



**Wydział
Inżynierii Lądowej**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Zakład Mechaniki Teoretycznej, Mechaniki Nawierzchni i Dróg Szynowych

Kierunki badań naukowych, publikacje,
osiągnięcia naukowe i eksperckie

prof. dr hab. inż. Artur Zbiciak wraz z zespołem

Seminarium IDiM
19 stycznia 2022 r.





Wydział Inżynierii Lądowej

POLITECHNIKA WARSZAWSKA



Profesor Henryk Czopowski
(1863-1935)

Prof. zw. w **Katedrze Mechaniki Teoretycznej** PW
Dziekan Wydziału Inżynierii Budowlanej (1915-20)
Dziekan Wydziału Inżynierii Lądowej (1920-21)
Założyciel i pierwszy dyrektor
Państwowej Szkoły Mierniczej w Warszawie

Profesor Aleksander Wasiutyński
(1859-1944)

Prof. zw. w **Katedrze Dróg Żelaznych** PW
Doktor honoris causa Politechniki Lwowskiej
Prezes Akademii Nauk Technicznych (1933-39)
Przewodniczący Wydziału Nauk Technicznych
Towarzystwa Naukowego Warszawskiego

**Politechnika
Warszawska**



Zakład Mechaniki Teoretycznej, Mechaniki Nawierzchni i Dróg Szynowych

- 4 samodzielnych

prof. dr hab. inż. A. Zbiciak, prof. dr hab. inż. R. Nagórski,
dr hab. inż. M. Ataman, dr hab. inż. M. Pawlik

- 5 adiunktów

dr inż. K. Brzeziński, dr inż. K. Józefiak, dr inż. C. Kraśkiewicz,
dr inż. R. Michalczyk, dr inż. M. Rudnicki

- 3 asystentów

mgr inż. M. Złotowska, mgr inż. P. Tutka, mgr inż. M. Płudowska-Zagrajek

- 1 specjalista naukowo-techniczny

mgr inż. P. Mossakowski

- 4 osoby współpracujące (pracownicy emerytowani)

prof. dr hab. inż. W. Szczśniak, dr inż. W. Oleksiewicz, dr inż. K. Gradkowski,
mgr inż. Stanisław Żurawski



DYDAKTYKA

Studia I stopnia

- Mechanika teoretyczna oraz Theoretical Mechanics
- Podstawy informatyki (ćwiczenia)
- Inżynieria Komunikacyjna 2 (część ćwiczeń)
- Geotechnika I – Laboratorium
- Geotechnika II – Projekt
- Soil Mechanics and Geotechnical Engineering I (wykład)
- Systemy obliczeniowe mechaniki konstrukcji (ćwiczenia)
- Drogi Szynowe I (wykłady i ćwiczenia), specjalność IK i DS



DYDAKTYKA

Studia II stopnia

- Teoria sprężystości i plastyczności, specjalności IPB i BZ
- Teoria plastyczności, specjalność TK
- Mechanika nawierzchni drogowych
- Mechanika nawierzchni i podtorza dróg szynowych
- Ochrona własności intelektualnej (HES)
- Wybrane Działy Matematyki (ćwiczenia i wykłady)
- Hydraulika i Hydrologia oraz Hydraulics and Hydrology
- Komputerowe systemy analizy konstrukcji, specjalność TK-KBI
- Urządzenia techniczne dróg, specjalność IK
- Metoda elementów skończonych, specjalności IK i DS

- Roboty i budowle ziemne, specjalności IK i DS
- Drogi Szynowe II (część wykładów i ćwiczenia), specjalność IK i DS
- Podtorze kolejowe, specjalność DS
- Infrastruktura węzłów kolejowych, specjalność DS
- Wspomaganie komputerowe projektowania i eksploatacji dróg szynowych, specjalność DS
- Diagnostyka Nawierzchni Szynowych (część wykładów i ćwiczenia), specjalność DS
- Drogi, specjalność MiBP
- **Seminaria dyplomowe w językach obcych – rosyjskim, angielskim, ...**



DYDAKTYKA

NERW 2 PW Nauka – Edukacja – Rozwój – Współpraca”

Zadanie 3 Nowy kierunek studiów II stopnia

„Budowa i eksploatacja infrastruktury transportu szynowego”

- Mechanika konstrukcji dróg szynowych
- Miejski Transport Szynowy
- Geotechnika Dróg Szynowych,(część wykładu, ćwiczeń, projektu)
- Utrzymanie Infrastruktury Transportu Szynowego
- Układy Geometryczne Dróg Szynowych (część wykładów i ćwiczenia)
- Konstrukcja Dróg Szynowych (ćwiczenia)



DYDAKTYKA

WSPÓŁPRACA Z INNYMI WYDZIAŁAMI PW

- Diagnostyka techniczna (ćwiczenia), WIP PW
- Diagnostyka techniczna, WZ PW
- Encyklopedia technologii z uwzględnieniem aspektów środowiskowych, WZ PW



PRACE DYPLOMOWE

Inżynierskie

- Zaporojan A.: Usprawnienie codziennej pracy inżyniera budownictwa drogowego przez programowanie, 2019
- Czachór A.: Wykorzystanie cyfrowej informacji o budowie podłoża gruntowego w projekcie drogi, z zastosowaniem oprogramowania BIM, 2019
- Szulewski P.: Projekt odcinka drogi klasy Z w gminie Konstancin – Jeziorna, 2019
- Opała M.: Analiza skuteczności rozwiązań uspokojenia ruchu zastosowanych na DW 507, 2019
- Liszewski P.: Ocena przydatności optycznej metody pomiaru objętości do wyznaczenia wskaźnika zagęszczenia podłoża gruntowego, 2018

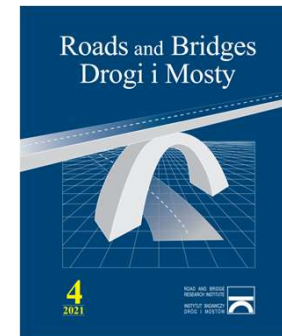
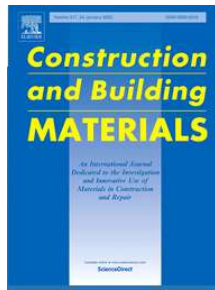
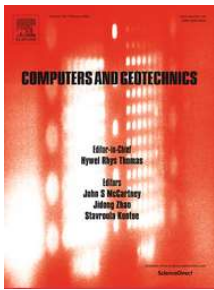


PRACE DYPLOMOWE

Magisterskie

- Redas T.E.: Wybór najkorzystniejszego wariantu realizacji konstrukcji obiektu mieszkalnego wielorodzinnego na podstawie analizy wielokryterialnej, 2021
- Leszczyńska S.: Analiza technologiczno-ekonomiczna rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych zastosowanych w przykładowym budynku mieszkalnym wielorodzinnym, 2019
- Azaryan S.: Mechanistyczne projektowanie konstrukcji nawierzchni drogowych z uwzględnieniem nowych kryteriów zmęzeniowych, 2019
- Soszyński P.: Wybór systemu powłokowej hydroizolacji fundamentu z zastosowaniem metod analizy wielokryterialnej, 2019
- Farbiś R.: Projekt wzmocnienia konstrukcji nawierzchni drogowej metodą Mechanistyczną, 2019
- Sabak K.: Analiza wad i zalet różnych wariantów wzmocnienia podłoża konstrukcji nawierzchni kolejowej w określonych warunkach gruntowo-wodnych, 2019
- Kutyna J.: Analiza MES nawierzchni podatnych i półsztywnych z uwzględnieniem niesprężystych własności podłoża, 2018
- Stokowski K.: Wpływ prędkości projektowej modernizowanej linii kolejowej na zakres przebudowy infrastruktury kolejowej i drogowej, 2018
- Rybicki T.: Analiza stateczności nasypu kolejowego przy uwzględnieniu sił poziomych w świetle Eurokodu, 2018
- Śmigielski M.: Weryfikacja układu torowego w tramwajowym węźle rozjazdowym przy zastosowaniu optymalizacji algorytmem genetycznym, 2018





- Józefiak K., Zbiciak A., Brzeziński K., Maślakowski M.: A Novel Approach to the Analysis of the Soil Consolidation Problem by Using Non-Classical Rheological Schemes. Applied Sciences, 2021
- Tutka P., Nagórski R., Złotowska M., Rudnicki M.: Sensitivity Analysis of Determining the Material Parameters of an Asphalt Pavement to Measurement Errors in Backcalculations, Materials, 2021
- Brzeziński K., Józefiak K., Zbiciak A.: On the interpretation of shear parameter uncertainty with a linear regression approach. Measurement, 2021,
- Brzeziński, K., Michalowski, R.L., Diffused arching in embankments supported by non-compliant columns with capping beams, Computers and Geotechnics, 2021
- Kraśkiewicz C., Zbiciak A., Wasilewski K., Al Sabouni-Zawadzka A.: Laboratory Tests and Analyses of the Level of Vibration Suppression of Prototype under Ballast Mats (UBM) in the Ballasted Track Systems. Materials, 2021
- Opara K., Brzeziński K., Bukowicki M., Kaczmarek-Majer K. , Road roughness estimation through smartphone measured acceleration. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine
- Józefiak K., Michalczyk R.: Prediction of Structural Performance of Vinyl Ester Polymer Concrete Using FEM Elasto-Plastic Model, Materials, 2020,



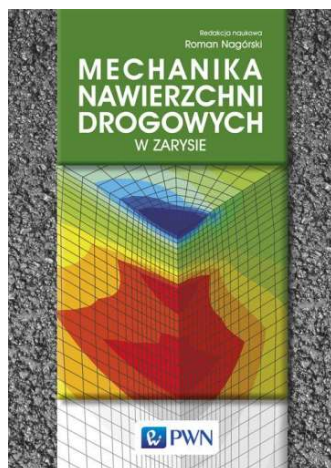
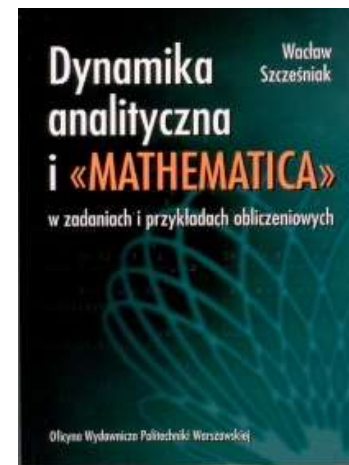
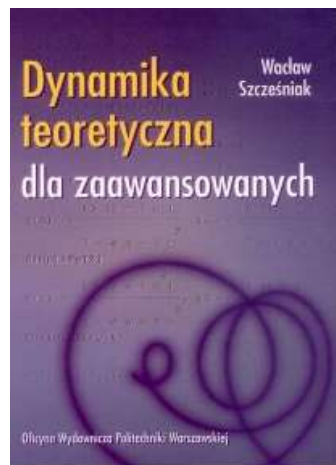


- Złotowska M., Nagórski R., Radziszewski P., Sarnowski M., Tutka P.: Flexible pavement rehabilitation with continuously reinforced concrete slab with HFRP bars - mechanistic analysis, MATEC Web of Conferences, 2019
- Zbiciak A., Michalczyk R., Brzeziński K.: Time-temperature superposition for viscoelastic materials with application to asphalt-aggregate mixes. International Journal of Environmental Science and Technology, 2019
- Ataman M., Amplification Factors in the Case of Beam Under Moving Force – Theoretical Analysis, Archives of Civil Engineering, vol. 65, nr 1, 2019
- Ataman M., Impact of Vlasov Foundation Parameters on the Deflection of a Non-uniform Timoshenko Beam Subject to a Moving Load, Periodica Polytechnica-Civil Engineering, 2019
- Zbiciak A., Graczyk M., Józefiak K., Brzeziński K., Michalczyk R.: Assessment of the impact of a concrete slab geometrical parameters on the distribution of stresses in the road pavement structure. Roads and Bridges - Drogi i Mosty 18 (2019)



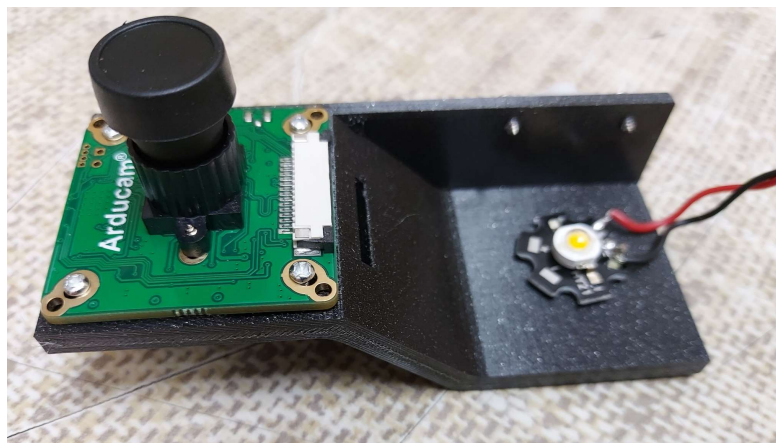
PUBLIKACJE

Monografie



LABORATORIUM

Najnowsze nabytki: narzędzia, komponenty elektroniczne i inne części do szybkiego prototypowania w tym drukarkę do druku 3D



PROJEKTY BADAWCZE I GRANTY

- Nowoczesne metody rozpoznawania podłoża gruntowego w drogownictwie (2015-2018)
- Zaprojektowanie zoptymalizowanej konstrukcji jezdni (2017)
- POIR.04.01.01-00-0030/17 Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i środowiska przed hałasem od ruchu kolejowego
- POIR.04.01.01-00-0029/17 Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i budynków przed drganiami od ruchu kolejowego



PROJEKTY BADAWCZE I GRANTY

- BEOND POB II: Optymalizacja procesu zagęszczania materiałów sypkich wspomagana modelowaniem numerycznym (2022-2023)
- Badania laboratoryjne wibroizolacyjnych mat podtorowych - Część 1: Identyfikacja statycznych i dynamicznych charakterystyk sprężystych wibroizolacyjnych mat podtorowych; Część 2: Badanie wytrzymałości zmęczeniowej wibroizolacyjnych mat podtorowych; Część 3: Badanie odporność na warunki środowiskowe wibroizolacyjnych mat podtorowych
- Badania laboratoryjne statycznego modułu sztywności podkładek USP na bazie gumy ECO EPDM zgodnie z normą EN 16730 - część 1
- Potencjał rozwoju i wdrażania w Polsce technologii kolei próżniowej w kontekście społecznym, technicznym, ekonomicznym i prawnym - projekt realizowany przez Wydział Transportu PW



INNE OPRACOWANIA NAUKOWE I TECHNICZNE

- Opracowanie naukowo-badawcze dotyczące posadowienia fundamentu pod maszyną typu Unholtz-Dickie H560 - Obliczenia sprawdzające konstrukcje fundamentu z ewentualnym określeniem wzmocnienia
- Analiza MES płyt betonowych do zaprojektowania konstrukcji nawierzchni betonowej autostrady A1 w technologii whitetopping z poszerzeniami oraz nowej konstrukcji nawierzchni
- Określenie stanów granicznych maksymalnych obciążeń na gazociąg DN500 relacji Poznań-Rogoźno na odcinku w miejscowości Murowana Goślina
- Ekspertyza techniczna dotycząca stanu technicznego szklanego dachu budynku centrum handlowego "Złote Tarasy" zwanego dalej „Kopułą”, przy ul. Złotej 59, 00-120 w Warszawie – Instytut Inżynierii Budowlanej
- Opinia autorska w sprawie o sygn. akt XVI GC 1166/16



INNE OPRACOWANIA NAUKOWE I TECHNICZNE

- Analiza obliczeniowa konstrukcji nawierzchni podatnych według katalogu wzorcowych konstrukcji dla województwa śląskiego – 2019 r.
- Analiza obliczeniowa dla porównywania trwałości zmęczeniowych pakietów bitumicznych o różnych grubościach w konstrukcji nawierzchni podatnych posadowionych na różnych podłożach celem optymalizacji stosowania na drogach wojewódzkich województwa śląskiego – 2020 r.

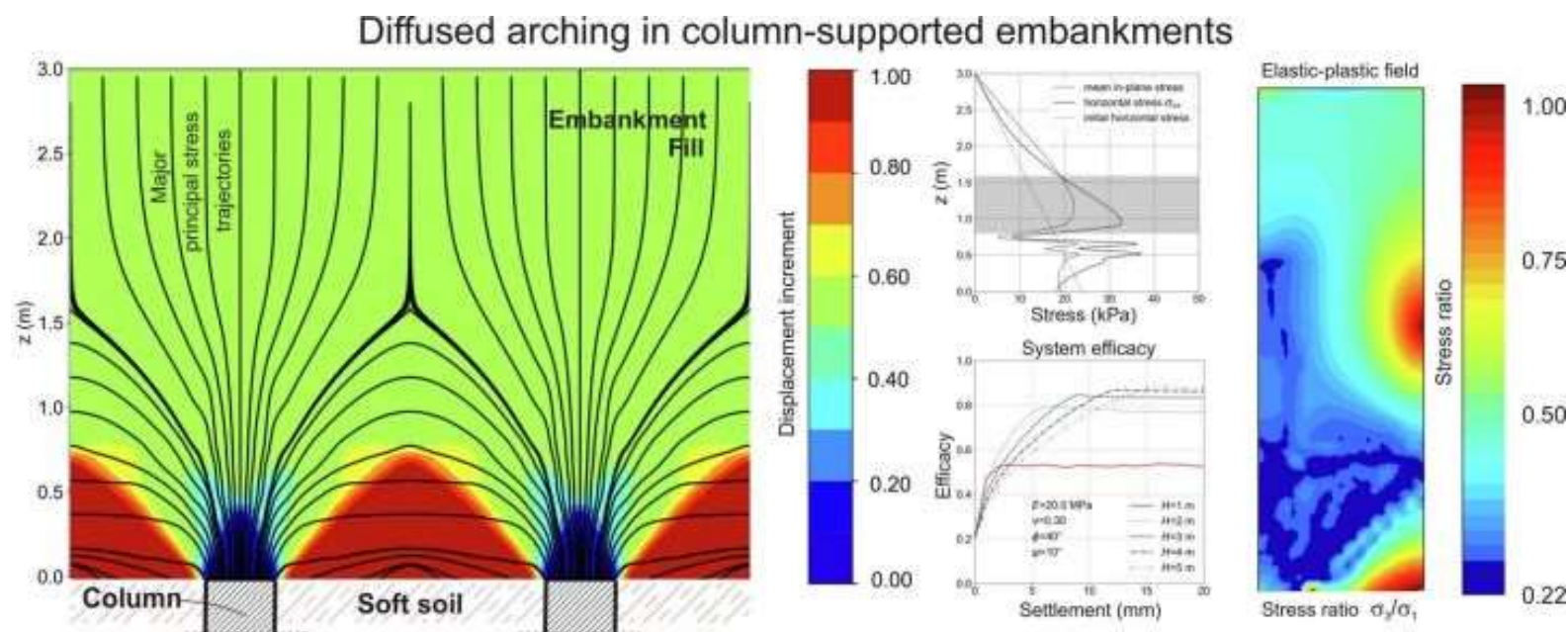


STAŻE ZAGRANICZNE

dr inż. Karol Brzeziński:

Staż Fundacji Dekabana 2019-2020

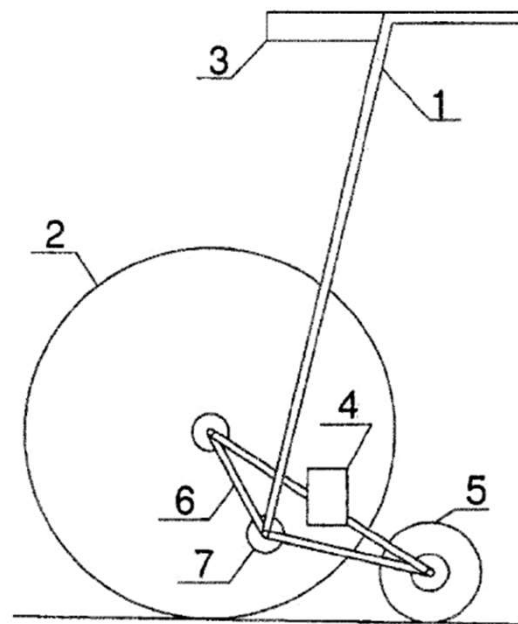
w University of Michigan, Supervisor: prof. R.L. Michalowski



Wzór użytkowy

Drogomierz z funkcją pomiaru wysokości - dr inż. Karol Brzeziński

Pomiar odległości jest wykonywany metodą kontaktową przez obliczenie obrotu koła pomiarowego za pomocą cyfrowego miernika odległości. Zmiana pochylenia inklinometru odpowiada zmianie pochylenia terenu. Dane z pomiaru są przetwarzane przez mikrokontroler a wyniki wyświetlane na wyświetlaczu. Pochylenie czujnika związane jest prostą zależnością geometryczną z pochyleniem terenu wyznaczonym przez punkty kontaktu urządzenia z terenem. Znając pochylenie i odległość, można wyznaczyć zmianę wysokości.



DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWA POZA PW

prof. dr hab. inż. Artur Zbiciak

- sekretarz Sekcji Inżynierii Komunikacyjnej KILiW PAN
- członek Prezydium Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej
- członek Rady Naukowo-Programowej - Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, [OCHRONA ŚRODOWISKA I ZASOBÓW NATURALNYCH], ISSN 1230-7831, e-ISSN 2353-8589
- członek Komitetu Redakcyjnego - Строительство: наука и образование, ISSN 2305-5502

dr inż. Cezary Kraśkiewicz

- członek Komitetu Technicznego ds. kolejnictwa (KT 138) jako reprezentant Politechniki Warszawskiej
- członek Grupy Projektowej ds. Torów (GP 966) w ramach Komitetu Technicznego ds. kolejnictwa (KT 138) jako reprezentant Politechniki Warszawskiej
- delegat PKN do prac w CEN/TC 256 (Railway Applications)/SC 1 (Infrastructure) ds. Infrastruktury



DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWA POZA PW

dr inż. Marek Rudnicki

- Polskie Towarzystwo Zastowań Elektromagnetyzmu – członek sieci badawczej

dr inż. Karol Brzeziński

- Polski Komitet Geotechniczny, Podkomitet Budownictwa Podziemnego
- RILEM (The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials), w tym członek komitetu technicznego PCC (Pumping of Concrete)



INNE OSIĄGNIĘCIA

prof. dr hab. inż. Roman Nagórski

- Nagroda indywidualna I stopnia JM Rektora PW za całokształt dorobku w 2020 r.

dr hab. inż. Magdalena Ataman

- Nagroda indywidualna II stopnia JM Rektora PW za osiągnięcia naukowe w 2020 r.
- Nagroda indywidualna II stopnia JM Rektora PW za osiągnięcia naukowe w latach 2016-2017

dr inż. Rafał Michalczyk, dr inż. Cezary Kraśkiewicz, dr inż. Kazimierz Józefiak

- Wyróżnienie rozpraw doktorskich przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport



INNE OSIĄGNIĘCIA

- Nagroda zespołowa II stopnia JM Rektora PW za osiągnięcia naukowe w latach 2019-2020 - Zbiciak A., Brzeziński K., Michalczyk R., Kraśkiewicz C., Maślakowski M., Józefiak K.
- Nagroda zespołowa I stopnia JM Rektora PW za osiągnięcia naukowe w latach 2017-2018 - Zbiciak A., Maślakowski M., Brzeziński K., Józefiak K., Kraśkiewicz C.
- Nagroda w konkursie „inNOWacje – #kolej2023” za projekt: „Innowacyjne prefabrykaty betonowe dla polskiej kolei zmniejszające poziom zanieczyszczenia powietrza” - Kraśkiewicz C., Jackiewicz-Rek W., Chilmon K., Długołęcki A. (2019)





**Wydział
Inżynierii Lądowej**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Dziękujemy za uwagę

Seminarium IDiM
19 stycznia 2022 r.





**Wydział
Inżynierii Lądowej**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Działalność Zakładu MTNDS w obszarze Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej

**Politechnika
Warszawska**



Wpływem ruchomych obciążeń

M. Ataman, „Analiza drgań nawierzchni ...”, Warszawa: OWPW, 2019.

Monografia:

Analiza drgań nawierzchni i podtorza pod wpływem obciążeń ruchomych z dużymi prędkościami

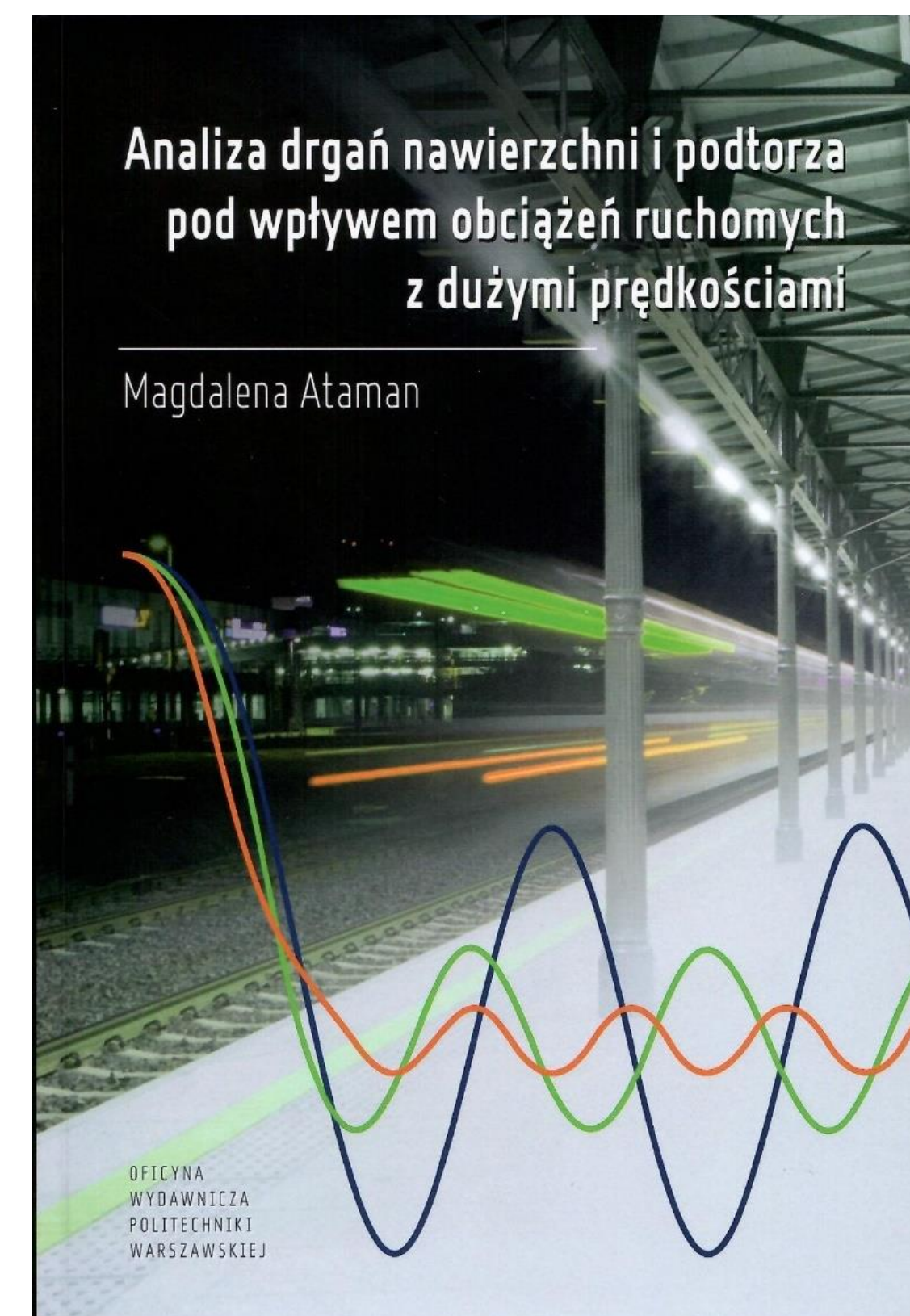
Dynamika konstrukcji inżynierskich:

- Obciążenia ruchome na konstrukcjach inżynierskich
- Obciążenia uderowe i impulsowe na konstrukcjach inżynierskich

Przedmiot badań: nawierzchnia i podtorze kolejowe poddane obciążeniom dynamicznym wynikającym z ruchu pociągów z dużymi prędkościami.

Cel: opracowanie modeli obliczeniowych i analiza dynamicznego oddziaływania pojazdów szynowych na konstrukcję toru i podtorza metodami analitycznymi

**Politechnika
Warszawska**



M. Ataman, „Analiza drgań nawierzchni i podtorza pod wpływem obciążeń ruchomych z dużymi prędkościami”, ISBN: 978-83-7814-905-7, OWPW, Warszawa 2019

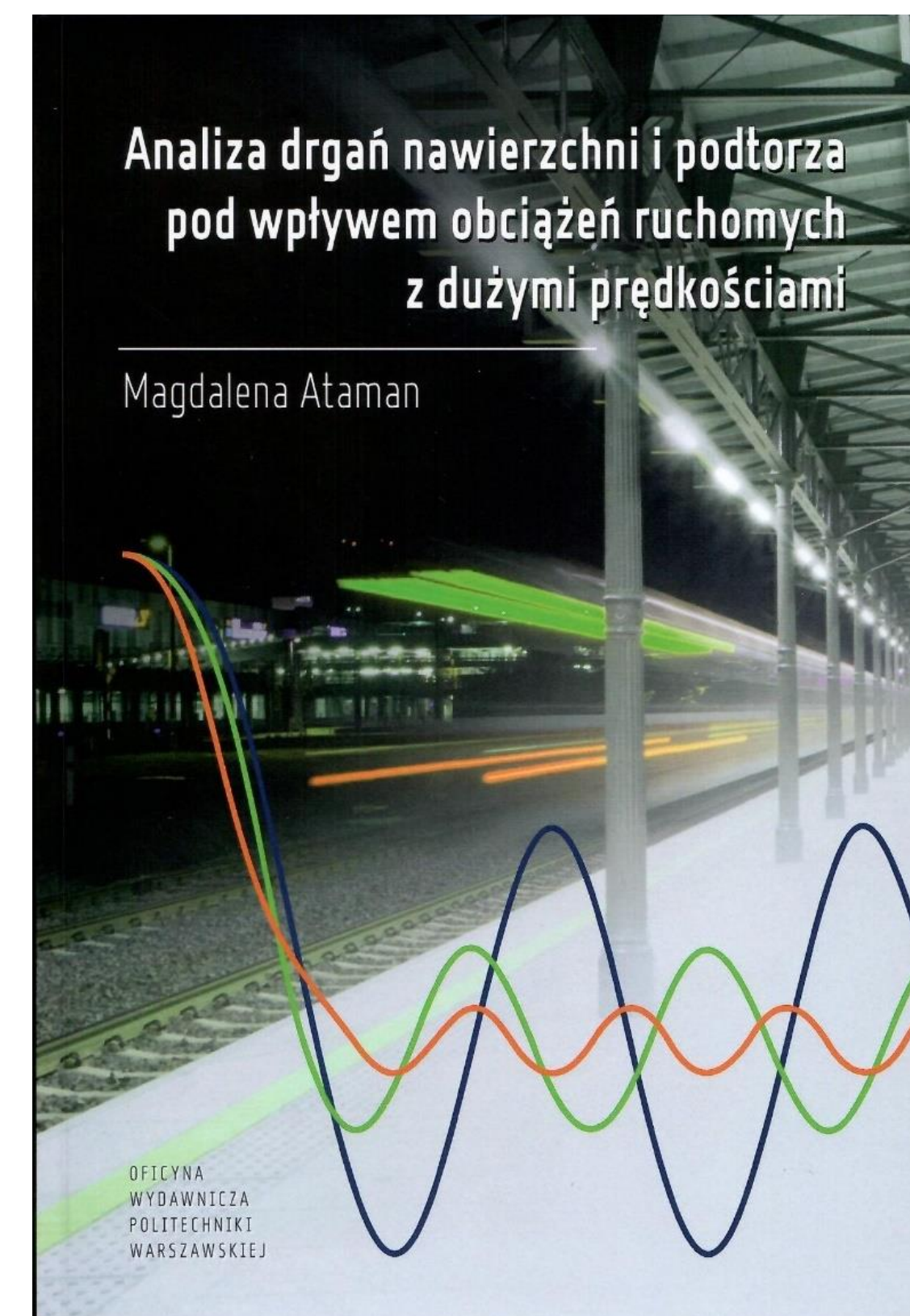


Wpływem ruchomych obciążeń

M. Ataman, „Analiza drgań nawierzchni ...”, Warszawa: OWPW, 2019.

Metodyka badań:

- przeanalizowanie dostępnych wyników teoretycznych i doświadczalnych
- opracowanie i wybór modeli umożliwiających analizę metodami analitycznymi i numerycznymi
- przeanalizowanie drgań wymuszonych nawierzchni i podtorza
- zbadanie stateczności dynamicznej toru
- przeprowadzenie obliczeń komputerowych w przypadku różnych modeli nawierzchni i podtorza



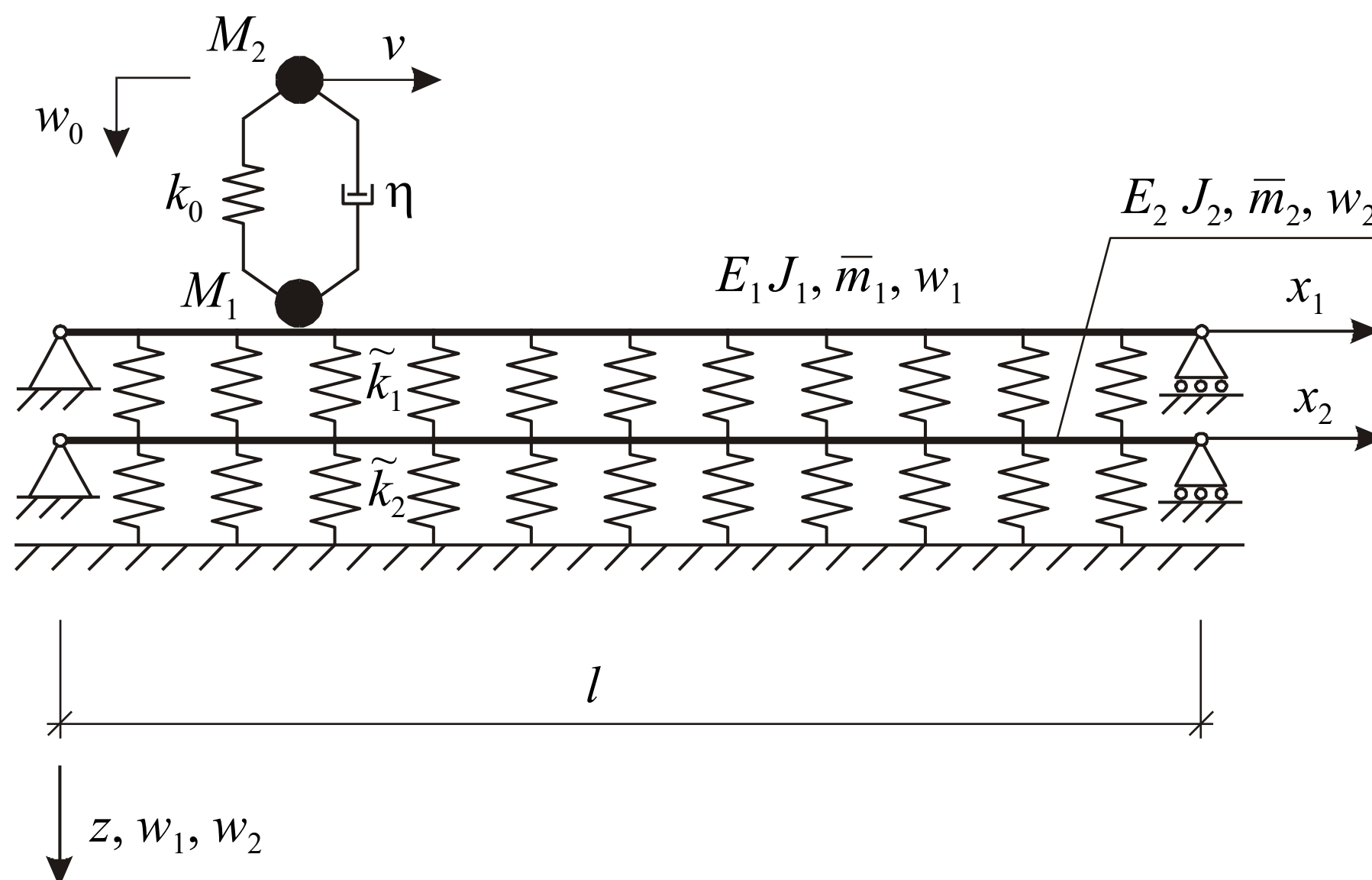
M. Ataman, „Analiza drgań nawierzchni i podtorza pod wpływem obciążeń ruchomych z dużymi prędkościami”, ISBN: 978-83-7814-905-7, OWPW, Warszawa 2019

Wpływem ruchomych obciążeń

M. Ataman, „Analiza drgań nawierzchni ...”, Warszawa: OWPW, 2019.

Obciążenia ruchome na konstrukcjach inżynierskich

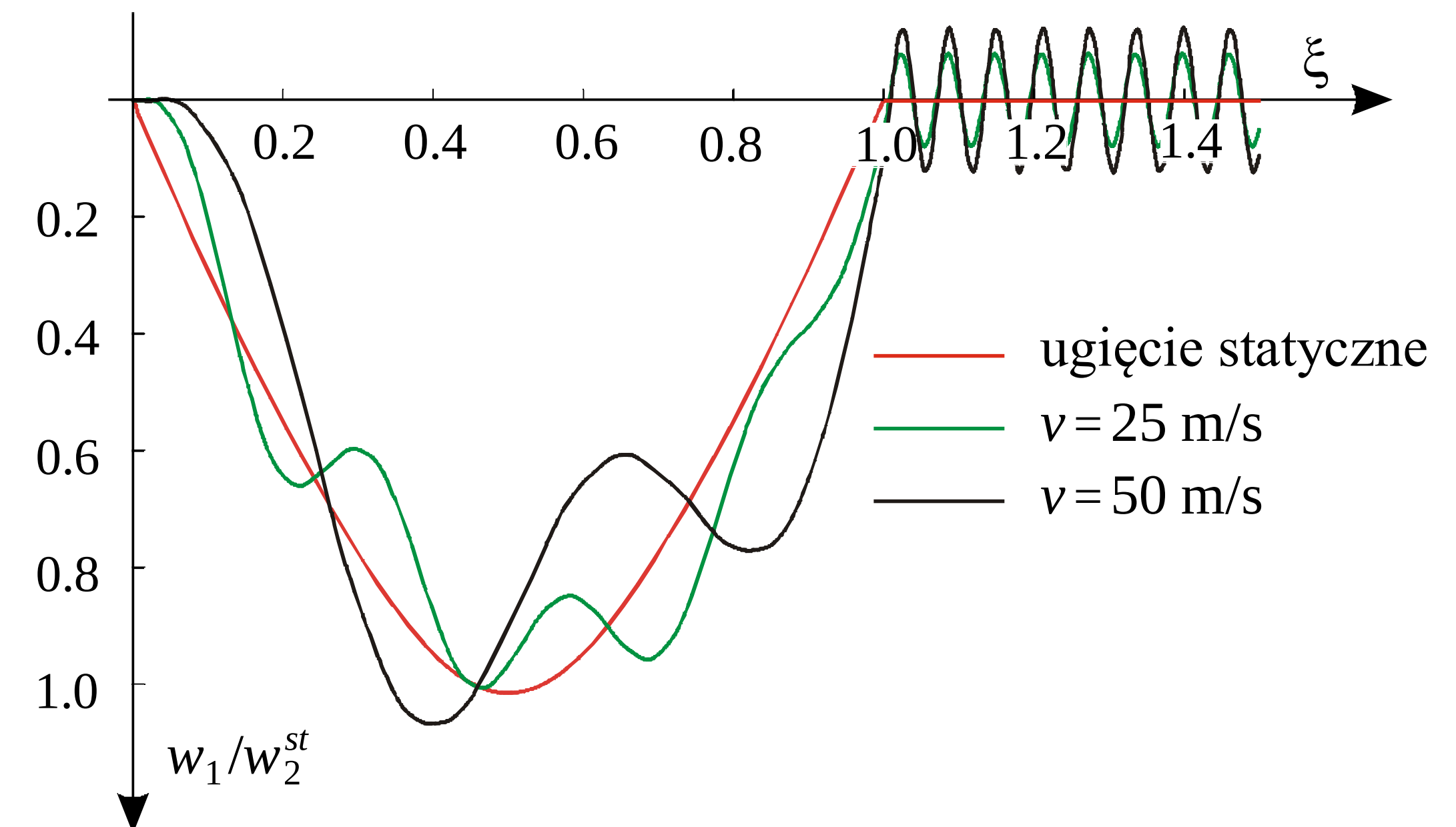
- Drgania belek nieskończenie długich na podłożu sprężystym Winklera wymuszone ruchomą siłą
- Belki z wypełnieniem sprężystym spoczywające na podłożu Winklera pod obciążeniem ruchomym
- Belka z wypełnieniem sprężystym spoczywające na podłożu Winklera obciążona ruchomym oscylatorem dwumasowym



Politechnika
Warszawska



Wpływ prędkości oscylatora na ugięcie środka górnej belki

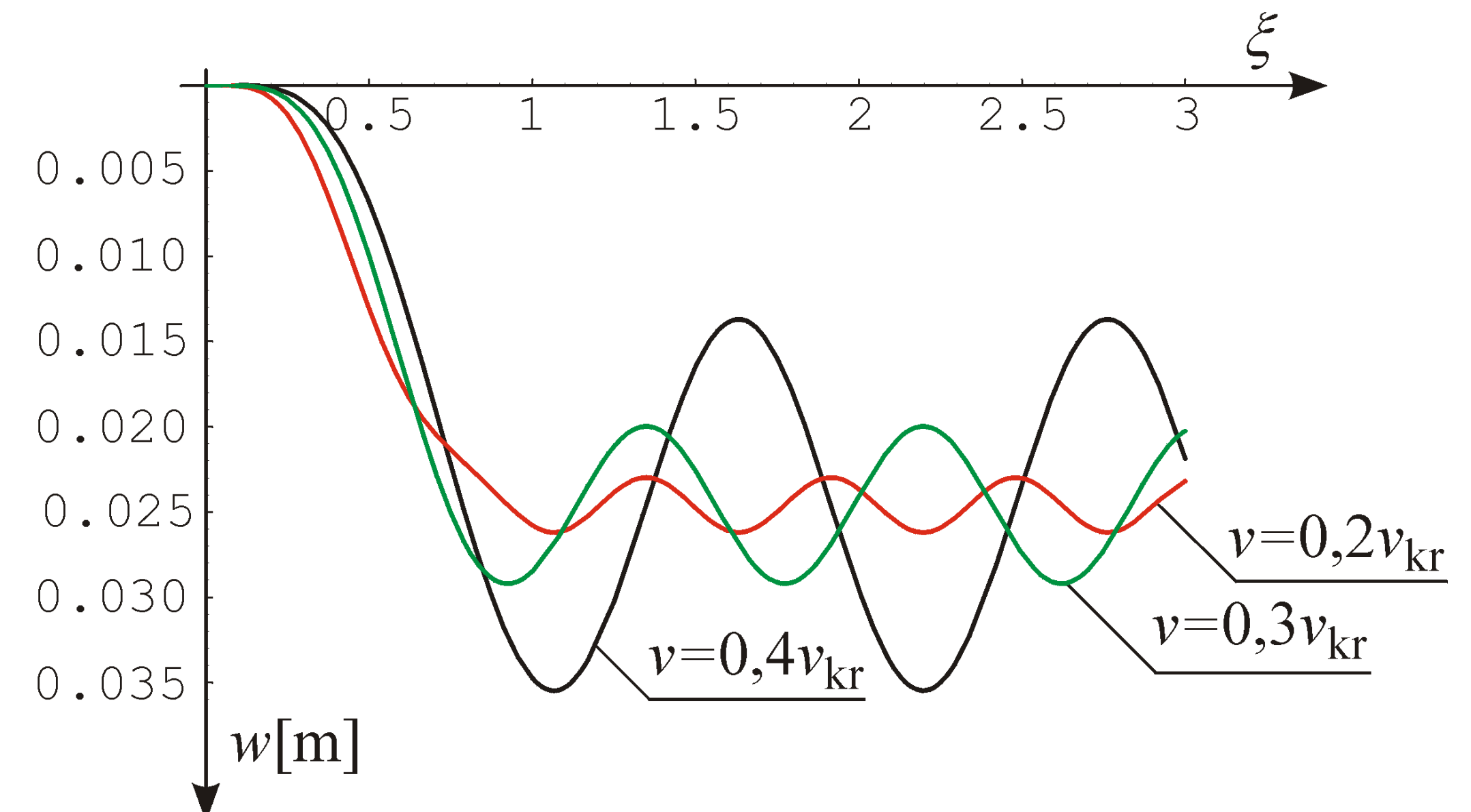
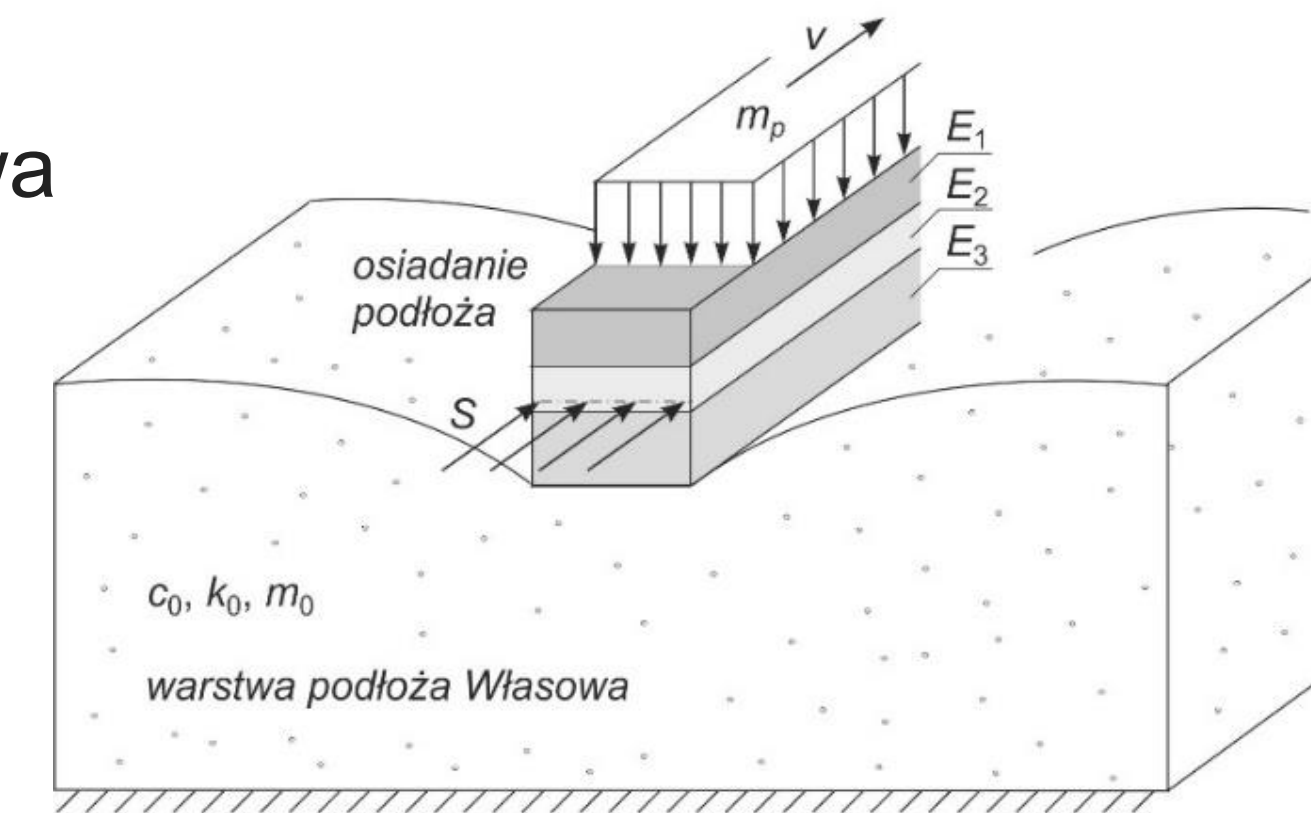
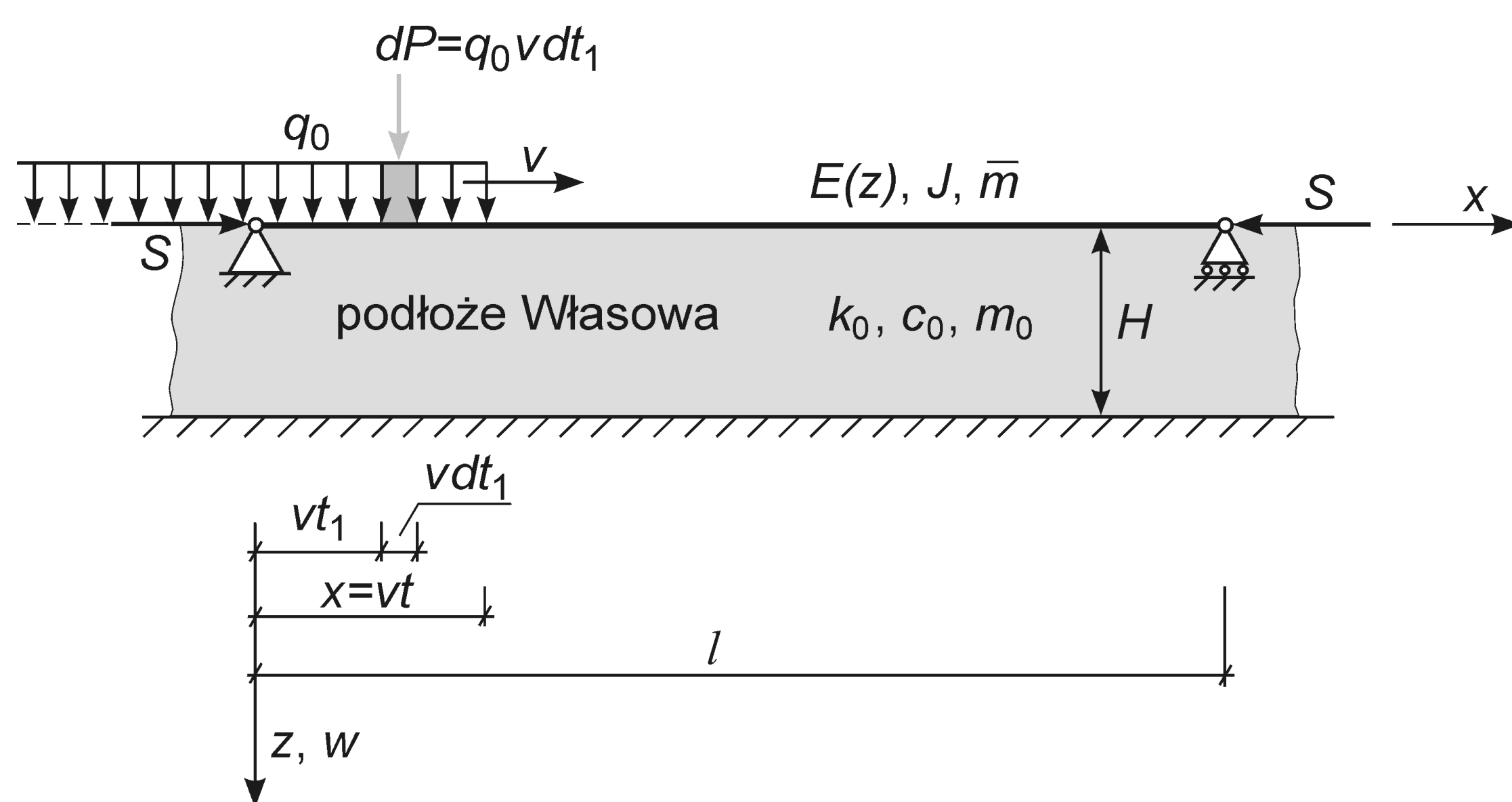


