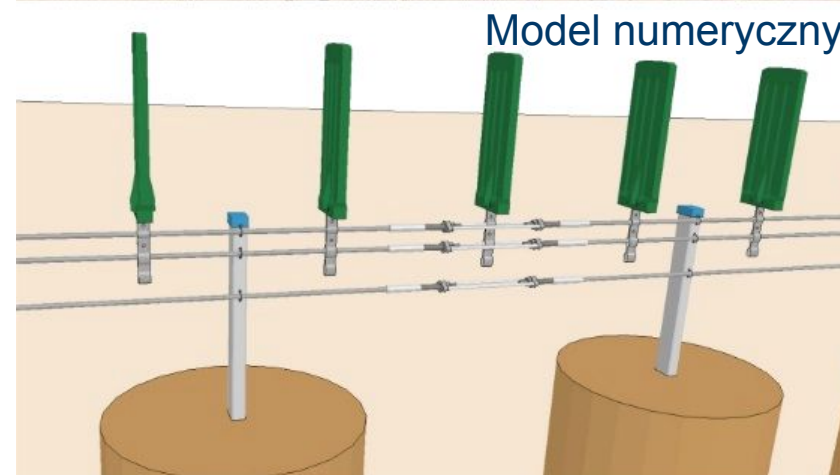
**BADANIA POLIGONOWE I SYMULACYJNE
FUNKCJONOWANIA DROGOWYCH BARIER OCHRONNYCH
I KIEROWCÓW POJAZDÓW UDERZAJĄCYCH W BARIERĘ**

**Dawid Bruski, Łukasz Pachocki,
Mikołaj Miśkiewicz, Krzysztof Wilde,
Wojciech Witkowski**

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

Plan prezentacji

- Wprowadzenie
- Symulacje MES
- Uczenie maszynowe
- Optymalizacja
- Biomechanika



Wprowadzenie

Dlaczego warto stosować analizy numeryczne?

- Poprawa bezpieczeństwa
- Możliwość analizy przypadków wyjątkowych
- Redukcja kosztów
- Wsparcie na etapie prototypowania
- Szybkość uzyskiwania odpowiedzi



Bariera betonowa



Bariera stalowa prowadnicowa



Bariera linowa

Symulacje MES

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

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

- 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.

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

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

$$\Delta t_{crt} \leq \min_e \frac{l_e}{c_e}$$

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

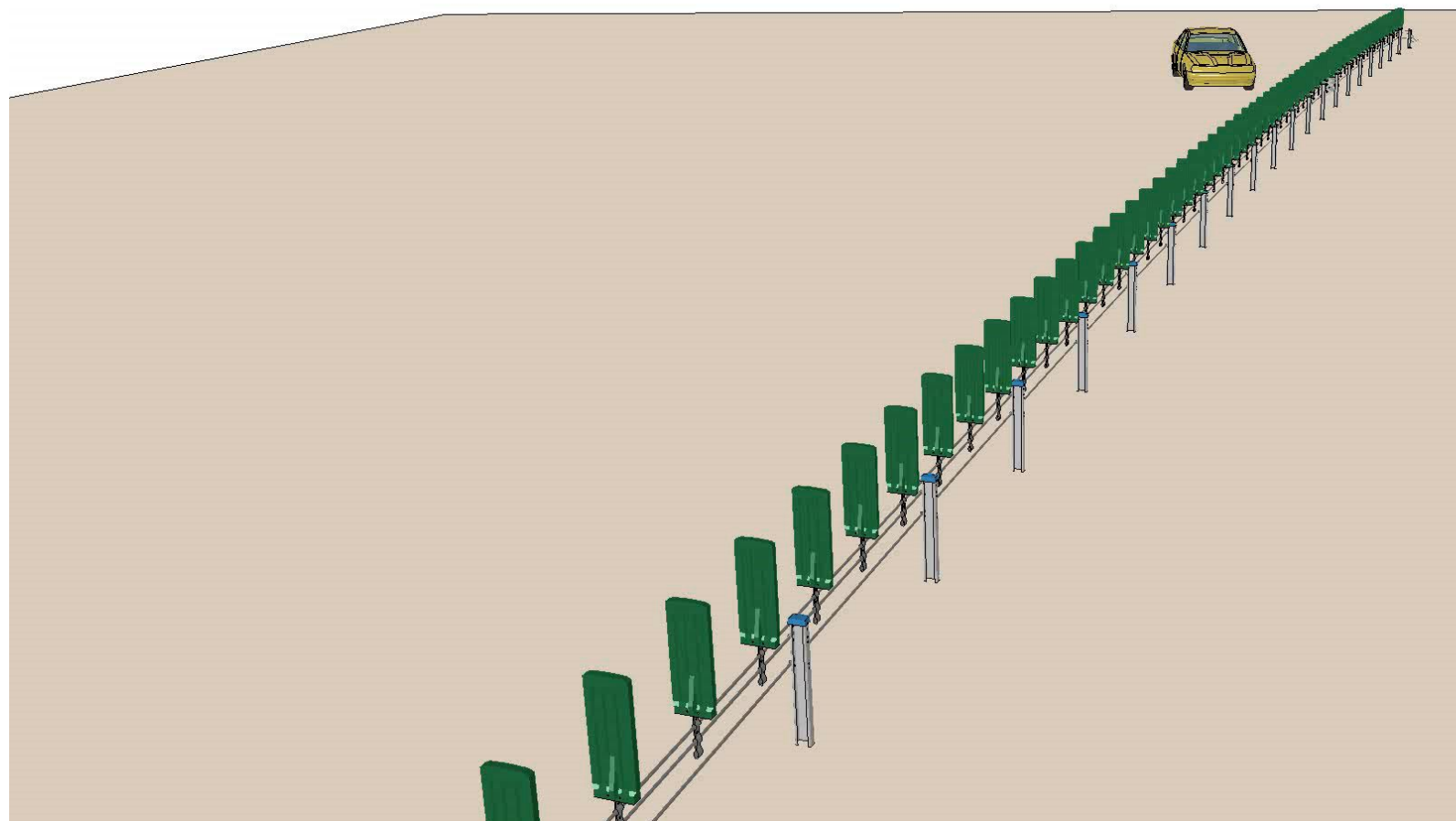
$$\mathbf{f}^n = \mathbf{f}_{int}^n(\mathbf{x}^n) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}^n$$

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

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

Symulacje MES – przykład walidacji

- Test TB32 z barierą linową na łuku drogi z osłonami przeciwoślepieniowymi



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.

Symulacje MES – przykład walidacji

- Test TB32 z

Bruski D., Burzyński S
anti-glare screens on
Engineering, 173, 104



POLSKA NORMA

eniowymi

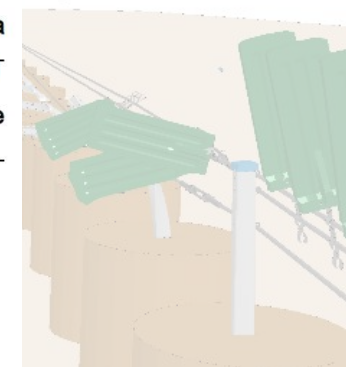
ICS 13.200; 93.080.30

PN-EN 16303

Wprowadza

EN 16303:2020, IDT

Zastępuje



Systemy ograniczające drogę

Walidacja i weryfikacja w wirtualnych testach zderzeniowych z systemem ograniczającym pojazd

Eksperyment

Symulacja

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.

12

13

Centrum Zaawansowanej Mechaniki Obliczeniowej (**CACM**)

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



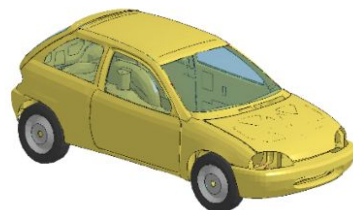
Centrum Zaawansowanej Mechaniki Obliczeniowej (**CACM**)



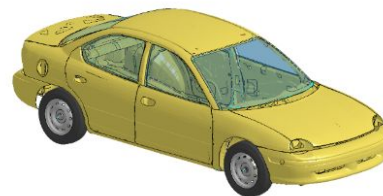
Kompetencje i doświadczenie

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**.

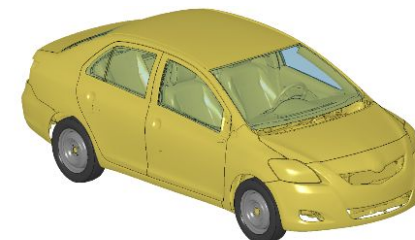
Centrum Zaawansowanej Mechaniki Obliczeniowej (**CACM**)



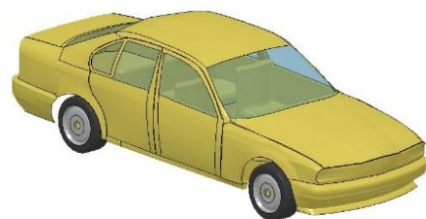
Geo Metro (900 kg)



Dodge Neon (1300 kg)



Toyota Yaris (1300 kg)



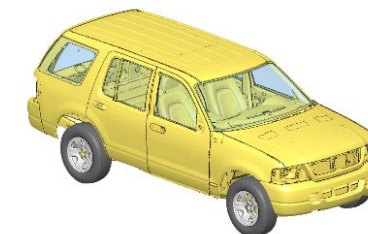
BMW E34 (1500 kg)



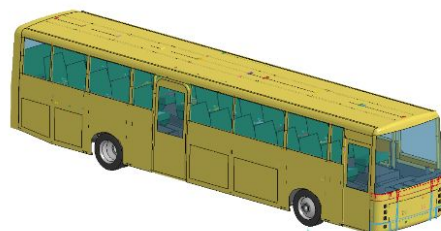
Honda Accord (1500 kg)



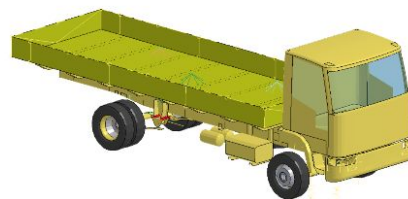
Toyota RAV4 (1250 kg)



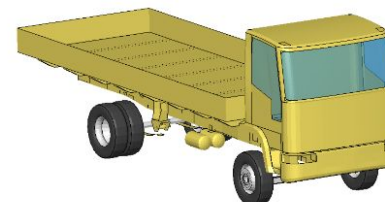
Ford Explorer (2200 kg)



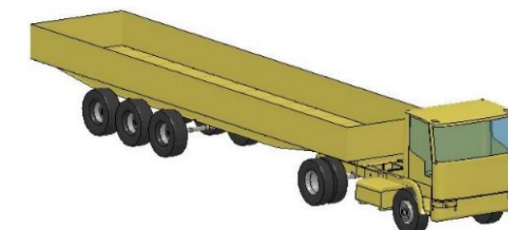
Autobus (13 t)



HGV (10 t)

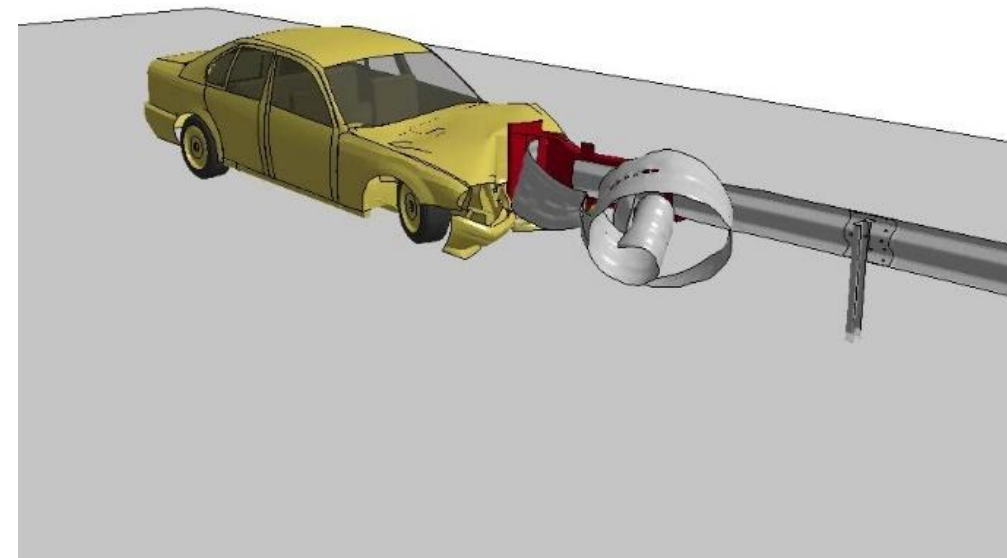
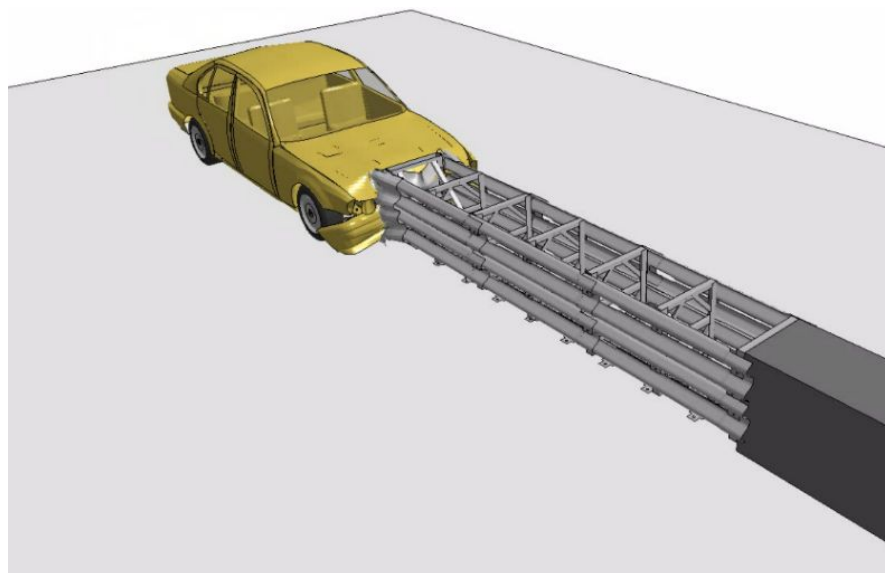
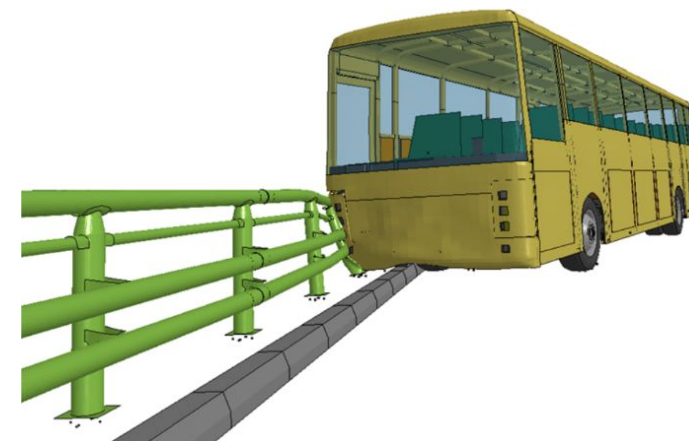
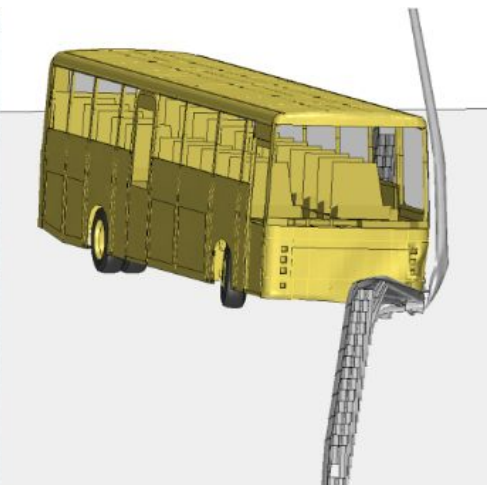