Wpływem ruchomych obciążeń

M. Ataman, „Analiza drgań nawierzchni ...”, Warszawa: OWPW, 2019.

Model toru kolejowego na podłożu inercyjnym

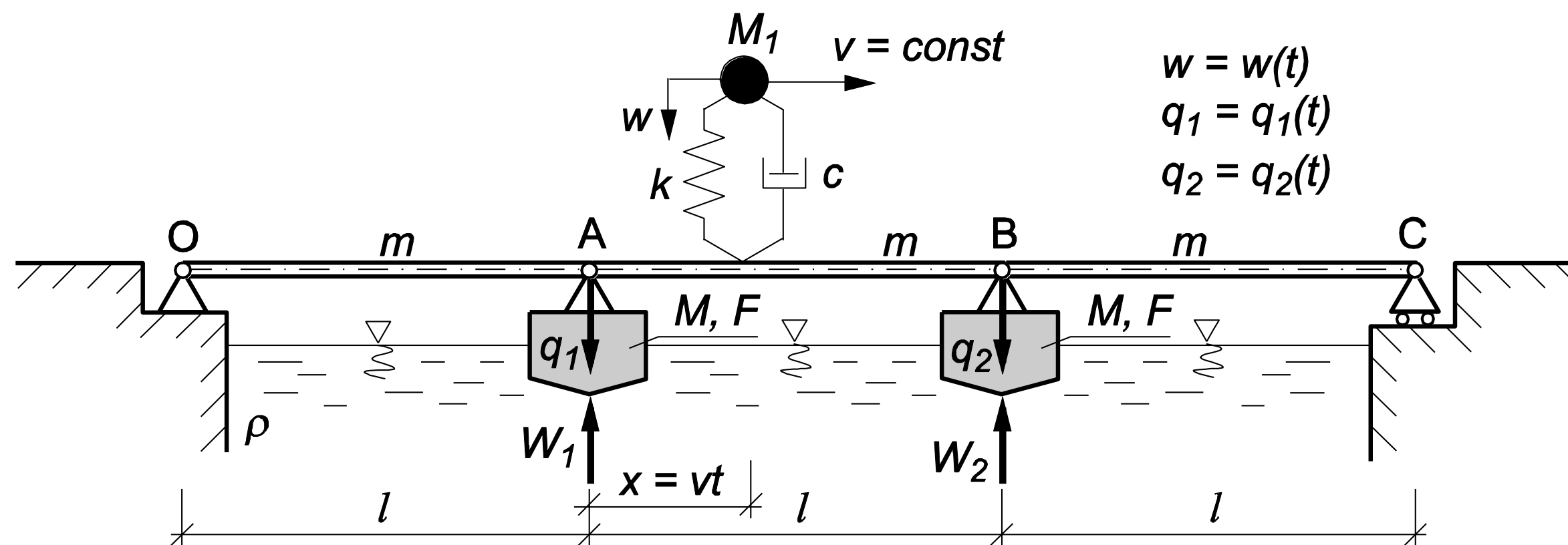
- Belka poprzecznie niejednorodna na trójparametrowym podłożu Własowa pod obciążeniem ruchomym
- Belka Bernouliego-Eulera na trójparametrowym podłożu inercyjnym obciążona ruchomą siłą
- Wpływ dużych sił osiowych na drgania niejednorodnej belki na trójparametrowym podłożu inercyjnym pod obciążeniem ciągłym



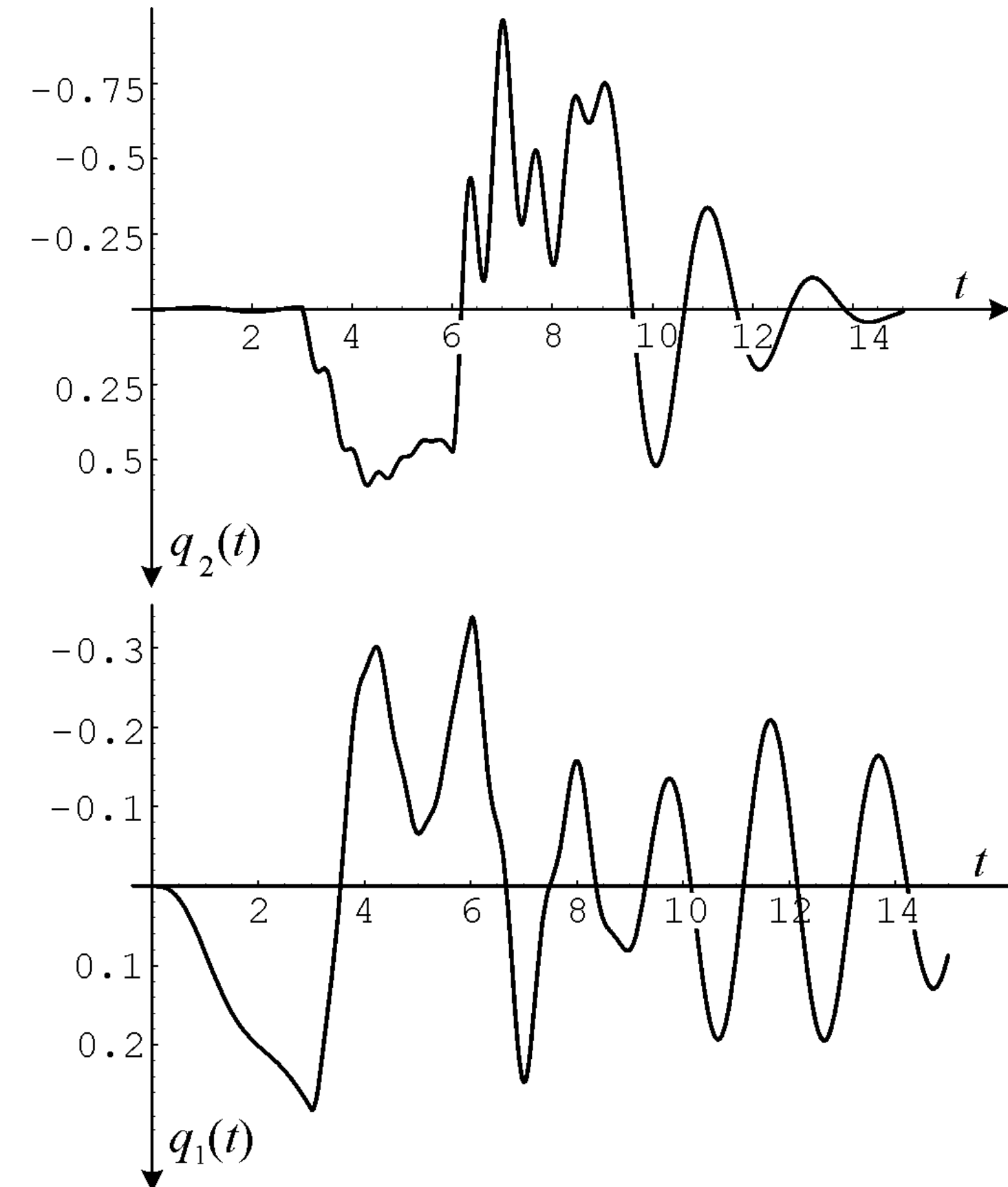
Wpływem ruchomych obciążeń

M. Ataman, „Analiza drgań nawierzchni ...”, Warszawa: OWPW, 2019.

Drgania mostu pontonowego wymuszone ruchomym oscylatorem



Schemat dynamiczny mostu pontonowego obciążonego ruchomym lepko-sprężystym oscylatorem jednomasowym



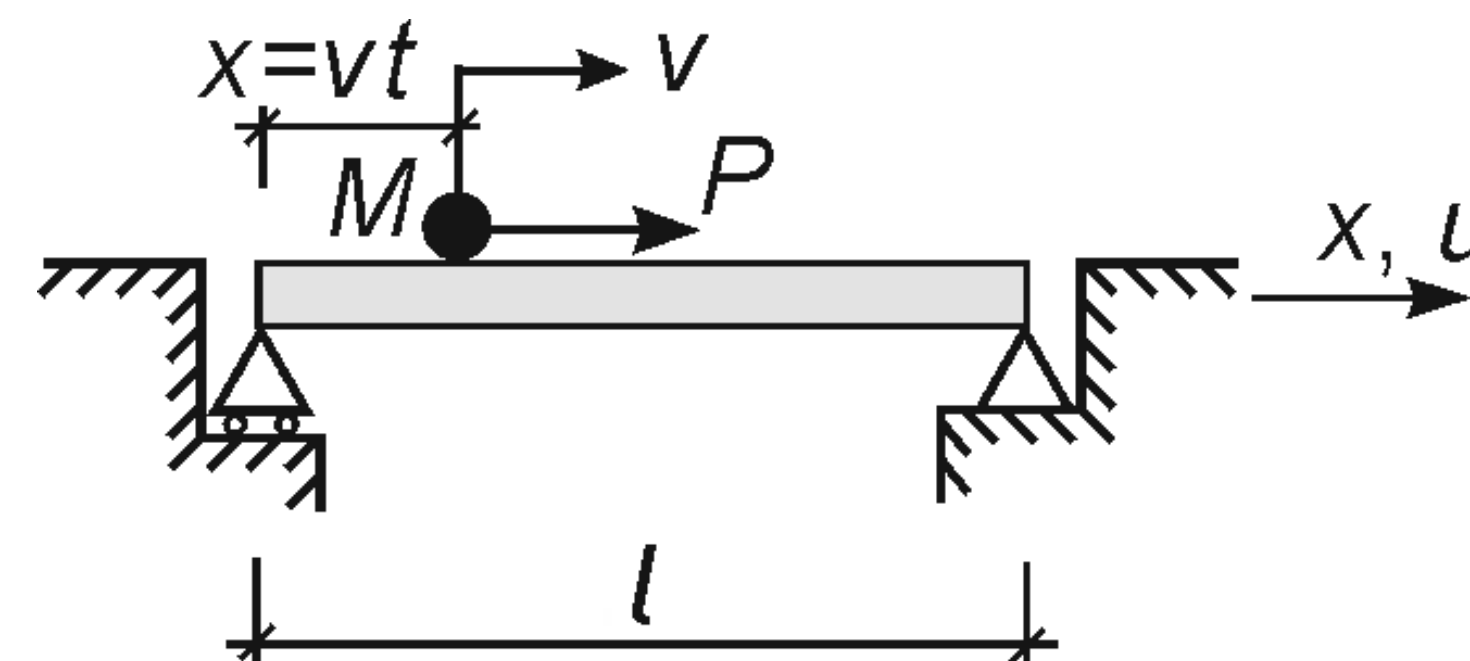
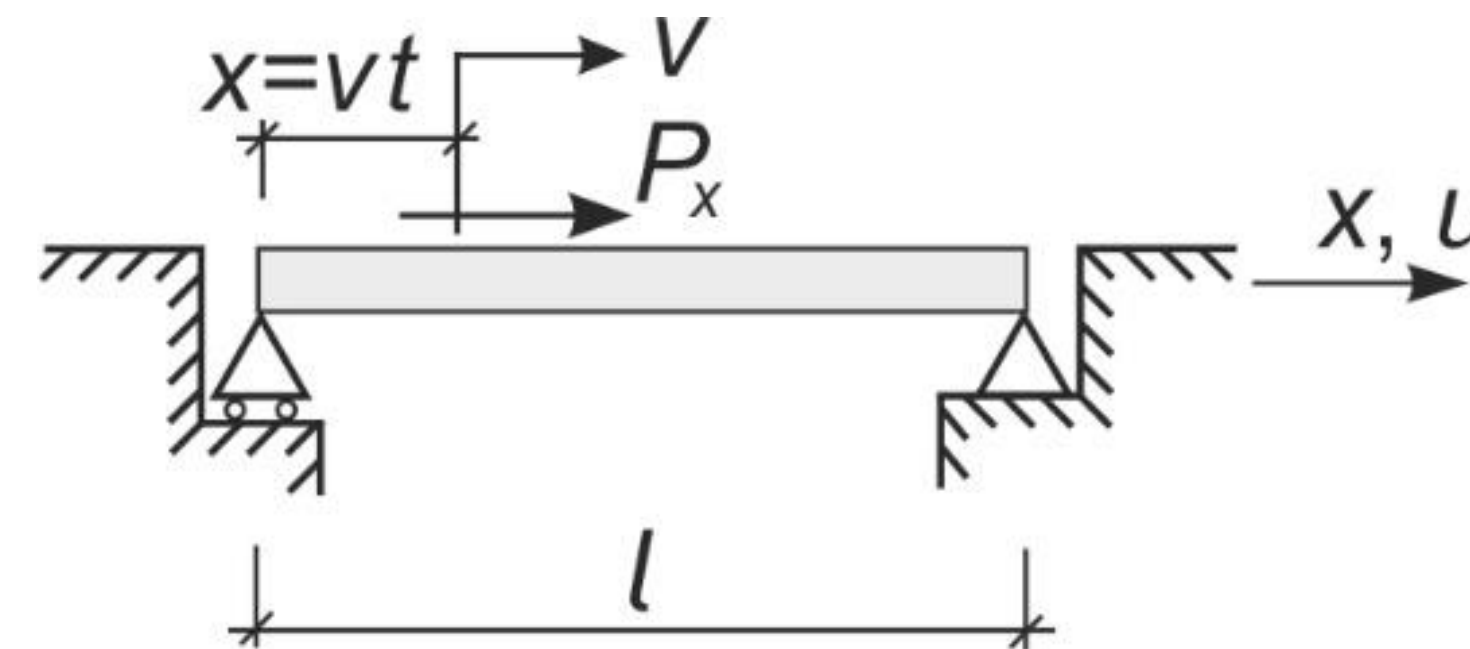
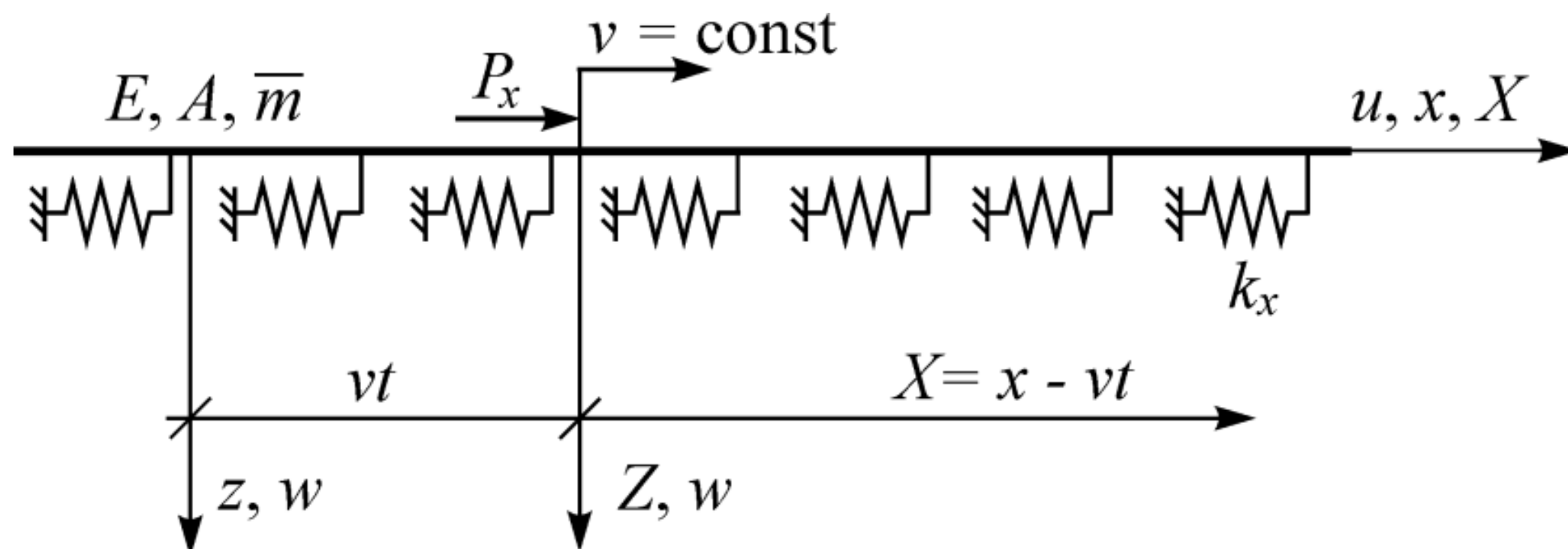
Wykresy przemieszczenia pionowego pontonów A i B z uwzględnieniem tłumienia drgań wymuszonych,

Wpływem ruchomych obciążeń

M. Ataman, „Analiza drgań nawierzchni ...”, Warszawa: OWPW, 2019.

Schematy nawierzchni komunikacyjnej (drogowej, kolejowej, lotniskowej) pod poziomym obciążeniem ruchomym

- Belka nieskończenie długa na podłożu sprężystym obciążona poziomą siłą ruchomą
- Belka swobodnie podparta obciążona poziomą siłą ruchomą bezinercyjną oraz inercyjną

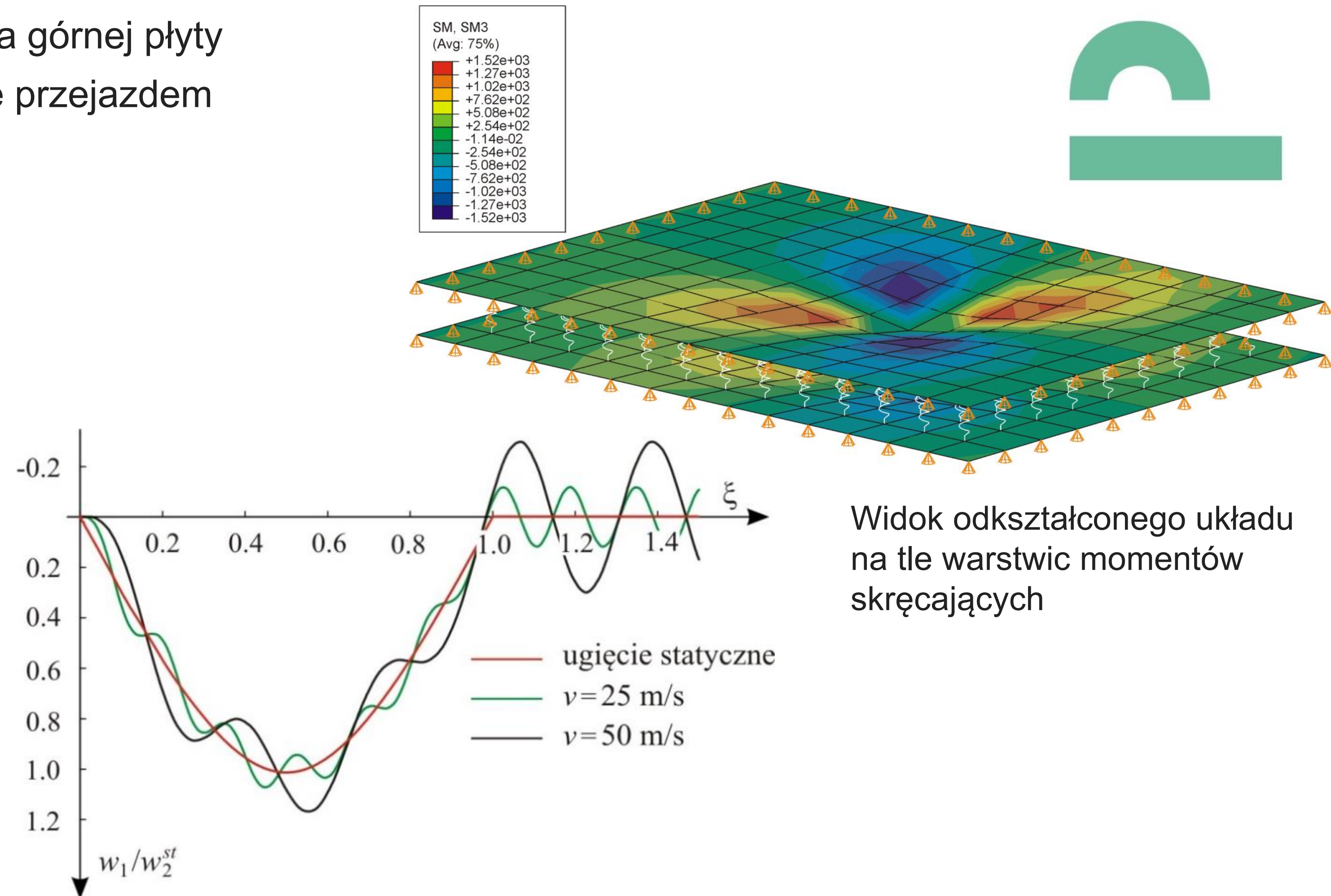
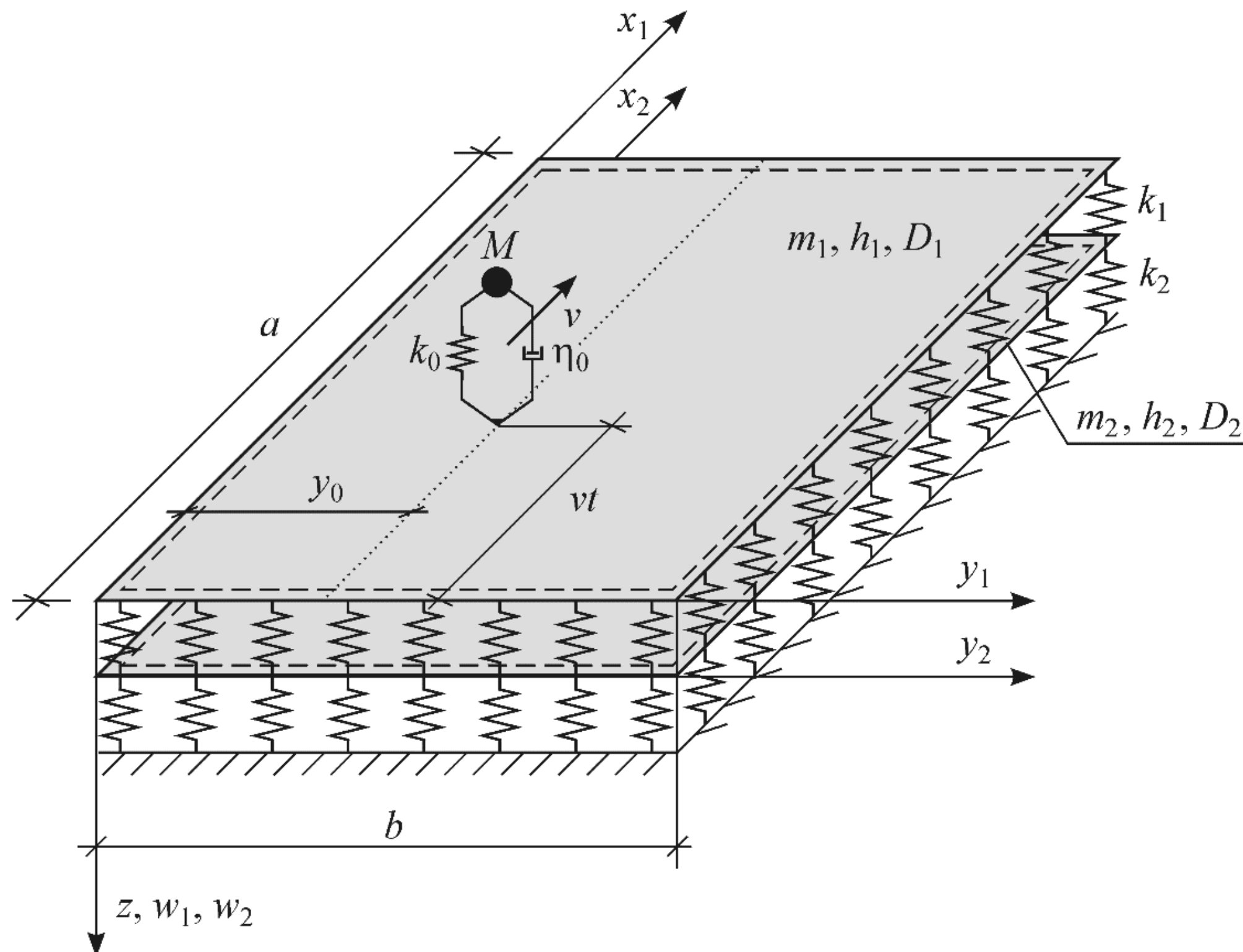


Wpływem ruchomych obciążeń

M. Ataman, „Analiza drgań nawierzchni ...”, Warszawa: OWPW, 2019.

Układ płyt z wypełnieniem sprężystym obciążony ruchomym oscylatorem lepko sprężystym

- Wpływ prędkości oscylatora na drgania środka górnej płyty
- Drgania środka górnej i dolnej płyty wywołane przejazdem oscylatora z prędkością 50 m/s

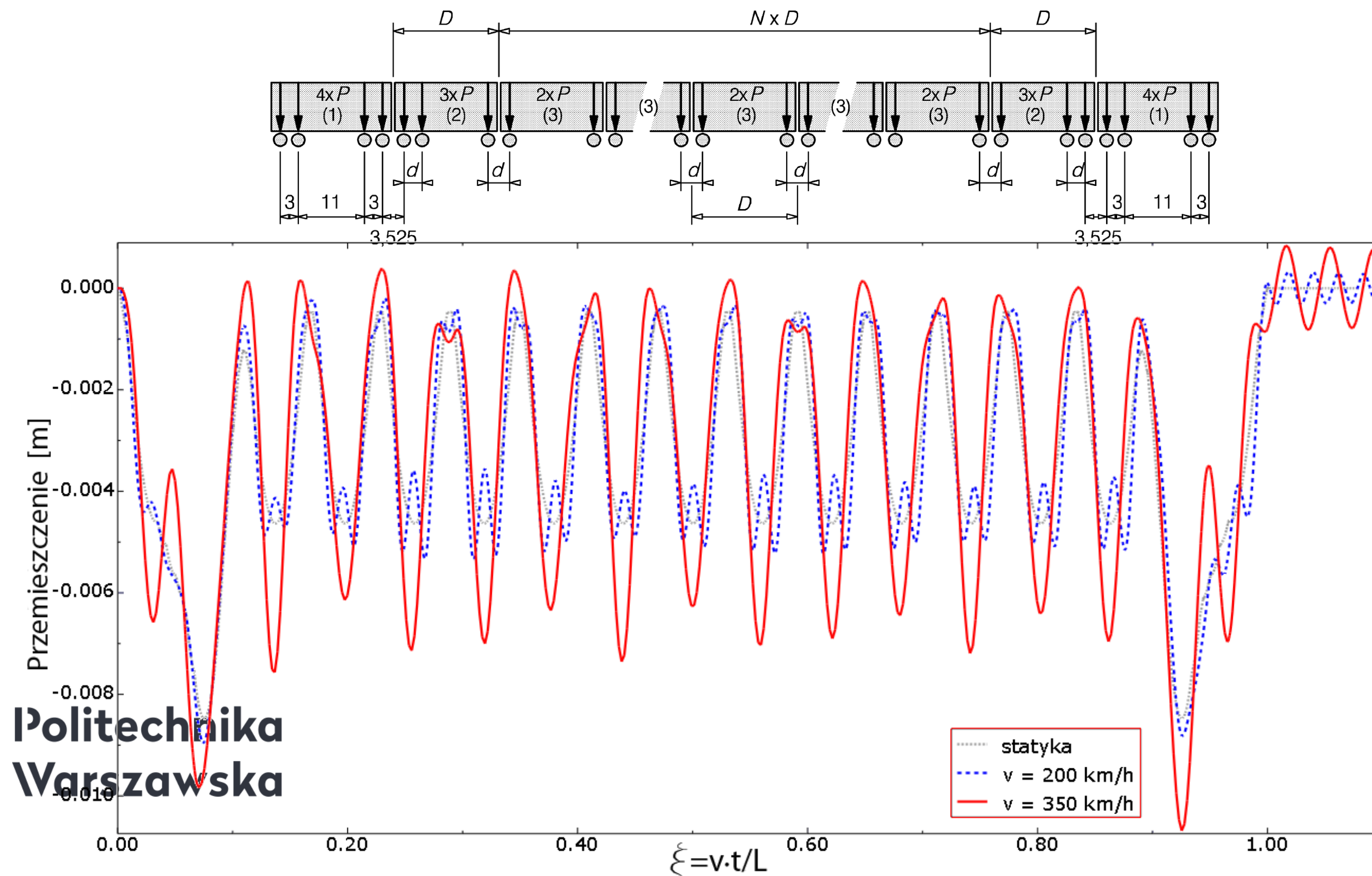


Wpływem ruchomych obciążeń

Zbiciak, Oleszek, Michalczyk, „Dynamika ortotropowego mostu kolejowego w świetle norm PN-EN”. Archives of Civil Engineering, 265-282.

Dynamika ortotropowego mostu kolejowego w świetle norm PN-EN.

- Schemat dynamicznego obciążenia kolejowego według wg PN-EN
- Przykładowe przebiegi czasowe dla przejazdu pociągu HSLM-A8: ugięcie środka przęsła $u[m]$.



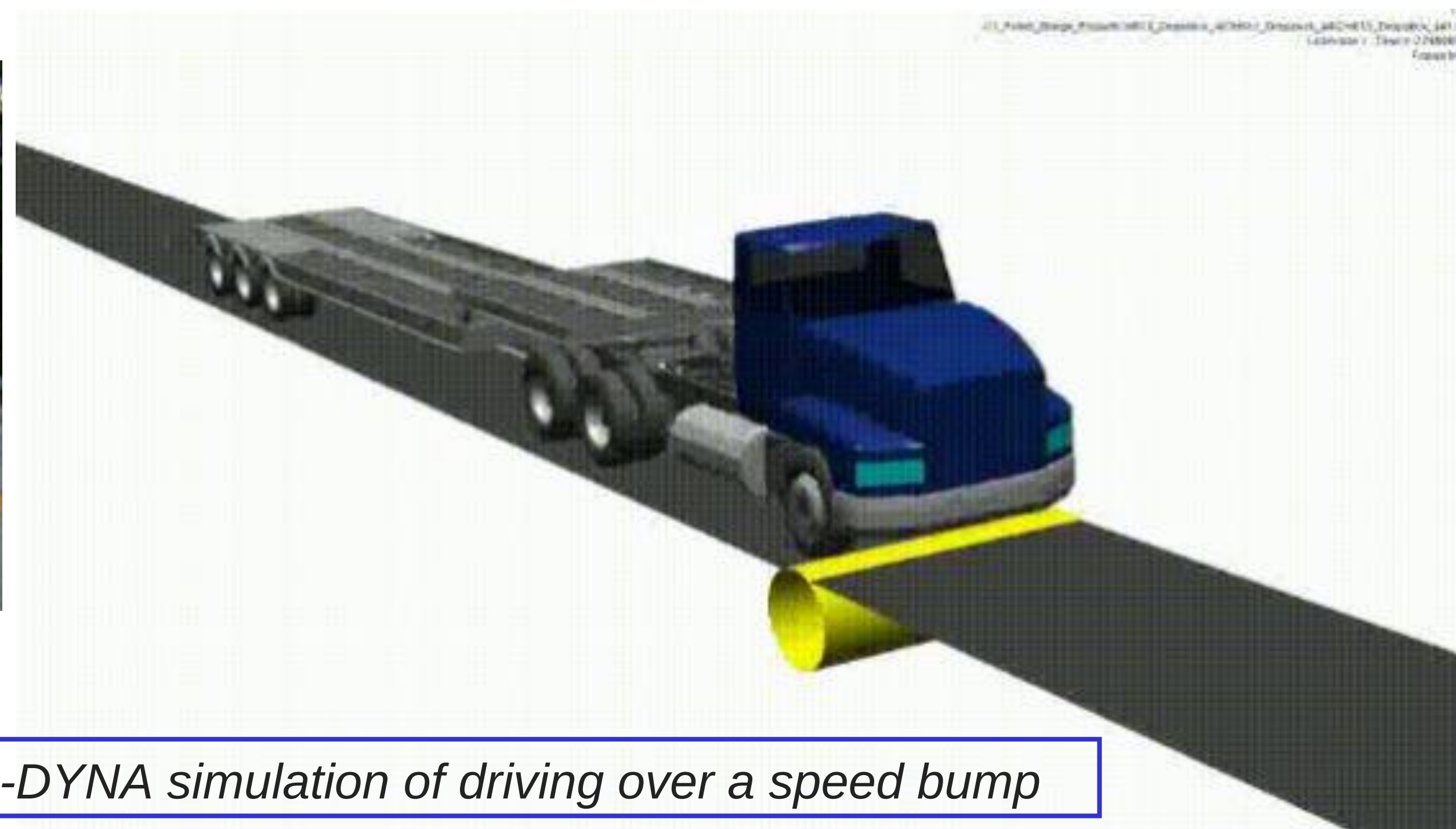
Zbiciak, A., Oleszek, R., & Michalczyk, R. (2016).
Dynamika ortotropowego mostu kolejowego w świetle
norm PN-EN. Archives of Civil Engineering, 265-282.

Wpływem ruchomych obciążeń

śp. dr hab. inż. Lesław Kwasniewski, Bridge: #500133 on US90 over Mosquito Creek – Western Florida

Analytical and Experimental Evaluation of Existing Florida DOT Bridges

- Badania polowe – statyczne i dynamiczne na obiekcie mostowym;
- Przejazd ciężarówki z naczepą $v=30-50$ mph;
- Modelowanie MES w środowisku Ls-Dyna i badania numeryczne;
- Współpraca z FAMU-FSU College of Engineering



**Politechnika
Warszawska**

LS-DYNA simulation of driving over a speed bump

Opis ruchu układu z więzami jednostronnymi

W. Grzesikiewicz, A. Zbiciak, "Opis ruchu układu mechanicznego z więzami jednostronnymi", OWPW, Warszawa 2018

Monografia:

Opis ruchu układu mechanicznego z więzami jednostronnymi

Przedmiot badań:

- Sformułowanie opisu ruchu układu mechanicznego z ograniczeniami jednostronnymi, wyznaczającymi dopuszczalny obszar w przestrzeni konfiguracji układu.
- Zagadnienie służy do analizy ruchu i obciążeń powstających w maszynach konstrukcjach inżynierskich z ogranicznikami przemieszczeń.
- Uwagę skupiono na matematycznym opisie zagadnień związanych z oddziaływaniem więzów jednostronnych na ciała układu.
- Obciążenia udarowe i impulsowe na konstrukcjach inżynierskich



W. Grzesikiewicz, A. Zbiciak, "Opis ruchu układu mechanicznego z więzami jednostronnymi", OWPW, Warszawa 2018

Opis ruchu układu z więzami jednostronnymi

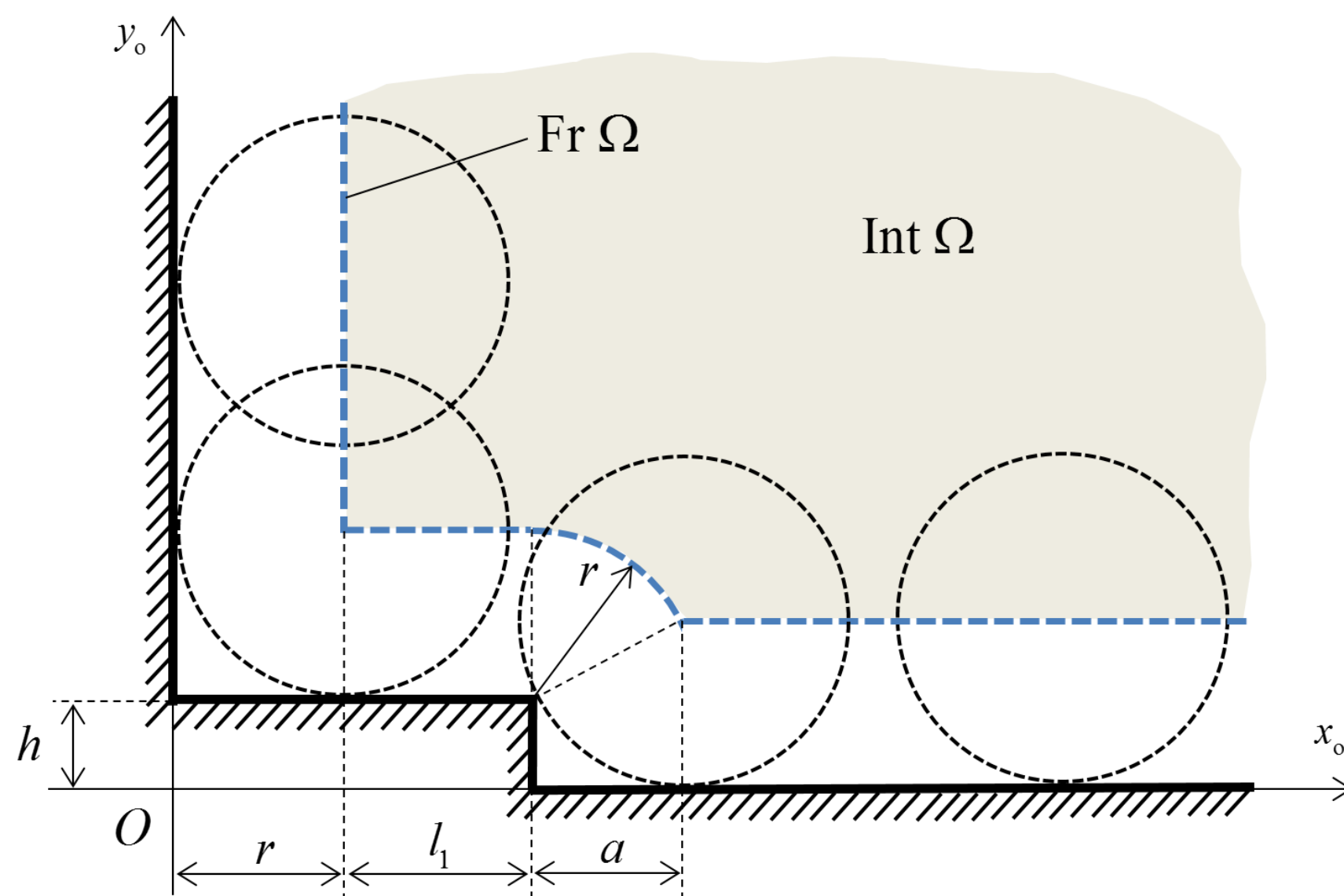
W. Grzesikiewicz, A. Zbiciak, "Opis ruchu układu mechanicznego z więzami jednostronnymi", OWPW, Warszawa 2018

Modelowanie i symulacja niegładkiego zagadnienia ruchu

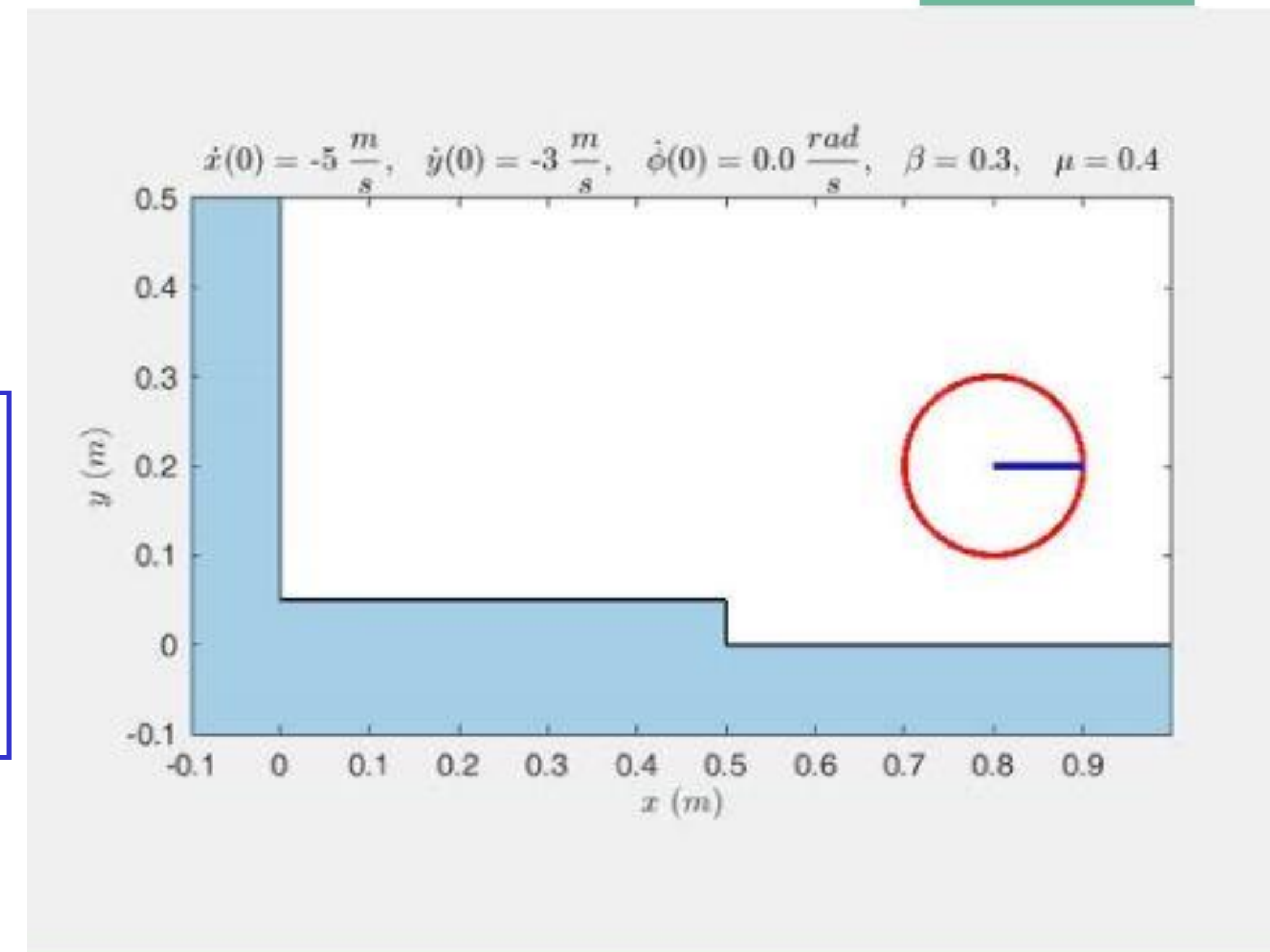
- Rozpatrywane opisy określające niegładkie zagadnienie ruchu przedstawione w syntetycznej postaci;

$$\ddot{X} = \mathcal{A}(X, \dot{X}), \quad \text{gdy } X \in \Omega, \dot{X} \in \mathcal{D}\Omega(X)$$

$$\dot{X}^+ = \mathcal{Z}(\dot{X}^-, X), \quad \text{gdy } X \in \text{Fr } \Omega, \dot{X}^- \notin \mathcal{D}\Omega(X)$$



Wykres zbioru Ω i jego granice oraz kilka szczególnych położeń, w których koło styka się z brzegiem ograniczeń

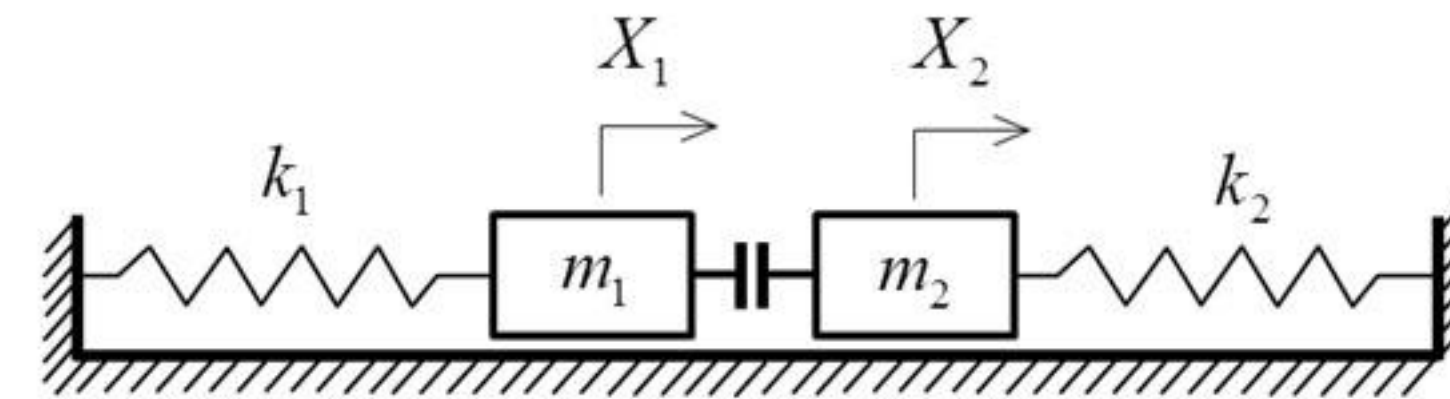


Opis ruchu układu z więzami jednostronnymi

W. Grzesikiewicz, A. Zbiciak, "Opis ruchu układu mechanicznego z więzami jednostronnymi", OWPW, Warszawa 2018

Modelowanie i symulacja niegładkiego zagadnienia ruchu

- Obliczenia reakcyjnego impulsu siły i prędkości po zderzeniu sprężysto-plastycznym (wg. hipotezy Newtona)

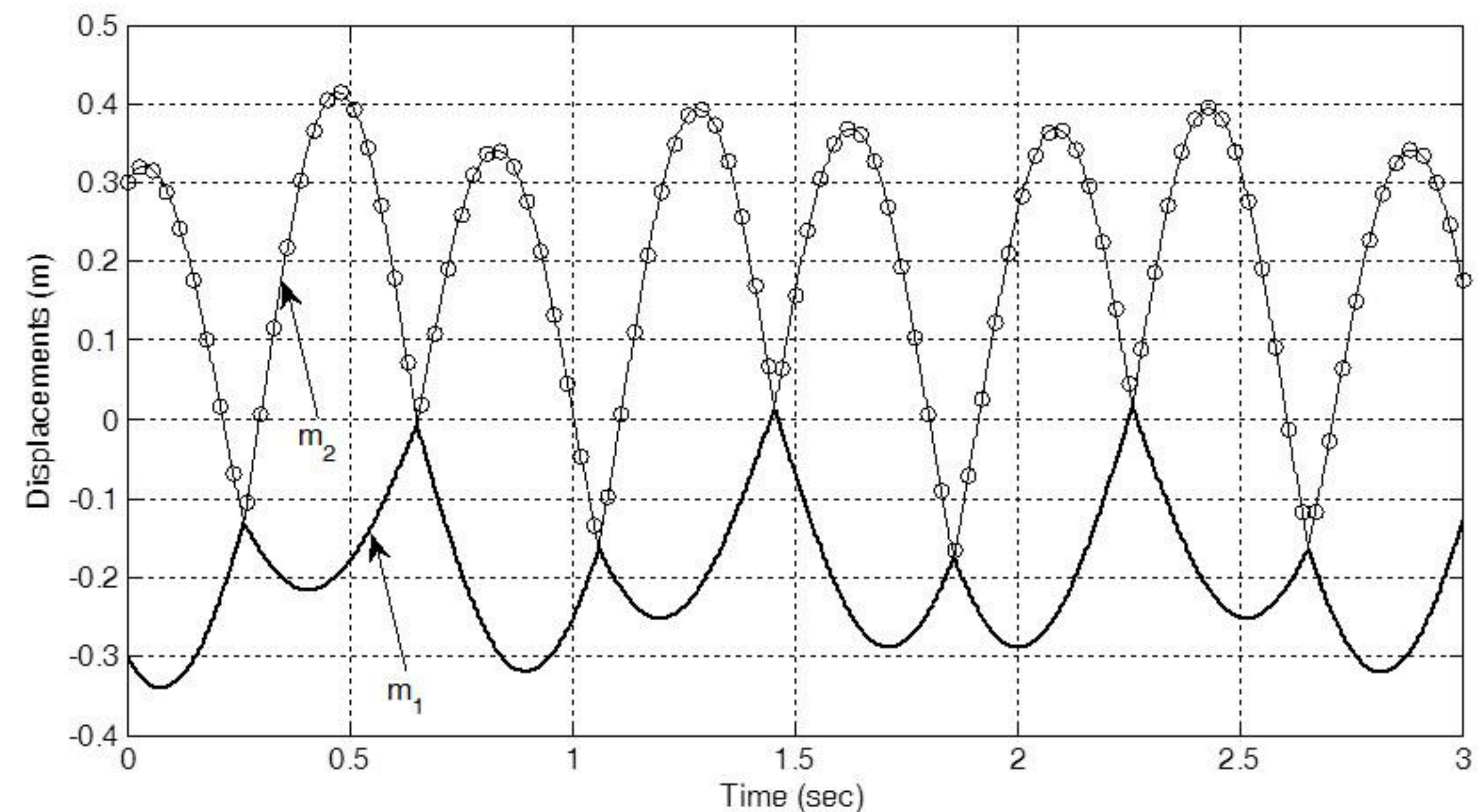


Faza I: zderzenie plastyczne

$$\begin{aligned} M(X)\dot{X}^+ - M(X)\dot{X}^- &= \tilde{r} \\ \dot{X}^+ &\in \mathcal{D}\Omega(t, X) \\ \tilde{r}^T (v - \dot{X}^+) &\geq 0 \quad \forall v \in \mathcal{D}\Omega(t, X) \end{aligned}$$

Faza II: odprężenie

$$M(X)\dot{X}^* - M(X)\dot{X}^+ = \beta \tilde{r}$$



Przebiegi czasowe przemieszczeń.