HGV (16 t)



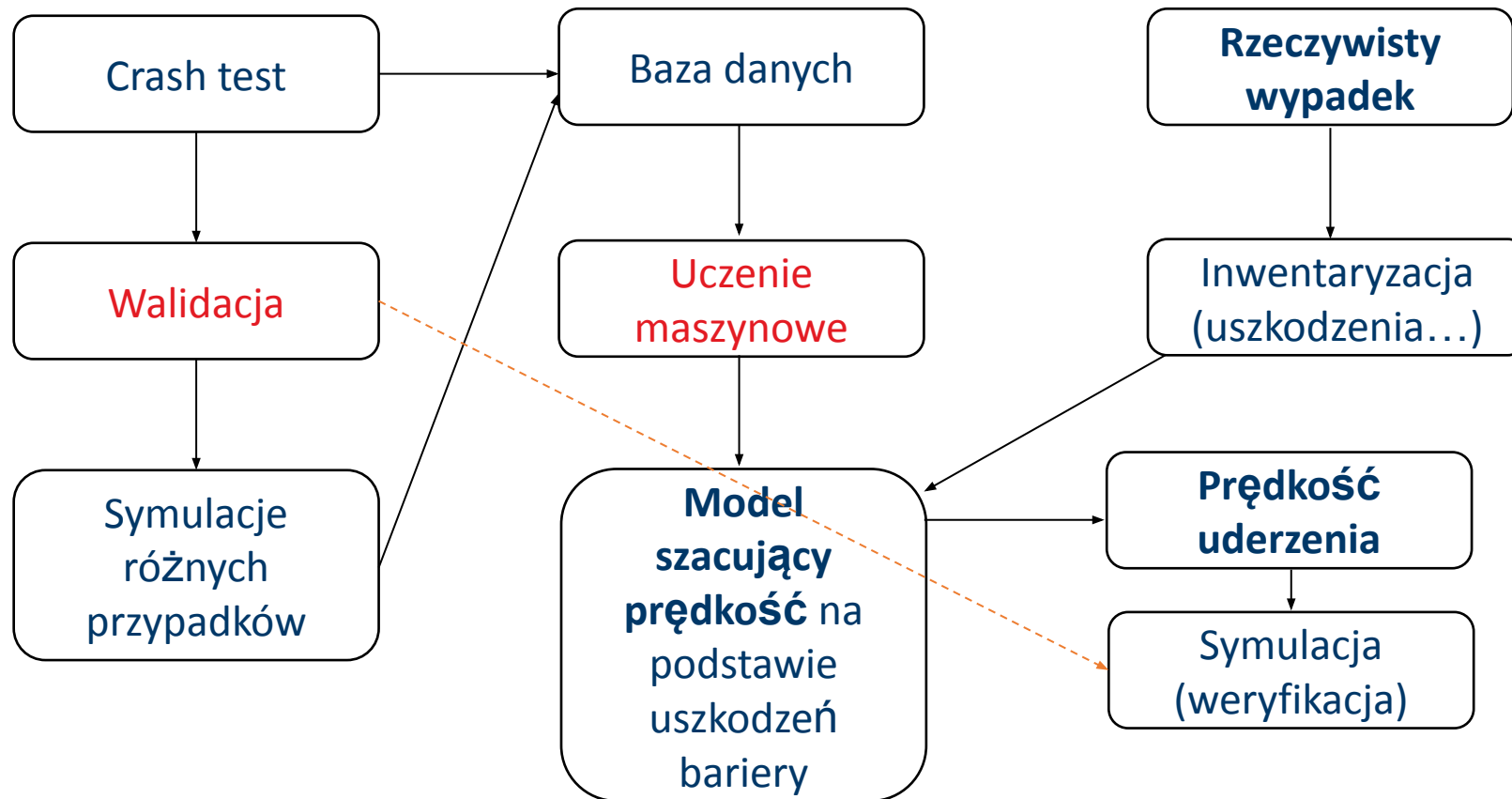
HGV (38 t)

Centrum Zaawansowanej Mechaniki Obliczeniowej (**CACM**)



Uczenie maszynowe

- Szacowanie prędkości uderzenia pojazdu w barierę ochronną



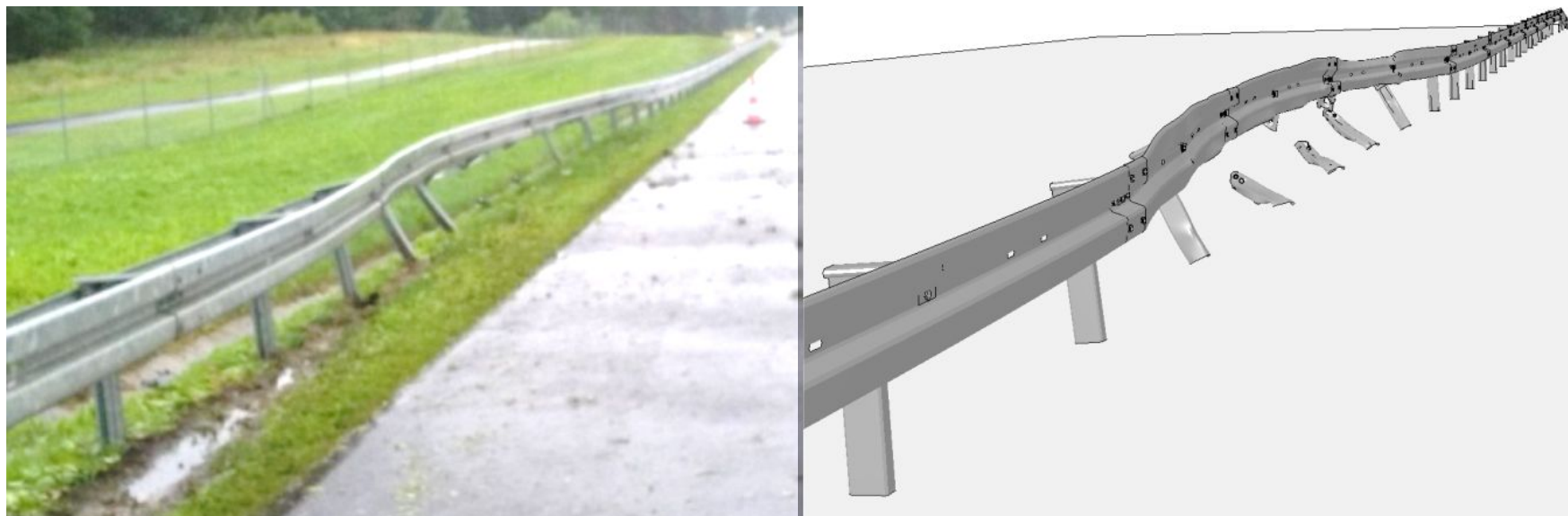
Uczenie maszynowe

- Szacowanie prędkości uderzenia pojazdu w barierę ochronną
 - Rekonstrukcja wypadku

Masa pojazdu **1460 kg**

Kąt uderzenia **14 stopni**

Prędkość uderzenia **155 km/h**




Uczenie maszynowe

- Szacowanie prędkości

Wersja testowa narzędzia:

<http://www.speedest.pl/>

(data dostępu: 26.05.2023r.)



speedEST

Select Page
Speed estimator

Source
CACM website
KWM website

Copyright (c) 2023
Gdańsk University of Technology

Data acquisition by
Dawid Bruski
Łukasz Pachocki

Models and app by
Adam Sciegaj

Vehicle speed estimation at impact with a steel road barrier using Machine Learning

Enter the mass of the vehicle, including the mass of occupants [kg]

1330,00 - +

Choose the impact angle [degrees]



Enter the final lateral displacement of the barrier (static working width) [mm]

800,00 - +

Choose the number of damaged guardrail posts



Choose the number of damaged segments of the W-beam guardrails



Estimate vehicle speed

Vehicle speed at impact was

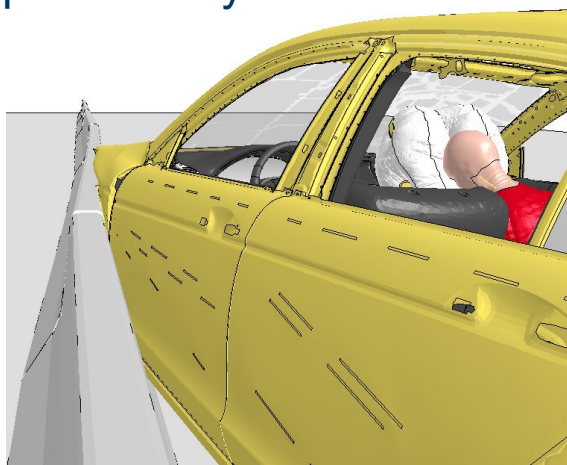
137.69 km/h (*Final Voting Ensemble*)

Base predictor	Speed [km/h]
Tree Ensemble	133.96
Regularized Linear Ensemble	144.51
Support Vector Ensemble	138.08
Multilayer Perceptron	137.48

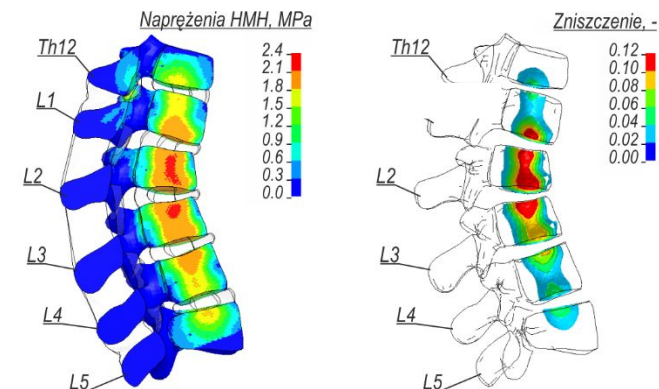
Biomechanika

EN1317 – analiza bezpieczeństwa na podstawie kinematyki pojazdu

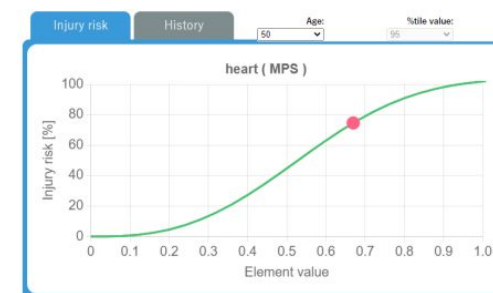
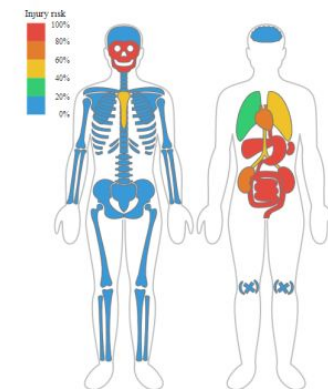
Uderzenia
w różne przeszkody



Analiza
konkretnych
urazów



Zastosowanie Human
Body Models (HBM):
ViVA OpenHBM,
THUMS



Biomechanika - przykład

- Bezpieczeństwo pasażera podczas zderzeń z trzema typami barier ochronnych
 - Analiza zgodnie z EN1317
 - Analiza zgodnie z FMVSS 208
 - Biomechanika szyi w trakcie wypadku

Cable



Concrete



W-beam

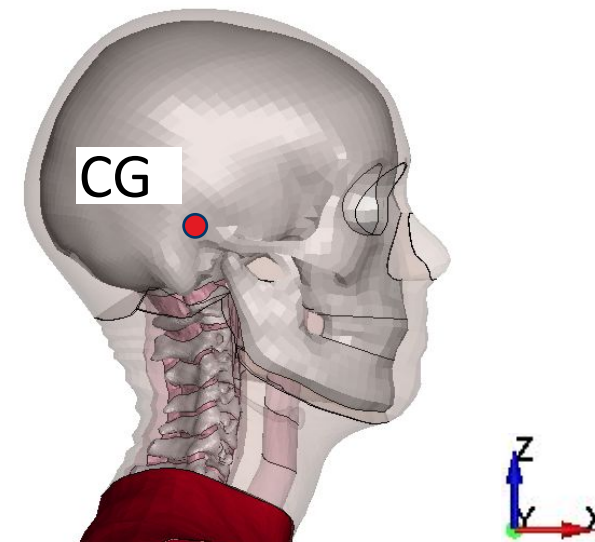
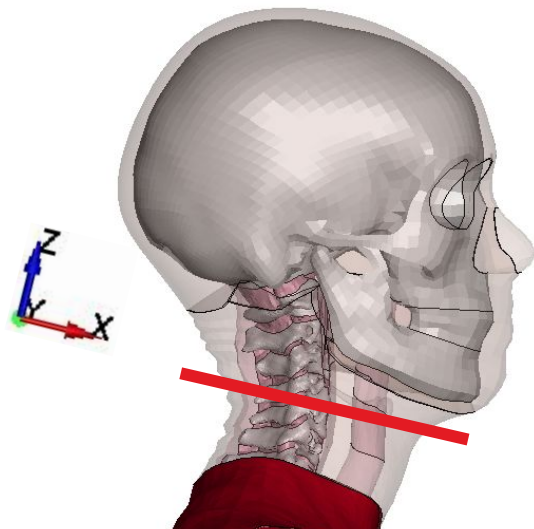


Biomechanika - przykład

- Bezpieczeństwo pasażera podczas zderzeń z trzema typami barier ochronnych

- Head Injury Criteria (**HIC**)

$$HIC = \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a_r dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1)$$