Modelowanie konstytutywne SMA

A. Zbiciak, K. Wasilewski

Charakterystyka materiałów SMA (Shape Memory Alloy):

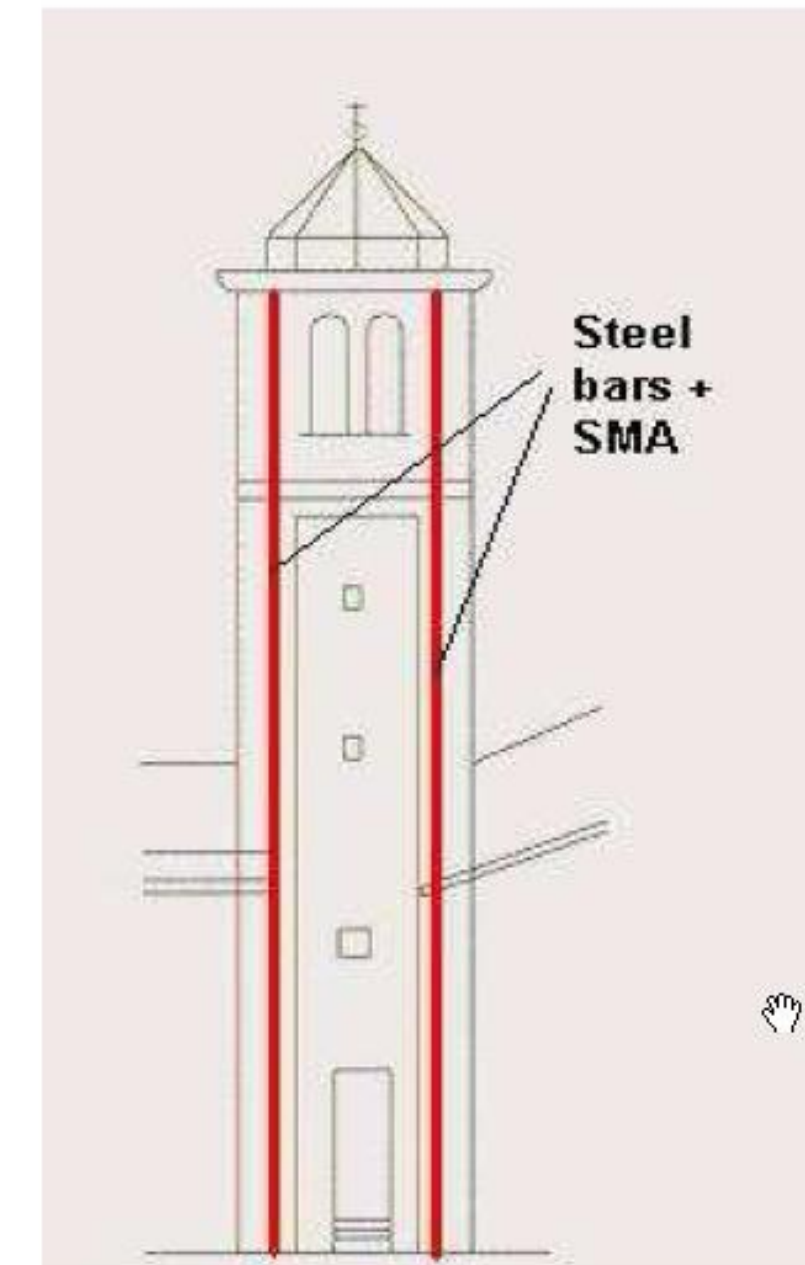
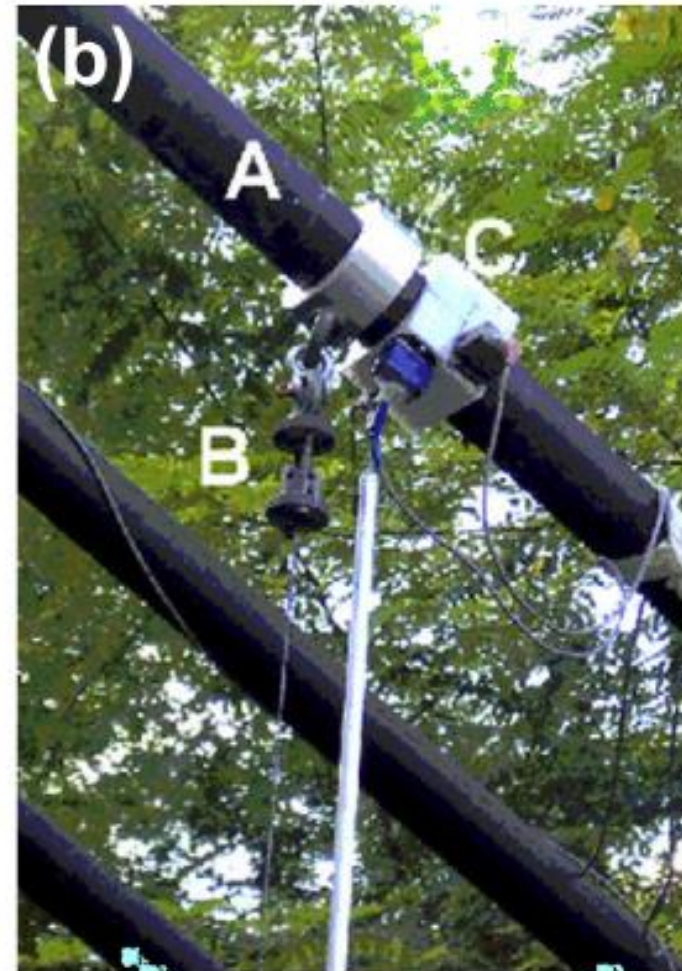
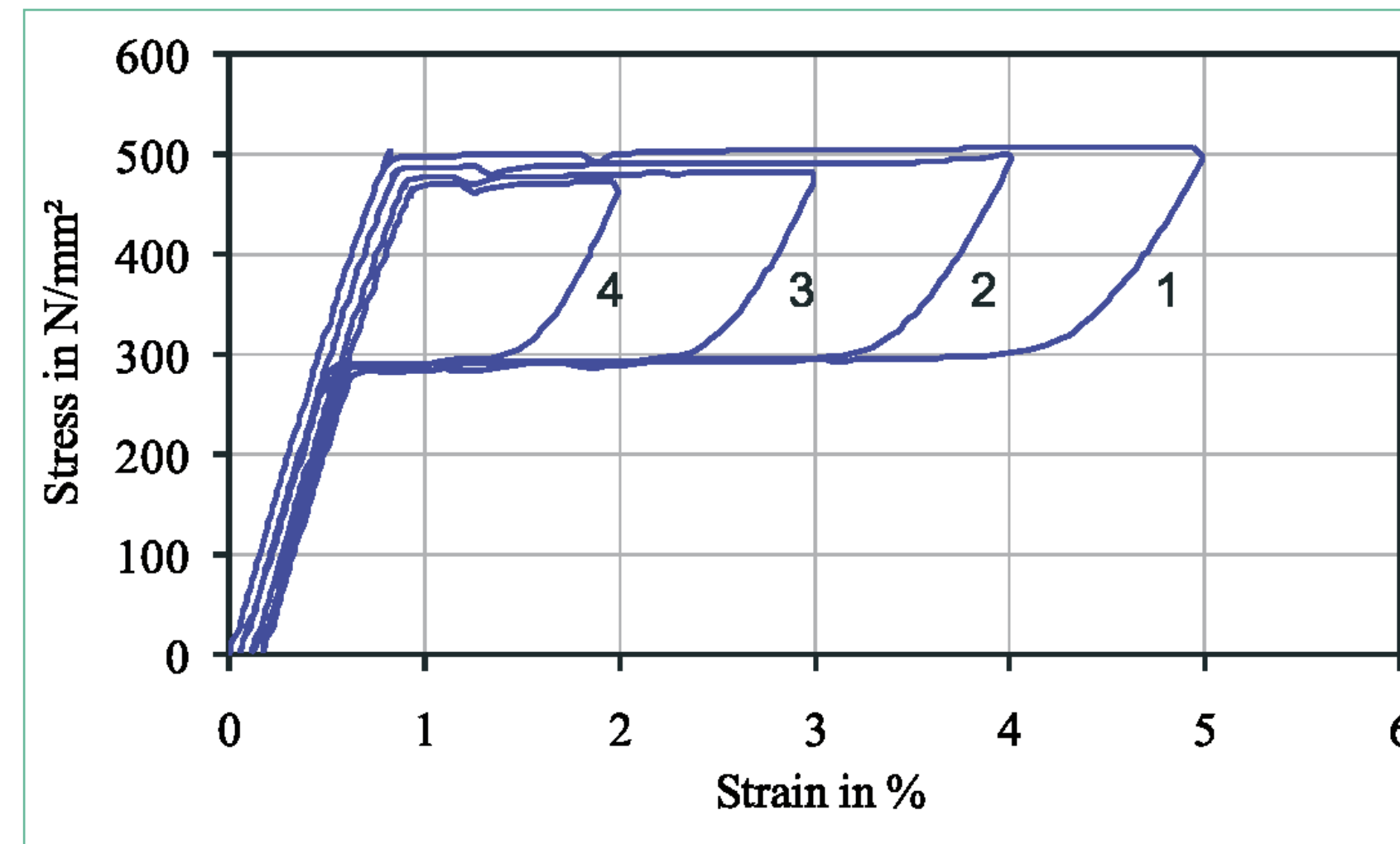
- Zdolność do przenoszenia (utrzymywania) stałej wartości naprężeń
- Brak trwałych odkształceń po odciążeniu
- Dyssypacja (rozpraszanie) energii

Wybrane zastosowania inżynierskie SMA:

- Urządzenia do tłumienia drgań konstrukcji
- Ochrona zabytków
- Usztywnienia konstrukcji

Rys. Pętle histerezy prętów SMA (nitinol) w stałej temperaturze.

**Politechnika
Warszawska**

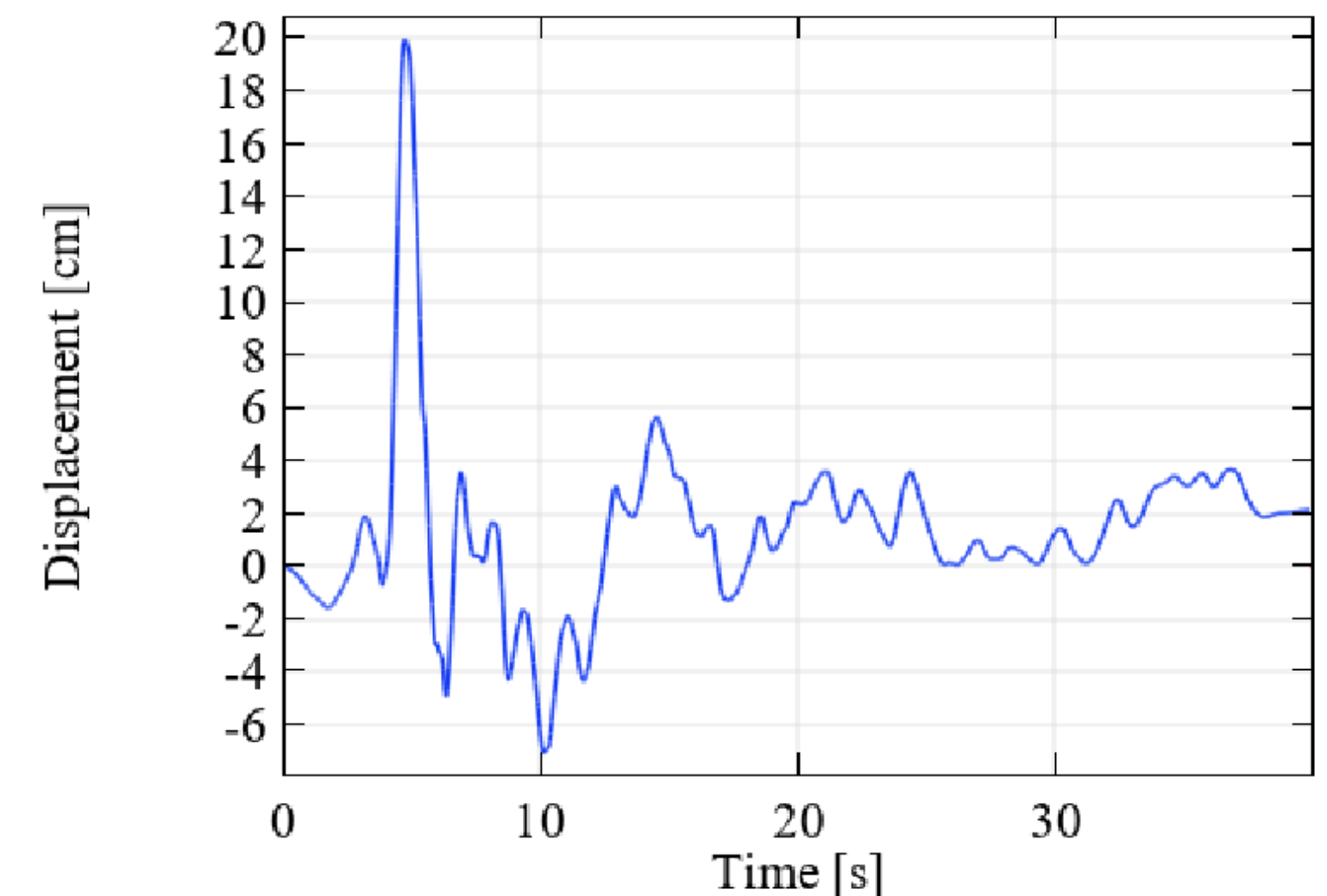
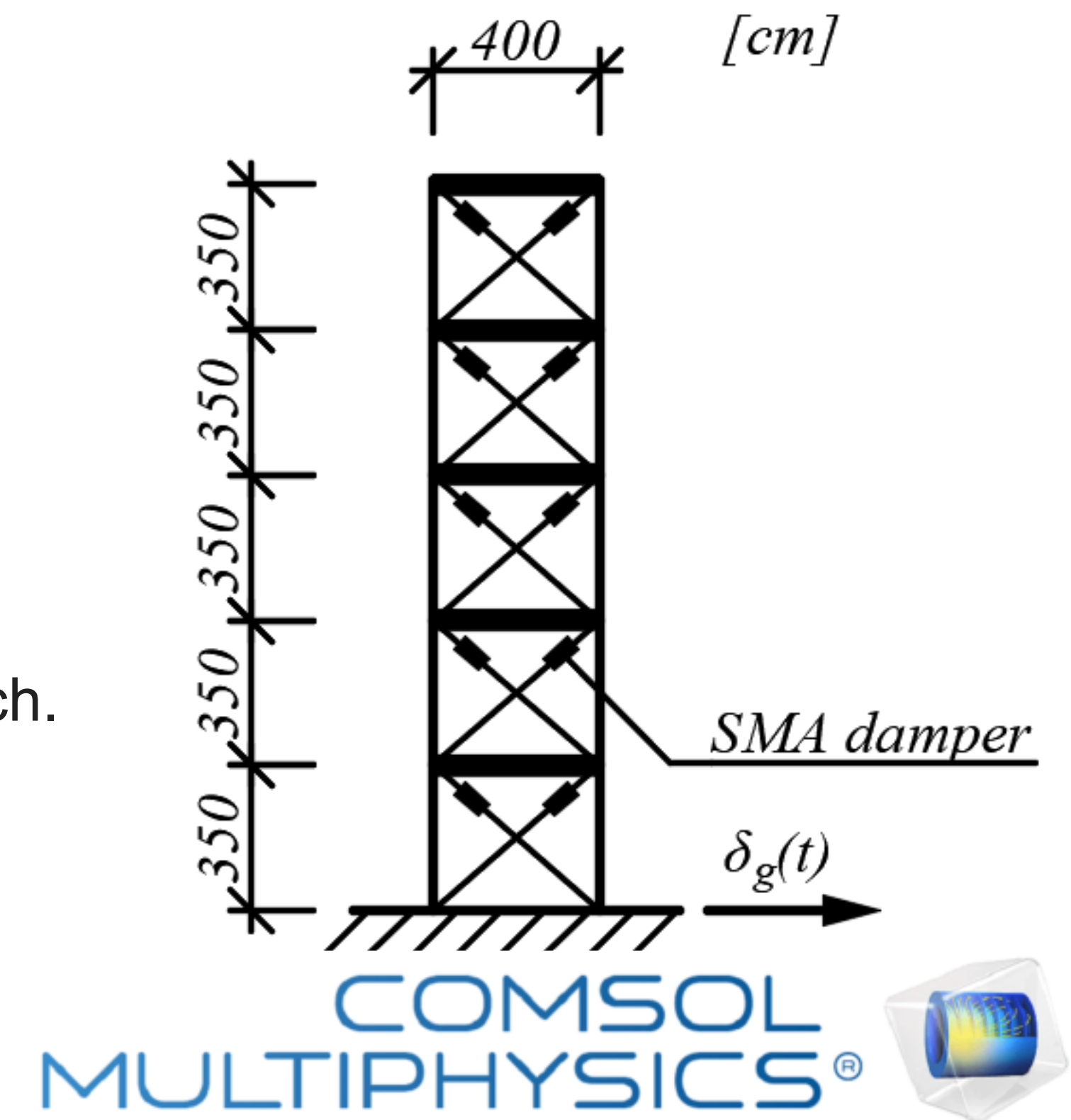
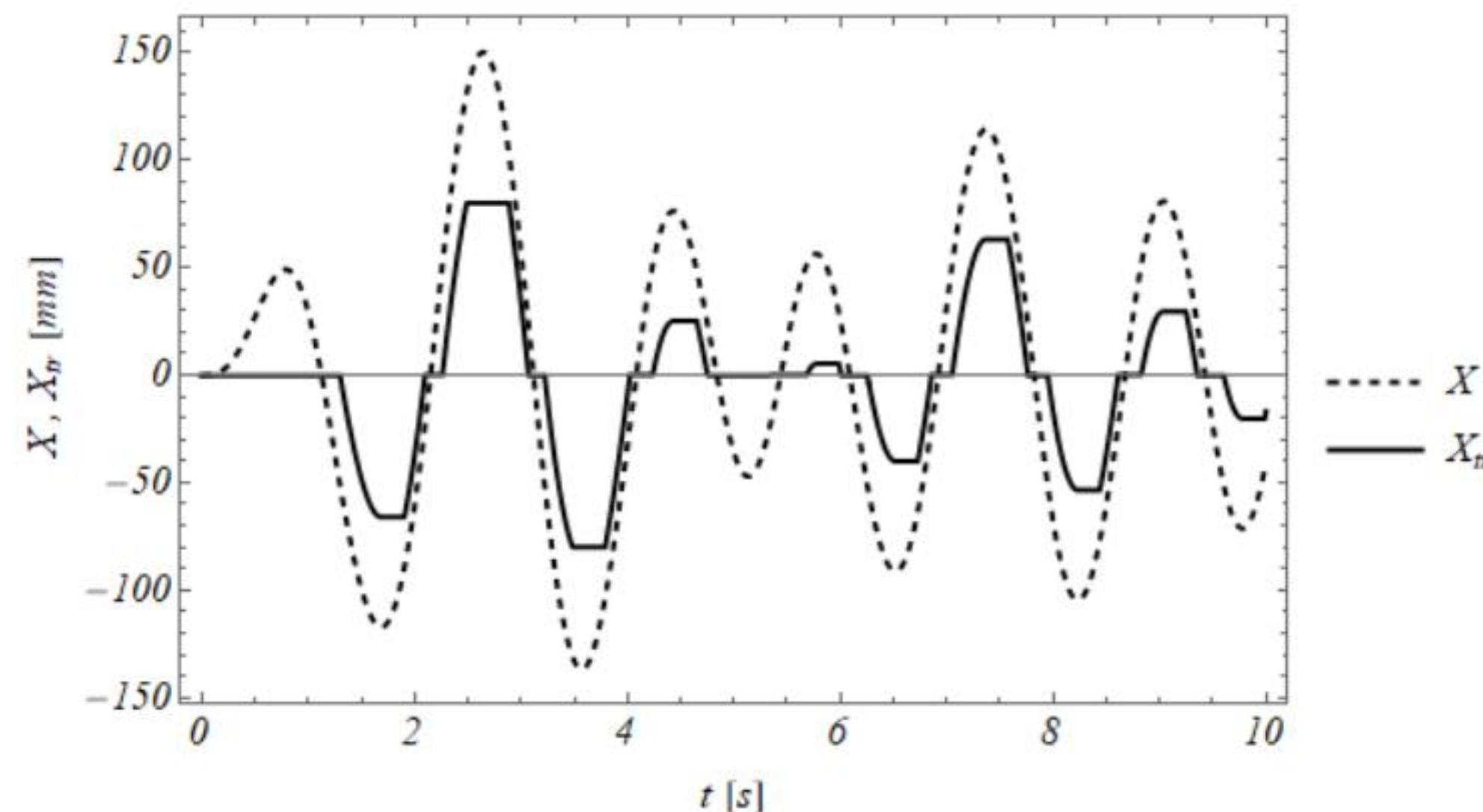
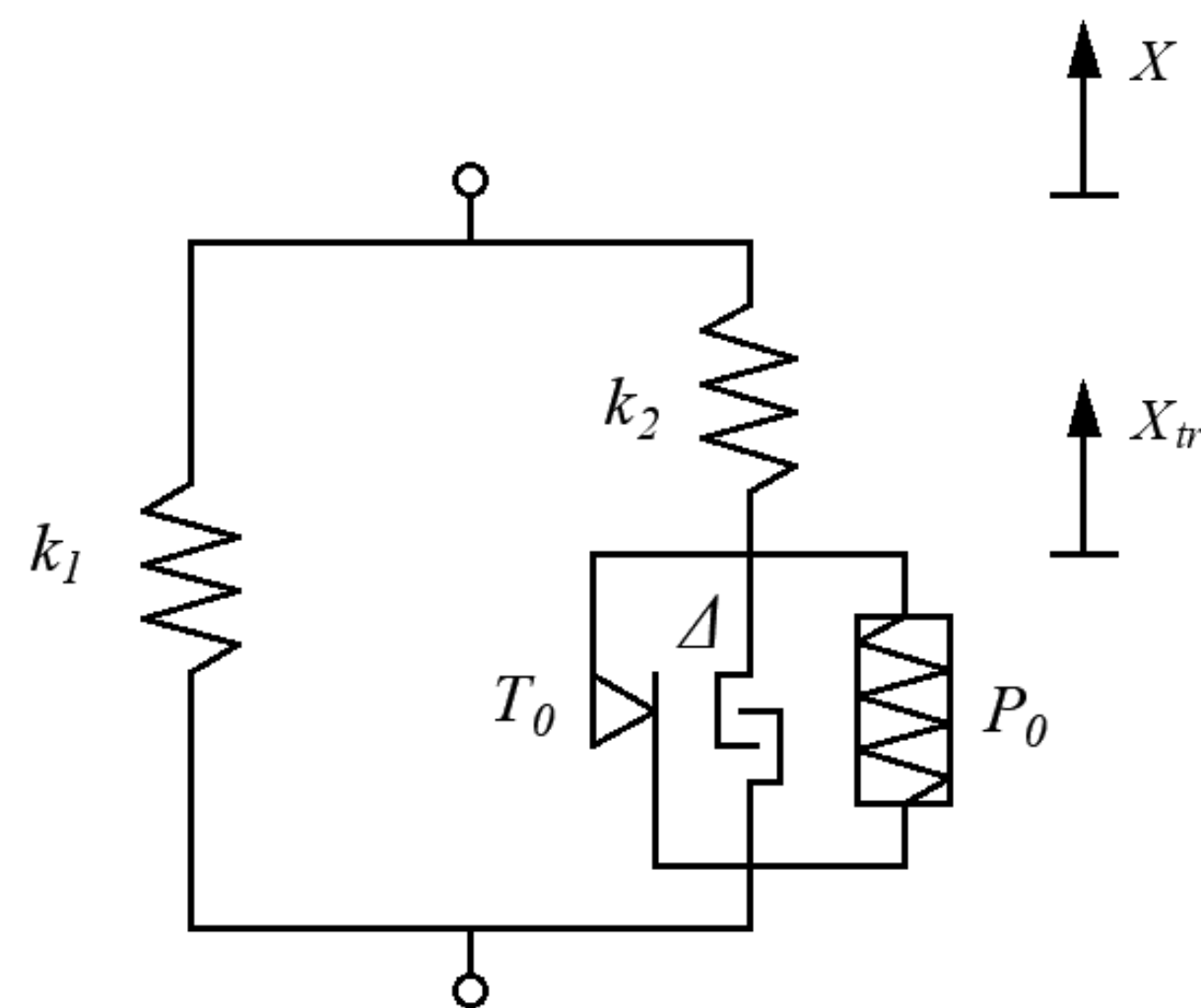


Modelowanie konstytutywne SMA

A. Zbiciak, K. Wasilewski

Zastosowanie struktur reologicznych:

- Propozycje struktur reologicznych odwzorowujących konstytutywne cechy SMA, zawierające nieklasyczne elementy opisywane za pomocą nierówności wariacyjnych.
- Relacje konstytutywne SMA formułowano w formie jawnych równań różniczkowych zwyczajnych.
- Metodyka rozwiązywania zagadnień początkowo-brzegowych przy zastosowaniu systemu MES oraz autorskich procedur materiałowych.
- metodyka analizy konstrukcji budowlanych wyposażonych w dyssypatory energii



Zastosowanie usztywnienia z prętów SMA



**Wydział
Inżynierii Lądowej**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Działalność Zakładu MTNDS w obszarze **Mechaniki Nawierzchni Drogowych**

**Politechnika
Warszawska**

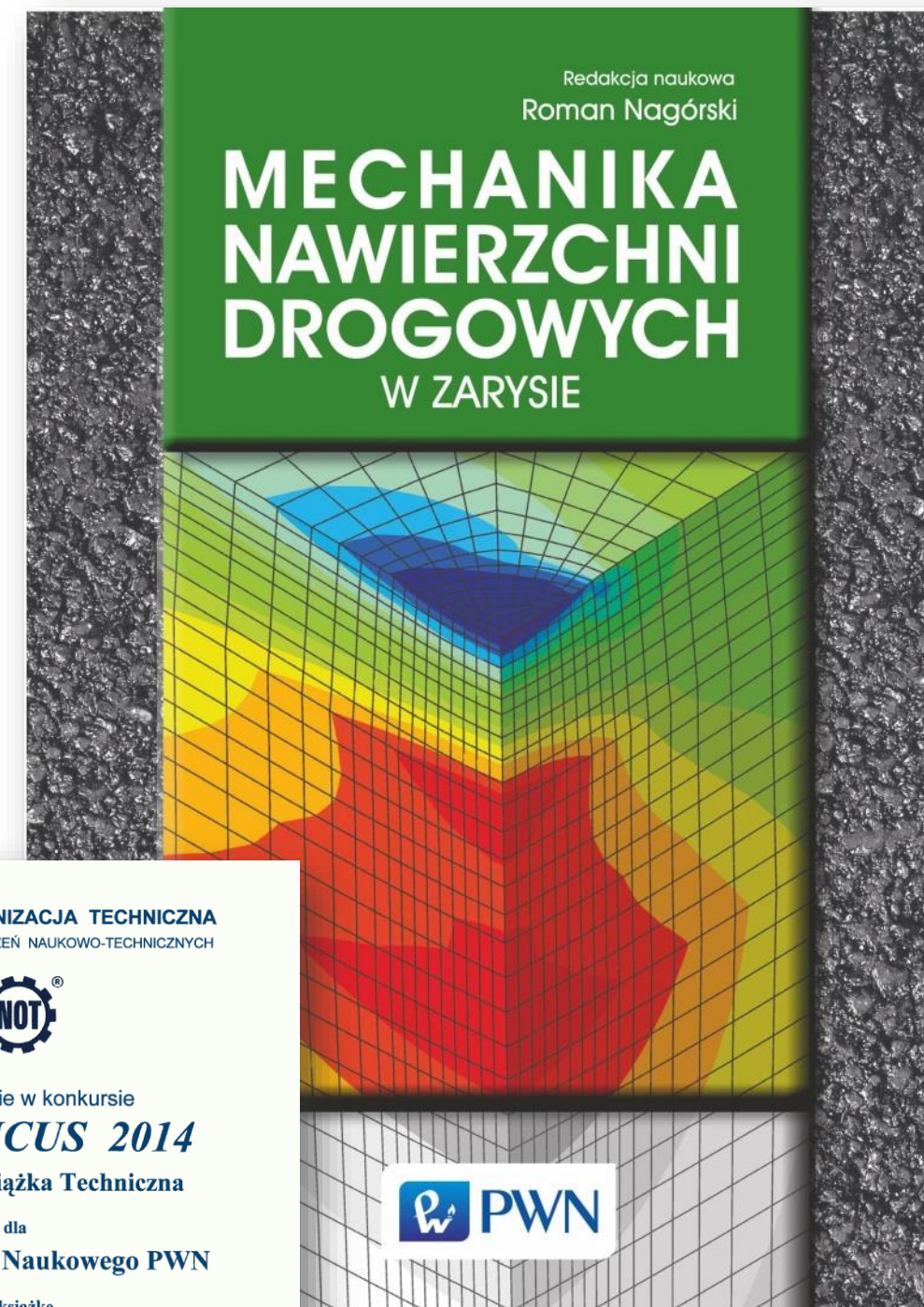


Mechanika nawierzchni drogowych w zarysie

R. Nagórski, K. Błażejowski, W. J. Gilewski, K. Marczuk, M. Nagórska, M. Sitek, P. Stawarz, i P. Wiśniakowski, Warszawa: PWN, 2014.

- Deformacja
- Siły zewnętrzne i wewnętrzne
- Modele mechaniczne materiałów
- Modele mechaniczne podłoża

- Modele obciążenia
- Modele mechaniczne konstrukcji nawierzchni
- Przykłady zagadnień z rozwiązaniami



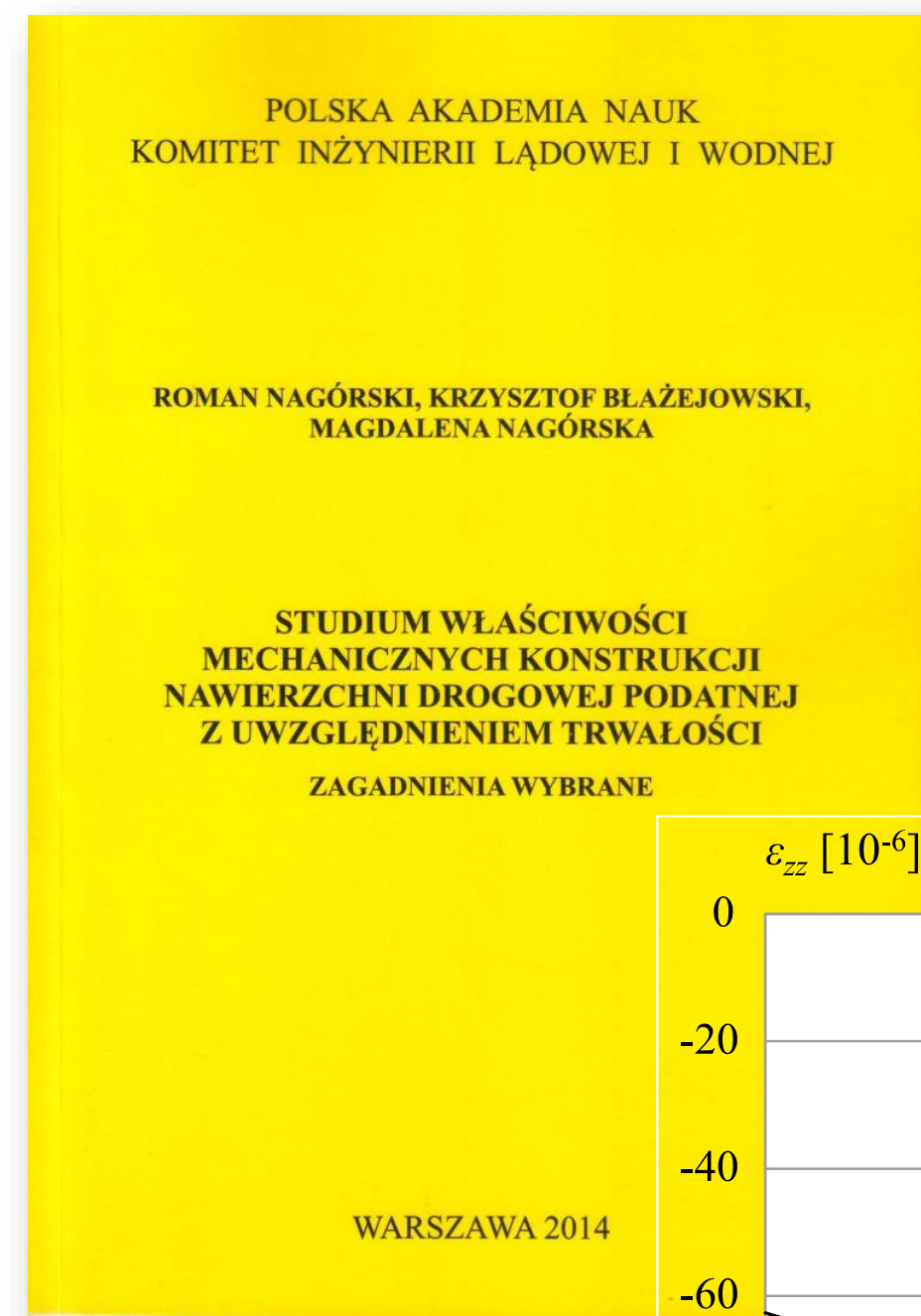
R. Nagórski, „The Classification of Mechanical Models of Road Pavements”, *Archives of Civil Engineering*, t. 64, nr 4, ss. 155–170, 2018.



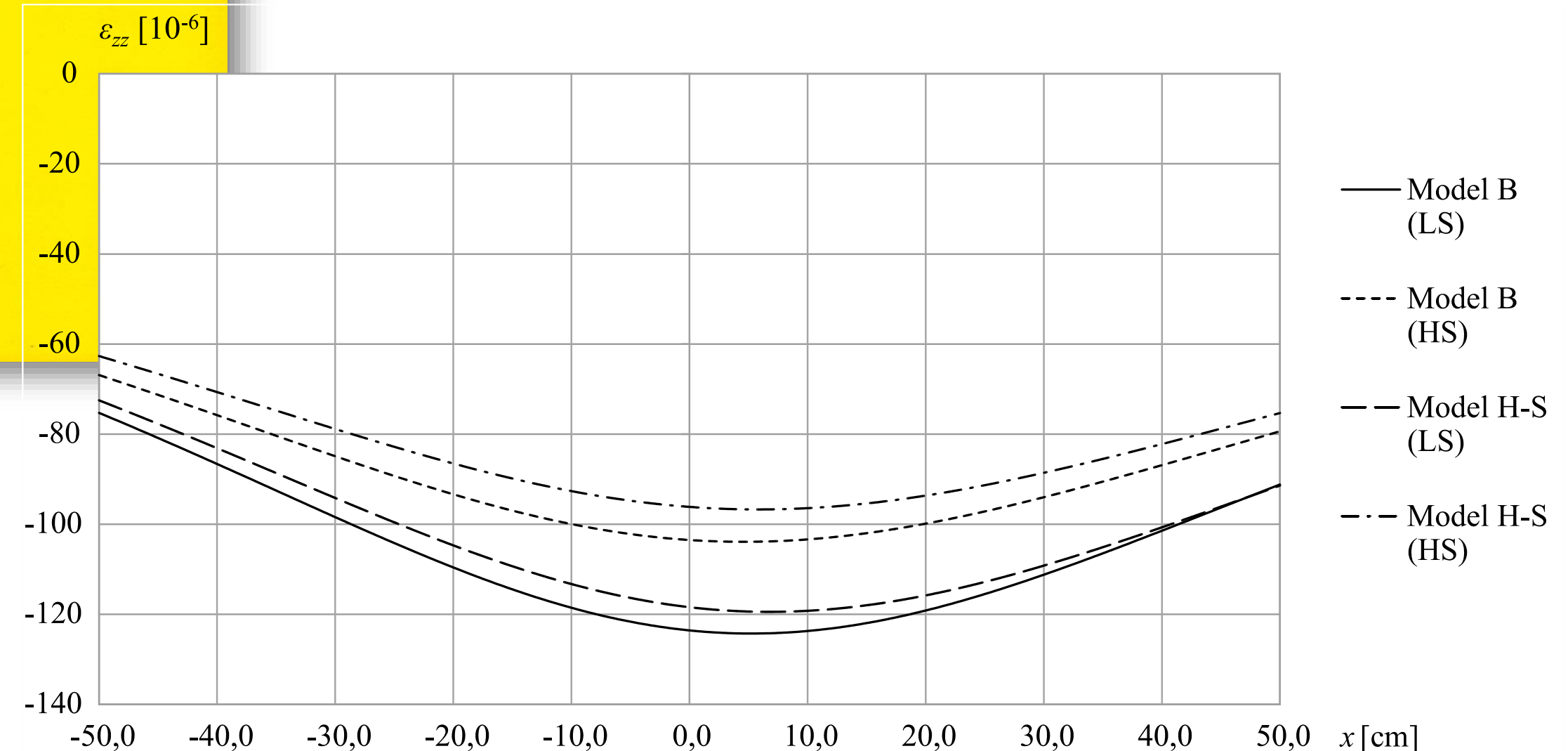
Studium właściwości mechanicznych konstrukcji nawierzchni drogowej podatnej z uwzględnieniem trwałości. Zagadnienia wybrane

R. Nagórski, K. Błażejowski, and M. Nagórska, vol. 87. Warszawa: Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, 2014

- Analizy mechanistyczne konstrukcji nawierzchni
- Wpływ temperatury sezonowej
- Oddziaływanie ruchu powolnego w strefie dojazdu do skrzyżowania i hamowania pojazdów

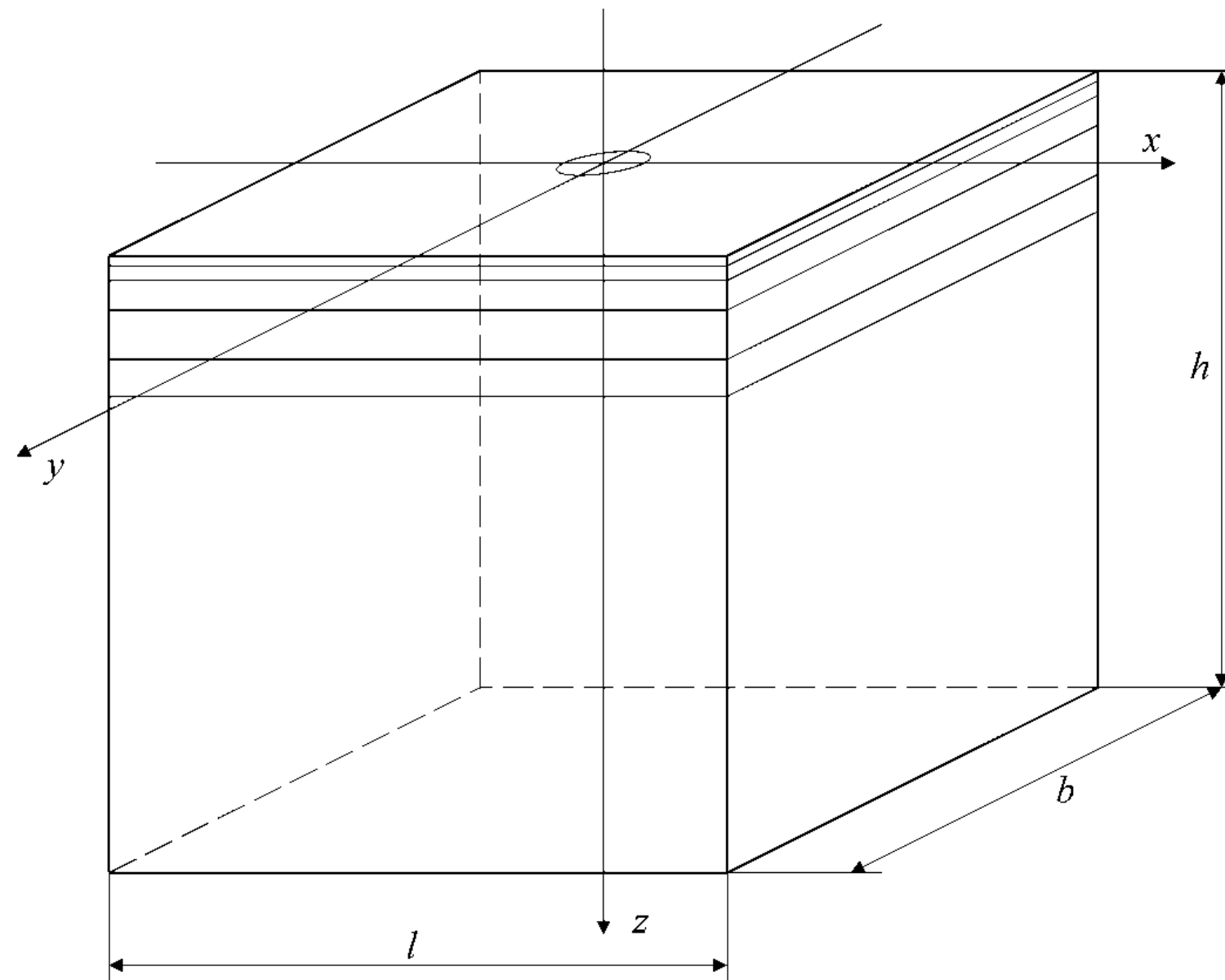


- Wpływ występowania pojazdów o nacisku 130 kN
- Wpływ użycia asfaltu modyfikowanego polimerami

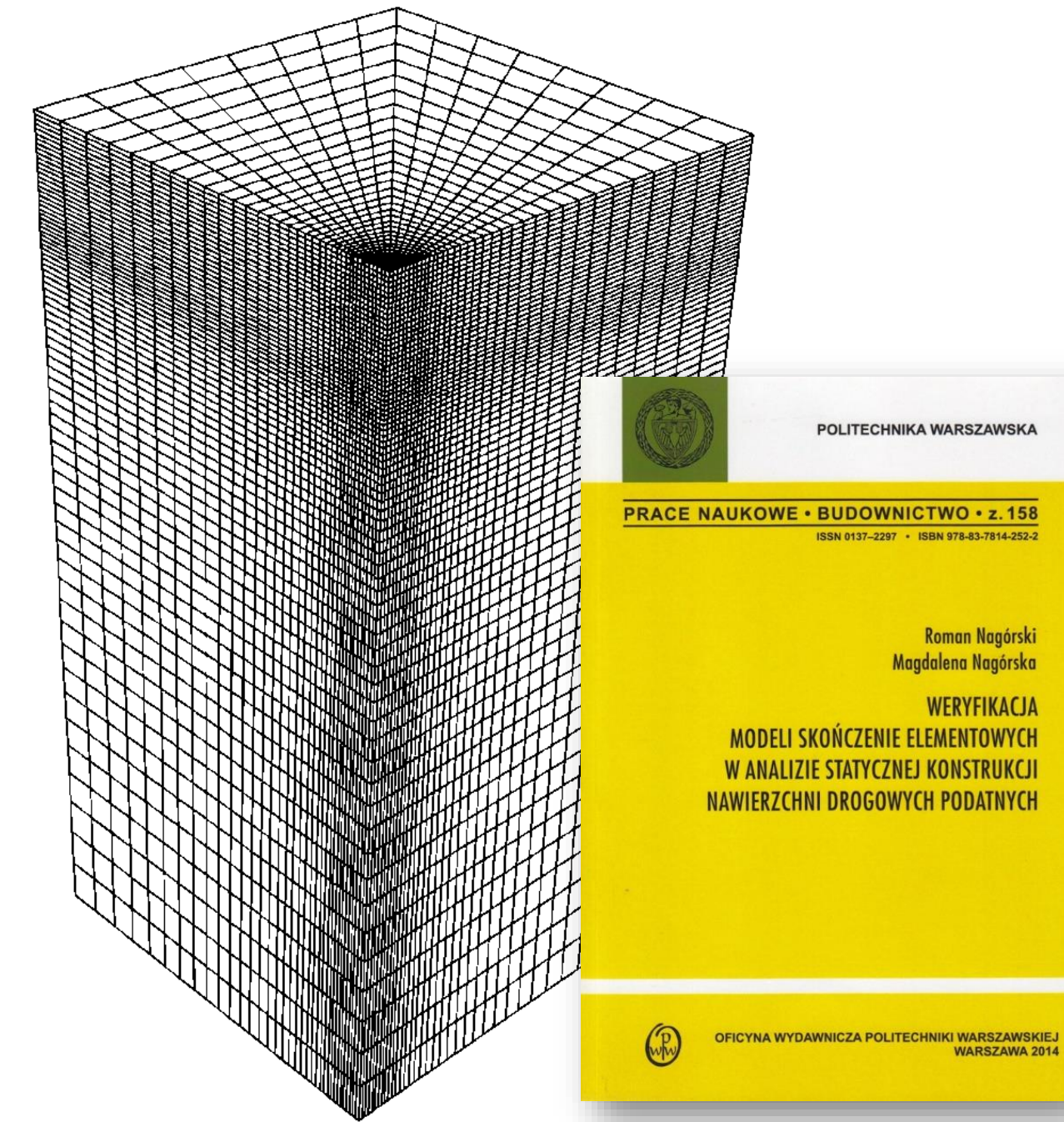


Modelowanie MES konstrukcji nawierzchni podatnych

- Dobór rozmiarów modelowanego obszaru
- Dobór warunków brzegowych



- Uwzględnienie braku szczepności
- Dowolny kształt obciążenia



R. Nagórski and M. Nagórska, "Weryfikacja modeli skończenie elementowych w analizie statycznej konstrukcji nawierzchni drogowych podatnych", vol. 158. Warszawa, 2014.

R. Nagórski, P. Tutka, i M. Złotowska, „Defining the domain and boundary conditions for finite element model of flexible road pavement”, Drogi i Mosty, t. 16, nr 4, ss. 271–283, 2017.

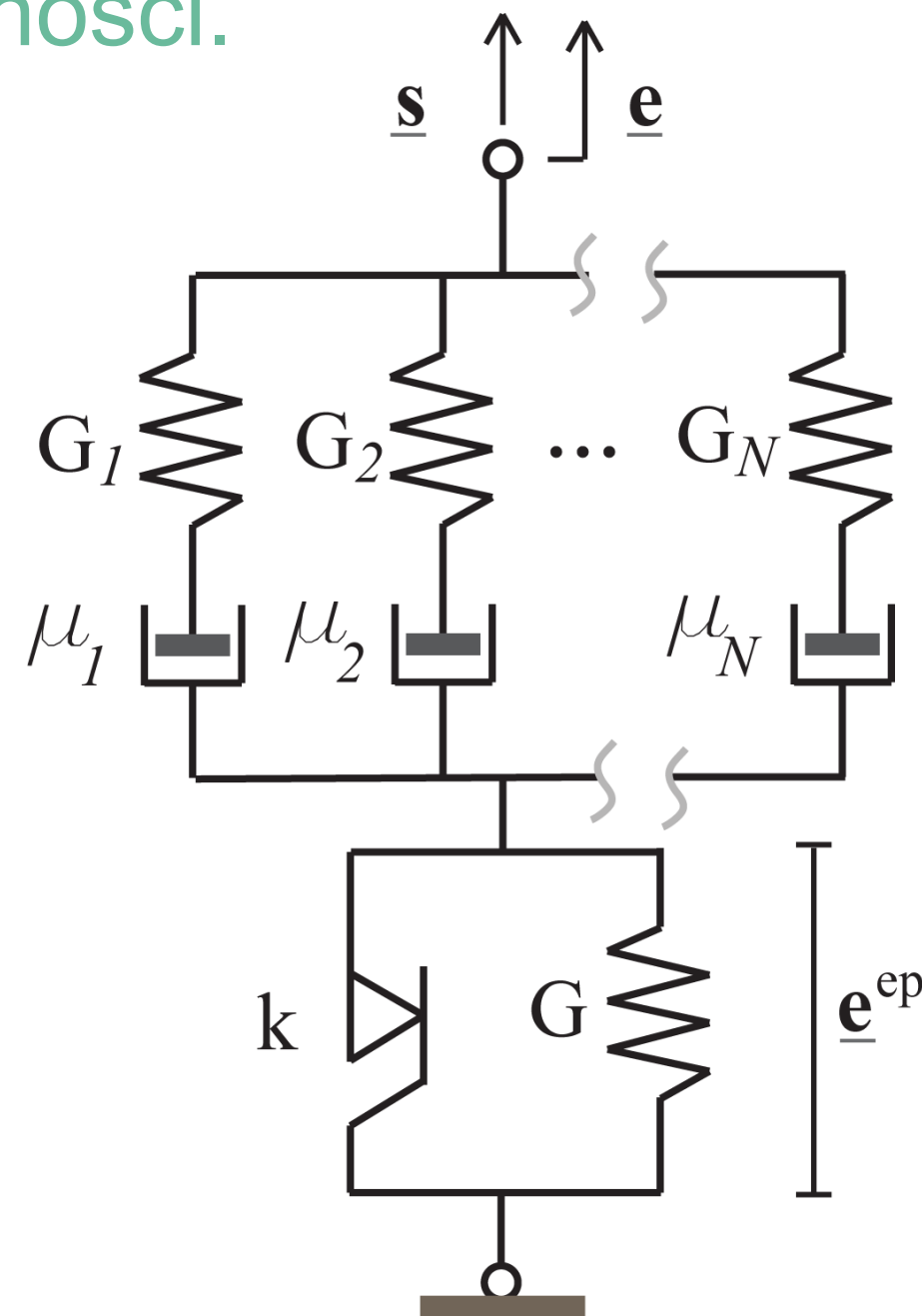


Modele konstytutywne mieszanek mineralno-asfaltowych

- Modele lepkościowe Burgers'a i Hueta-Sayegha.
- Uogólnione modele lepkościowe „Prony series”.

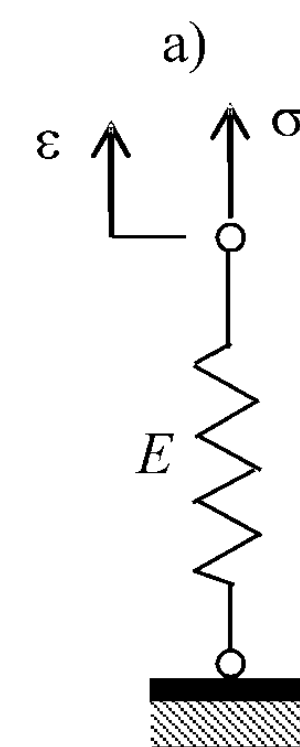
$$\boldsymbol{\sigma} = \sum_{n=1}^N \boldsymbol{\sigma}_n, \quad \boldsymbol{\sigma}_n = K_n \operatorname{tr}(\boldsymbol{\varepsilon} - \boldsymbol{\varepsilon}_n^v) \mathbf{I} + 2 G_n (\mathbf{e} - \mathbf{e}_n^v) \quad \dot{\mathbf{e}}_n^v = \frac{\mathbf{s}_n}{2\mu_n^{dev}}, \quad \operatorname{tr}(\dot{\mathbf{e}}_n^v) = \frac{\operatorname{tr}(\boldsymbol{\sigma}_n)}{3\mu_n^{vol}}$$

- Modele uogólnione uwzględniające zjawisko plastyczności.



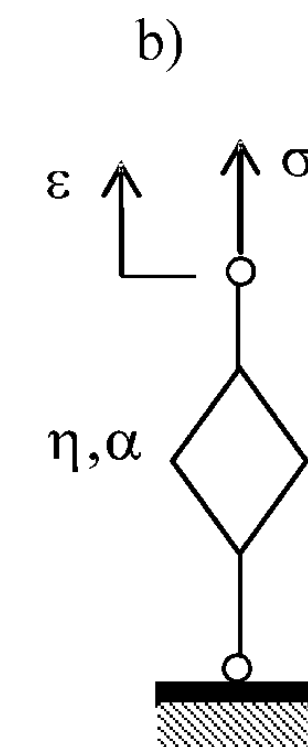
- Modele reologiczne opisywane pochodną ułamkowego rzędu

$$\mathcal{D}^\alpha \mathbf{X}(t) := \frac{\mathbf{X}(0)}{\Gamma(1-\alpha)t^\alpha} + \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^t \frac{\dot{\mathbf{X}}(\tau)}{(t-\tau)^\alpha} d\tau.$$



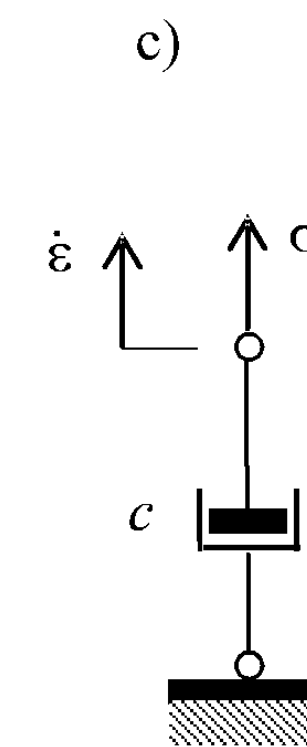
$$\sigma = E \mathcal{D}^\alpha \varepsilon$$

$$\alpha = 0$$



$$\sigma = \eta \mathcal{D}^\alpha \varepsilon$$

$$0 < \alpha < 1$$

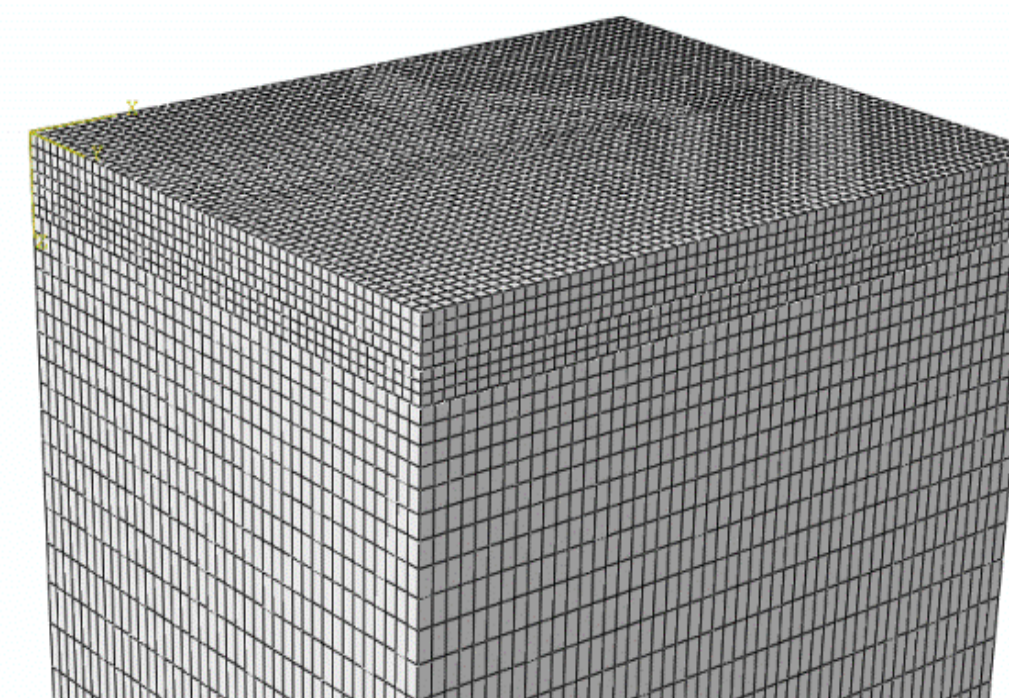
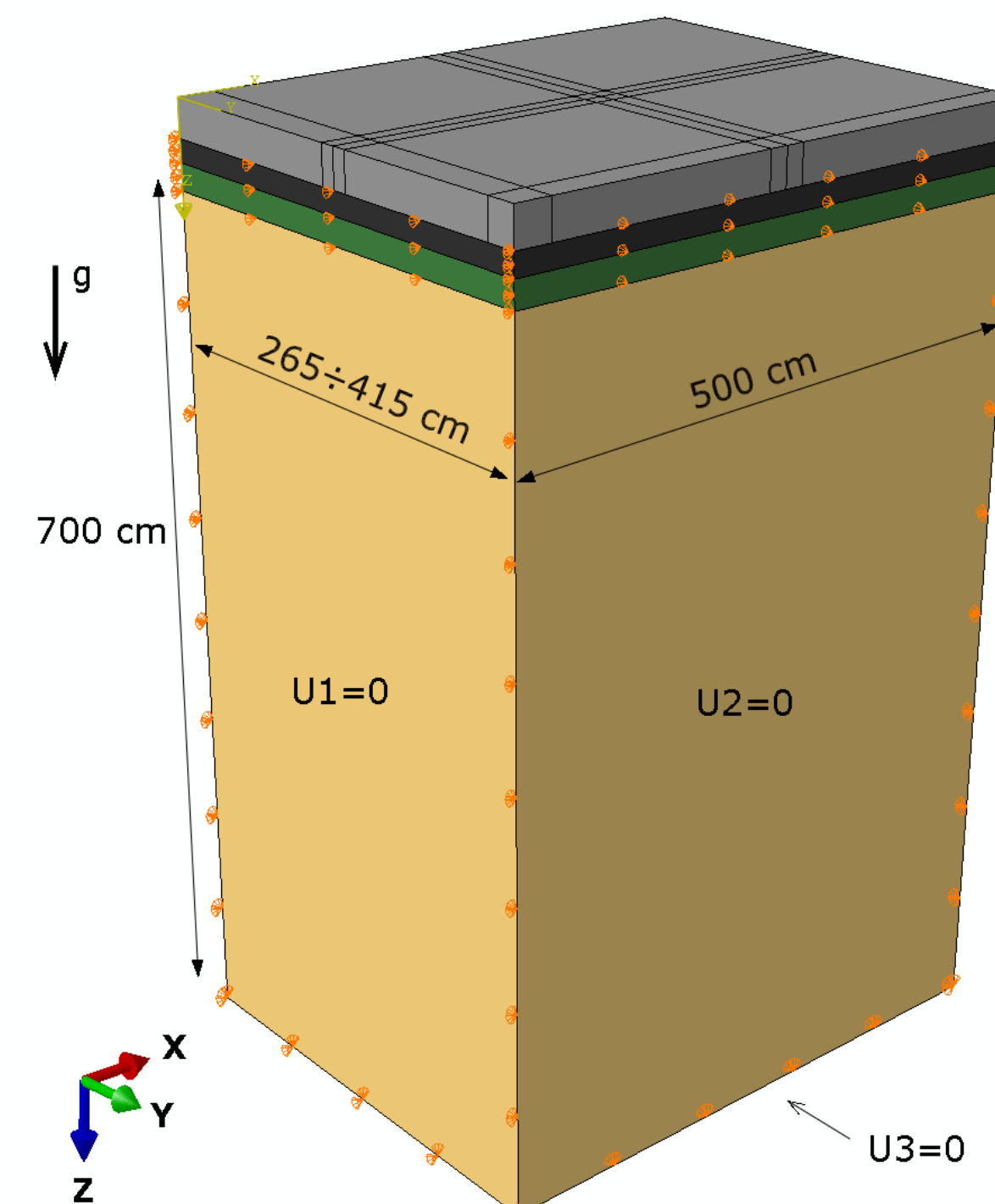
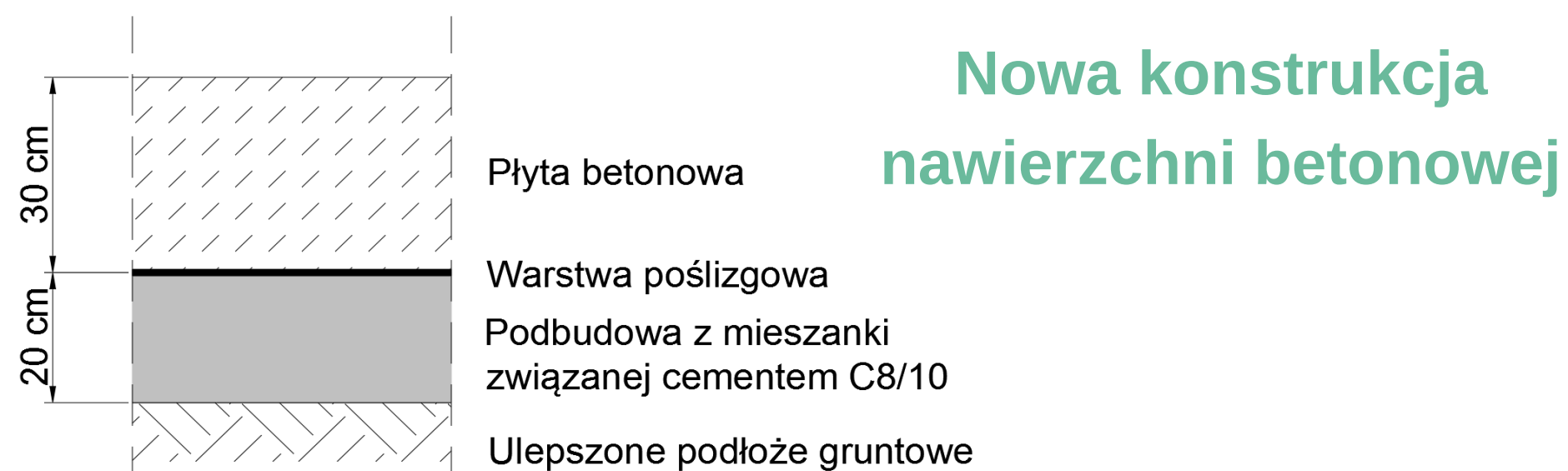
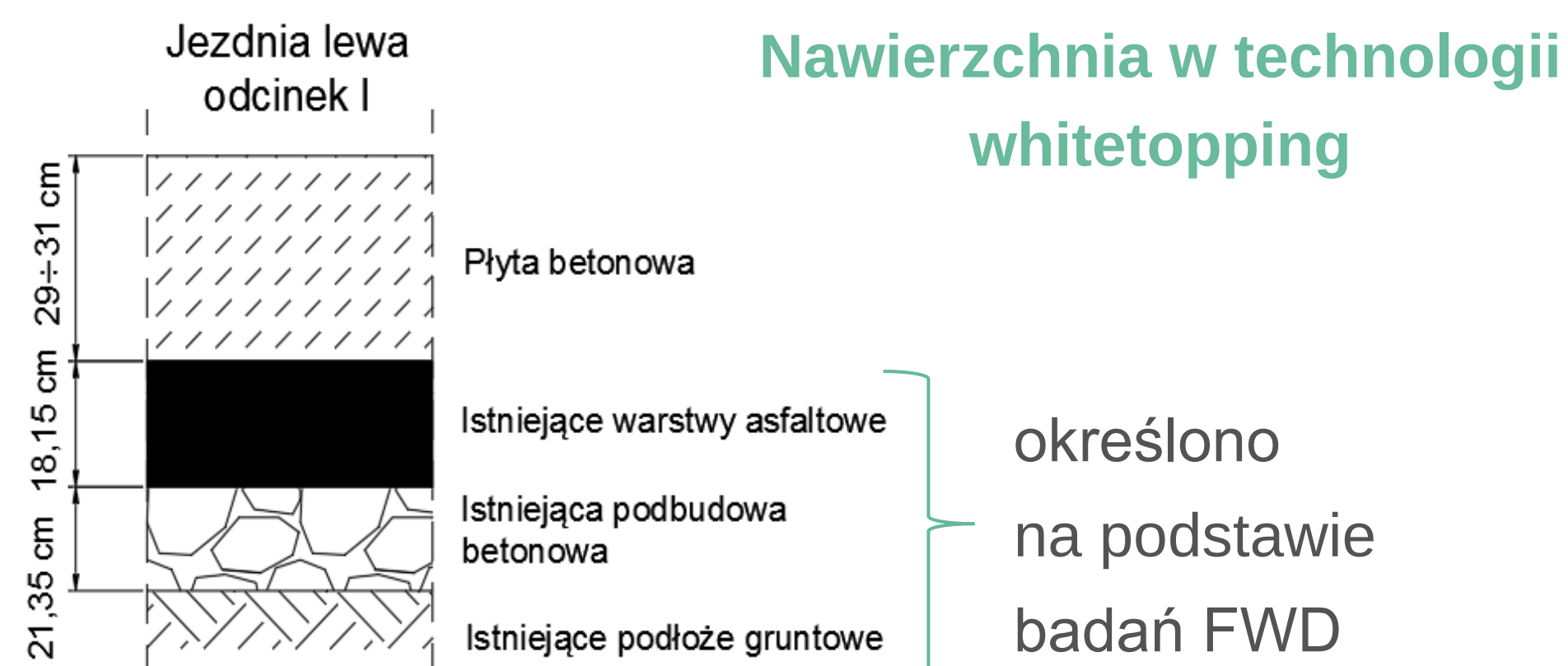


$$\sigma = c \mathcal{D}^\alpha \varepsilon$$

$$\alpha = 1$$

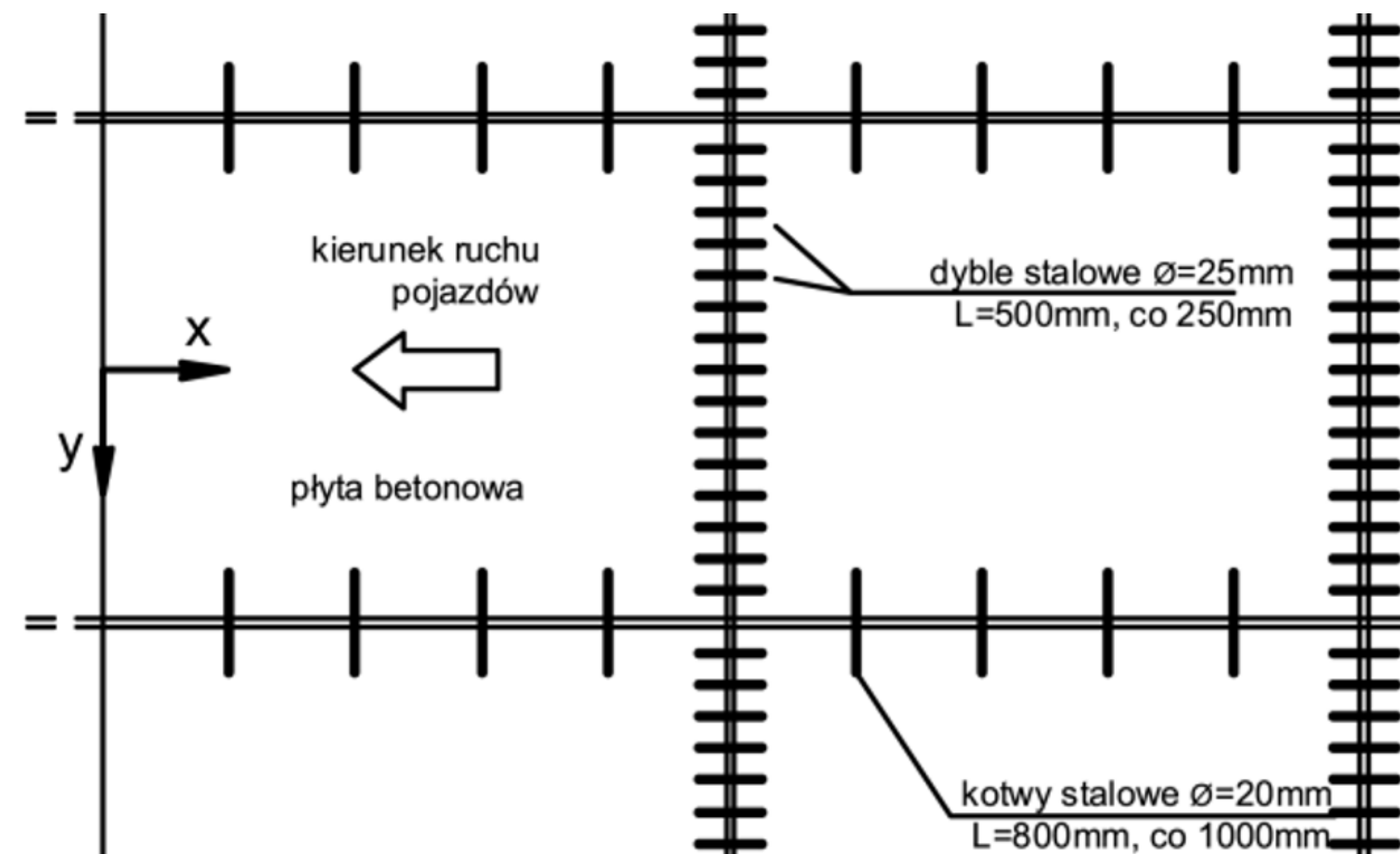
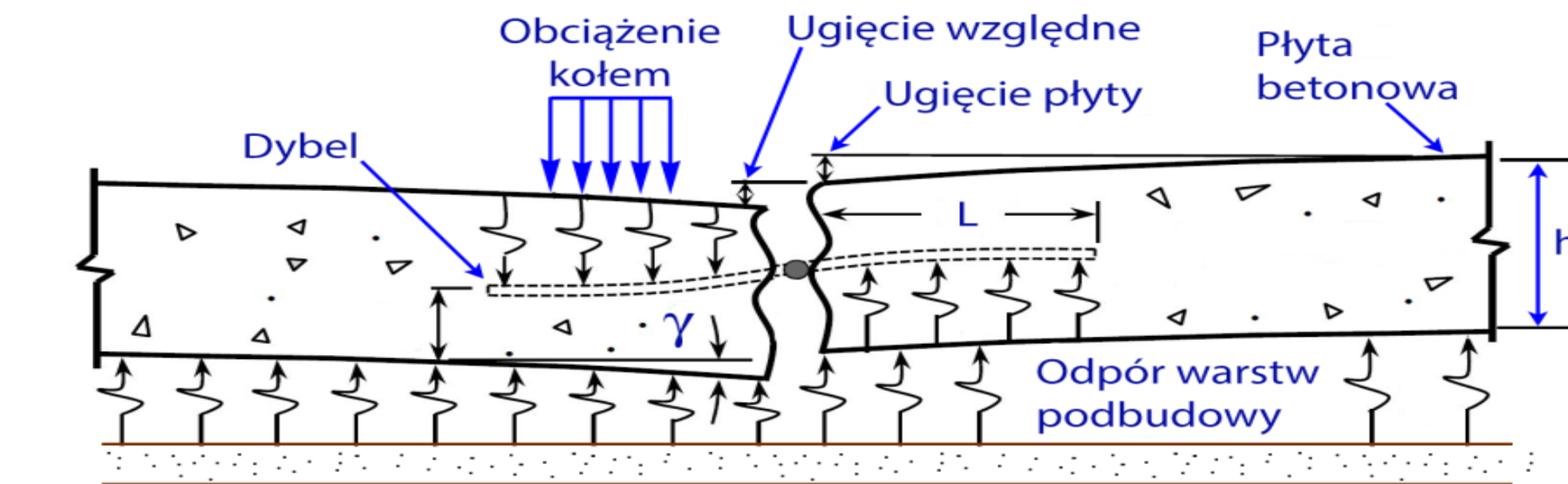
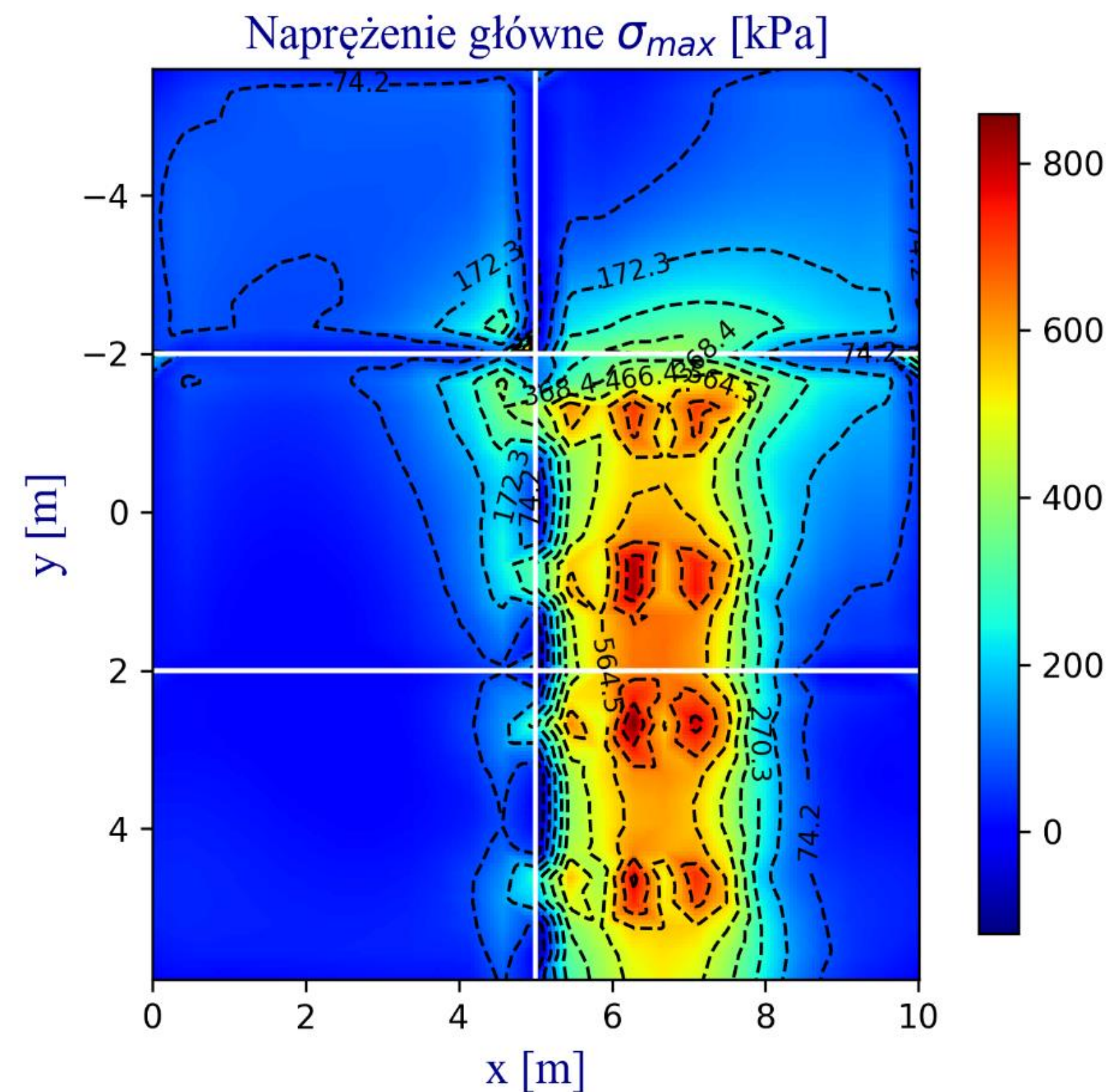
Projektowanie konstrukcji nawierzchni sztywnych

- Opracowanie metodologii określania naprężeń w płytach betonowych oraz trwałości zmęczeniowej konstrukcji,
- Zastosowanie MES



Projektowanie konstrukcji nawierzchni sztywnych

- Opracowanie metodologii oceny wyężenia dybli



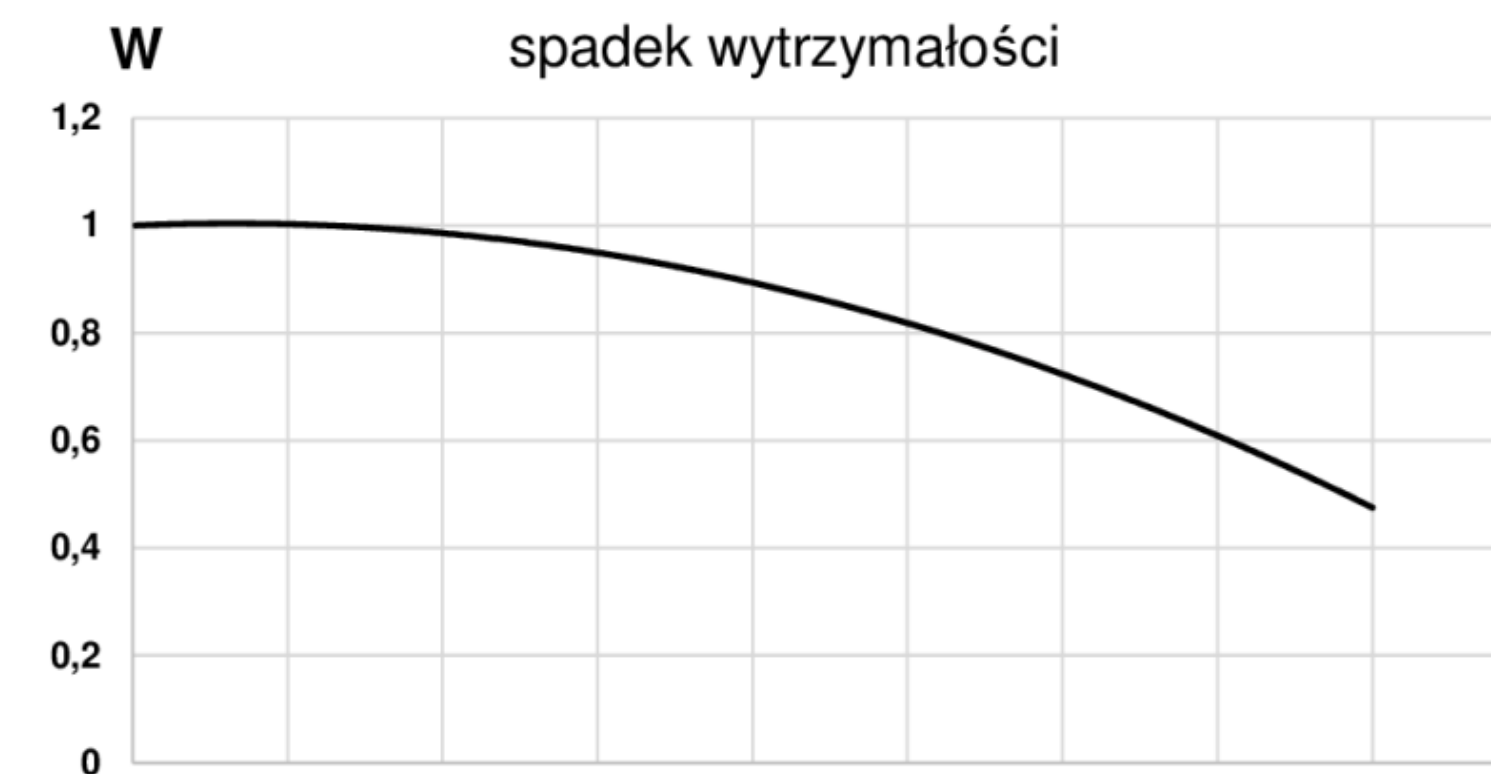
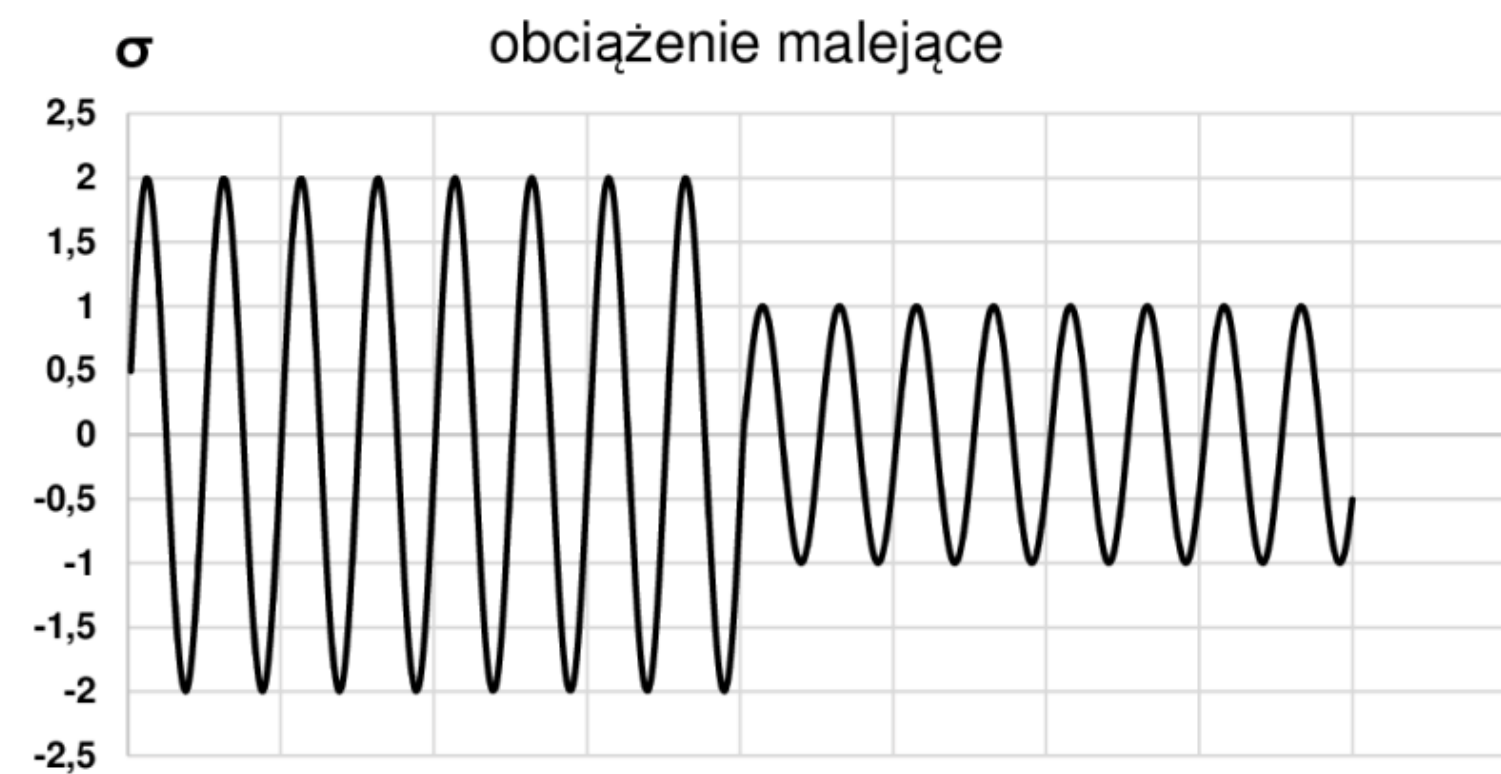
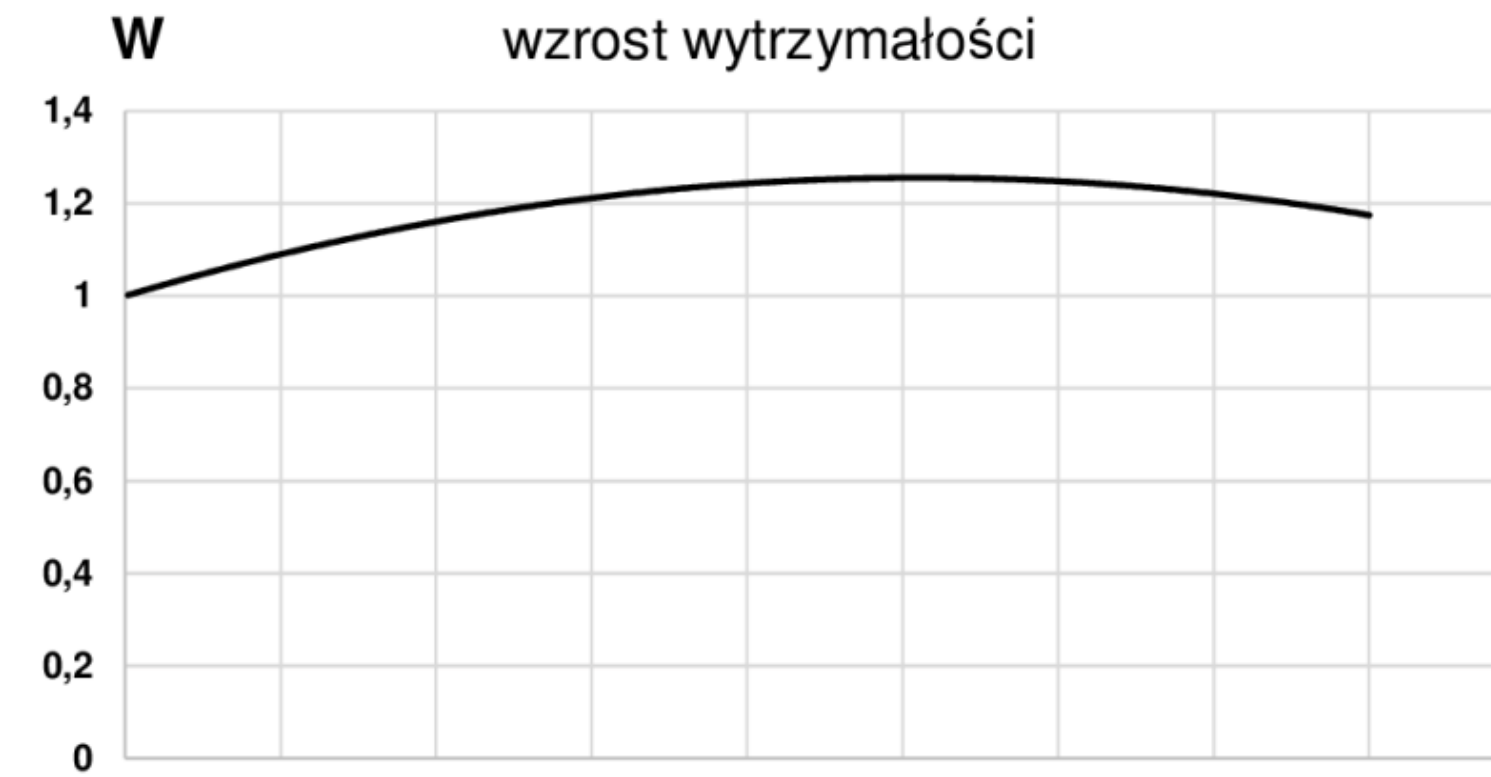
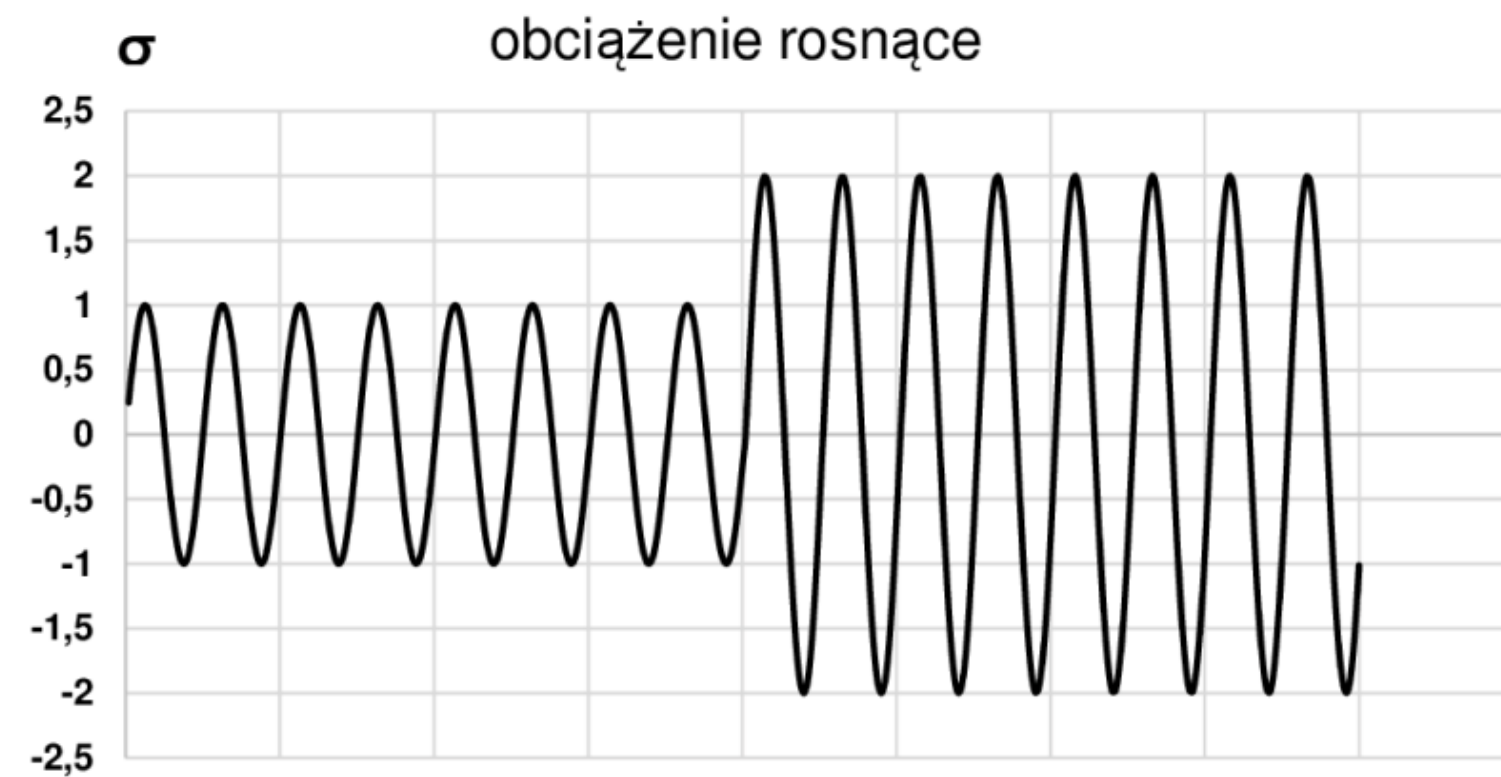
Zrealizowane projekty w zakresie konstrukcji nawierzchni

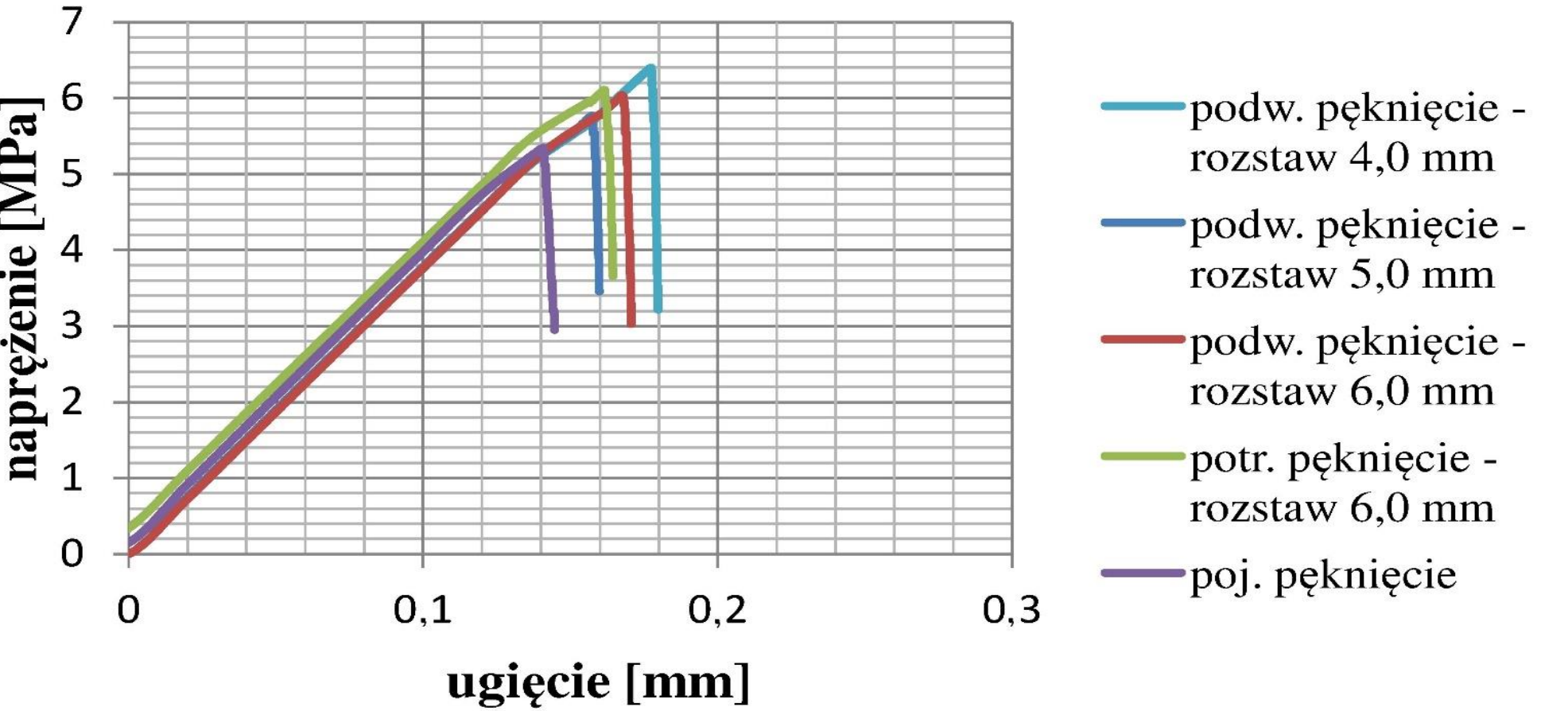
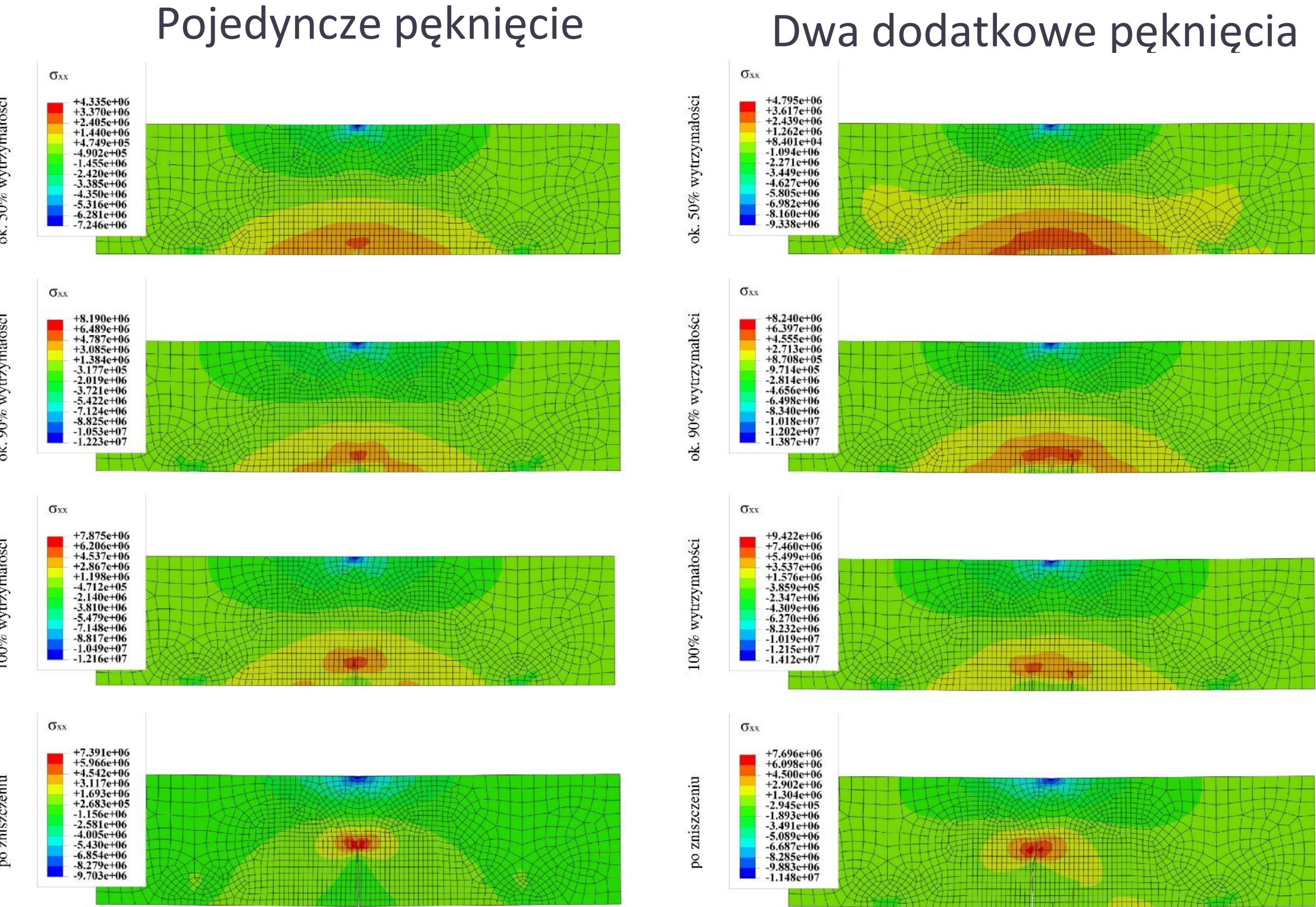


- Projekt konstrukcji nawierzchni lotniskowych dla przebudowy dróg kołowania: 1) Bravo i Fokstrot z betonu cementowego o liczbie PCN=86 wraz z konstrukcją podatną poboczy; 2) poprzecznych do DK Bravo o konstrukcji podatnej i liczbie PCN=60 na lotnisku MPL Kraków im. Jana Pawła II w Balicach;
- Badania mieszanek mineralno-asfaltowych i analiza konstrukcji nawierzchni podatnych z uwzględnieniem trwałości nawierzchni;
- Analiza obliczeniowa nawierzchni podatnych według katalogu wzorcowych konstrukcji dla województwa śląskiego;
- Droga ekspresowa S17 Garwolin - Kurów na odcinku Gończyce (koniec obwodnicy) - granica województwa mazowieckiego i lubelskiego od ok. km 62+200 do ok. km 75+212 dł. ok. 13,012 km;
- Droga ekspresowa S17 Garwolin - Kurów na odcinku Garwolin (koniec obwodnicy) - Gończyce (koniec obwodnicy) od ok. km 49+973 do ok. km 62+200 dł. ok. 12,227 km;
- Droga ekspresowa S17 na odcinku Kołbiel (koniec obwodnicy) - Garwolin (początek obwodnicy) od ok. km 27+900 do ok. km 40+915 dł. ok. 13,015 km;
- Autostrada A-1 Tuszyn-Belchatów od km 335+937,65 do km 351+800,00 o dł. ok. 15,863 km;
- Autostrada A-1 węzeł Belchatów - węzeł Kamieńsk o dł. ok. 25 km.

Ocena wpływu cyklicznego obciążenia na wytrzymałość statyczną mieszanek związanych cementem stosowanych w konstrukcjach nawierzchni drogowych

autor: Karol Brzeziński, promotor: prof. dr hab. inż. Artur Zbiciak, 2017





Brzeziński, K., Zbiciak, A., & Garbacz, A. (2019). Effect of Strengthening on the Fatigue Life of Construction Materials. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 63(1), 288-295.

Brzeziński, K. (2018). XFEM simulation of the influence of cracking introduced by pre-loading on the strengthening of a cement treated mixture. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 56.

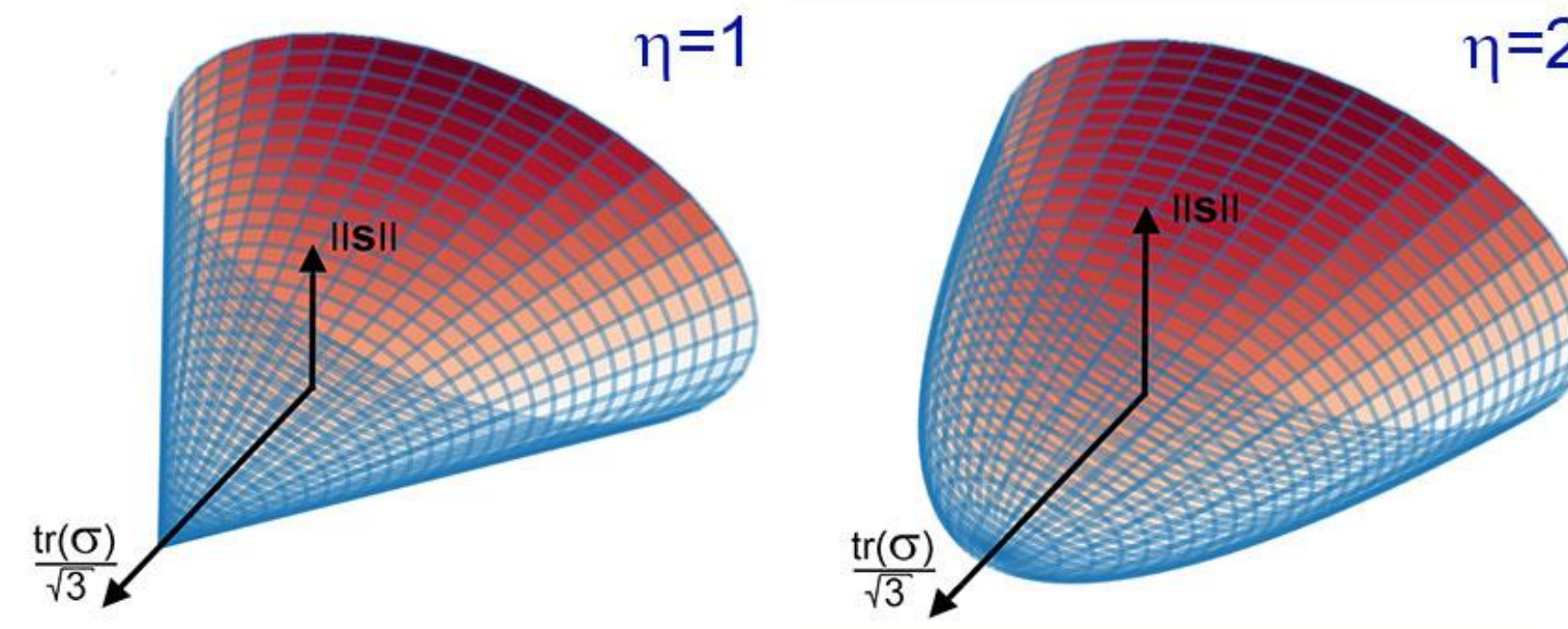
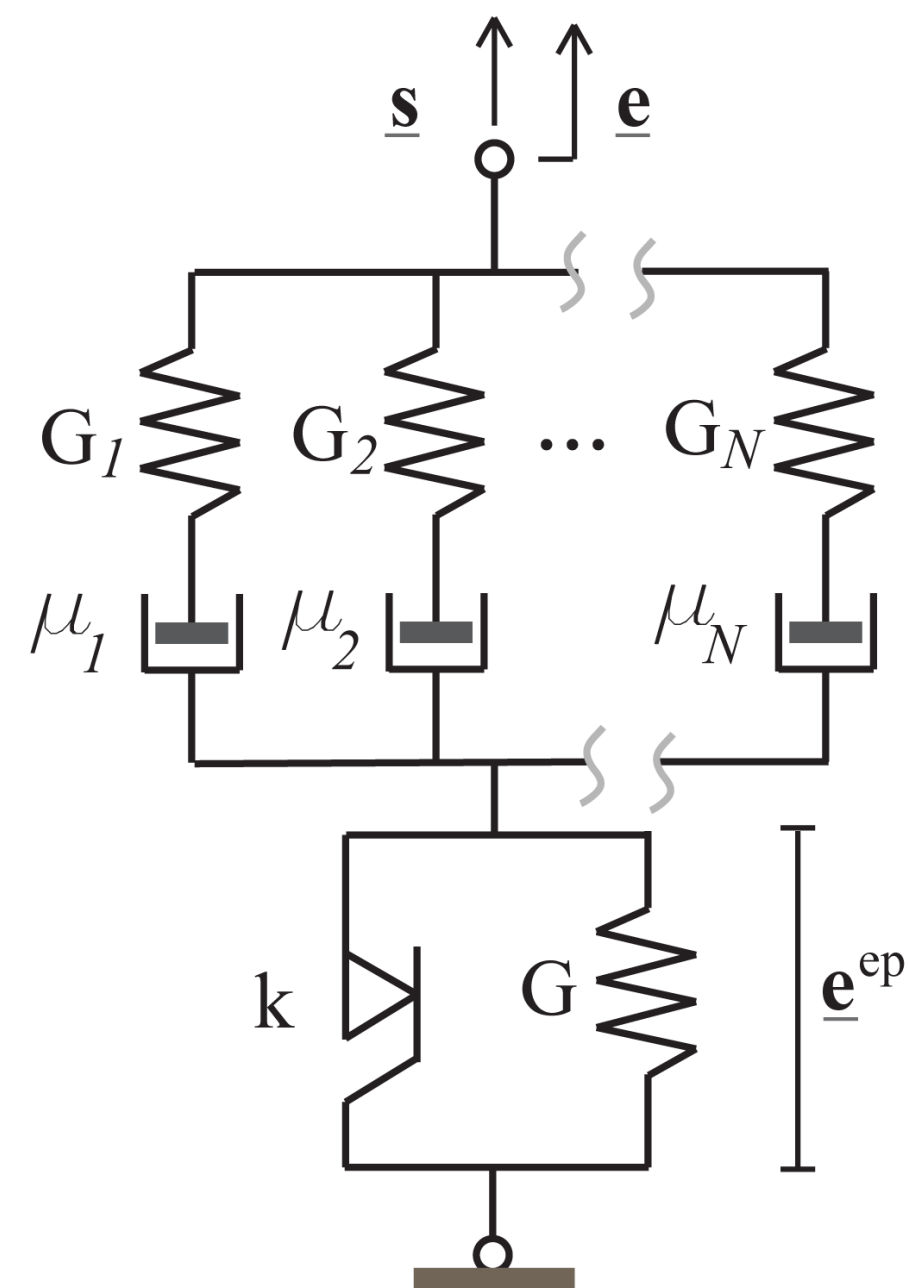
Opis konstytutywny i modelowanie numeryczne efektów niesprężystych w nawierzchniach asfaltowych

autor: Rafał Michalczyk, promotor: prof. dr hab. inż. Artur Zbiciak, 2018

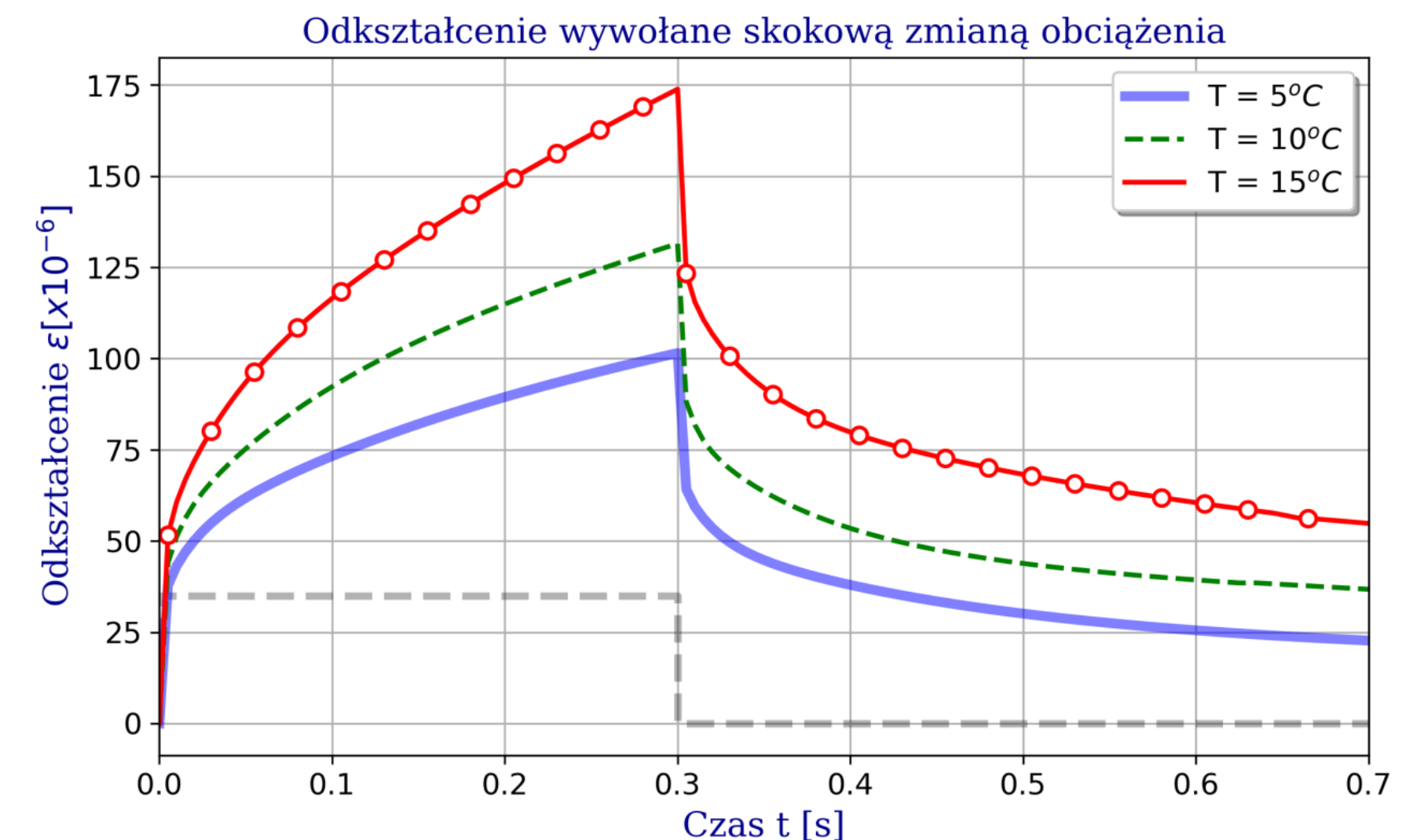
Uogólnione modele lepkosprężyste „Prony series” oraz uwzględniające zjawisko plastyczności

Implementacja opracowanych modeli materiałów w systemie MES Abaqus (FORTRAN i UMAT).