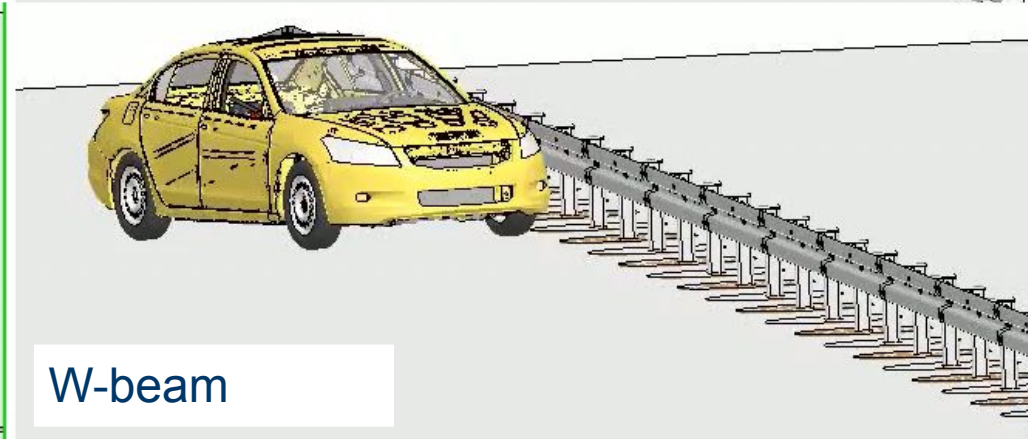
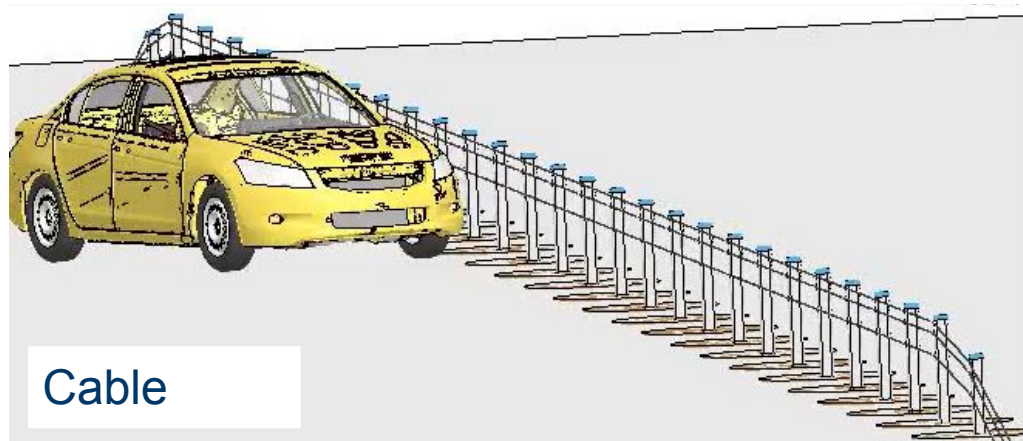
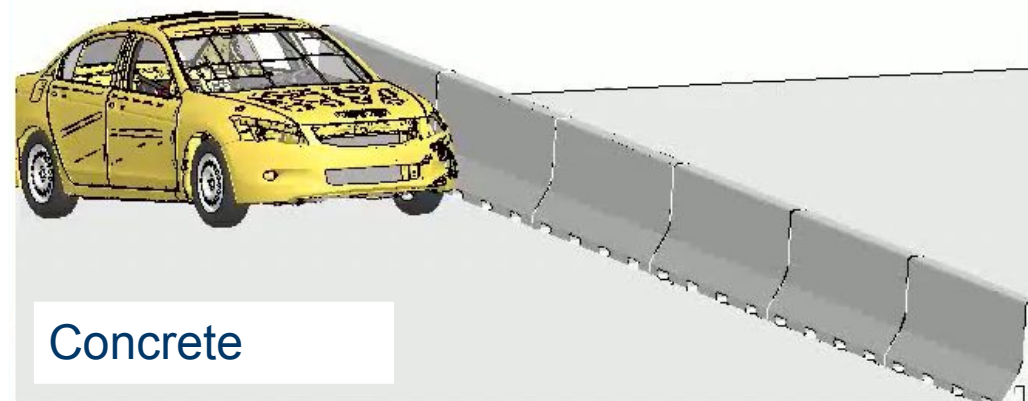


- Neck Injury Criteria (**N_{ij}**)

$$N_{ij} = \frac{F_i}{F_{i,crit}} + \frac{M_j}{M_{j,crit}}$$

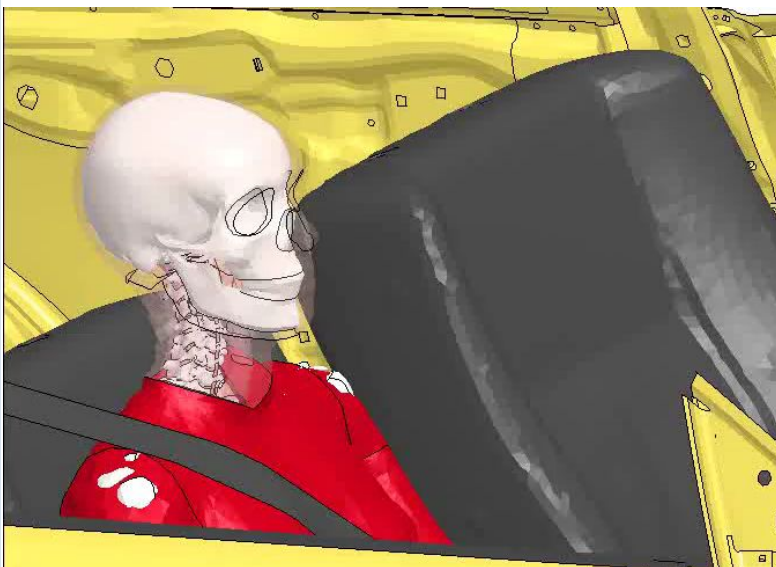
Biomechanika - przykład

- Bezpieczeństwo pasażera podczas zderzeń z trzema typami barier ochronnych
 - Animacje testów TB32 – widok ogólny

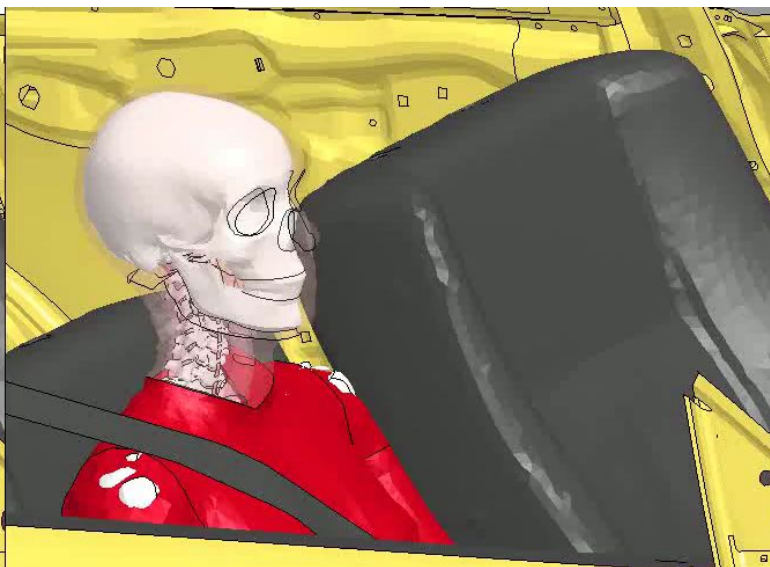


Biomechanika - przykład

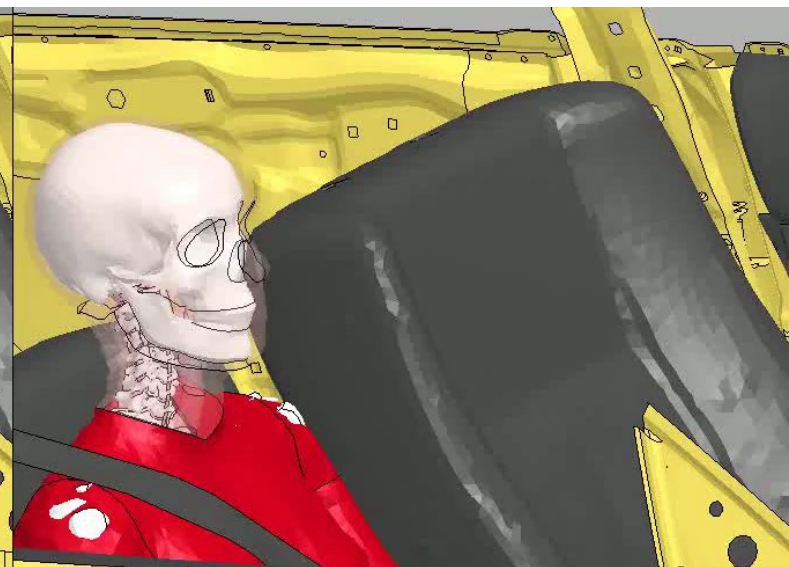
- Bezpieczeństwo pasażera podczas zderzeń z trzema typami barier ochronnych
 - Animacje testów TB32 – widok na pasażera