Sprawdzenie poprawności implementacji poprzez testy numeryczne.



Warunek plastyczności Misesa-Schleichera przy $\alpha = 1$ i różnych wartościach parametru η

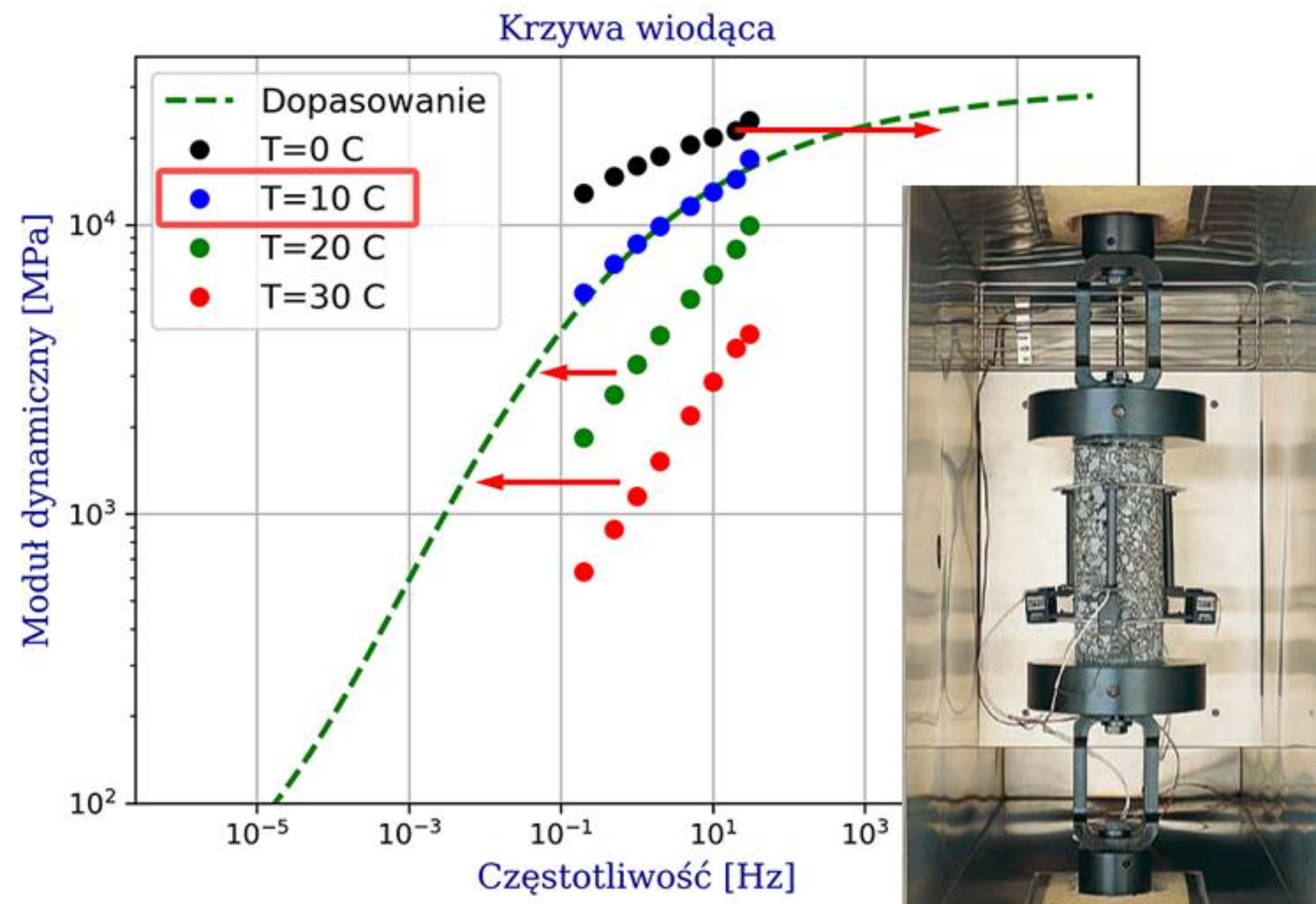


Porównanie wyników dla SMA w zależności od temperatury – test prostego ścinania

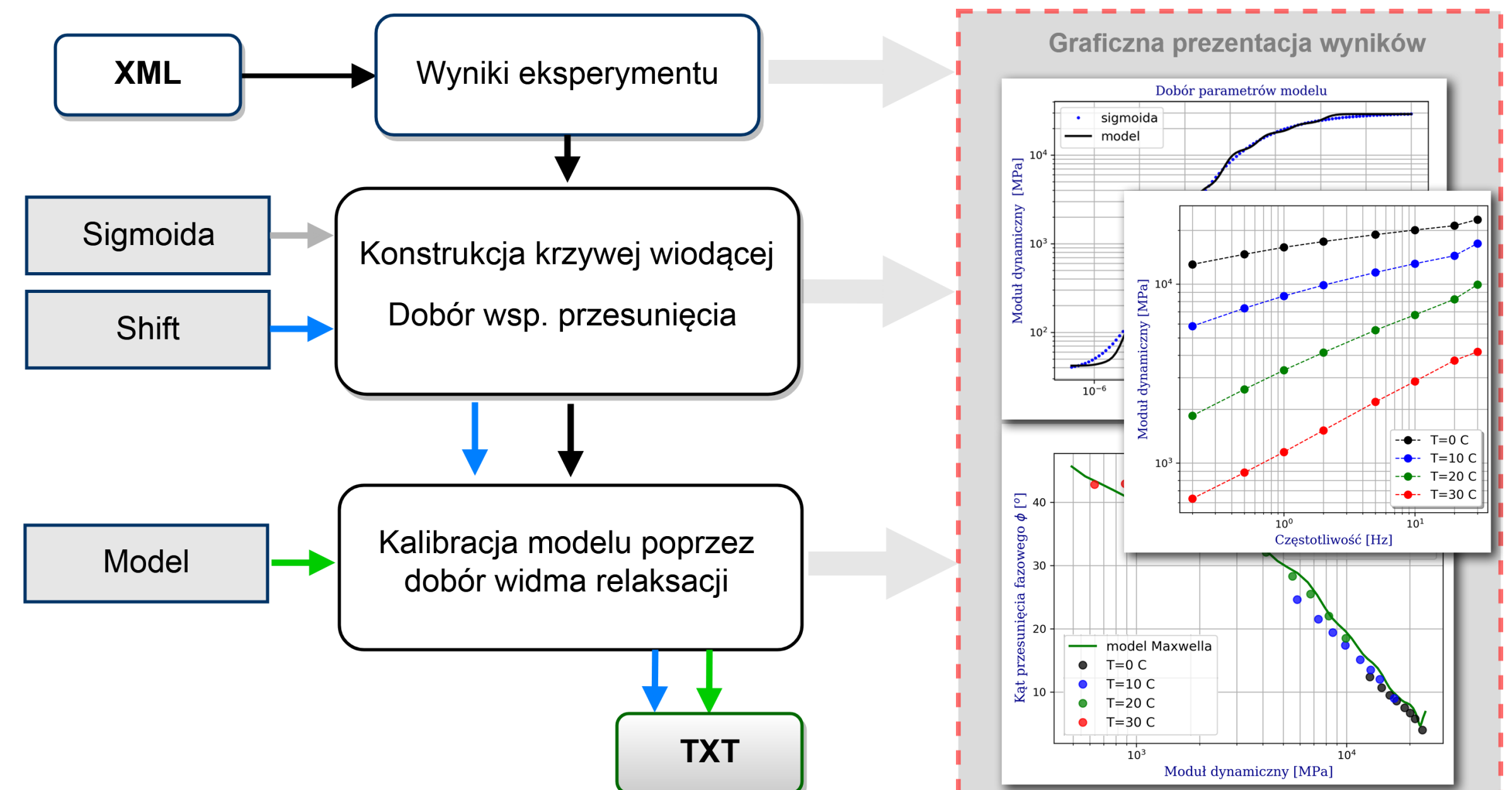
Opis konstytutywny i modelowanie numeryczne efektów niesprężystych w nawierzchniach asfaltowych

autor: Rafał Michalczyk, promotor: prof. dr hab. inż. Artur Zbiciak, 2018

- Identyfikacja modeli reologicznych na podstawie badań doświadczalnych
- Zaproponowano dwuetapową procedurę identyfikacji



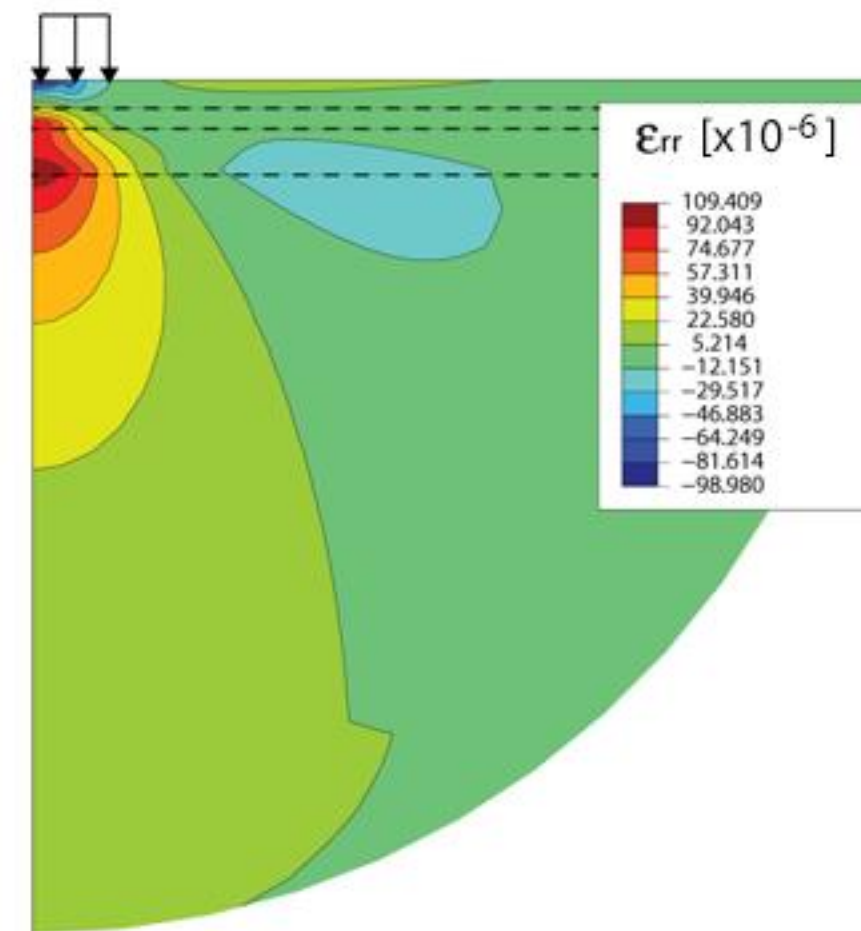
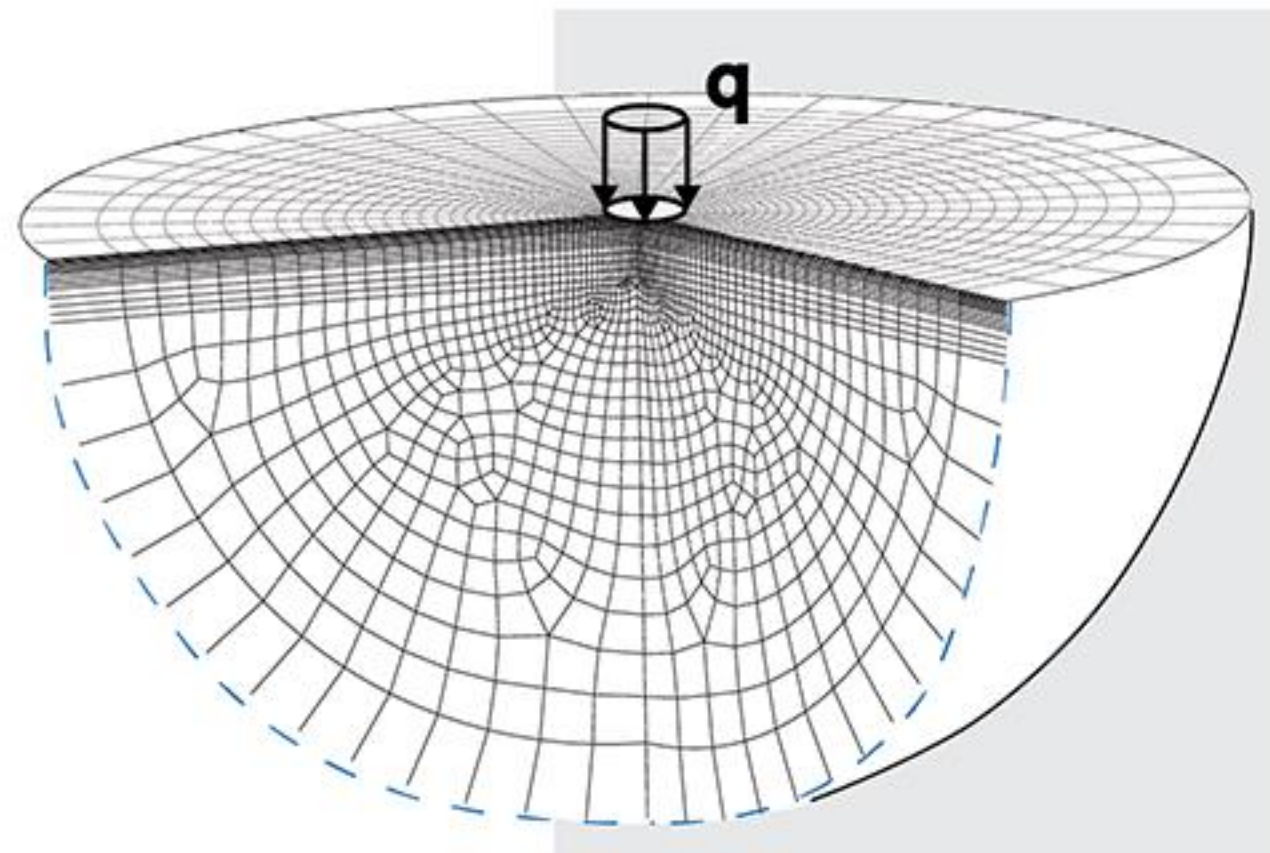
Opracowano program do optymalizacji dopasowania krzywych reprezentujących charakterystyki teoretyczne modeli konstytutywnych z wynikami badań.



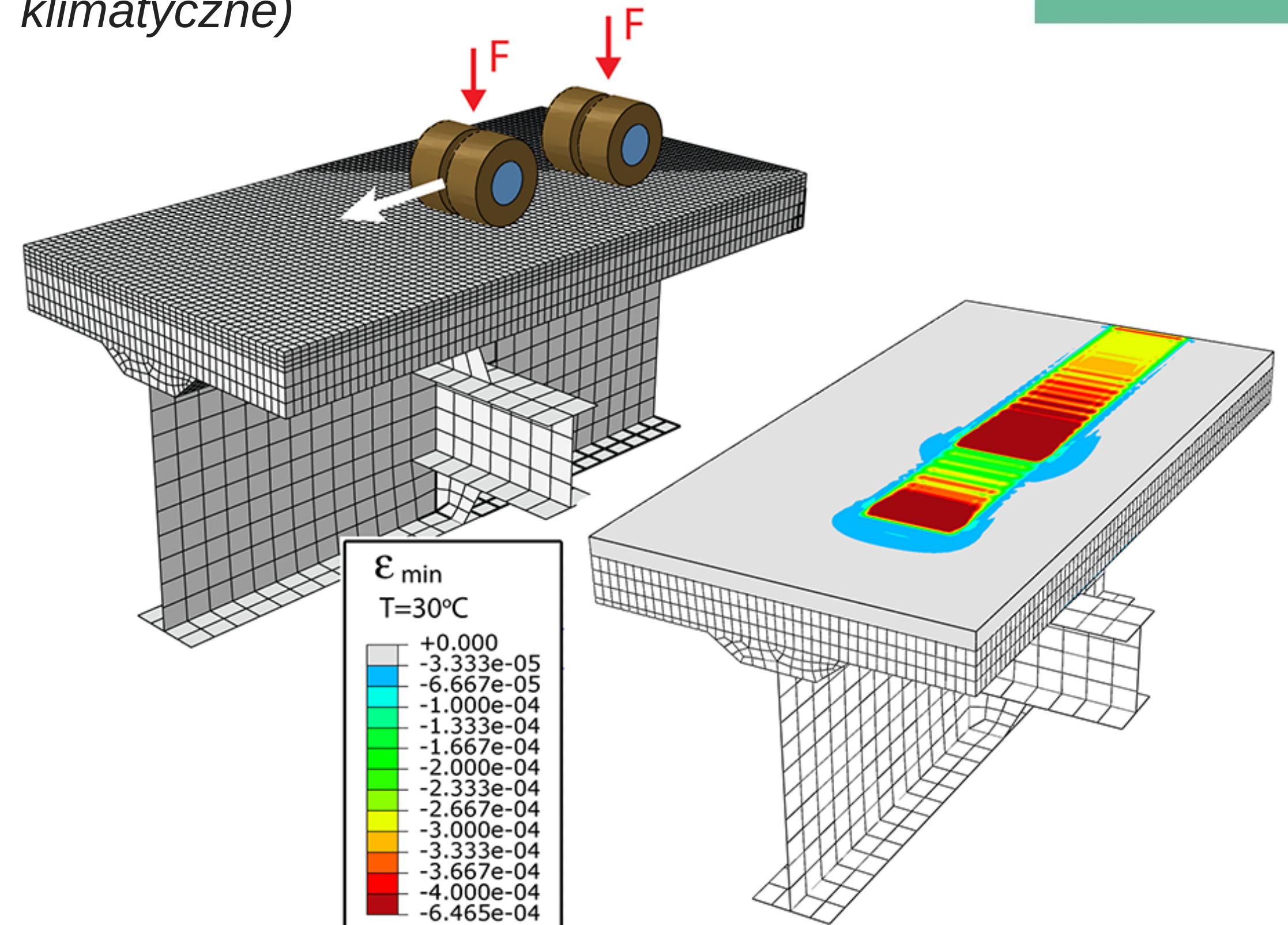
Opis konstytutywny i modelowanie numeryczne efektów niesprężystych w nawierzchniach asfaltowych

autor: Rafał Michalczyk, promotor: prof. dr hab. inż. Artur Zbiciak, 2018

- Symulacje z wykorzystaniem opracowanych modeli;
- Zastosowanie elementów specjalnych „nieskończonych” do określania wyężenia nawierzchni.

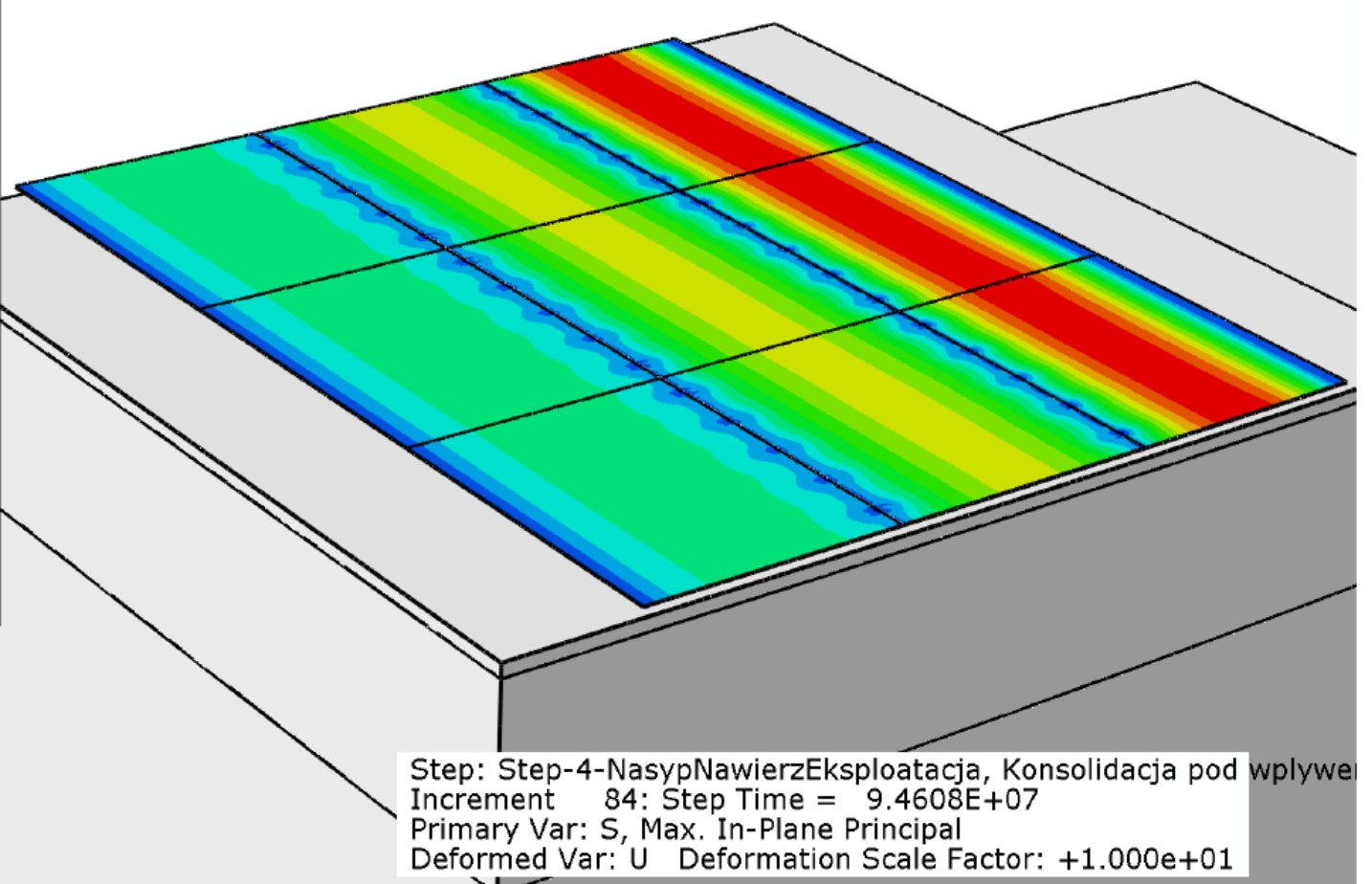
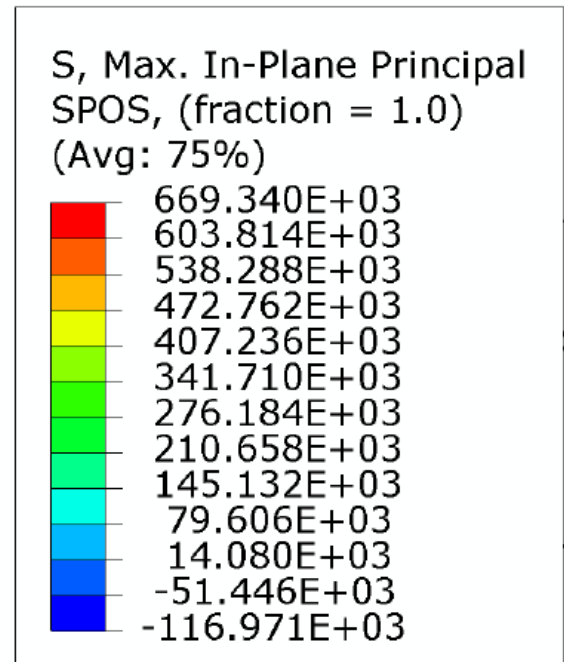
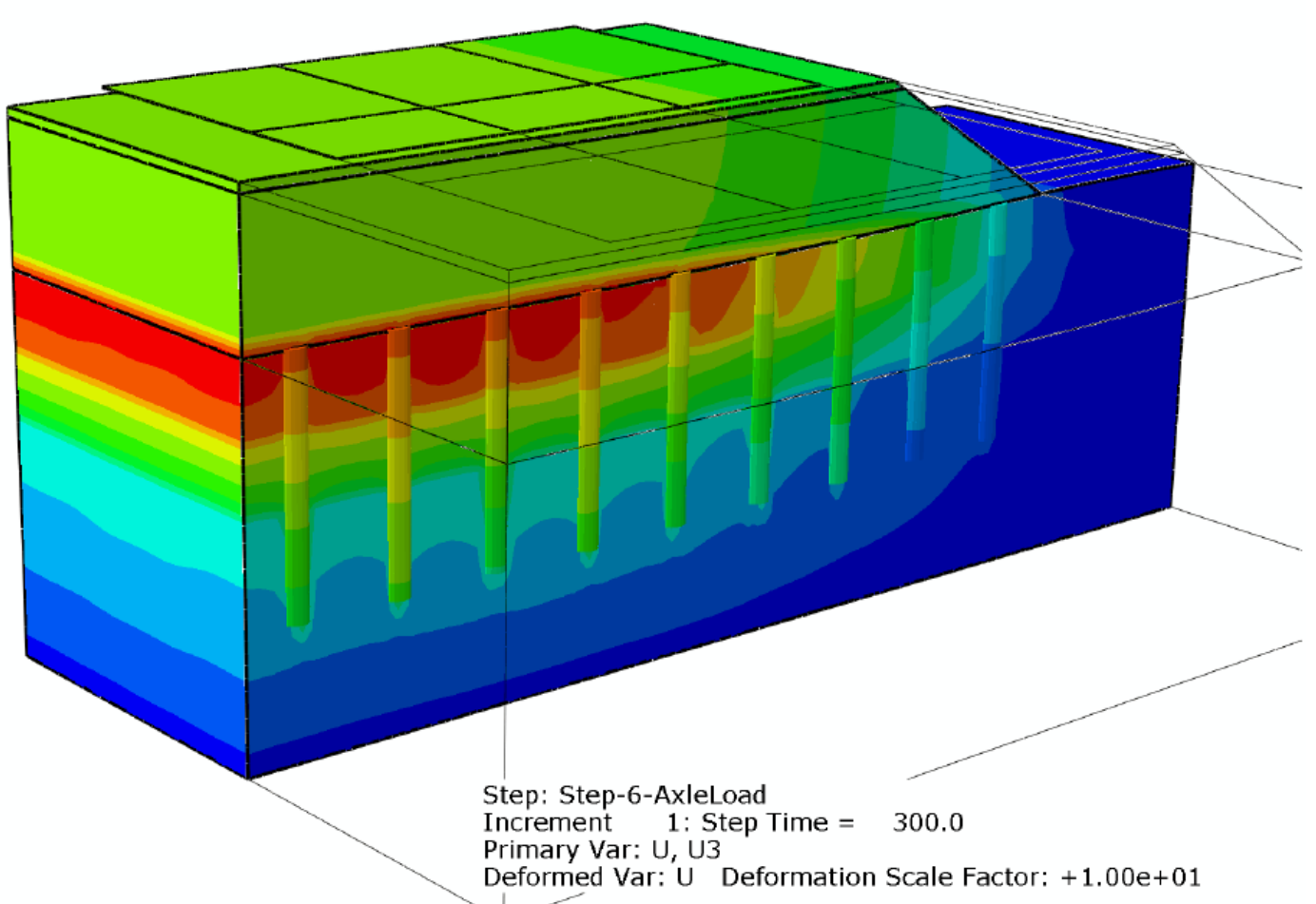
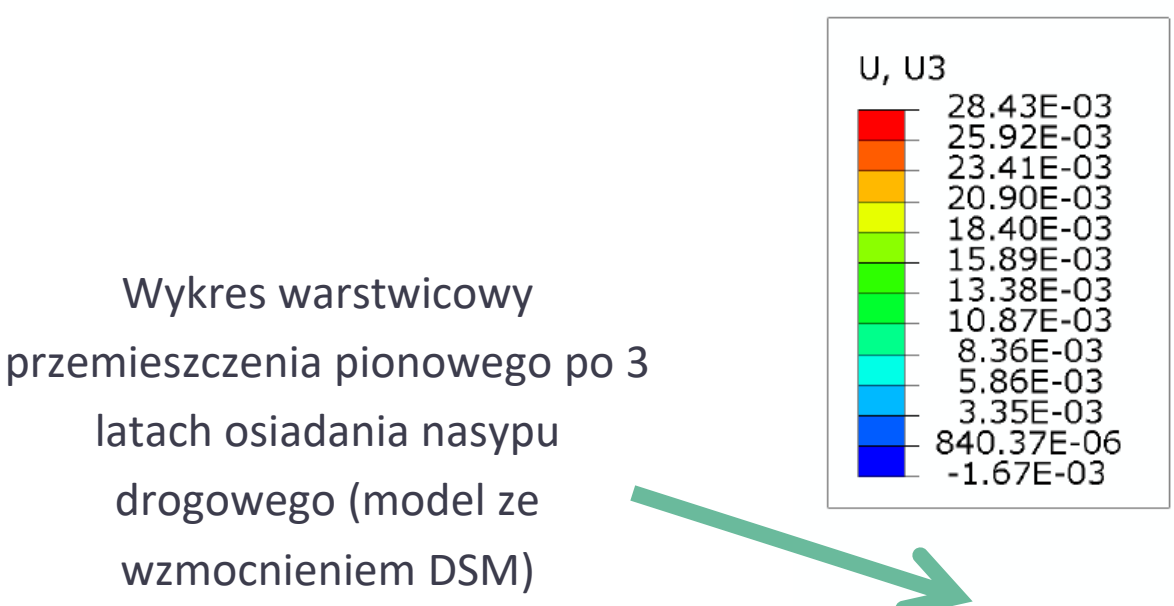
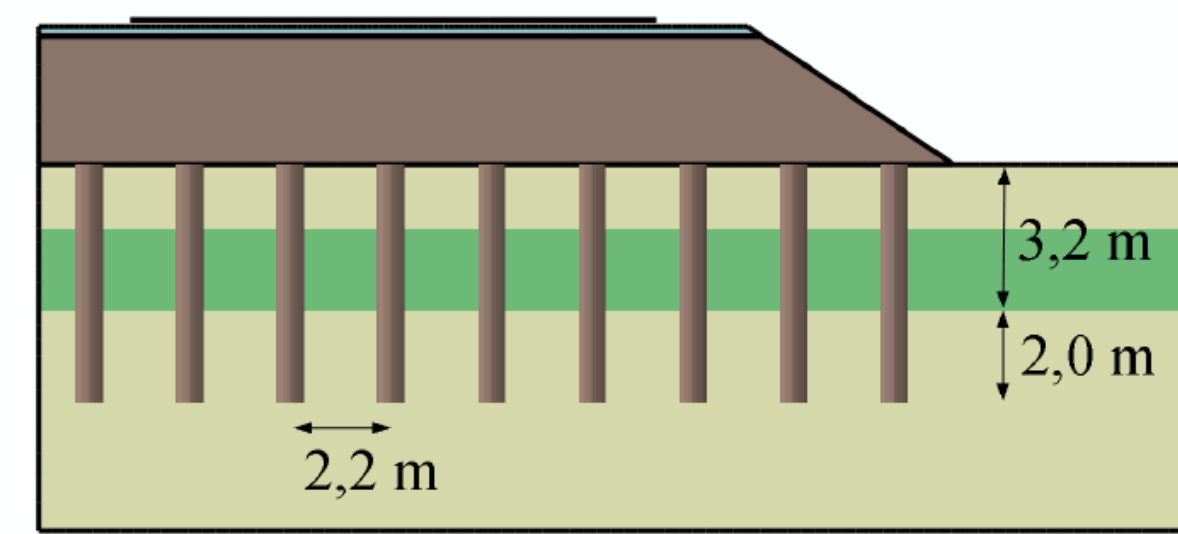
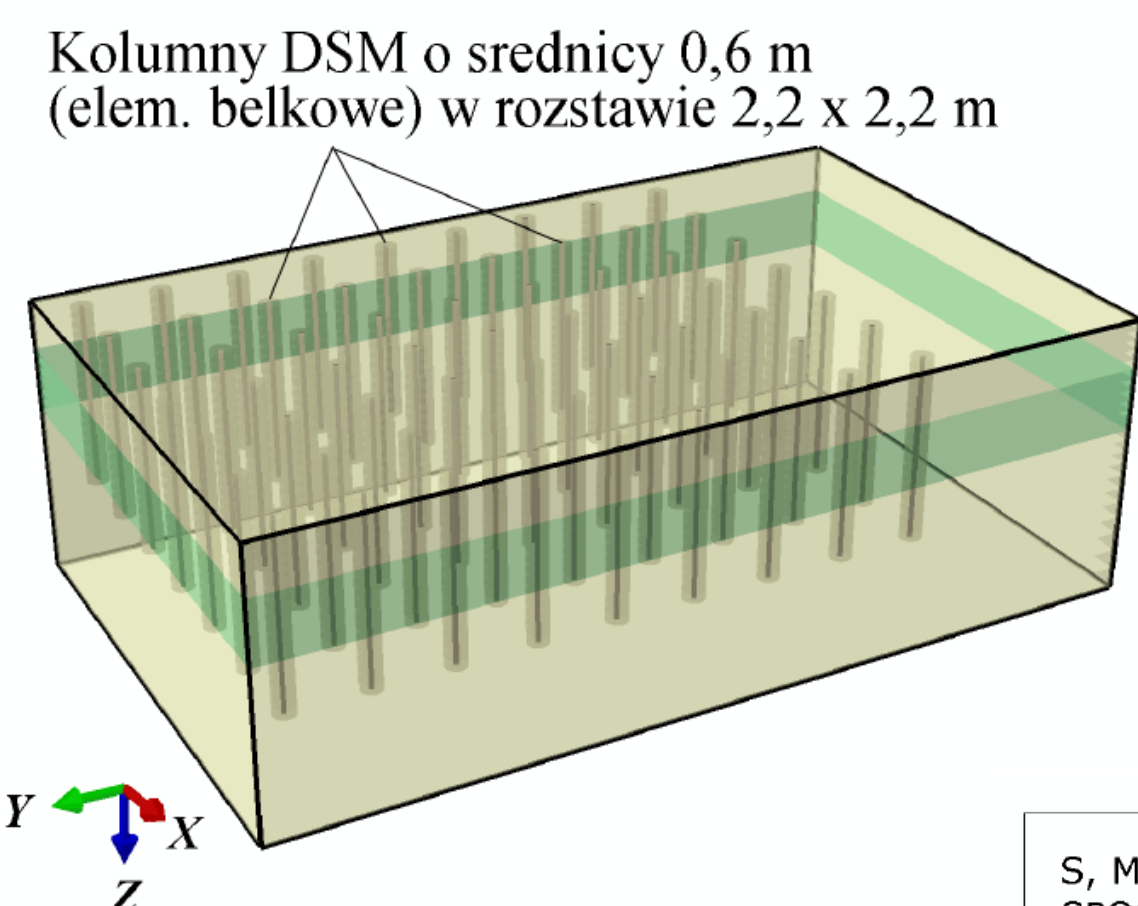
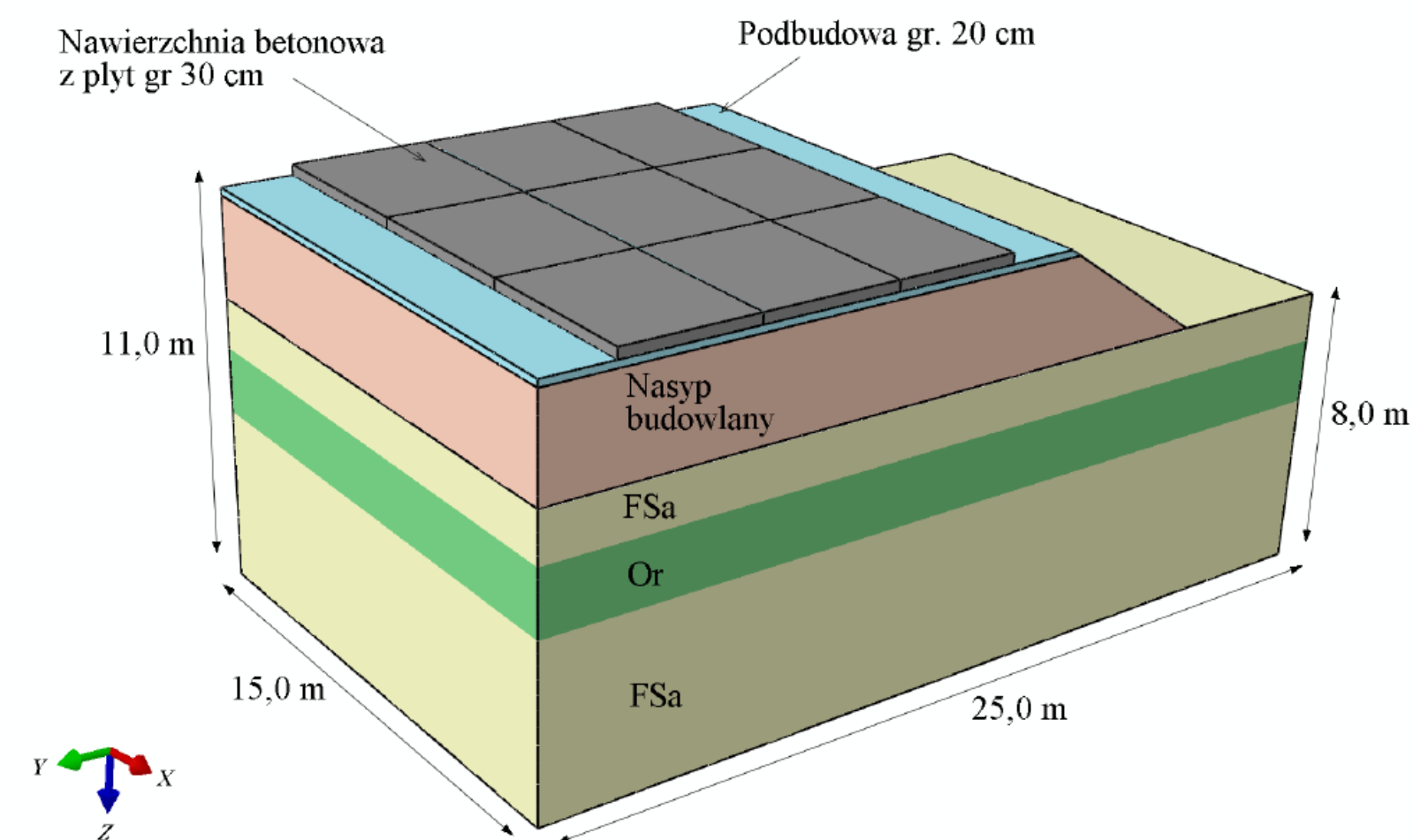


Modelowanie odkształceń warstw asfaltowych na obiekcie mostowym pod wpływem ruchomych obciążeń (specyficzne warunki obciążenia: ruch pojazdów, drgania konstrukcji pomostu oraz czynniki klimatyczne)



Modelowanie konstytutywnych właściwości gruntów jako podłoża betonowych nawierzchni drogowych

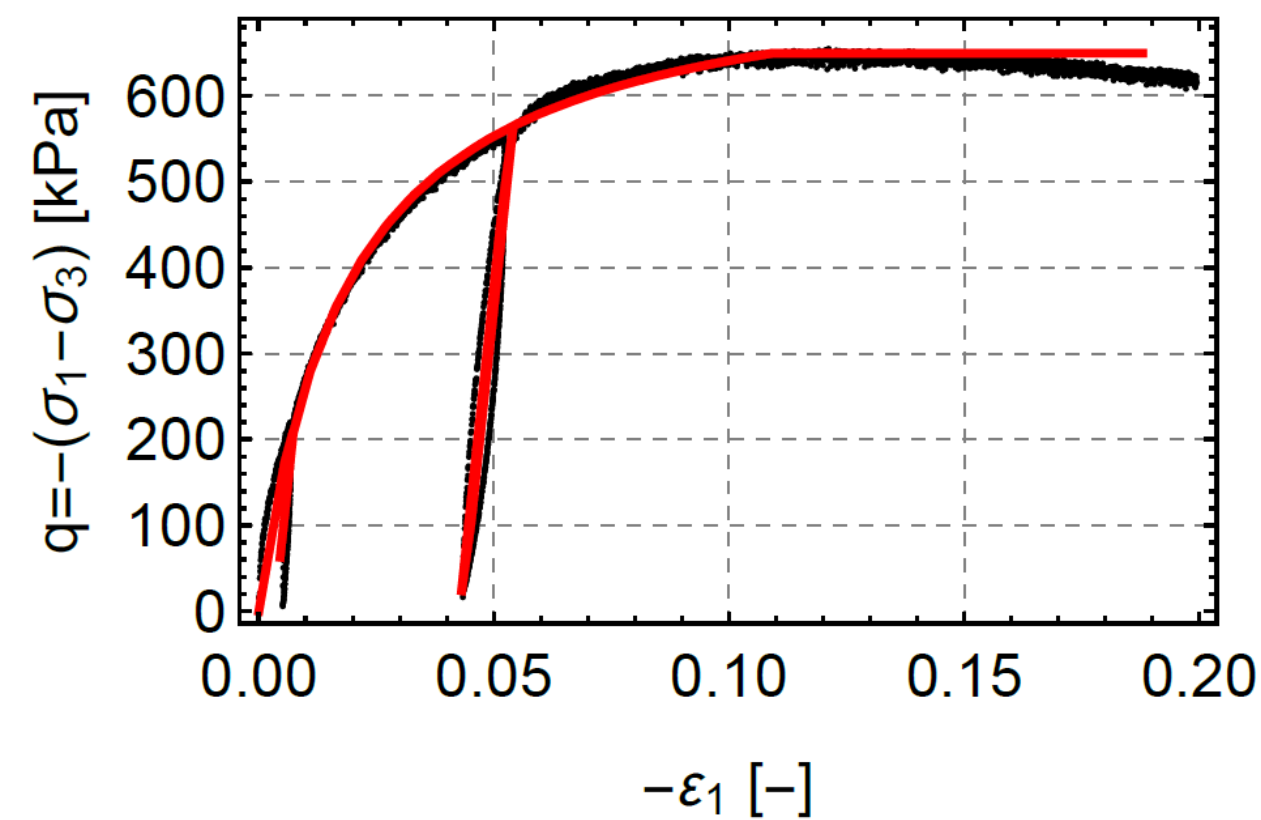
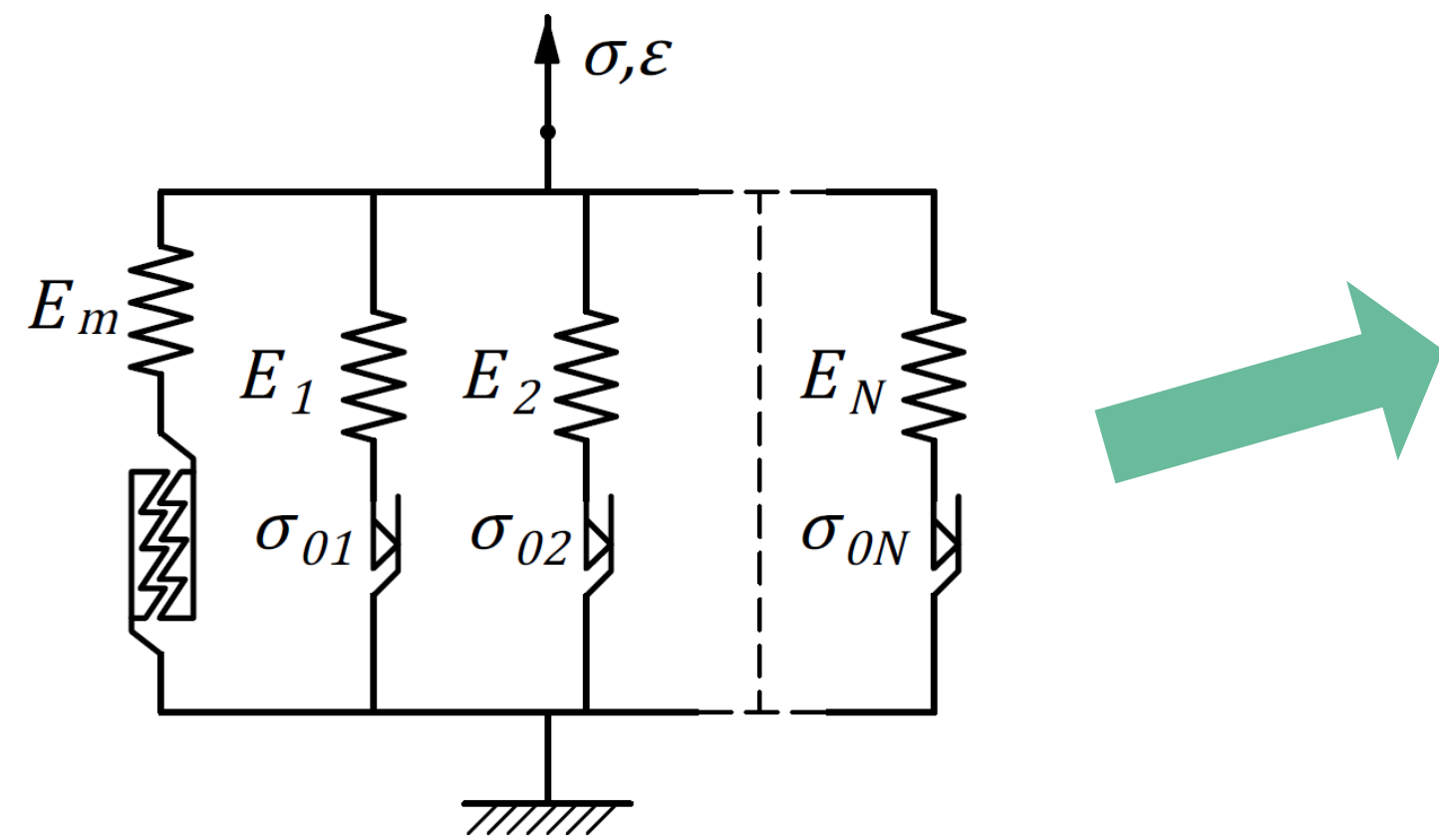
autor: Kazimierz Józefiak, promotor: prof. dr hab. inż. Artur Zbiciak, 2021



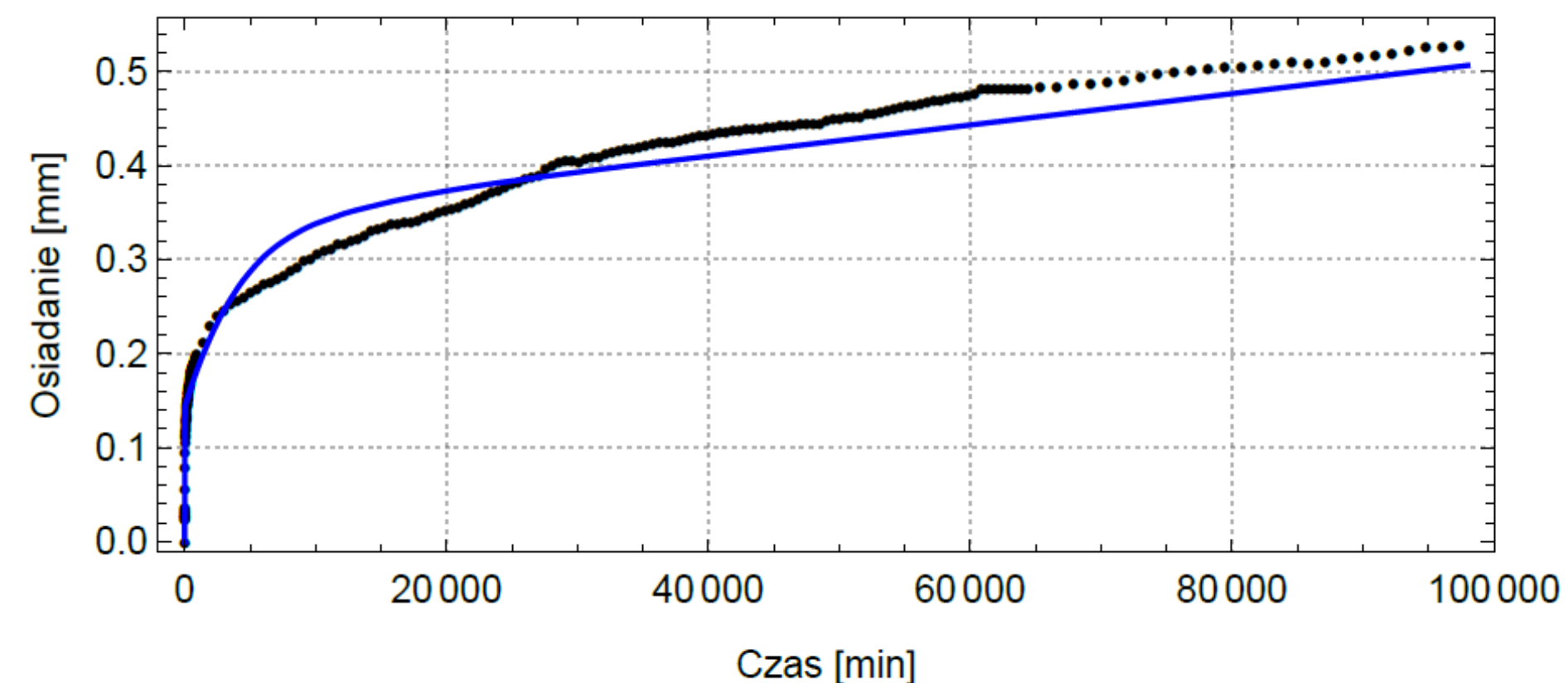
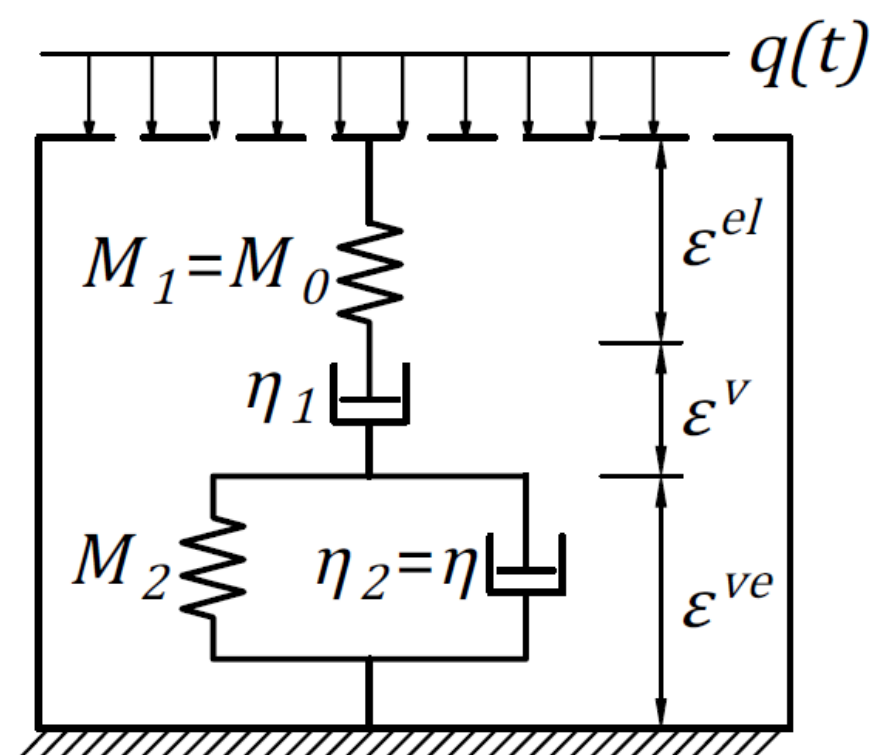
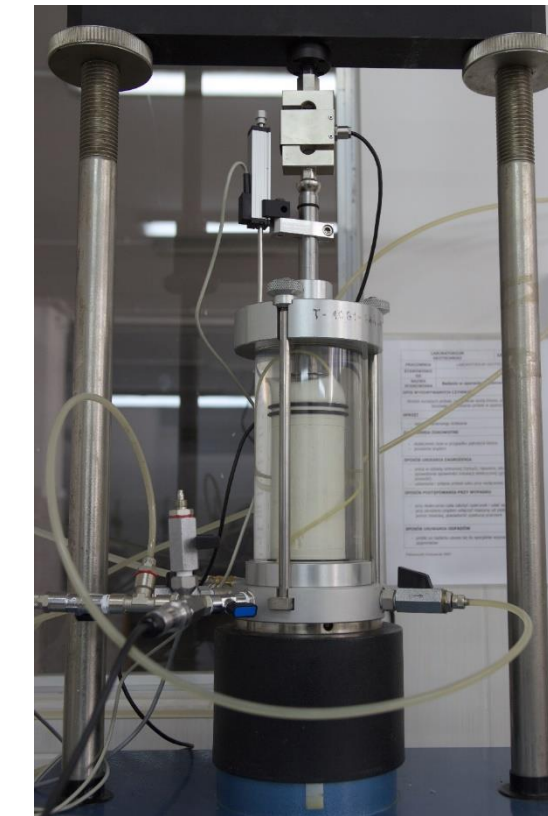
Wykres warstwowy największego naprężenia głównego na spodzie płyt nawierzchni po 3 latach osiadania nasypu drogowego (model bez wzmocnienia gruntu).