Cable



W-beam

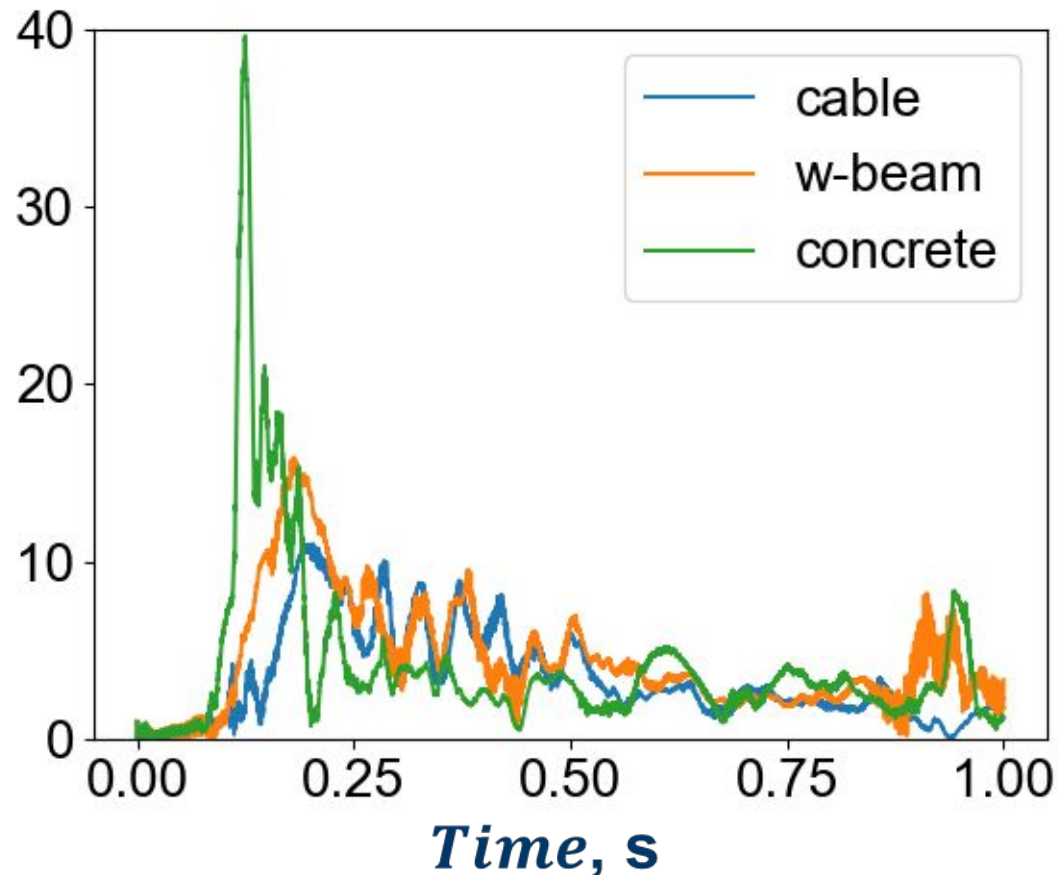


Concrete

Biomechanika - przykład

- Bezpieczeństwo pasażera podczas zderzeń z trzema typami barier ochronnych

Resultant accelerations, G's



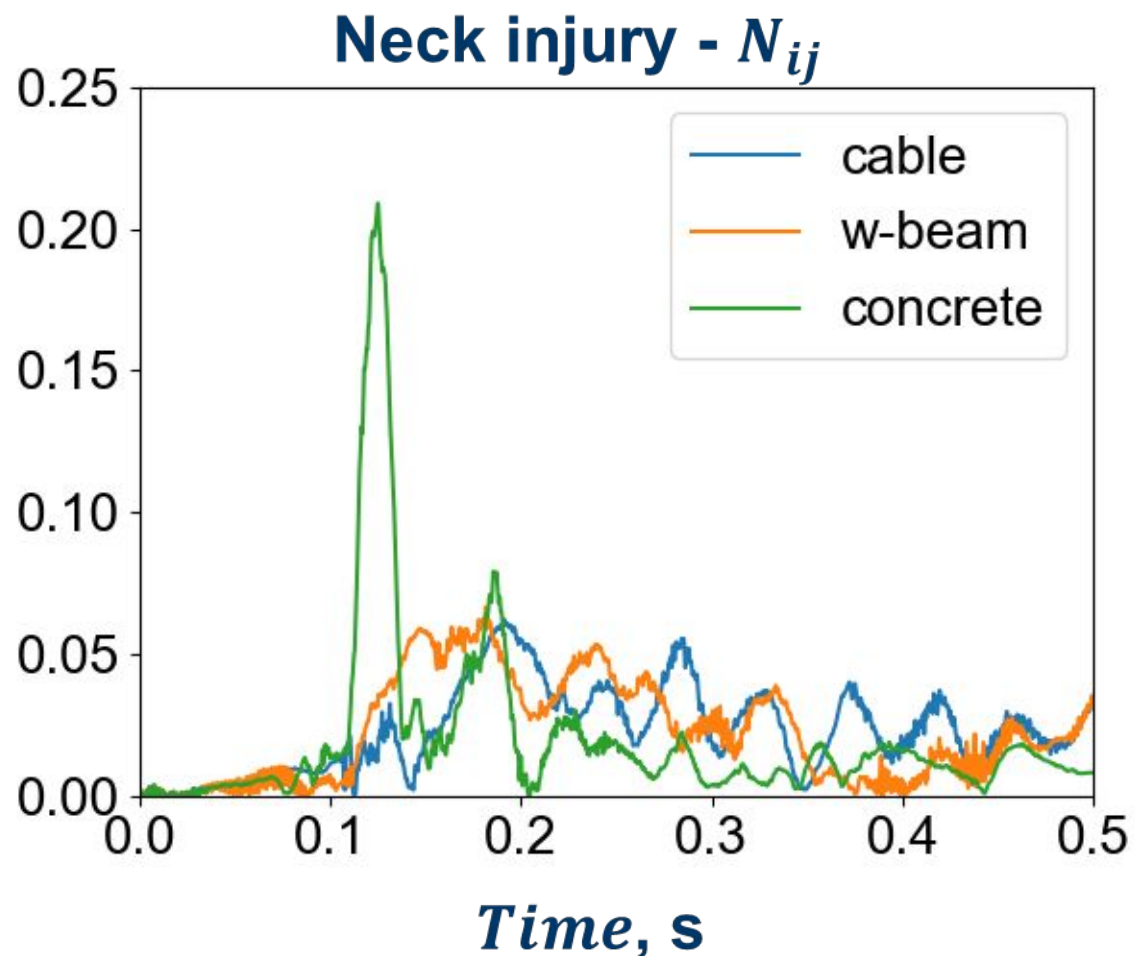
	Cable	W-beam	Concrete
	176	188	245
	171	176	240

$$HIC_{36,lim} = 1000$$

$$HIC_{15,lim} = 700$$

Biomechanika - przykład

- Bezpieczeństwo pasażera podczas zderzeń z trzema typami barier ochronnych

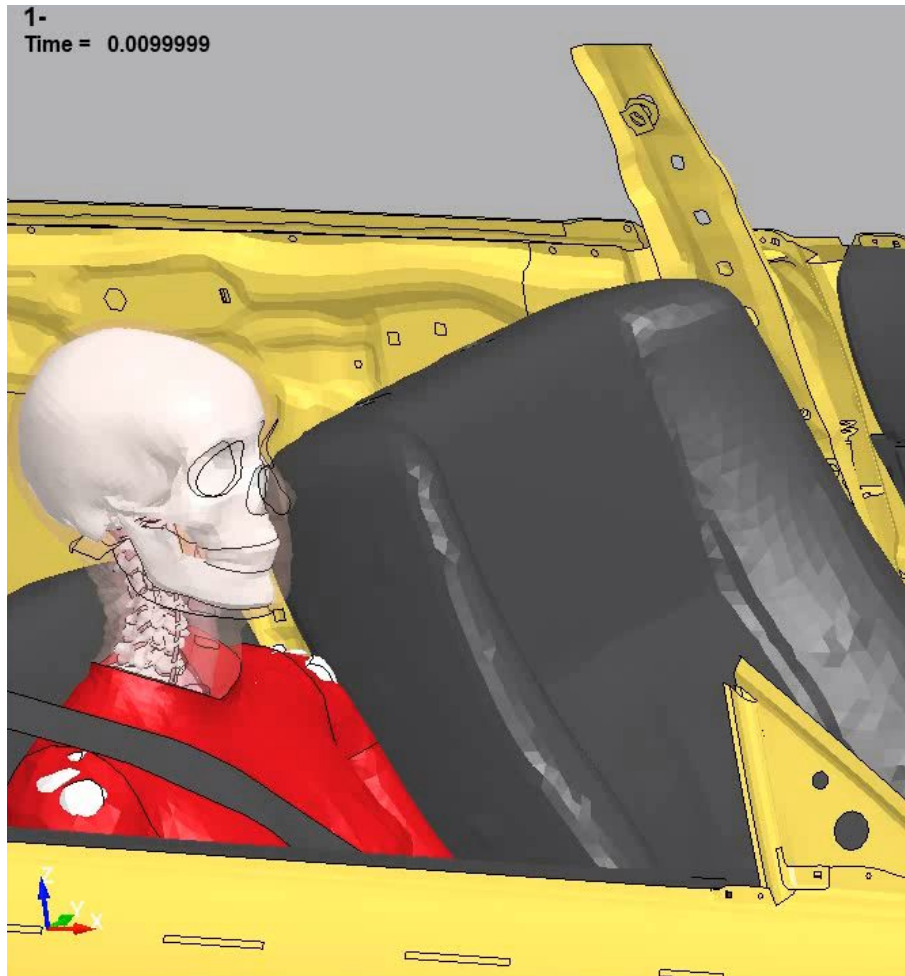


	Cable	W-beam	Concrete
	0.06	0.07	0.21
	0.00	0.03	0.02
	0.01	0.02	0.03
	0.03	0.07	0.07