Modelowanie konstytutywnych właściwości gruntów jako podłoża betonowych nawierzchni drogowych

autor: Kazimierz Józefiak, promotor: prof. dr hab. inż. Artur Zbiciak, 2021



..... Wyniki TXICD
— Zmodyfikowany uogólniony model Prandtla



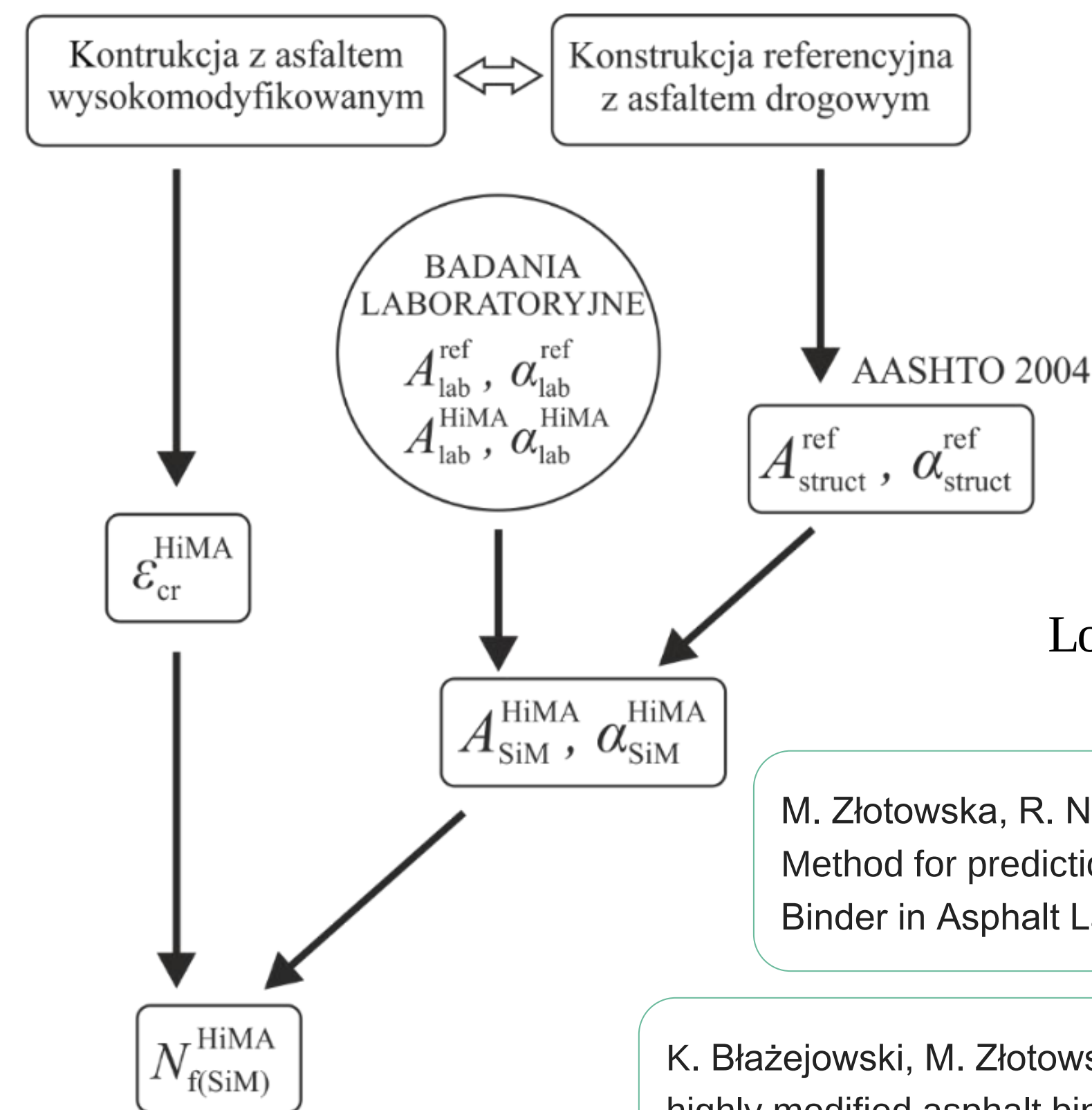
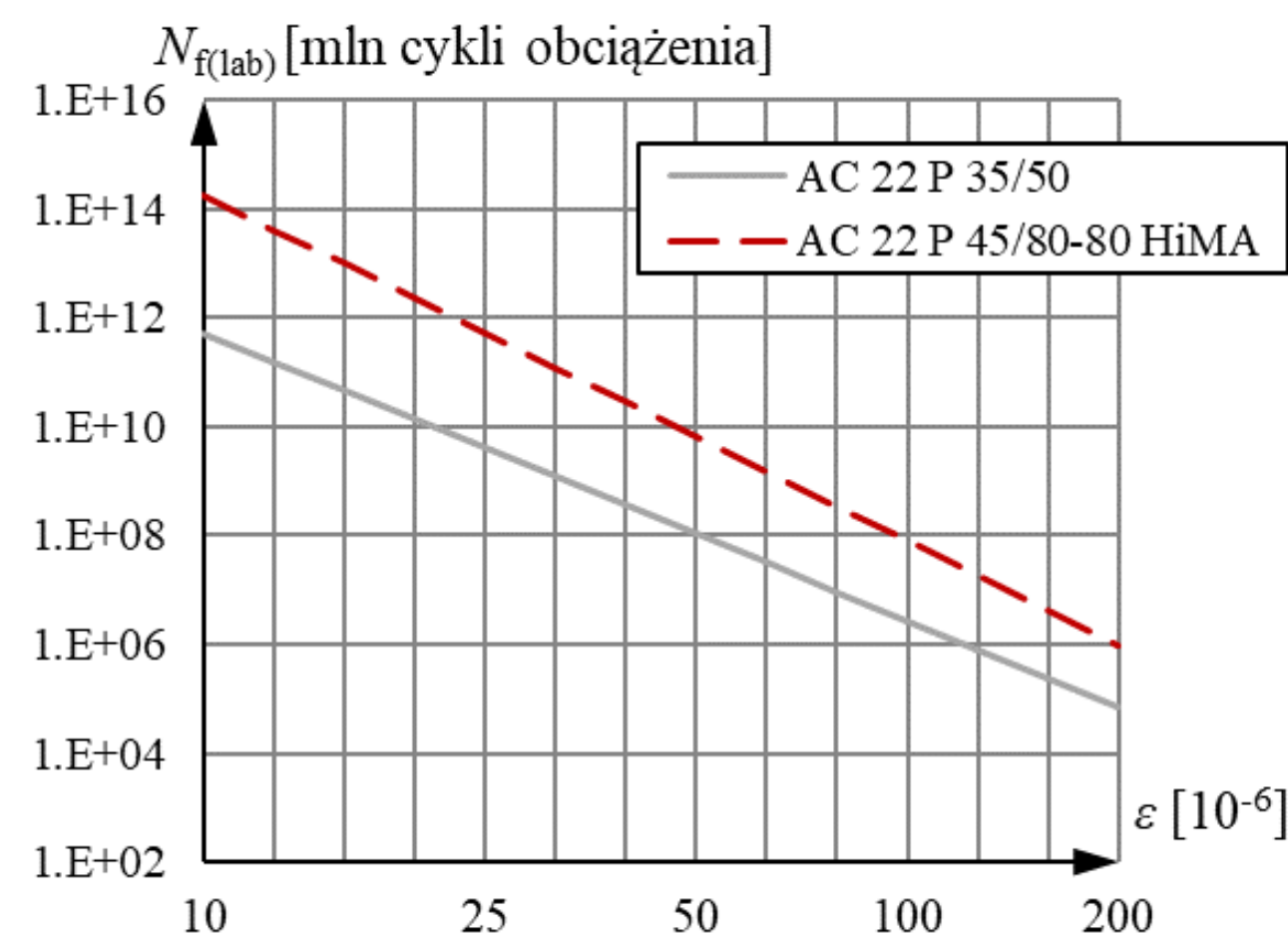
• Wyniki badania edometrycznego;
próba nr 1, $I_{om}=6,7\%$; $\Delta\sigma=100\text{kPa}$
— Model Burgersa
(szkielet gruntowy)



Prognozowanie trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni z asfaltem
wysokomodyfikowanym metodą podobieństwa SiM w projektowaniu indywidualnym
nawierzchni drogowych podatnych

autor: Magdalena Złotowska, promotorzy: prof. dr hab. inż. Roman Nagórski, dr inż. Krzysztof Błażejowski

Metoda SiM – **S**imilarity **M**ethod – zastosowanie
zależności charakterystyk zmęczeniowych mieszanek
mineralno-asfaltowych występujących w
podbudowie konstrukcji - z HiMA i referencyjnej



$$N_f = C \left(\frac{1}{\epsilon_{cr}} \right)^\alpha$$

$$\text{Log } N_f = \text{Log } C - \alpha \text{Log } \epsilon_{cr} = A - \alpha \text{Log } \epsilon_{cr}$$

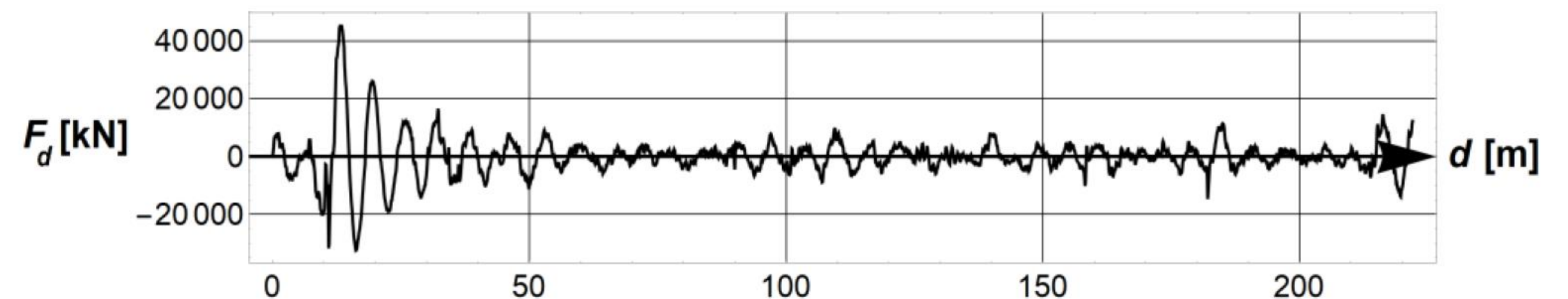
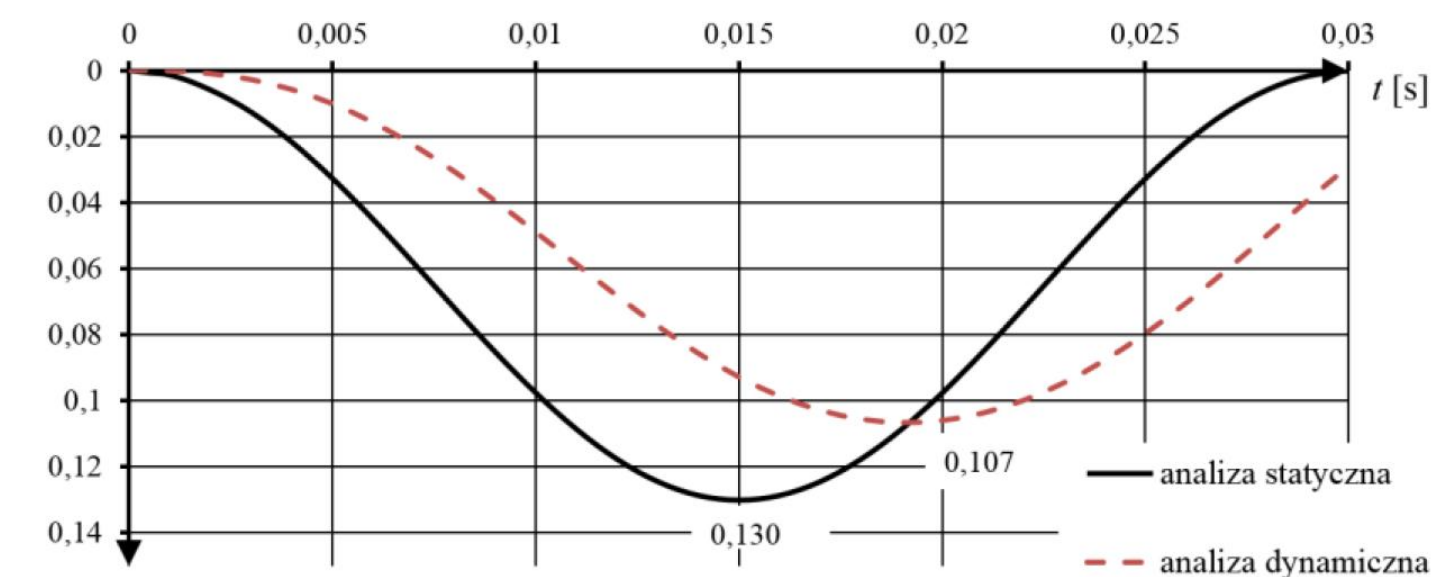
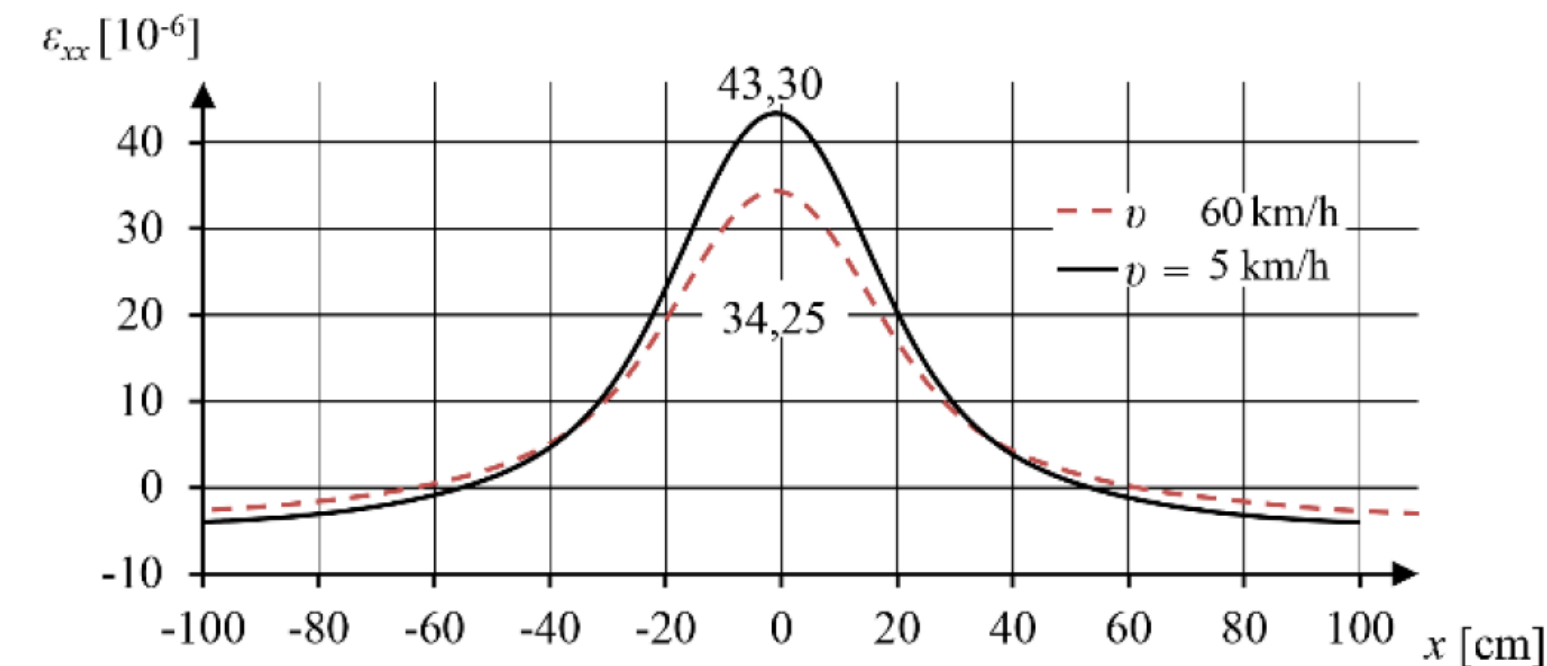
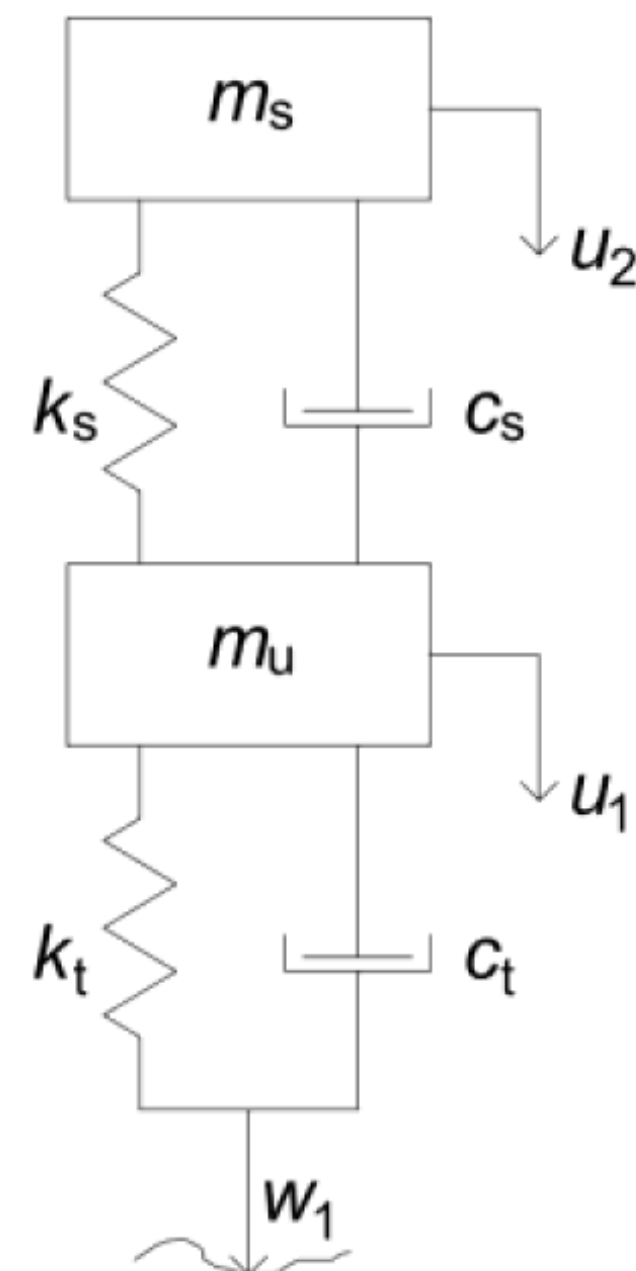
M. Złotowska, R. Nagórski, i K. Błażejowski, „Concept of Similarity Method for prediction of fatigue life of pavement structures with HiMA Binder in Asphalt Layers”, *Materials*, t. 14, nr 3, ss. 1–14, 2021.

K. Błażejowski, M. Złotowska, R. Nagórski, i P. Tutka, „The influence of highly modified asphalt binder on pavement fatigue life prediction – selected problems”, *Archives of Civil Engineering*, t. 67, nr 4, ss. 1–16, 2021.

Ocena wpływu wybranych efektów dynamicznych na kluczowe charakterystyki mechaniczne nawierzchni drogowej podatnej i półsztywnej.

autor: Paweł Tutka, promotor: prof. Roman Nagórski

- Wpływ efektów dynamicznych na trwałość nawierzchni
- Wpływ efektów dynamicznych na obliczenia półodwrotne
- Wpływ nierówności nawierzchni na obciążenia nawierzchni



P. Tutka, R. Nagórski, M. Złotowska, i M. Rudnicki, „Sensitivity Analysis of Determining the Material Parameters of an Asphalt Pavement to Measurement Errors in Backcalculations”, Materials, t. 14, nr 4, ss. 1–16, 2021.



**Wydział
Inżynierii Lądowej**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Zakład Mechaniki Teoretycznej, Mechaniki Nawierzchni i Dróg Szynowych

Kierunki badań naukowych w zakresie
infrastruktury torowej dróg szynowych

prof. dr hab. inż. Artur Zbiciak wraz z zespołem

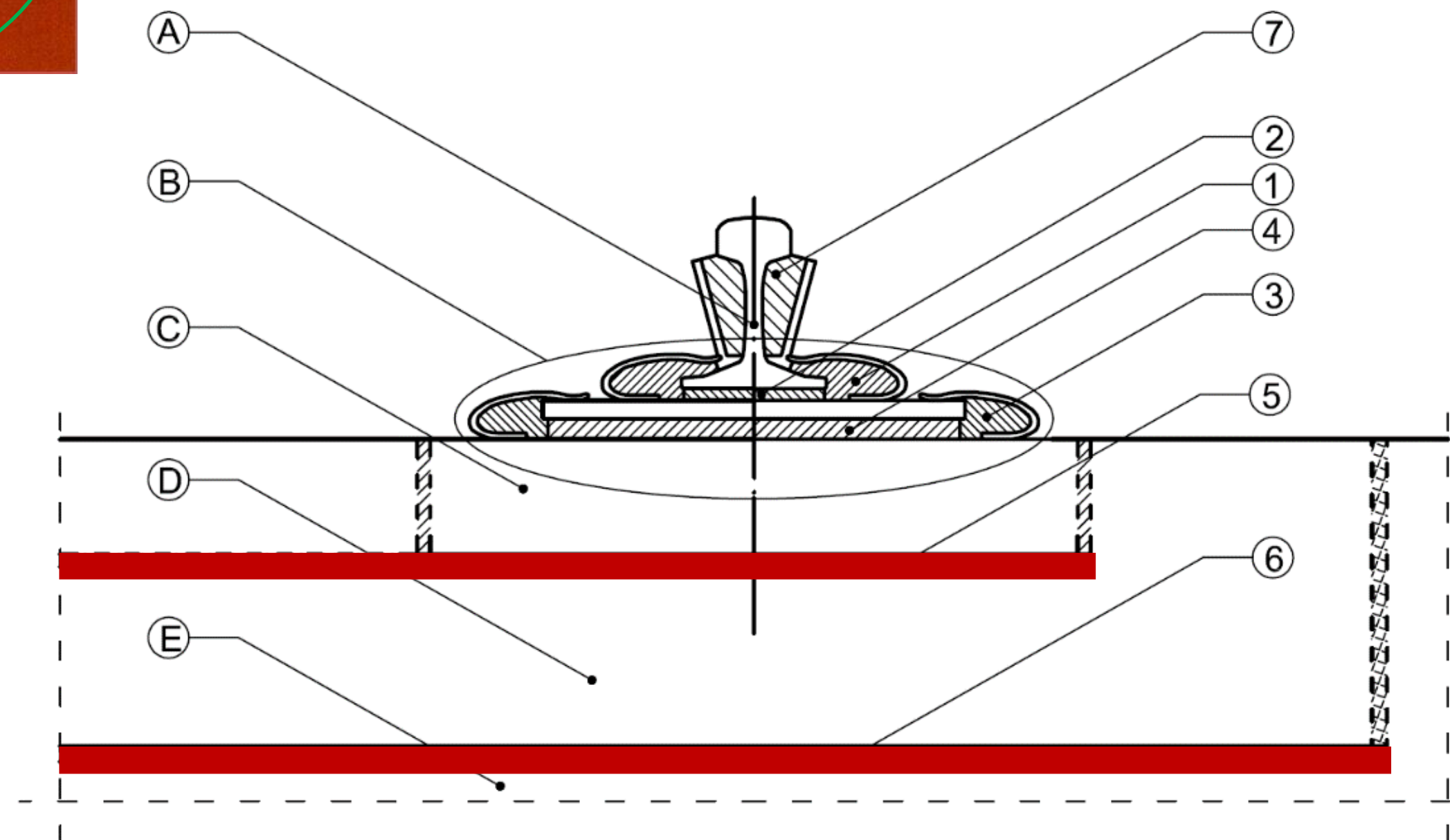
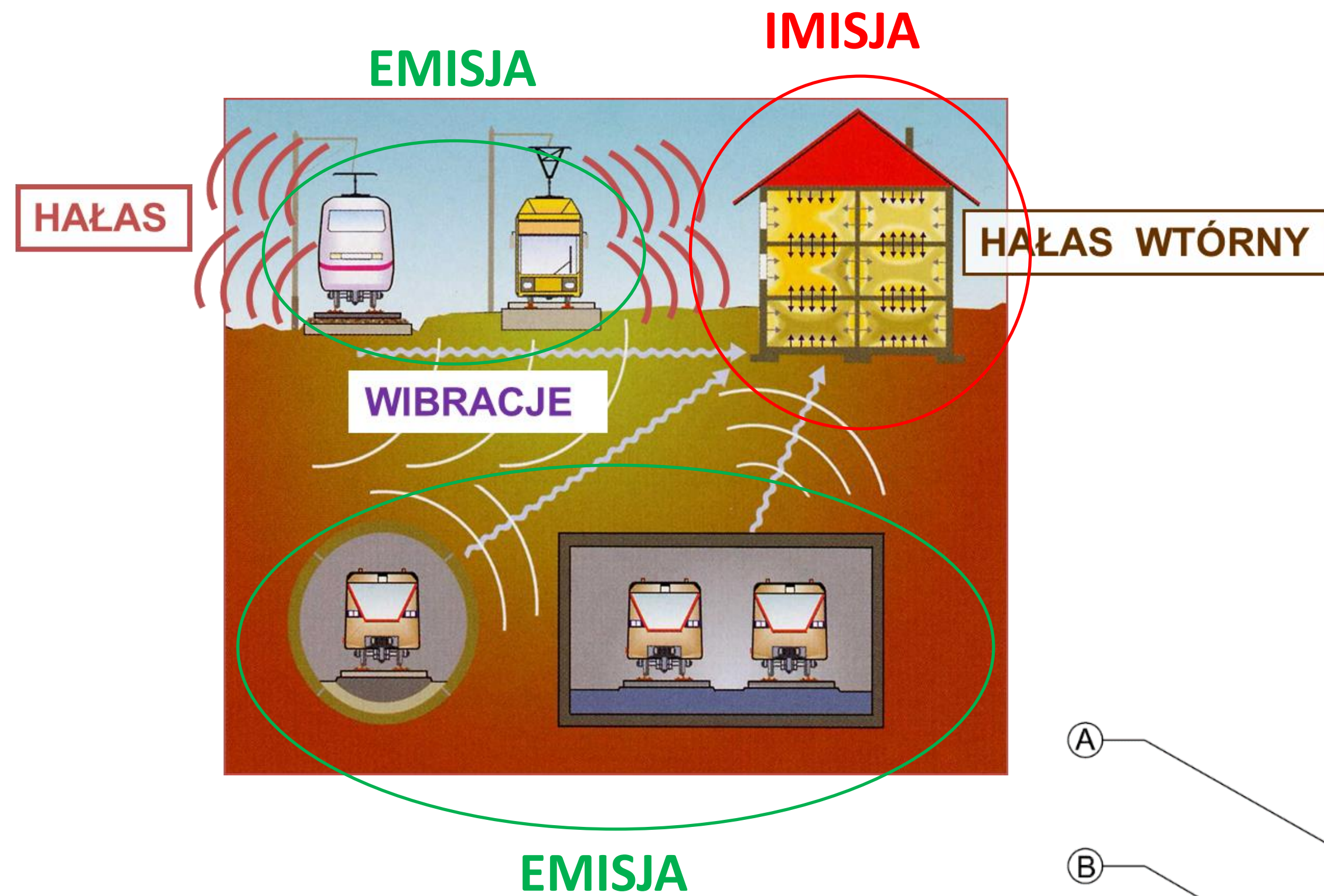
opracował: dr inż. Cezary Kraśkiewicz

Seminarium IDiM

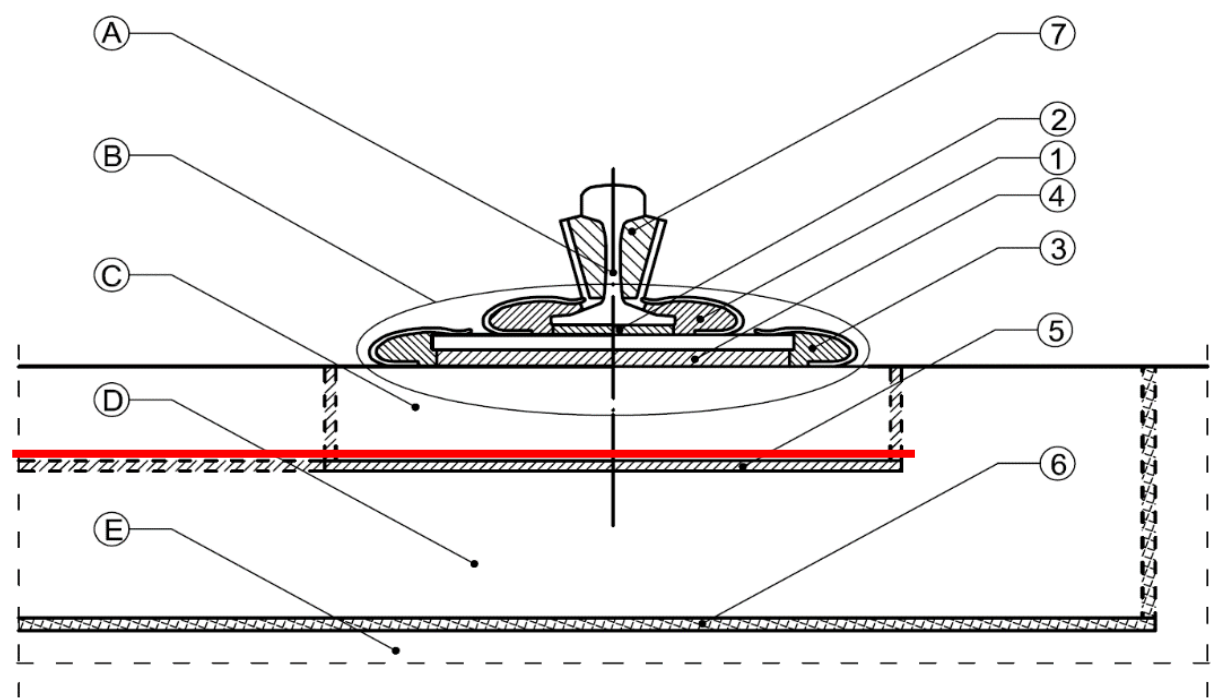
19 stycznia 2022 r.



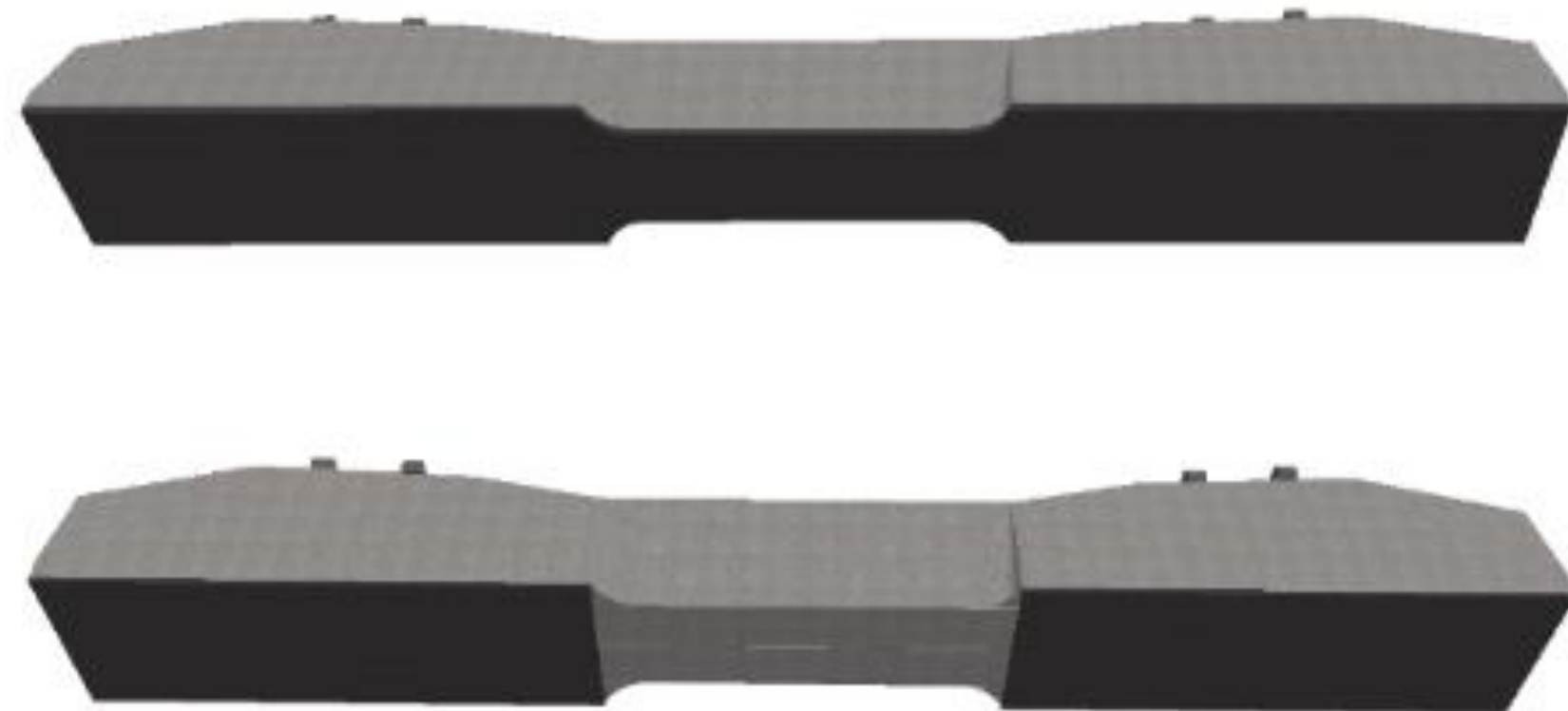
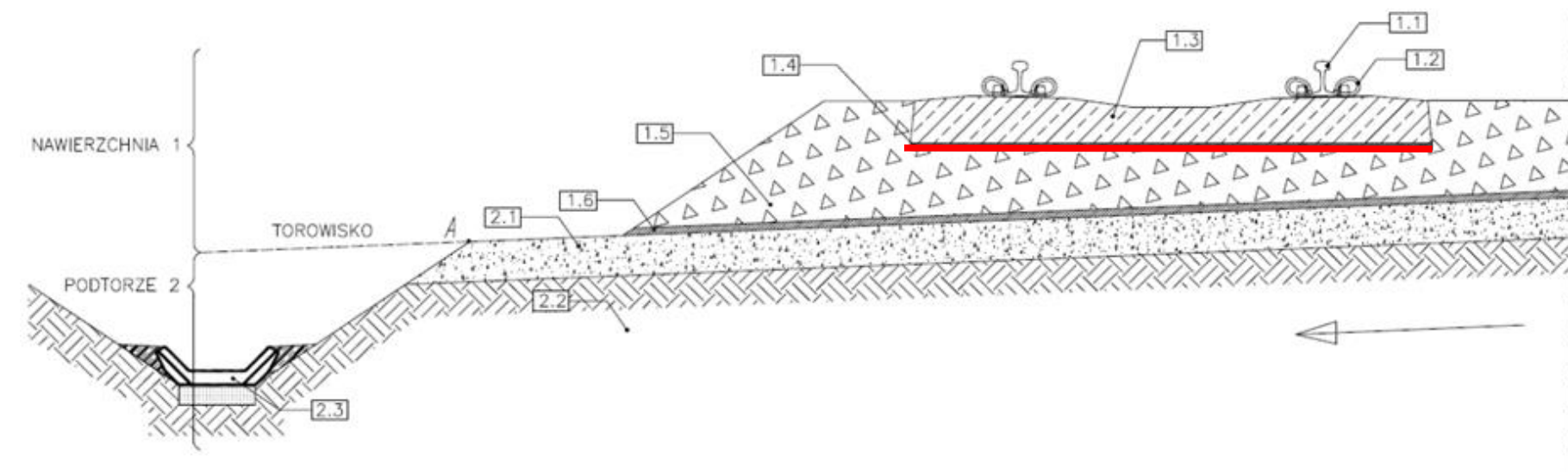
STREFY WYSTĘPOWANIA IZOLATORÓW WIBROAKUSTYCZNYCH W KONSTRUKCJI DRÓG SZYNOWYCH



STREFY WYSTĘPOWANIA IZOLATORÓW WIBROAKUSTYCZNYCH W KONSTRUKCJI DRÓG SZYNOWYCH



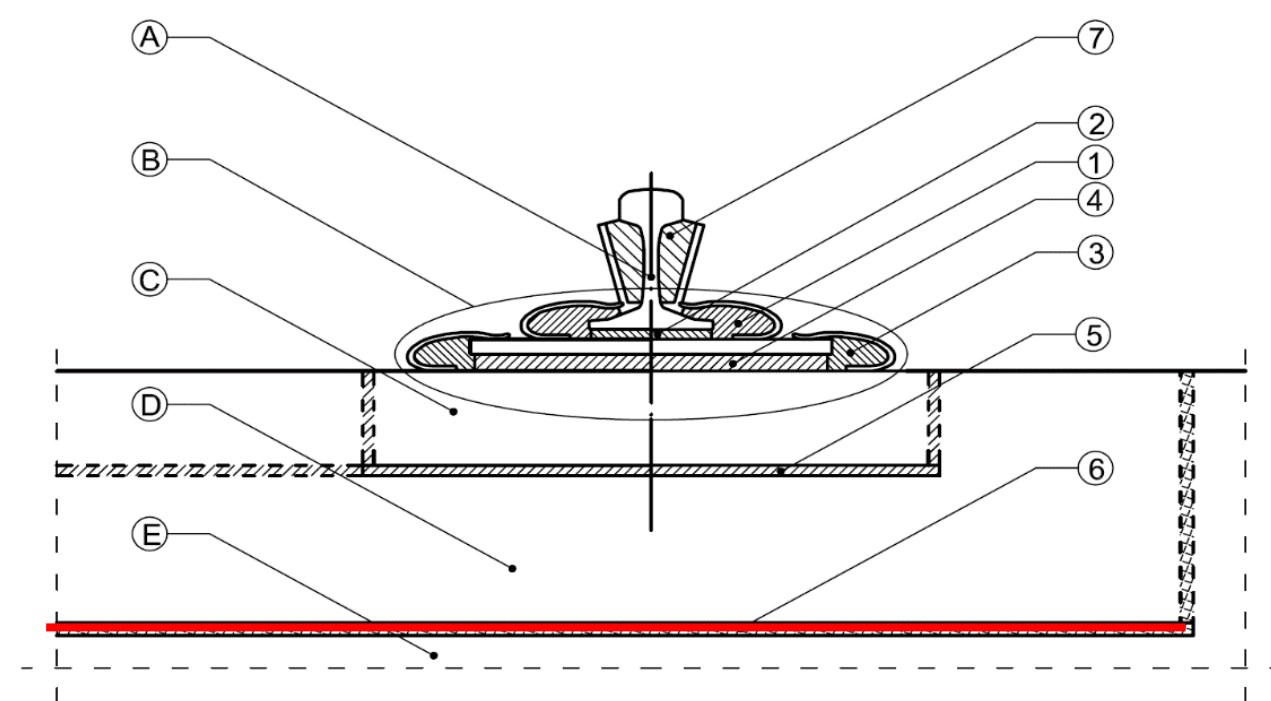
- sprężyste **podparcie** i mocowanie **podpory szynowej** (podkładu belkowego lub bloku podporowego):
podkładka **podpodkładowa USP**, podkładka podblokowa, masa podlewowa i zalewowa;



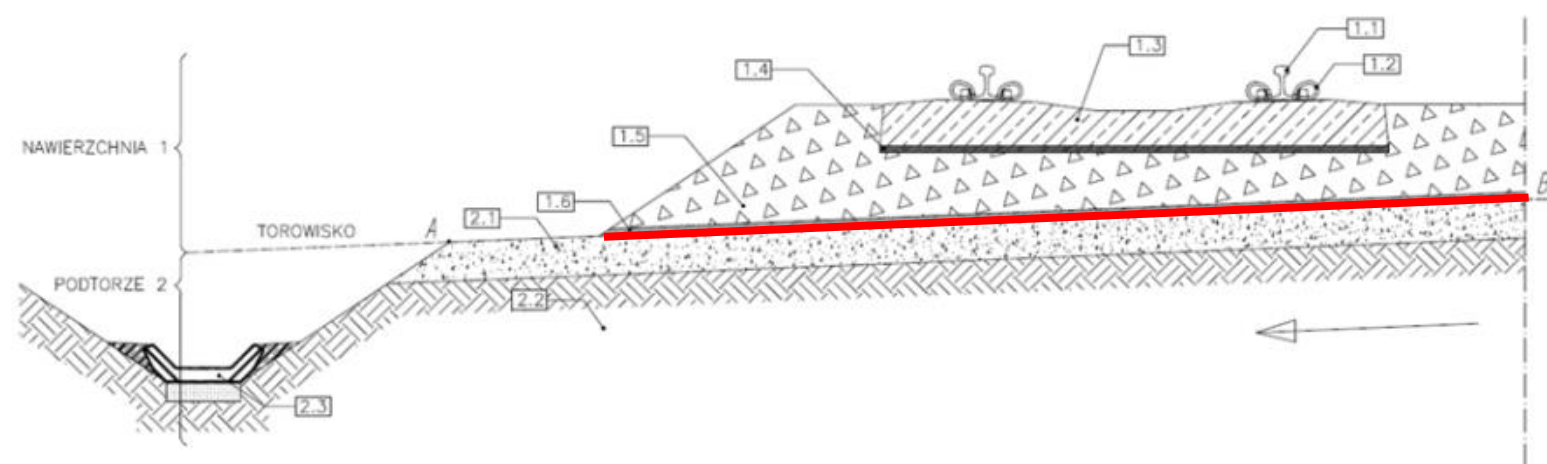
Politechnika
Warszawska



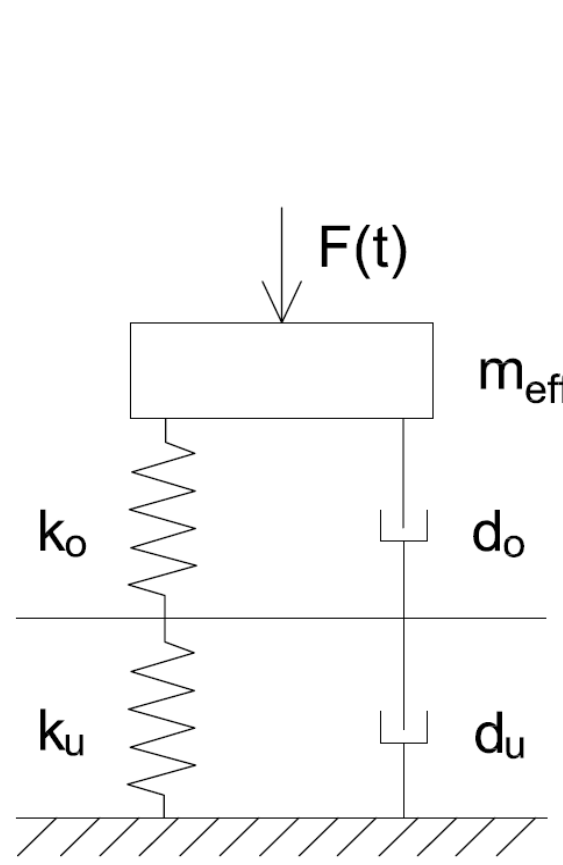
STREFY WYSTĘPOWANIA IZOLATORÓW WIBROAKUSTYCZNYCH W KONSTRUKCJI DRÓG SZYNOWYCH



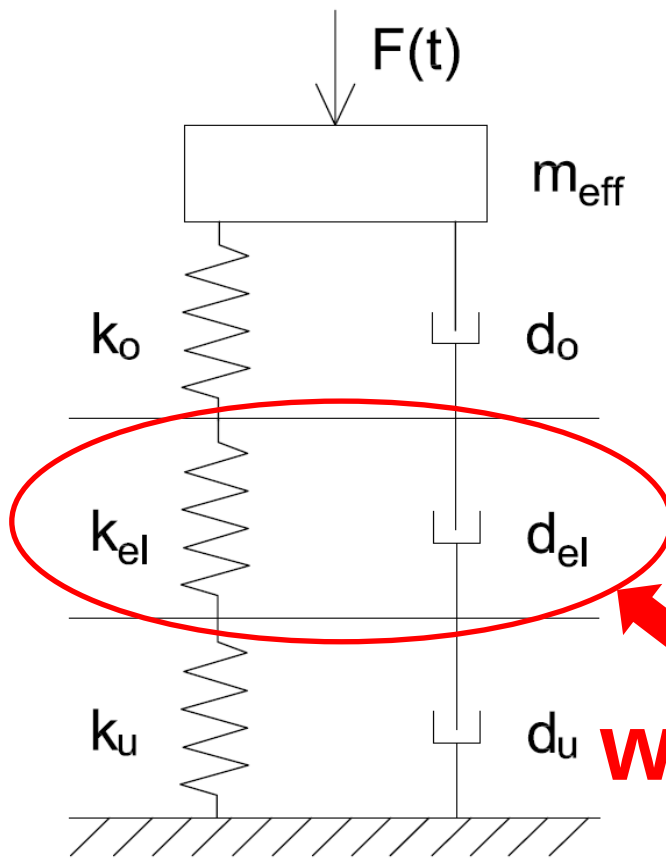
- sprężyste **podparcie** i mocowanie **nawierzchni szynowej**: **mata podpodsypkowa/podtłuczniowa UBM** lub pod płytowa – które to elementy łącznie z konstrukcją nawierzchni szynowej spoczywającej na nich stanowią tzw. system masy odsprężynowanej;



CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA SKUTECZNOŚĆ WIBROIZOLACJI W KONSTRUKCJI DROGI SZYNOWEJ



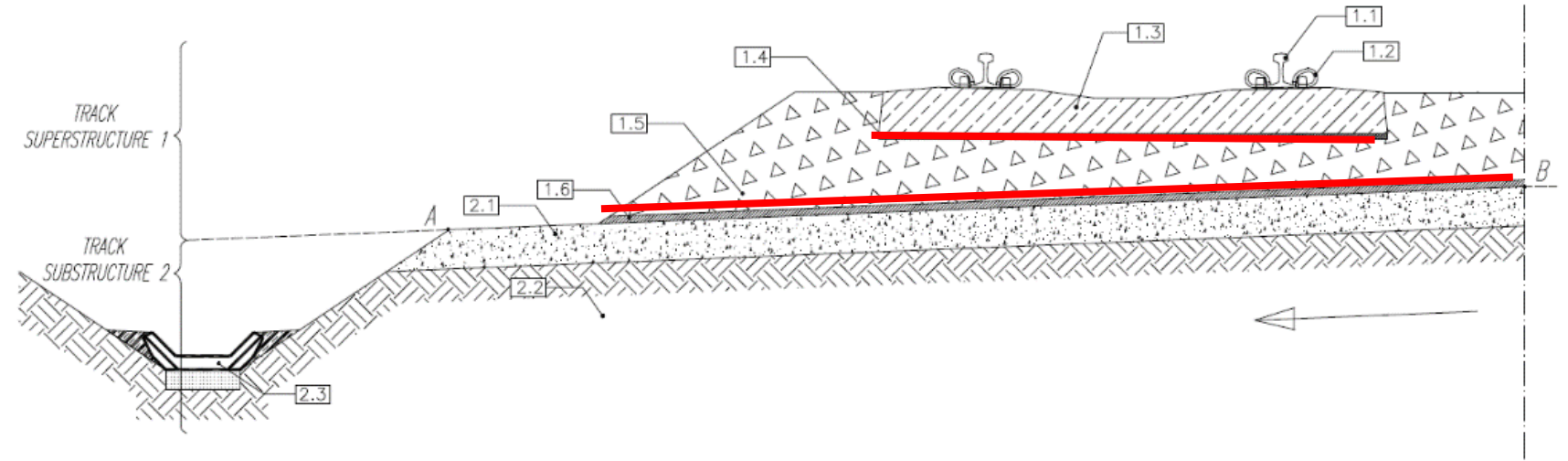
układ referencyjny



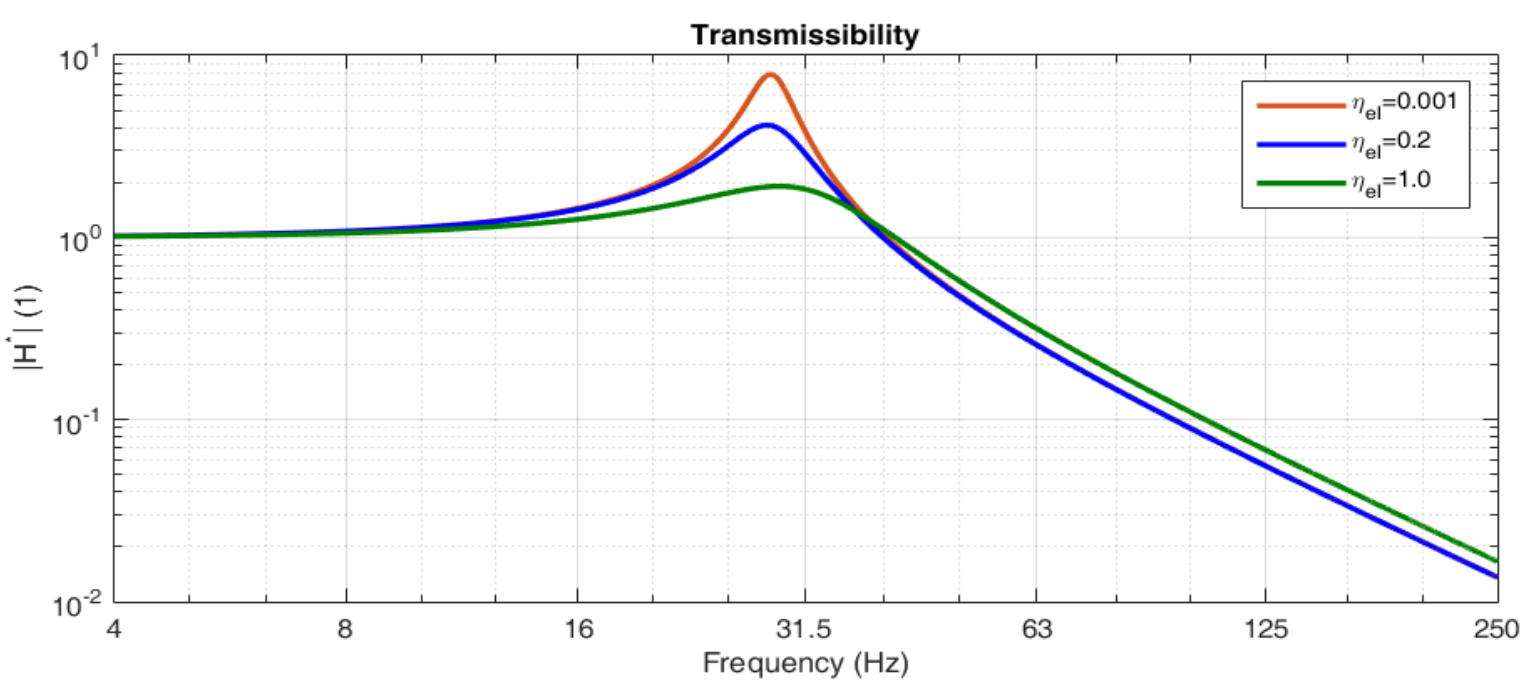
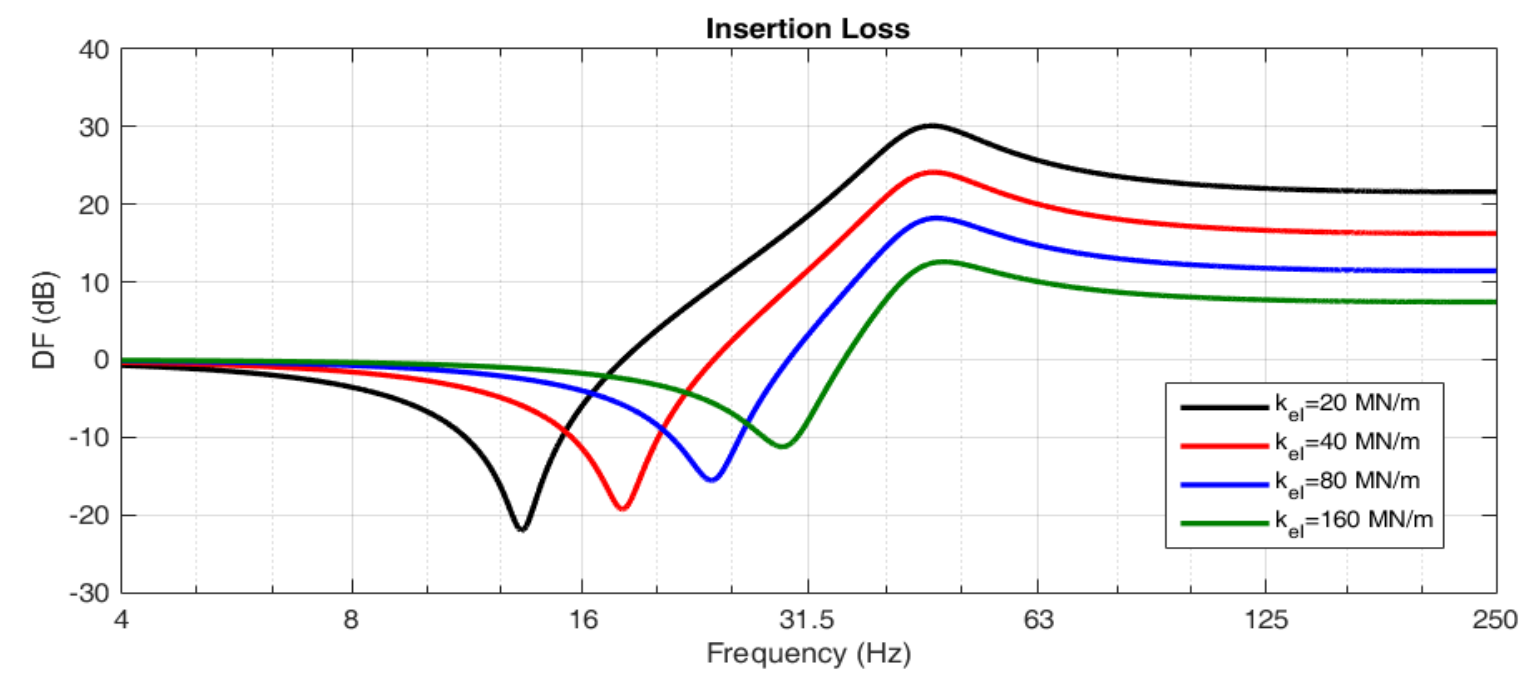
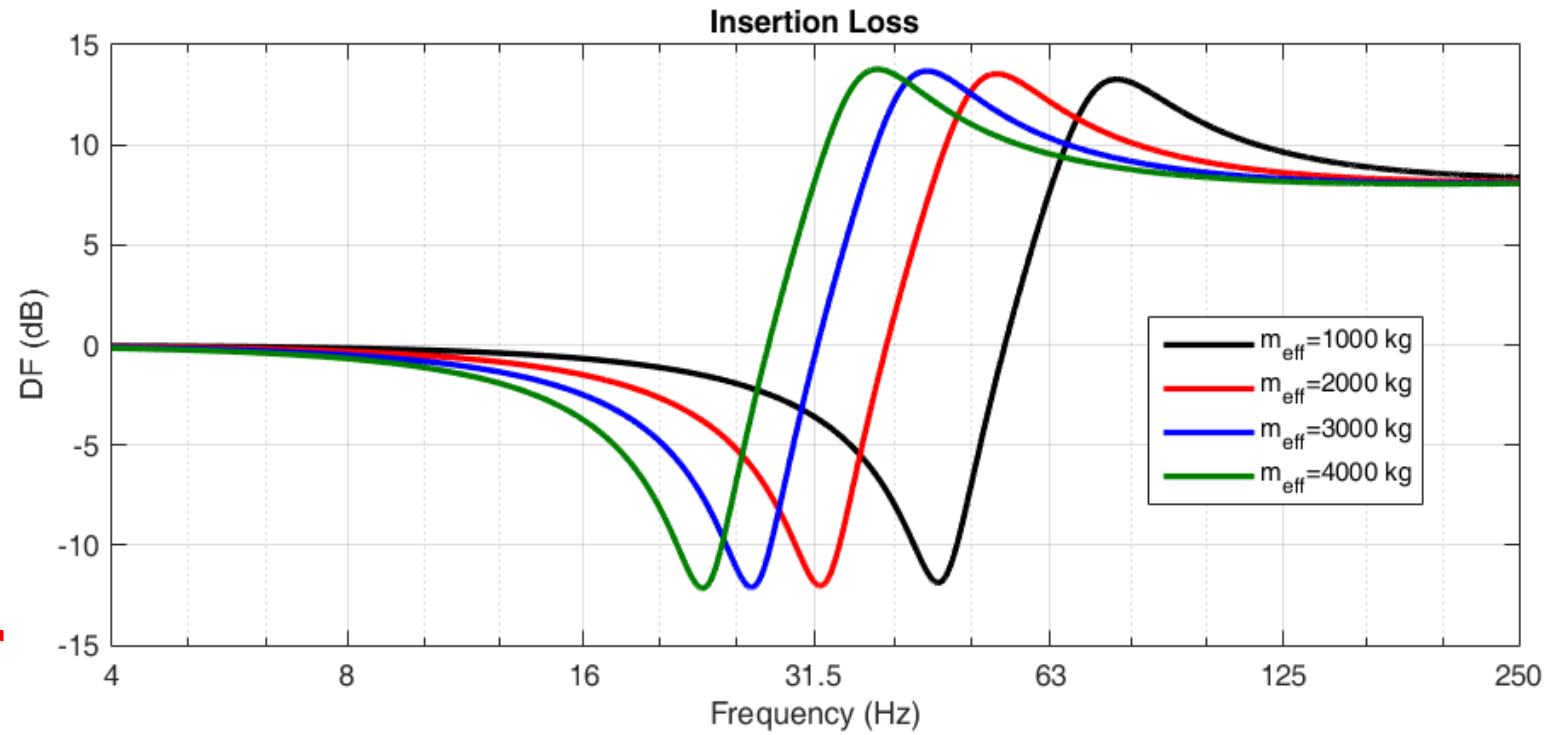
MASA

Izolator wibroakustyczny

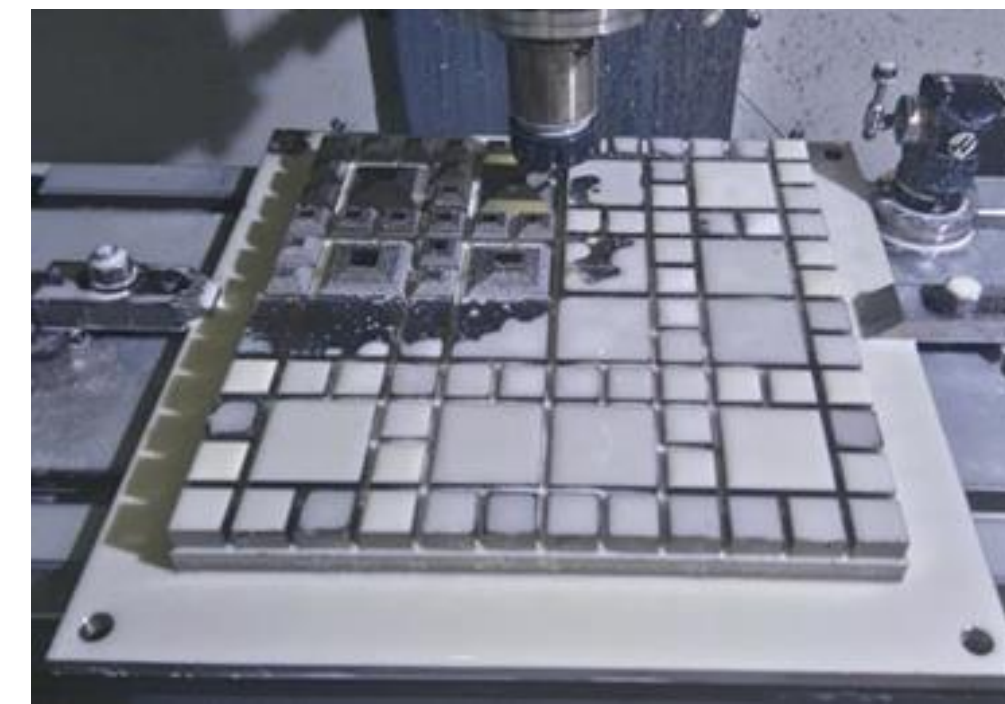
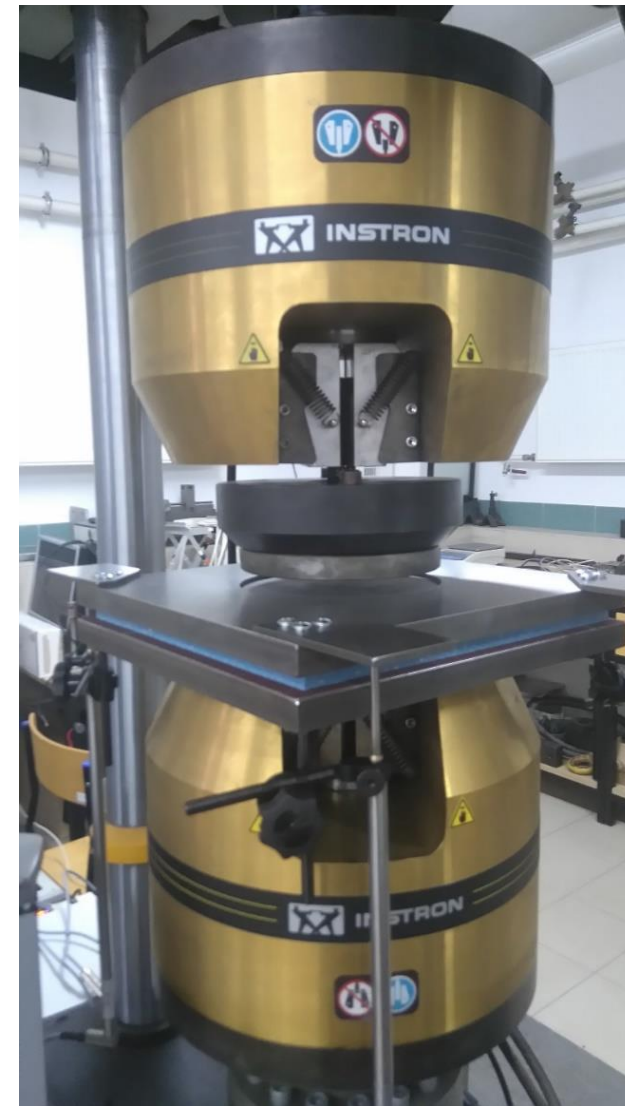
SZTYWNOŚĆ



TŁUMIENIE



BADANIA IZOLATORÓW WIBROAKUSTYCZNYCH – STANOWISKO BADAWCZE WIL PW



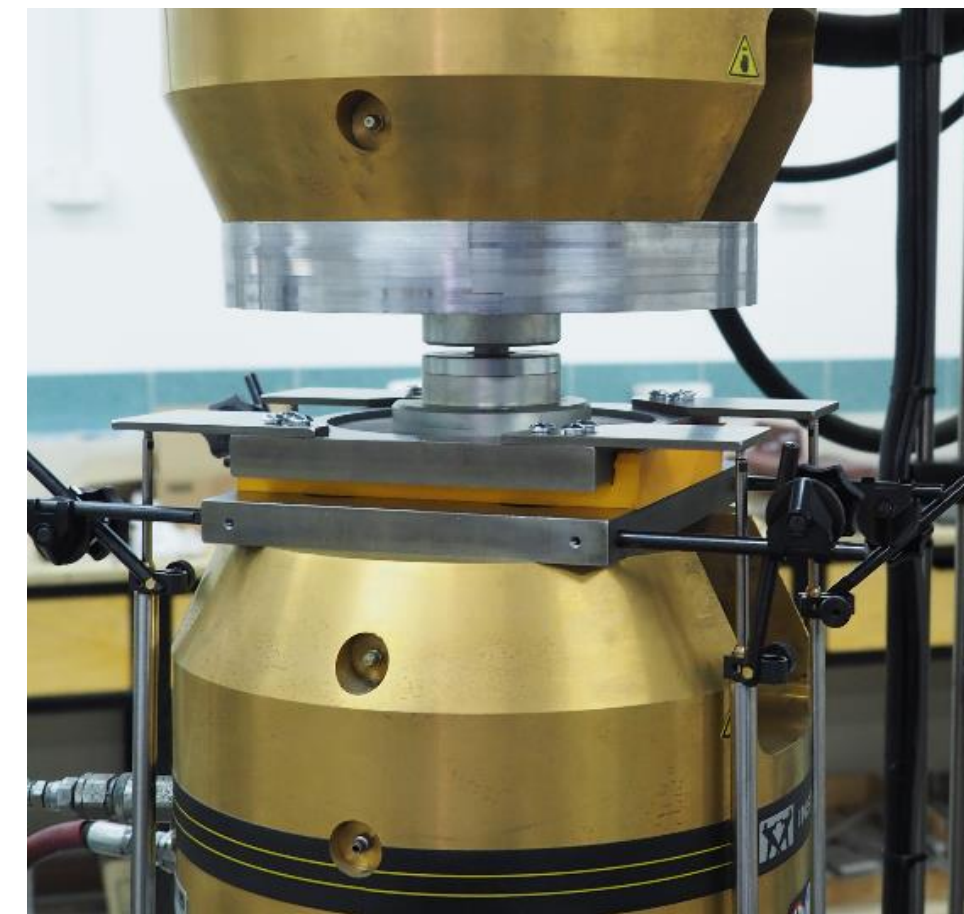
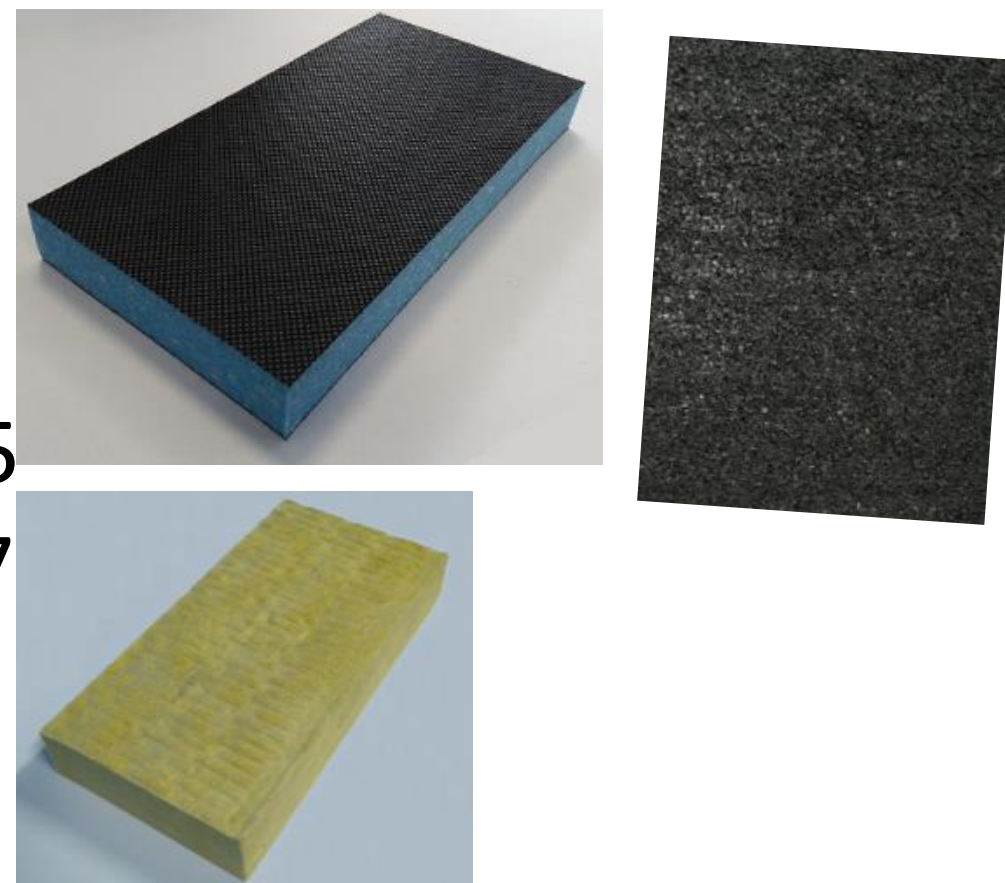
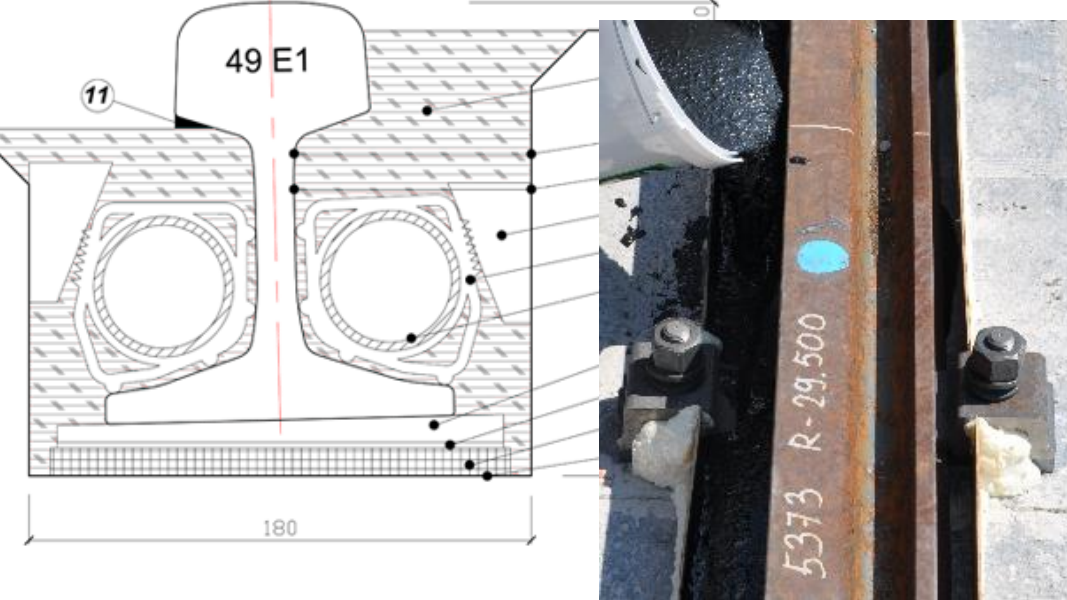
Stanowisko I **Stanowisko II** **Stanowisko III**

Finansowanie budowy stanowisk oparte było o uzyskany w 2016 r. **Grant Dziekański p.t. „Laboratoryjna identyfikacja parametrów charakteryzujących wybrane izolatory wibroakustyczne stosowane w systemach konstrukcji dróg szynowych”**.



BADANIA IZOLATORÓW WIBROAKUSTYCZNYCH – STANOWISKO BADAWCZE WIL PW

- Dostosowanie uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej INSTRON do badań następujących izolatorów wibroakustycznych:
- Przekładki podszynowe, ciągłe profile podszynowe, sprężyste masy podlewowe wg **PN-EN 13146-9**.
- Maty wibroizolacyjne wg norm niemieckich: podpodsyPKowe/podtłuczniowe wg **PN-EN 17282** lub DIN 45673-5 oraz podpłytkowe wg DIN 45673-7 lub **prEN 17682**.
- Podkładki podpodkładowe USP wg **PN-EN 16730**.



Rozprawa doktorska:

**Identyfikacja i dobór cech materiałowych
wybranych izolatorów wibroakustycznych w
systemach konstrukcji
dróg szynowych**

dr inż. Cezary Kraśkiewicz

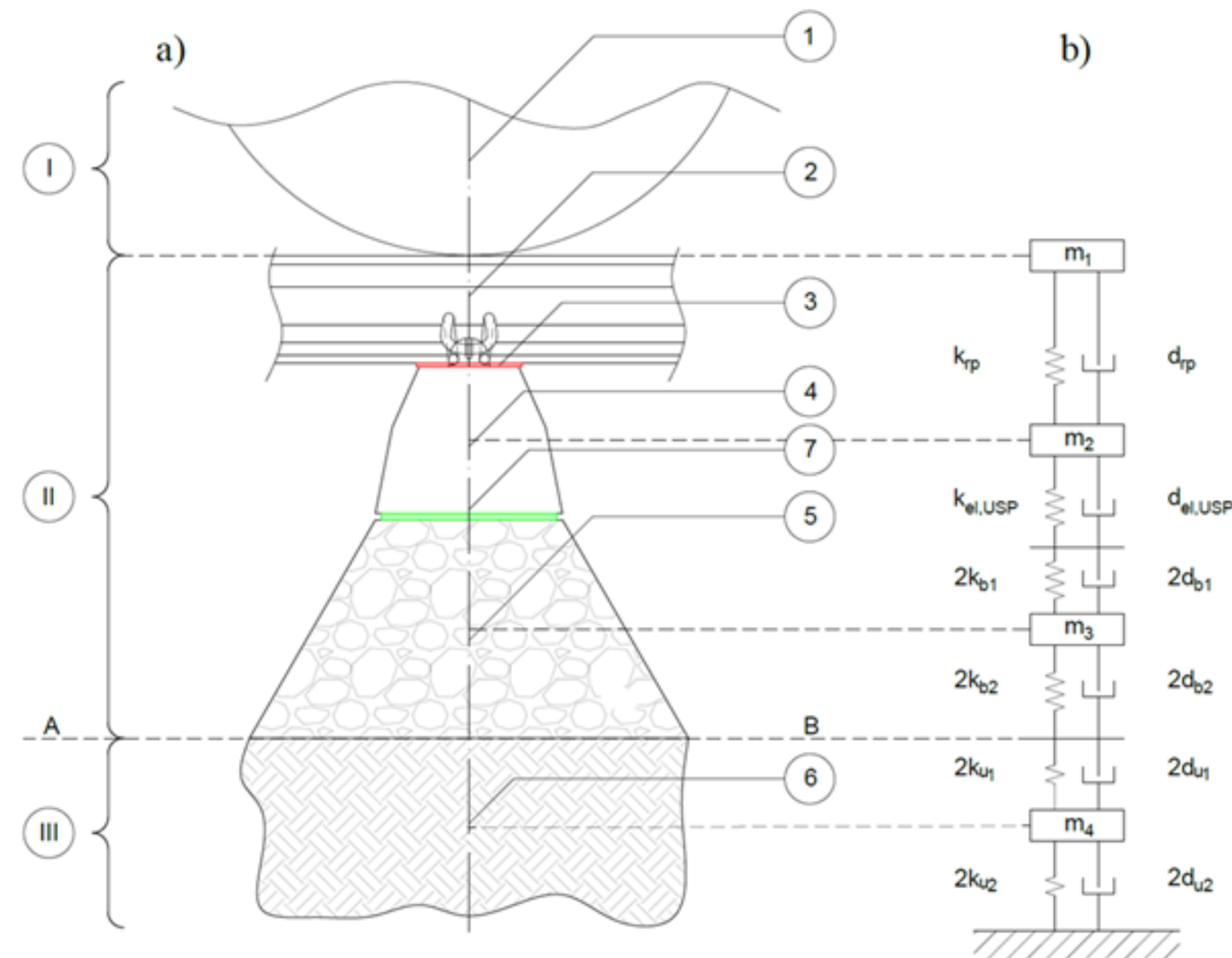
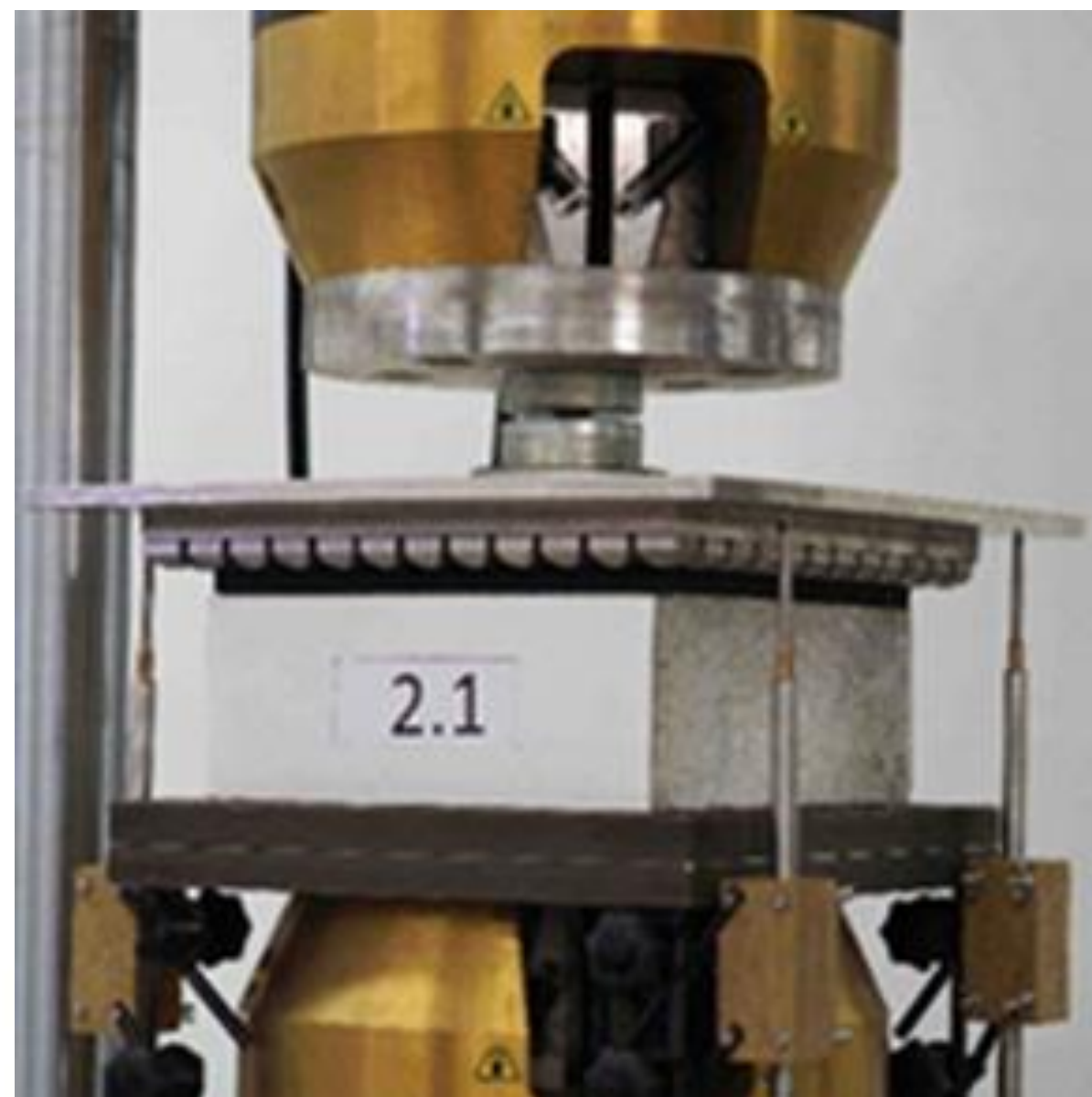
Promotor: prof. dr hab. inż. Artur Zbiciak

Promotor pomocniczy: dr inż. Wojciech Oleksiewicz



TEZA PRACY

Tezą pracy jest stwierdzenie, że istnieje możliwość właściwego doboru i identyfikacji cech materiałowych izolatorów wibroakustycznych w sposób odpowiedni do ich funkcji.



WNIOSKI

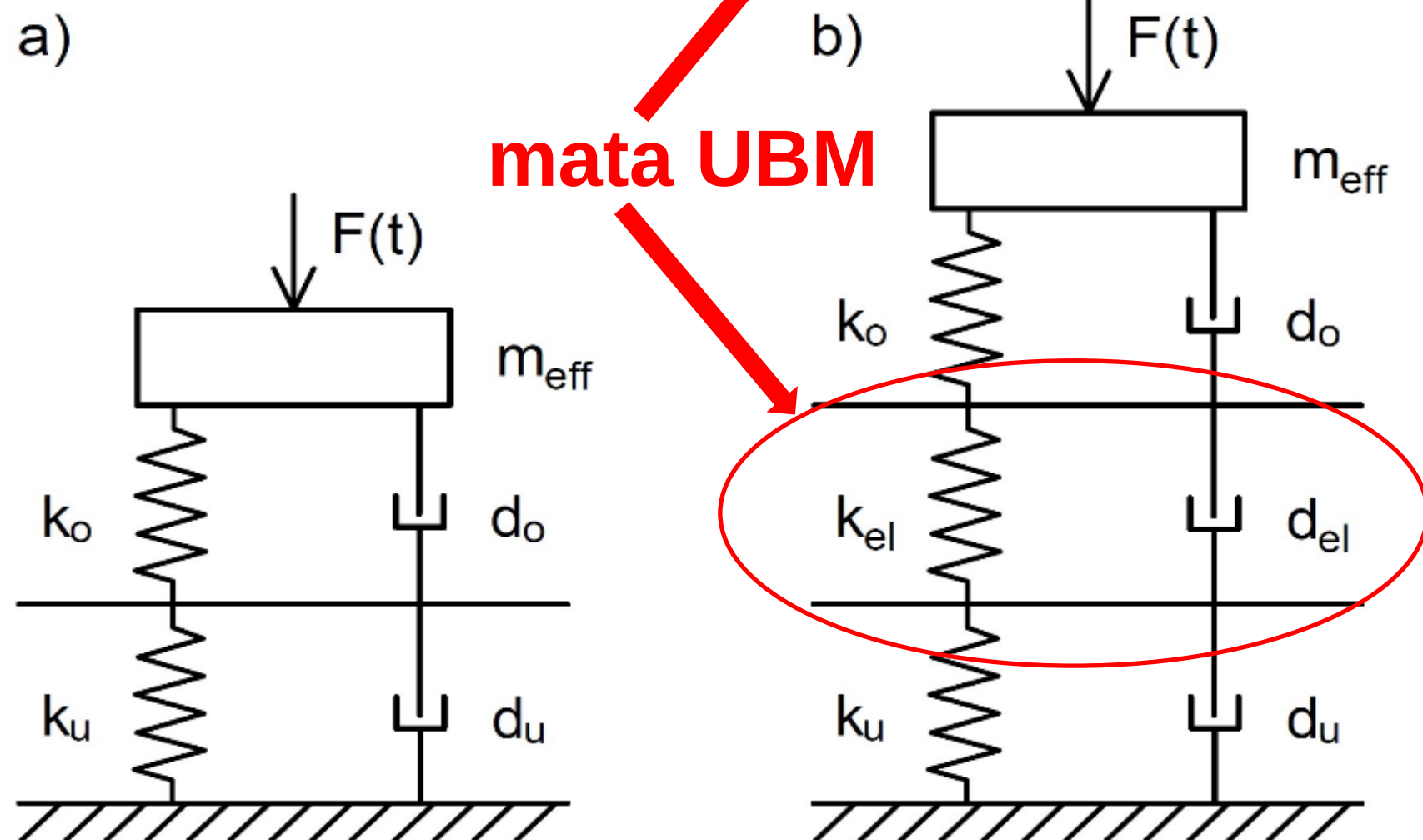
Na podstawie zrealizowanych w ramach rozprawy:

- przeglądu stanu wiedzy (rozdział nr 1);
- autorskiego modelu konstrukcji drogi kolejowej o czterech stopniach swobody (rozdział nr 2);
- określenia najistotniejszych parametrów i procedur ich identyfikacji (rozdział nr 3);
- analizy wymagań dotyczących parametrów podkładek USP oraz mat UBM określonych przez zagranicznych zarządców infrastruktury kolejowej (rozdział nr 4);
- własnych badań laboratoryjnych zrealizowanych w ramach rozprawy doktorskiej oraz projektu InRaViS (rozdział nr 5);
- wyników symulacyjnego badania zachowania się dyskretnego modelu podsypkowej konstrukcji nawierzchni drogi szynowej (rozdział nr 6);

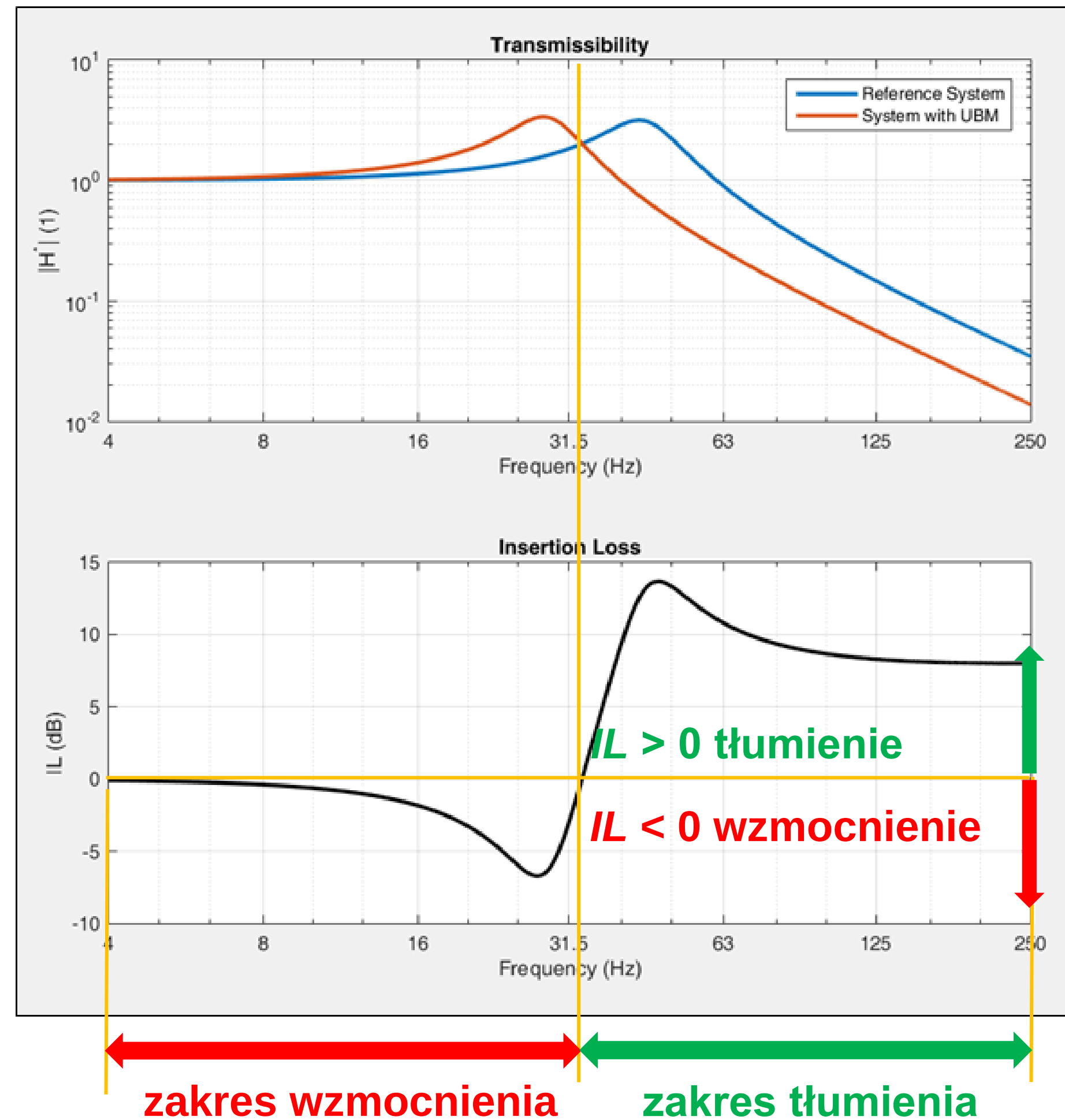
udowodniono tezę pracy oraz opracowano propozycję podstawowych wymagań w odniesieniu do stosowania podkładek USP (częściowo także dla mat UBM) na sieci zarządzanej przez PKP PLK S.A. (podrozdział nr 7.1).



MODELE MECHANICZNE (SDoF)

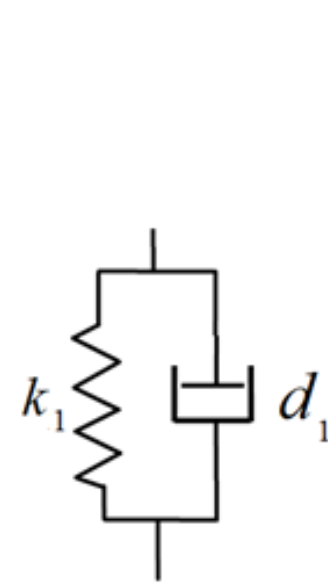


Rys. Modele mechaniczne konstrukcji drogi kolejowej o nawierzchni podsypkowej:
a) układ referencyjny bez wibroizolatora; b) układ z wibroizolatorem w postaci maty UBM.

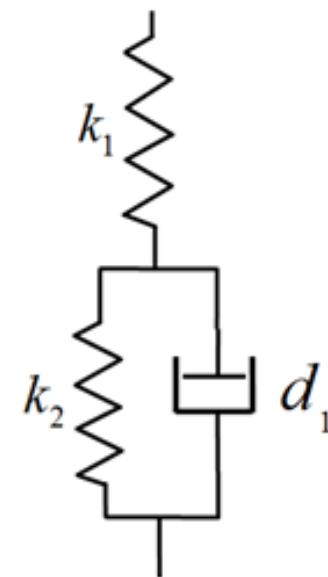


Rys. Wykresy funkcji przenoszenia drgań (ang. *Transmissibility*) oraz tłumienia dodanego IL (ang. *Insertion Loss*) – układ referencyjny (kolor niebieski) oraz układ z wibroizolatorem w postaci maty UBM (kolor czerwony).

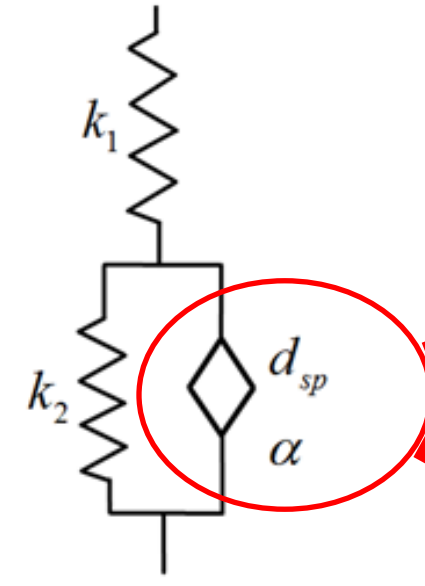
LEPKOSPĘŻYSTE MODELE WIBROIZOLATORÓW



(a)



(b)



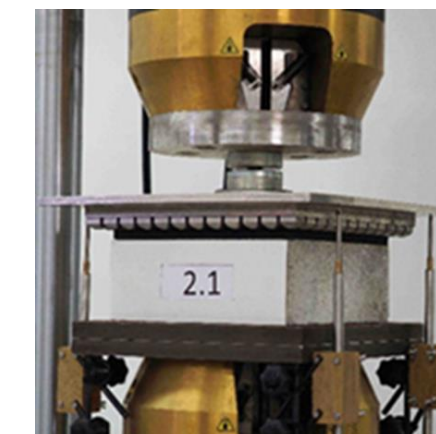
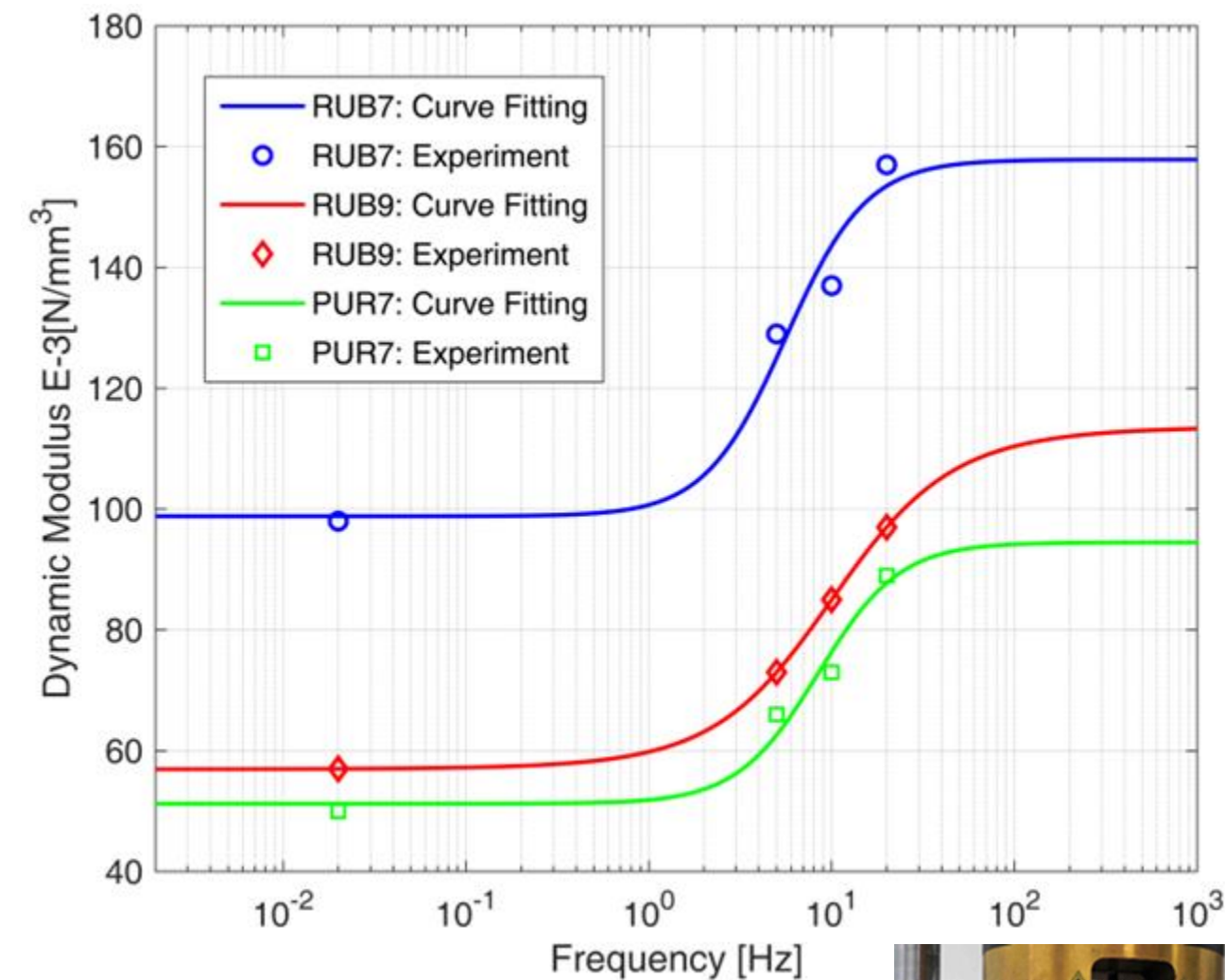
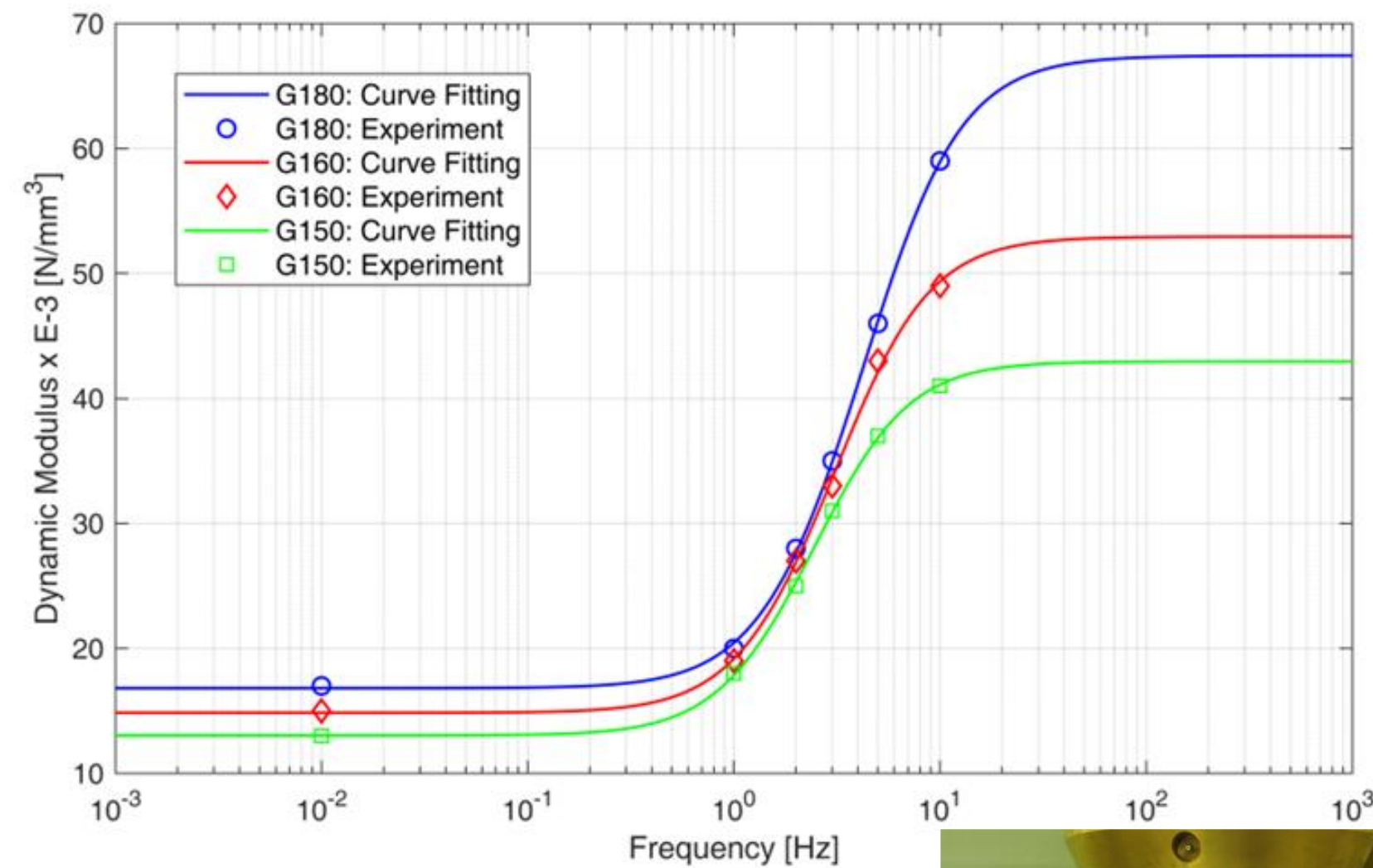
(c)

$$\alpha \in (0; 1)$$

$\alpha = 0$ - element akumulujący energię (**sprężyna**)