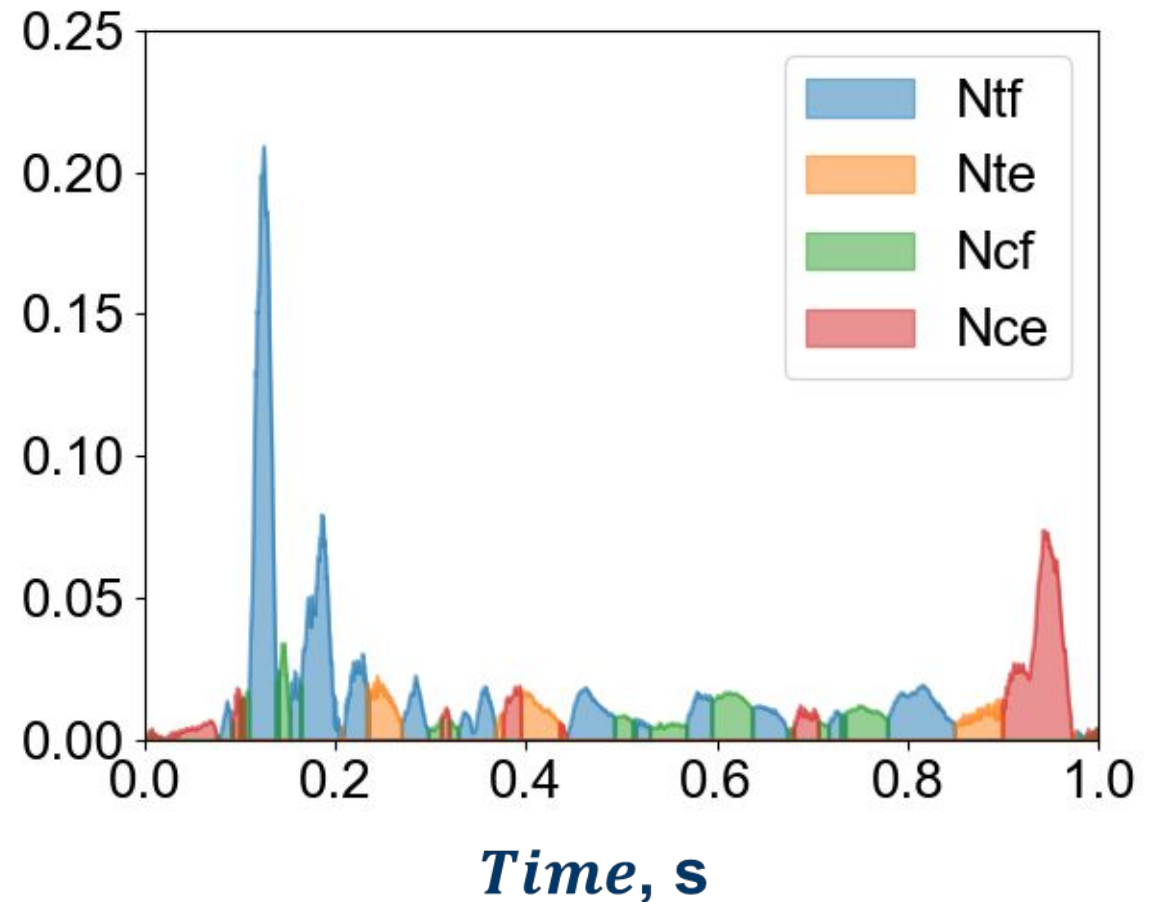
$$N_{ij,lim} = 1.0$$

Biomechanika - przykład

- Bezpieczeństwo pasażera podczas zderzeń z trzema typami barier ochronnych

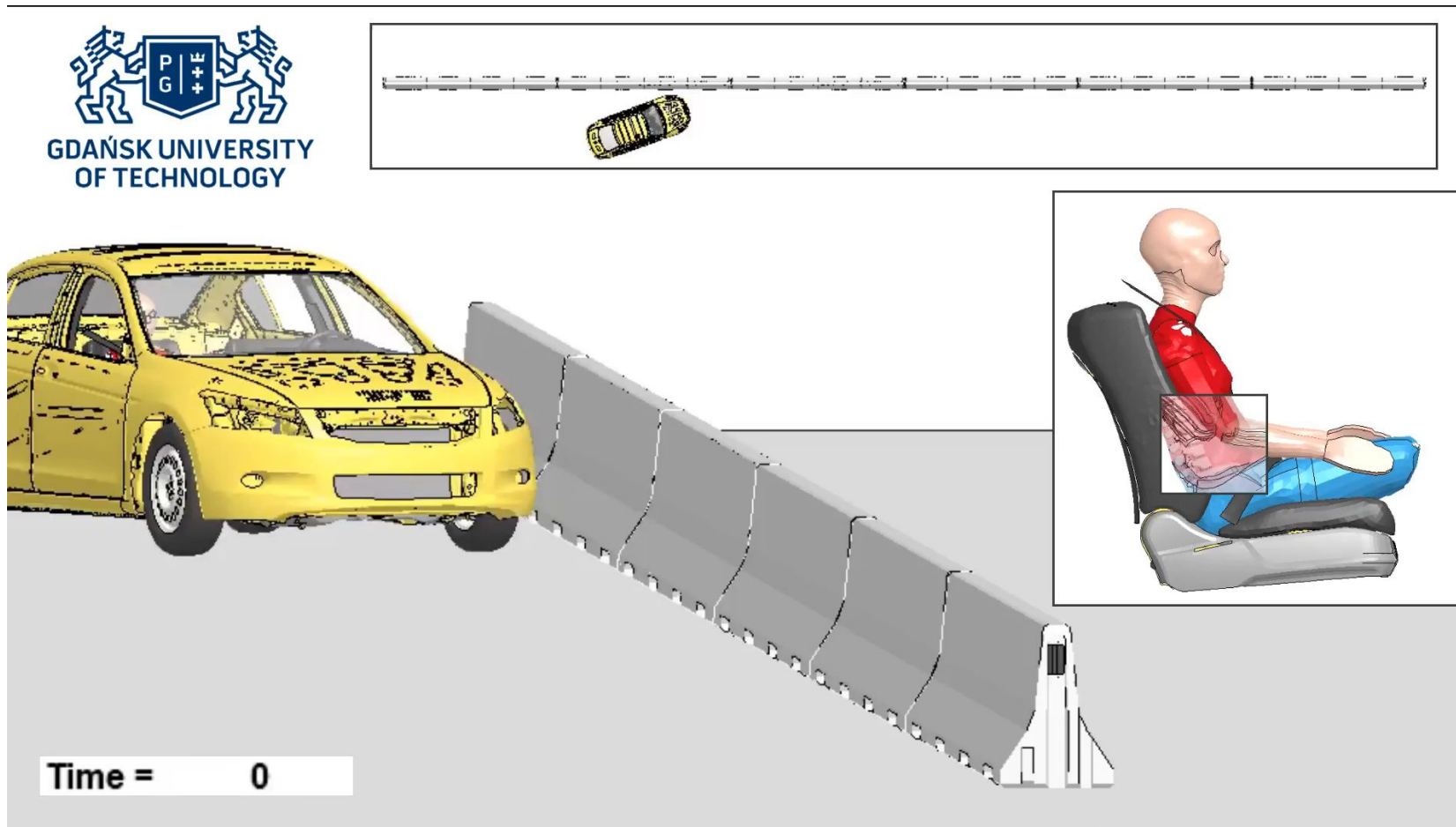


- Biomechanika szyi w trakcie wypadku



Biomechanika

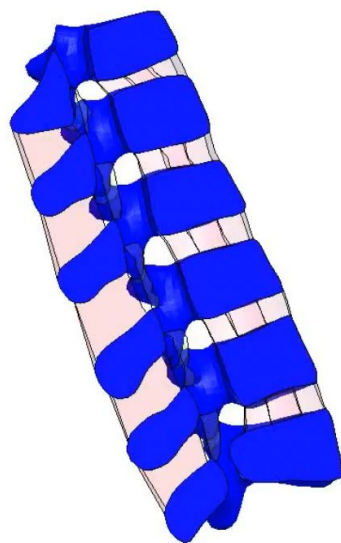
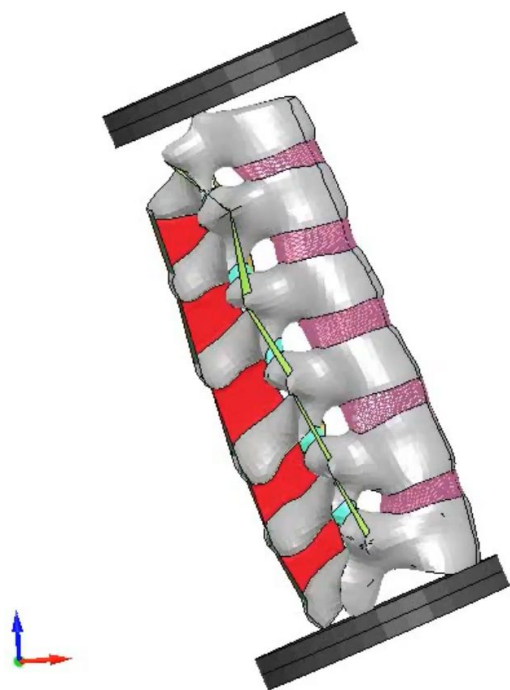
- Test TB32 z barierą betonową H2W5B – analiza odcinka lędźwiowego



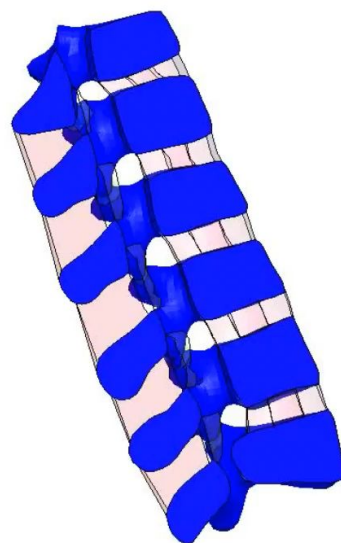
Biomechanika

- Test TB32 z barierą betonową H2W5B – analiza odcinka lędźwiowego

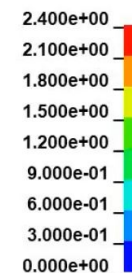
Time = 0



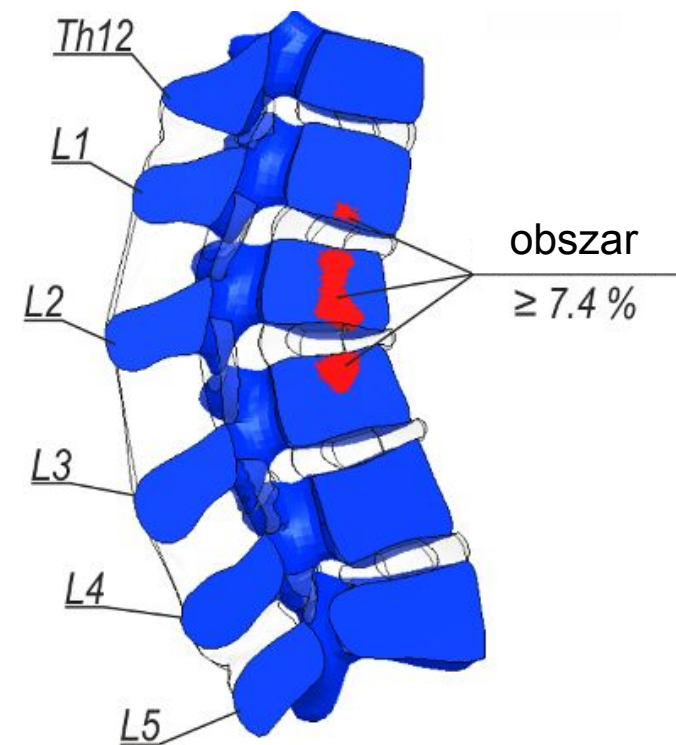
Damage variable



Effective stress (HMH)



Min. odkształcenie
główne



Wnioski

1. **Symulacje** numeryczna są użytecznym i **wiarygodnym narzędziem** do badań zachowania urządzeń BRD podczas wypadków.
2. **Uczenie maszynowe, analiza wrażliwości** oraz **optymalizacja** są przydatnym narzędziem do analiz, które umożliwiają opracowanie nowych rozwiązań zwiększających efektywność urządzeń BRD.
3. Łączenie symulacji MES, uczenia maszynowego oraz algorytmów optymalizacyjnych pozwala na **kompleksową analizę** funkcjonowania urządzeń BRD oraz upraszcza proces modyfikacji i optymalizacji.
4. Rozwój mocy obliczeniowych oraz **modeli ciał człowieka** pozwalają na badania **biomechaniki urazów** załogi pojazdu w czasie wypadku drogowego.
5. **Zderzenia z urządzeniami BRD o większej sztywności** mogą zwiększać prawdopodobieństwo **urazów odcinka lędźwiowego kręgosłupa**.

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., Fang 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., Łuczkiwicz 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
10. Bruski D., Pachocki L., Sciegaj A., Witkowski W.: Speed Estimation of a Car at Impact with a W-beam Guardrail using Numerical Simulations and Machine Learning Speed, Advances in Engineering Software - to be published in 2023



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

HISTORIA MĄDROŚCIĄ
PRZYSZŁOŚĆ WYZWANIEM



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),

dzięki funduszom NCN:

- **OPUS 19**. grant nr 2020/37/B/ST8/03231,

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 (**CI TASK**).