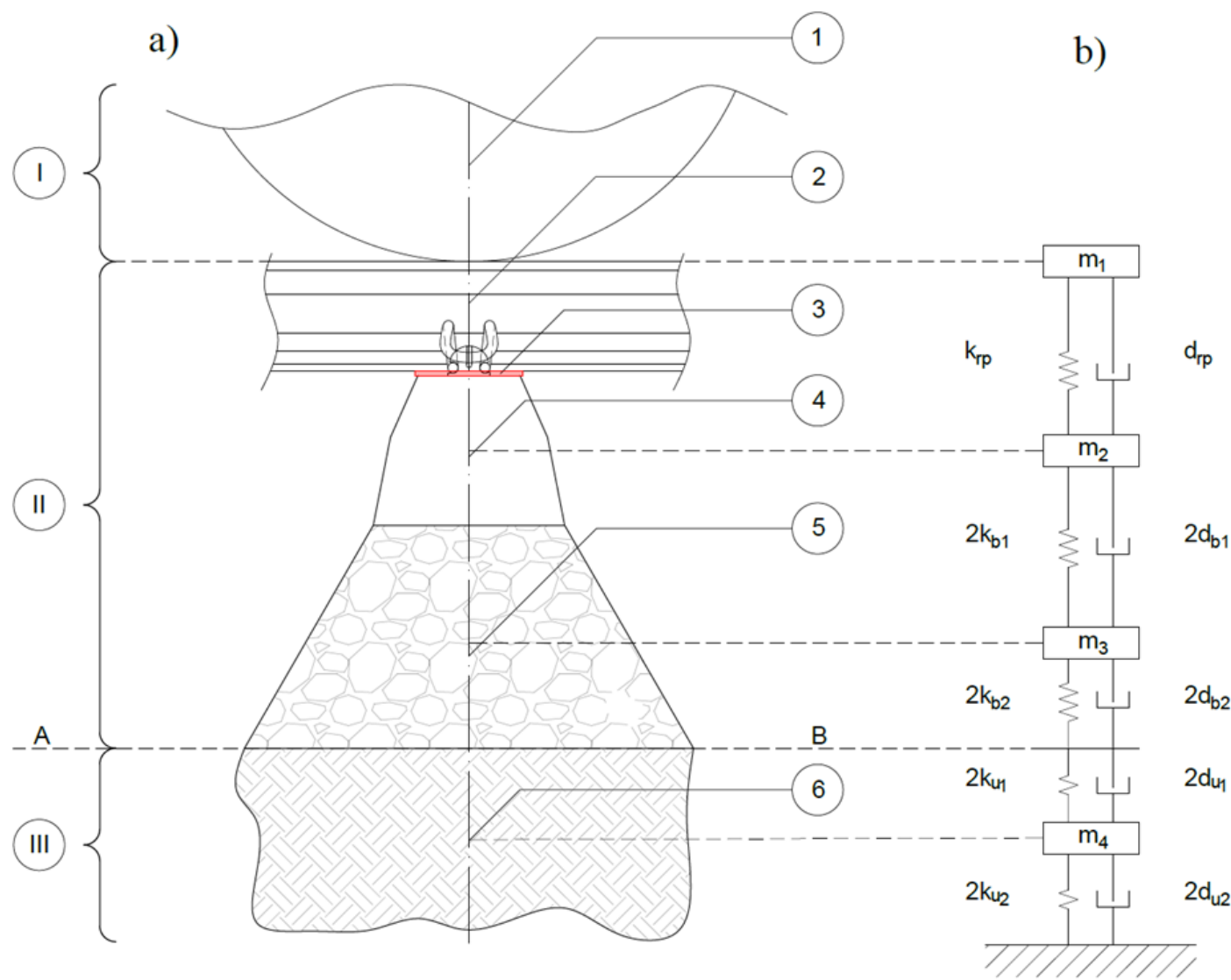
$\alpha = 1$ - element rozpraszający energię (**tłumik**)

Rys. Schematy modeli reologicznych wibroizolatorów: model Kelvina-Voigta (a); model Zenera (b); **model ułamkowego rzędu (c).**



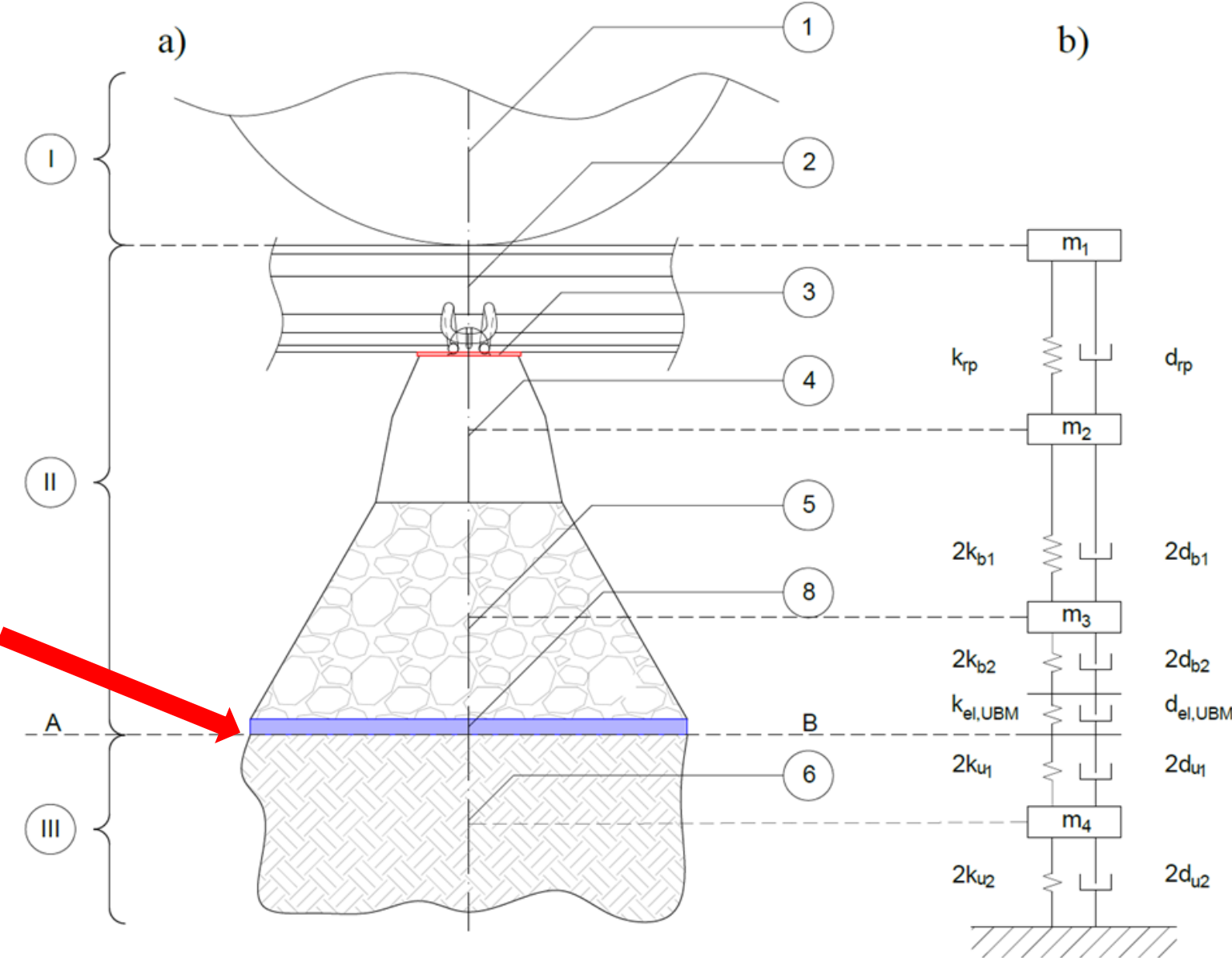
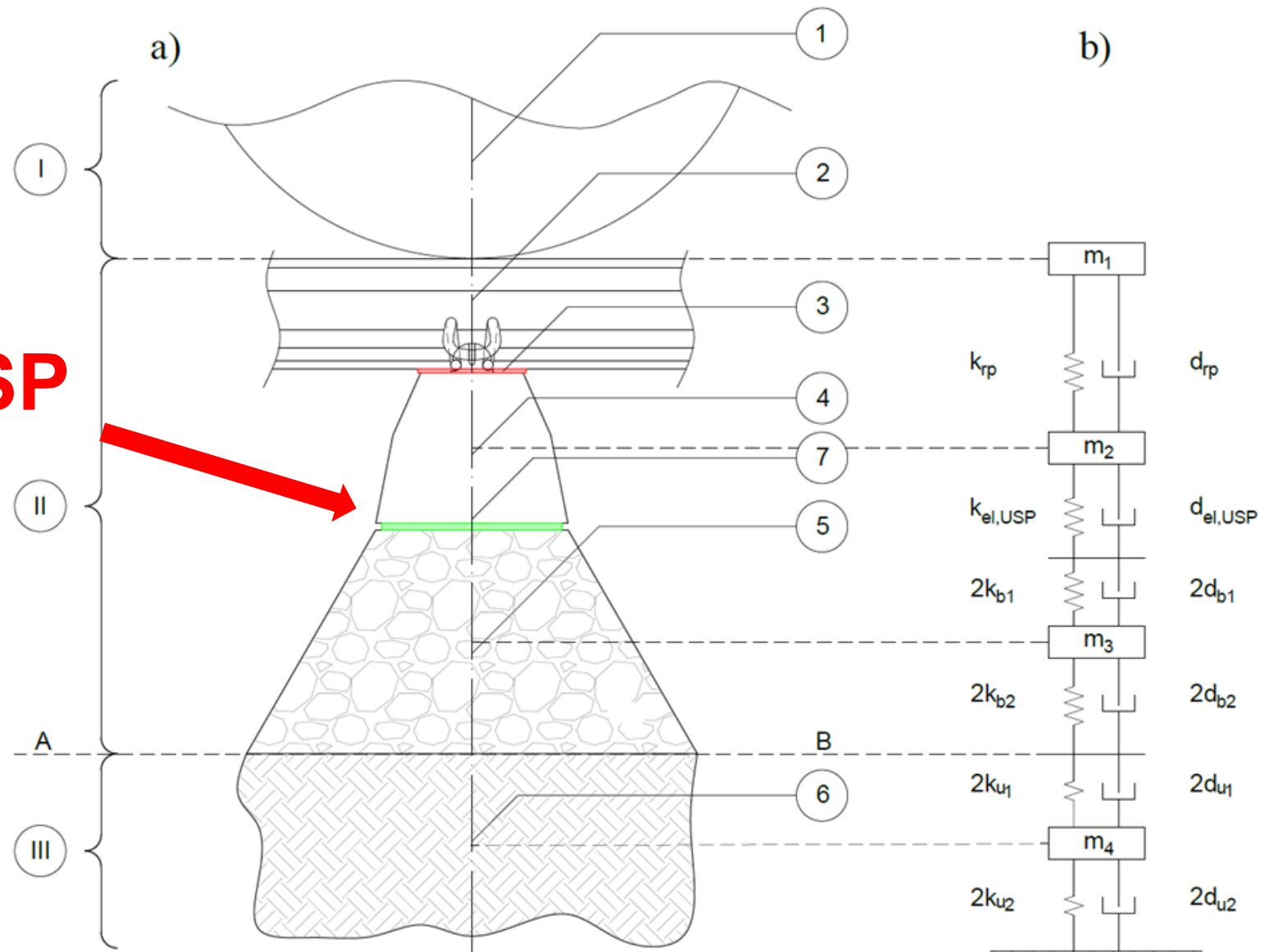
MODELE MECHANICZNE (4DoF)

podkładka USP



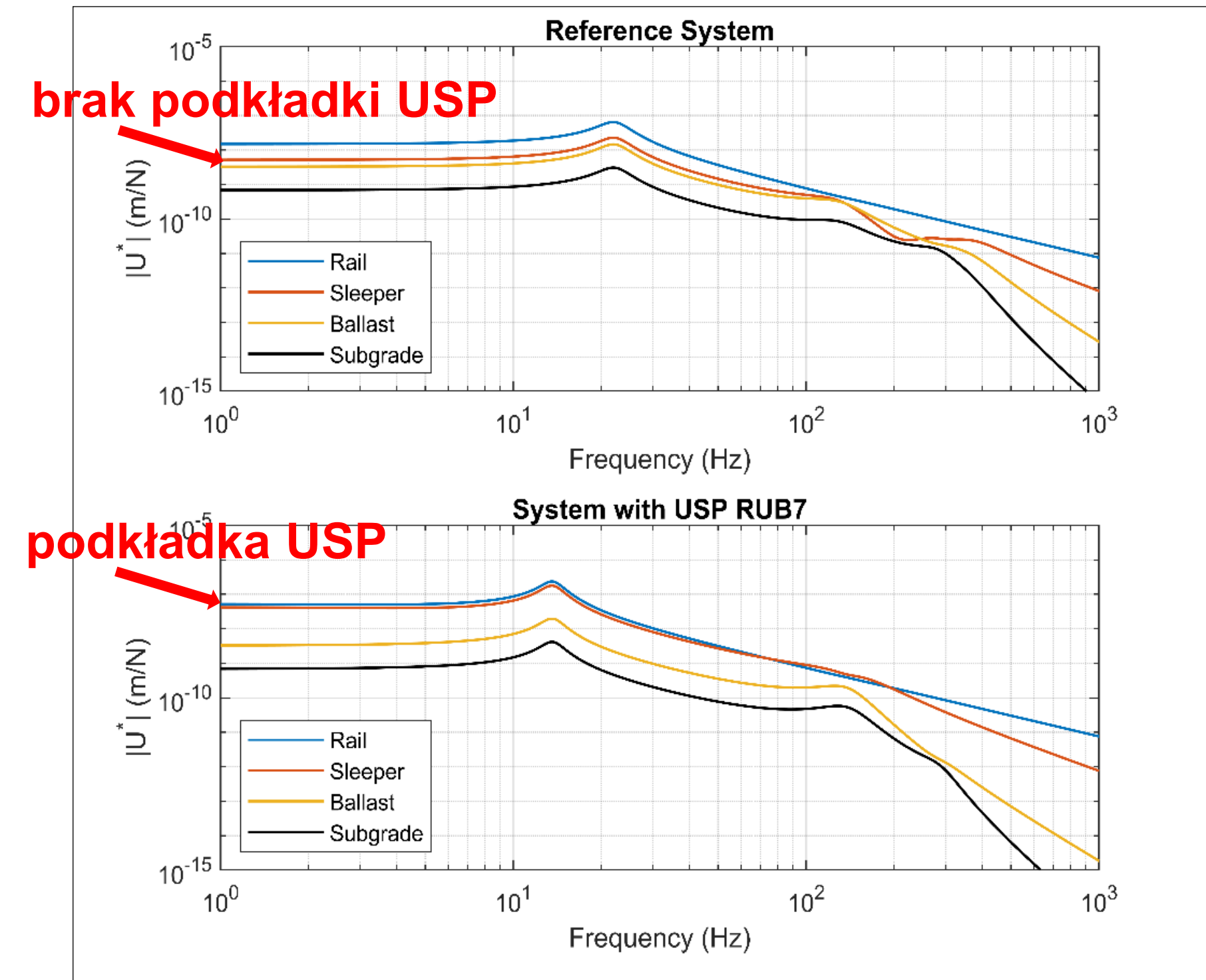
układ referencyjny
(bez wibroizolatora)

mata UBM

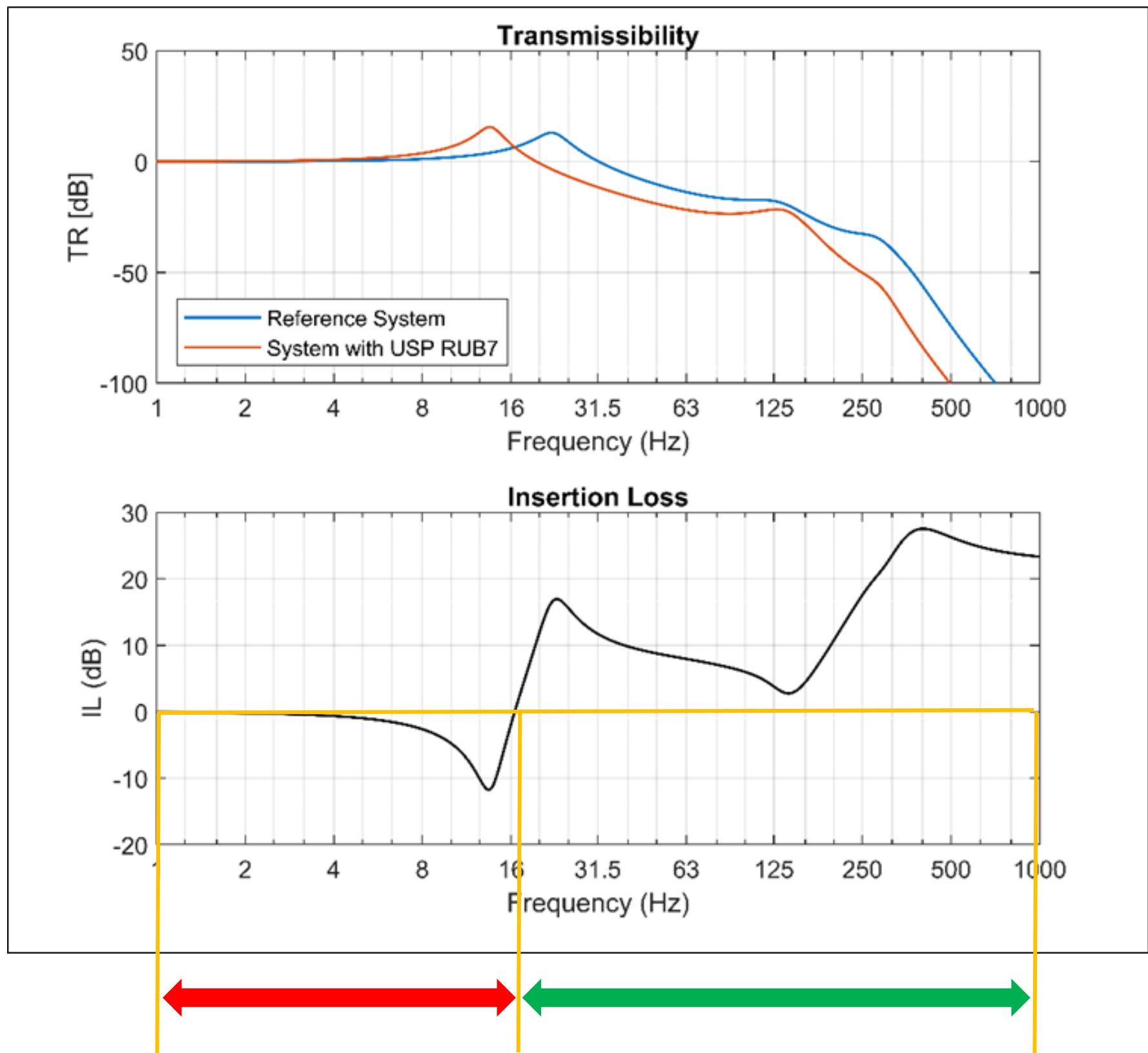


układy z wibroizolatorami

MODELE MECHANICZNE (4DoF)



Rys. Wykresy funkcji podatności dynamicznych: układ referencyjny (górny rys.) i układ z podkładką USP (dolny rys.)



Rys. Wykresy funkcji przenoszenia drgań TR (ang. *Transmissibility*; górny rys.) i tłumienia dodanego IL (ang. *Insertion Loss*; dolny rys.)

PROJEKTY BADAWCZE I GRANTY

Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i budynków przed drganiami od ruchu kolejowego InRaVIS

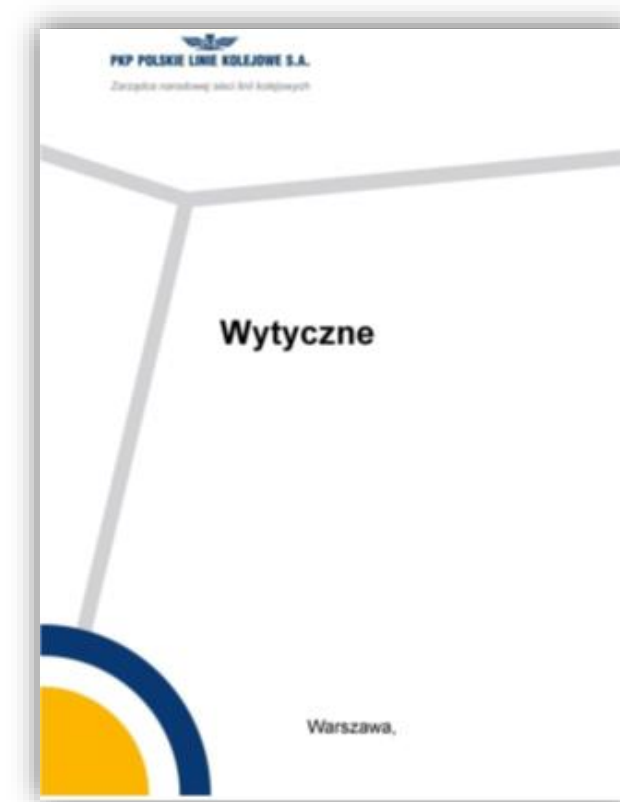
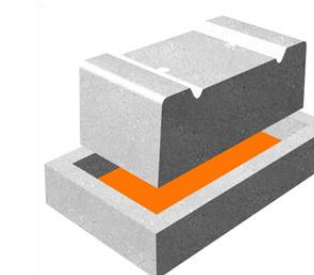
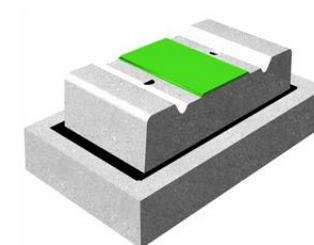
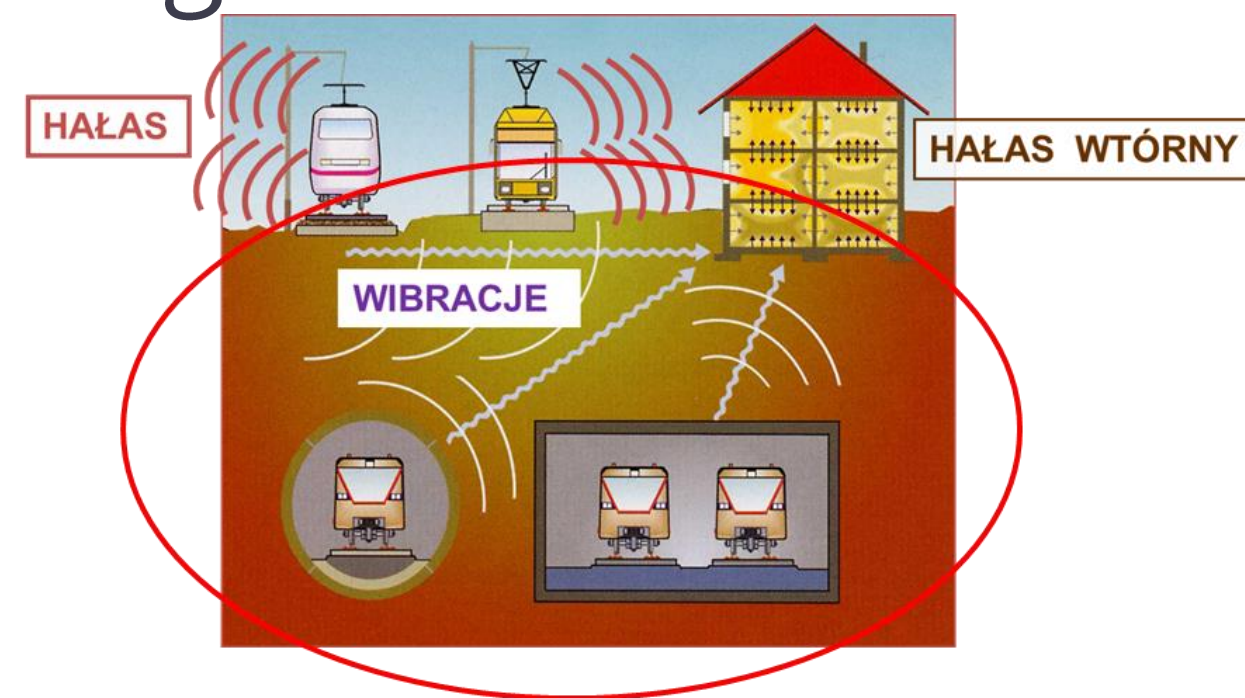
CELE PROJEKTU

Podstawowy

Opracowanie urządzeń w konstrukcji nawierzchni kolejowej w celu ograniczenia emisji drgań od ruchu kolejowego.

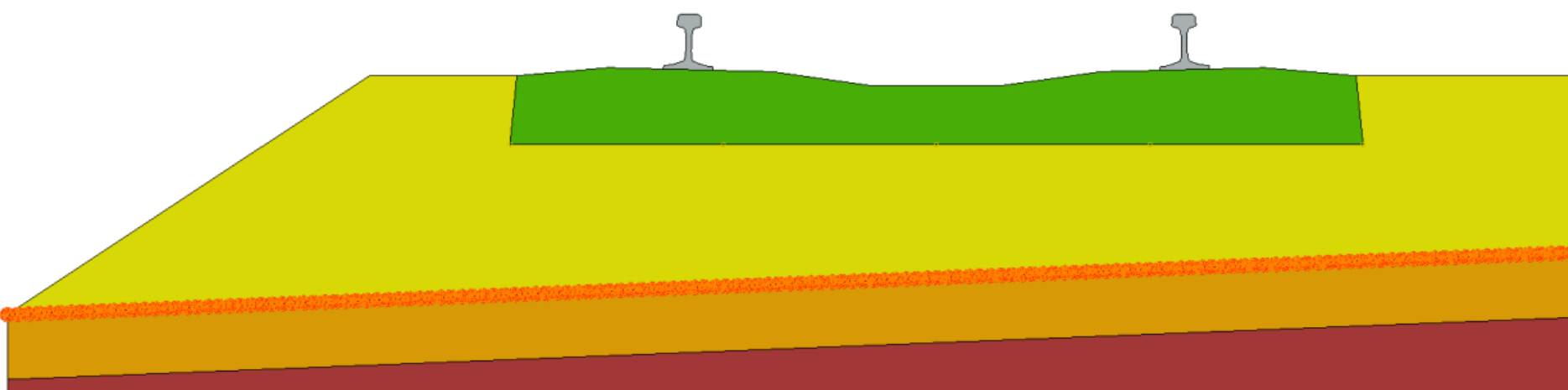
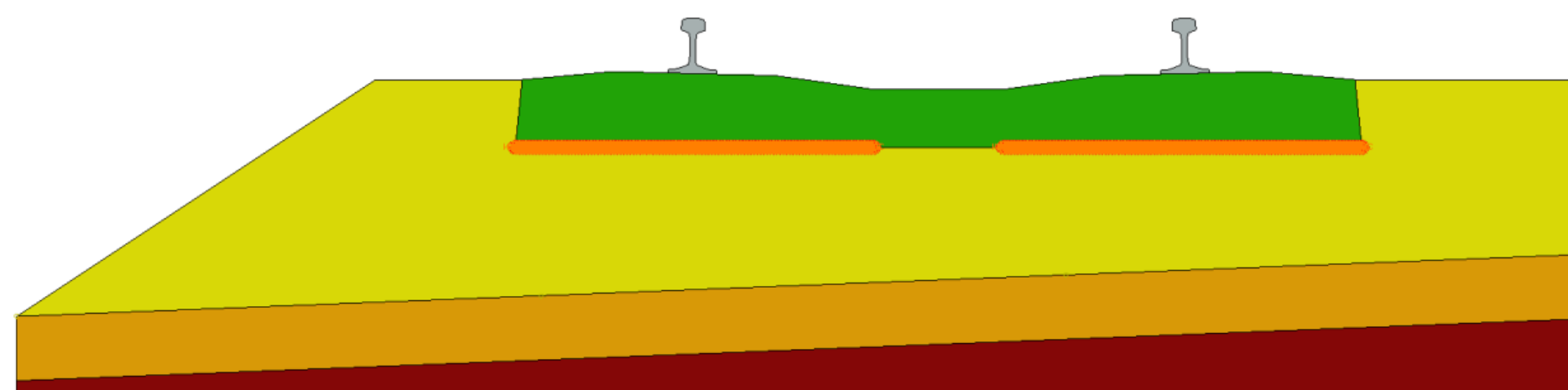
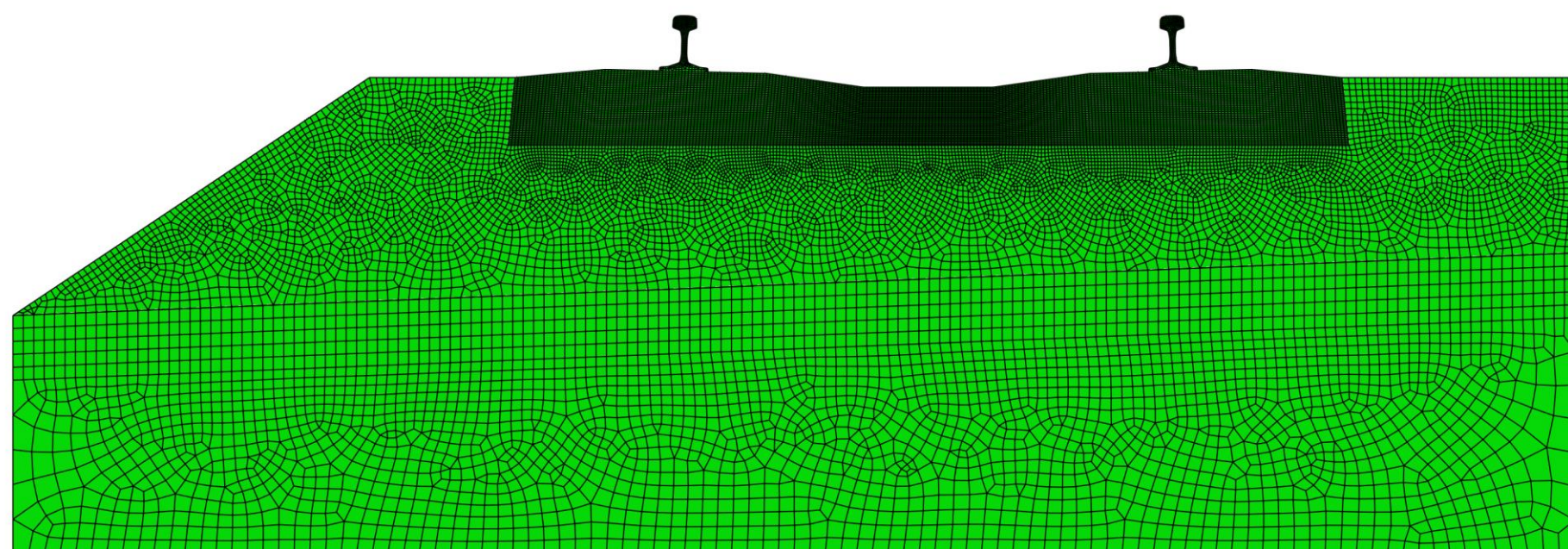
Dodatkowy

Opracowanie wytycznych stosowania urządzeń ograniczających drgania od ruchu kolejowego.





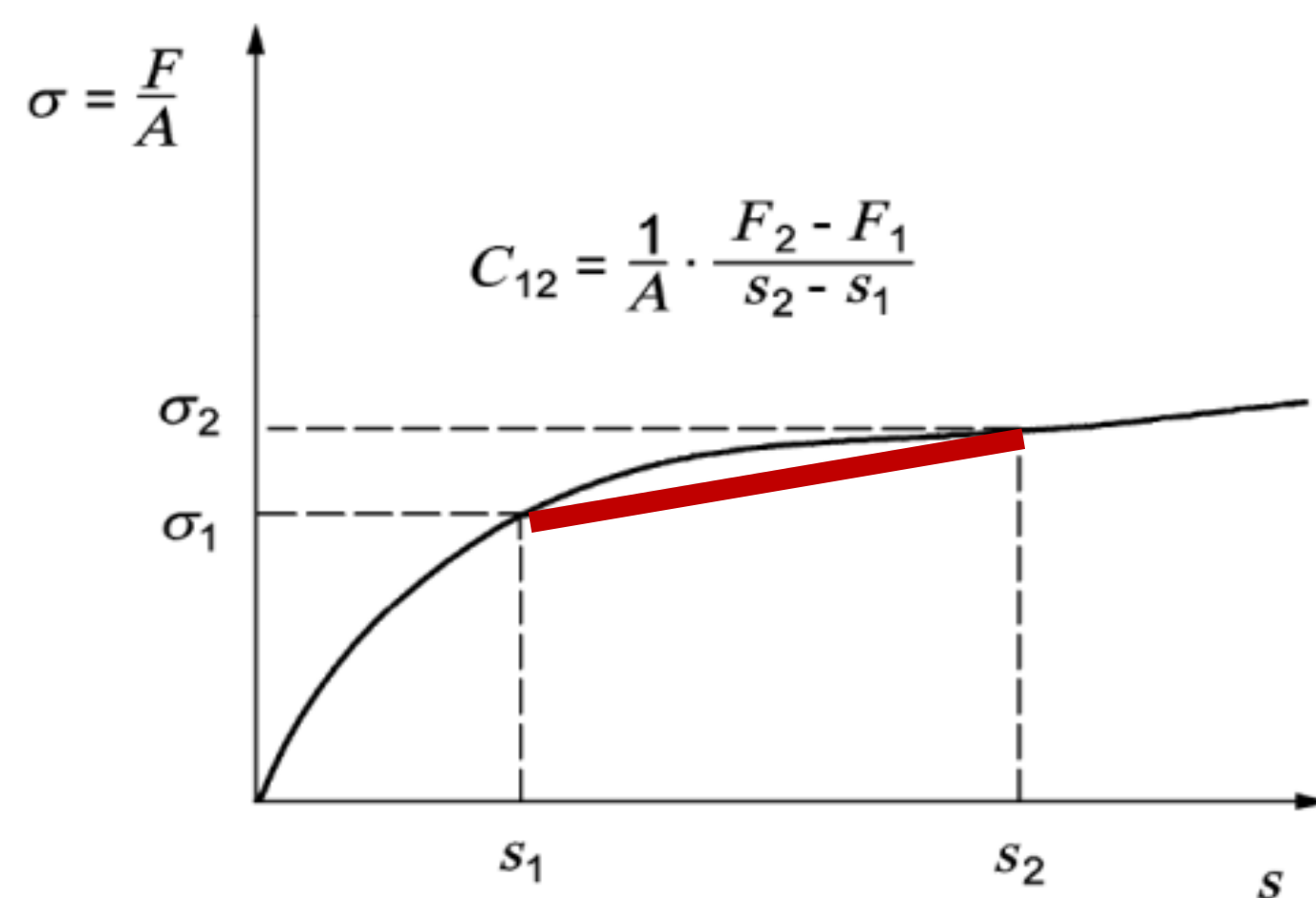
- Modele numeryczne nawierzchni kolejowej podsypkowej i bezpodsypkowej z elementami wibroizolacyjnymi przeznaczone do optymalizacji ich charakterystyk materiałowych i fizyczno-mechanicznych z uwagi na kryterium maksymalnej wartości tłumienności dodanej (skuteczności tłumienia drgań) przy nieprzekroczeniu dopuszczalnych ugięć szyn w konstrukcji nawierzchni, w której zastosowano badane wyroby (np. maty i podkładki).



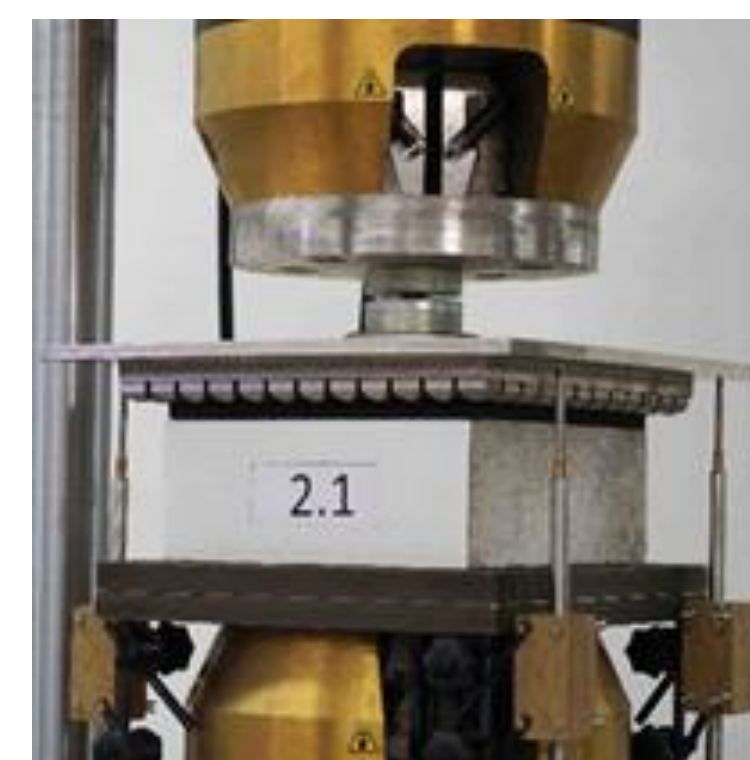
WŁAŚCIWOŚCI PODKŁADEK USP ORAZ METODY ICH BADAŃ

STATYCZNY MODUŁ SZTYWNOŚCI PODKŁADKI

- **Statyczny moduł sztywności podkładki** jest stosunkiem statycznego nacisku o określonej wartości przyłożonego do próbki o określonym polu przekroju do ugięcia próbki, które ten nacisk powoduje.
- **Parametr ten charakteryzuje ugięcie toku szynowego pod naciskiem nieporuszającego się taboru i ma wpływ na ugięcie pionowe szyn.**
- **Wielkość statycznego modułu sztywności jest zależna od nacisku, nie jest to jednak zależność liniowa.** Dlatego też jest określana dla różnych zakresów obciążeń w zależności od rozpatrywanego przeznaczenia zastosowania podkładki - kategorii toru (TC – tzn. TC1, TC2, TC3 i TC4).



Rys. Wykres obrazujący badanie statycznego modułu sztywności podkładki.

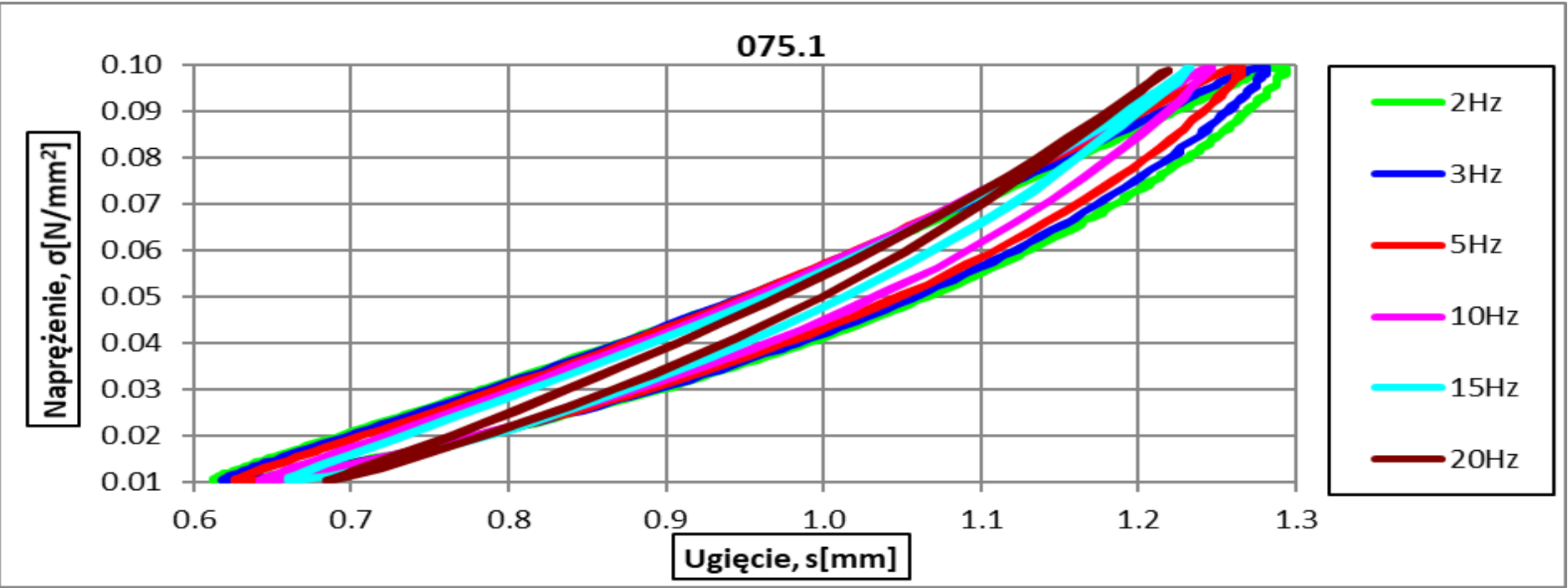
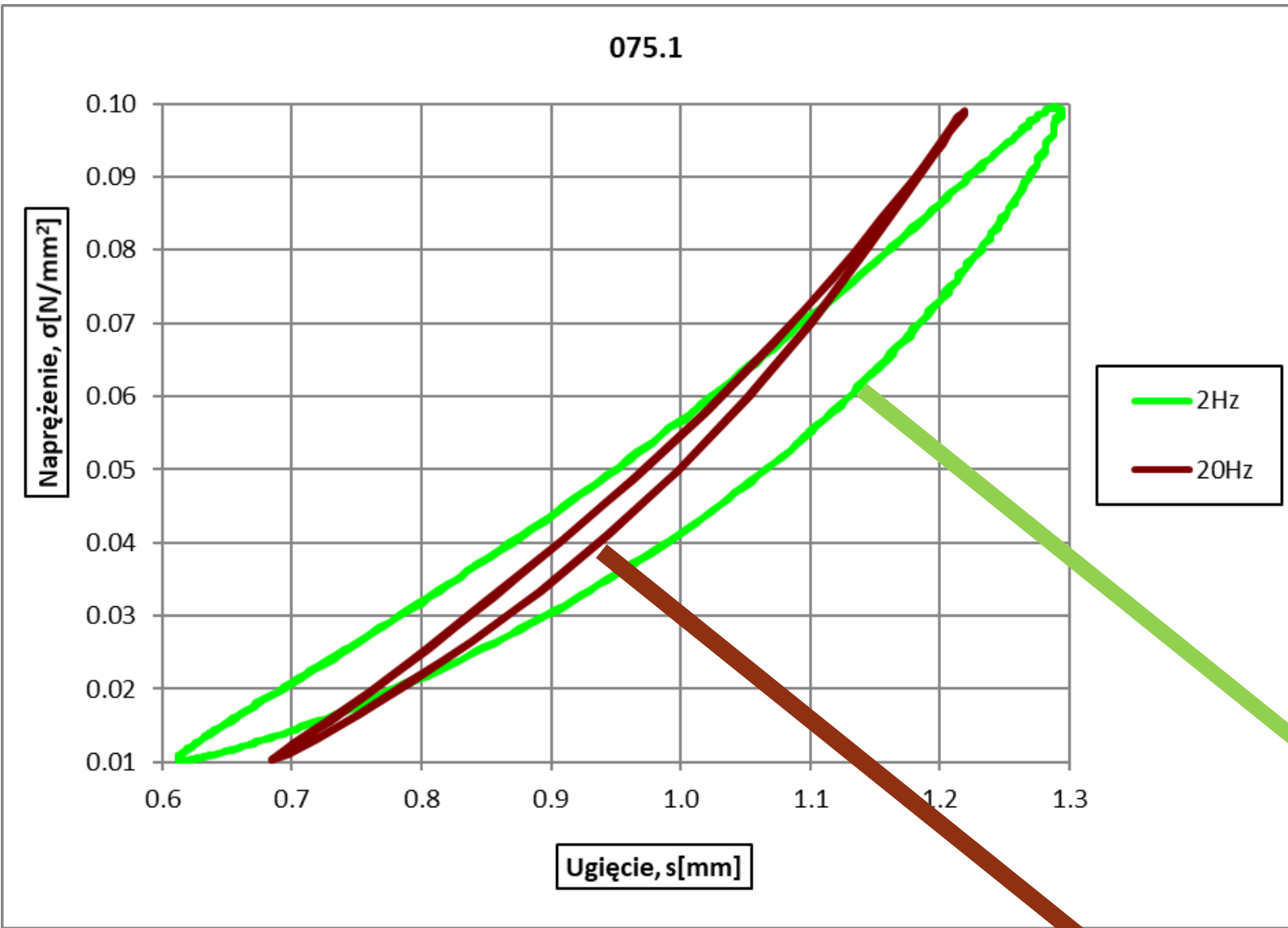


Rys. Stanowisko do badania na WIL PW.

WŁAŚCIWOŚCI PODKŁADEK USP ORAZ METODY ICH BADAŃ

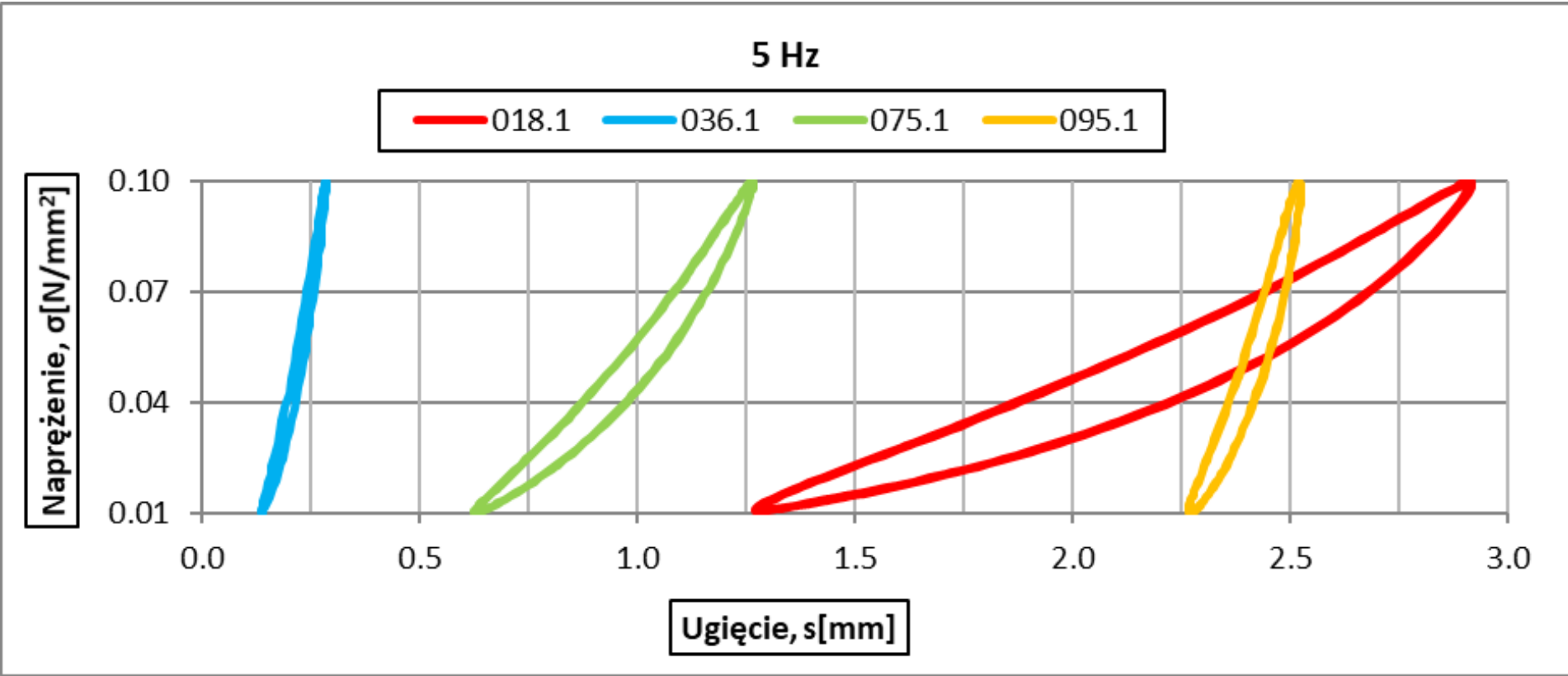
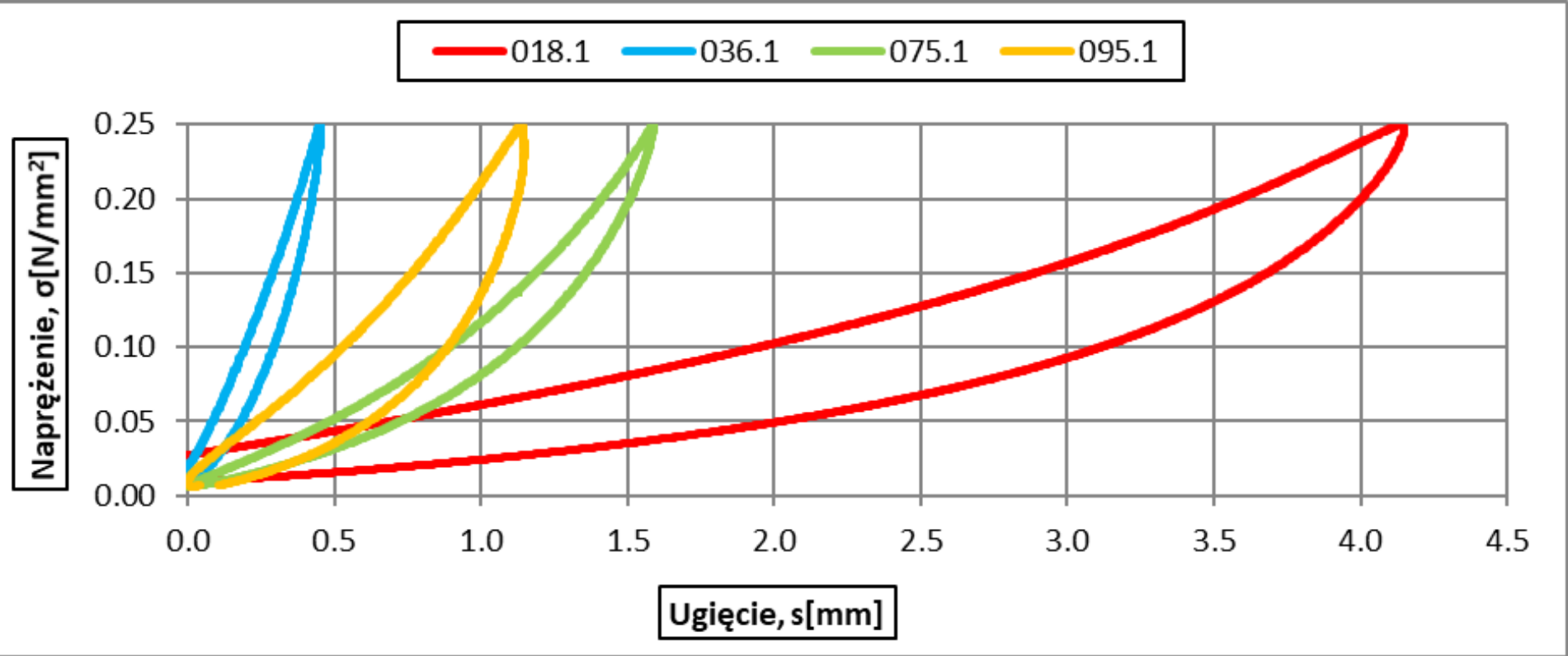
DYNAMICZNY MODUŁ SZTYWNOŚCI PODKŁADKI C_{dyn}

- **Dynamiczny moduł sztywności podkładki** jest stosunkiem dynamicznego nacisku o określonej wartości i częstotliwości przyłożonego do próbki o określonym polu przekroju do ugięcia próbki, które ten nacisk powoduje.
- **Parametr ten charakteryzuje pracę podkładki USP pod naciskiem poruszającego się taboru.**
- **Wartość dynamicznego modułu sztywności podkładki jest zależna również od częstotliwości**, dlatego też powinna być wyznaczana w warunkach znormalizowanego nacisku i częstotliwości (5, 10, 20 i 30 Hz).



Częstotliwość f [Hz]	Dynamiczny moduł sztywności w niskich częstotliwościach C_{dyn} [N/mm ³]					
	075.1	075.2	075.3	Średnia	Odch. st.	κ_{dyn} [-]
2	0,133	0,132	0,121	0,129	0,007	1,277
3	0,137	0,136	0,124	0,132	0,007	1,307
5	0,142	0,141	0,129	0,137	0,007	1,356
10	0,148	0,147	0,135	0,143	0,007	1,416
15	0,156	0,154	0,141	0,150	0,008	1,485
20	0,166	0,165	0,154	0,162	0,007	1,604

BADANIA IDENTYFIKACYJNE PODKŁADEK USP

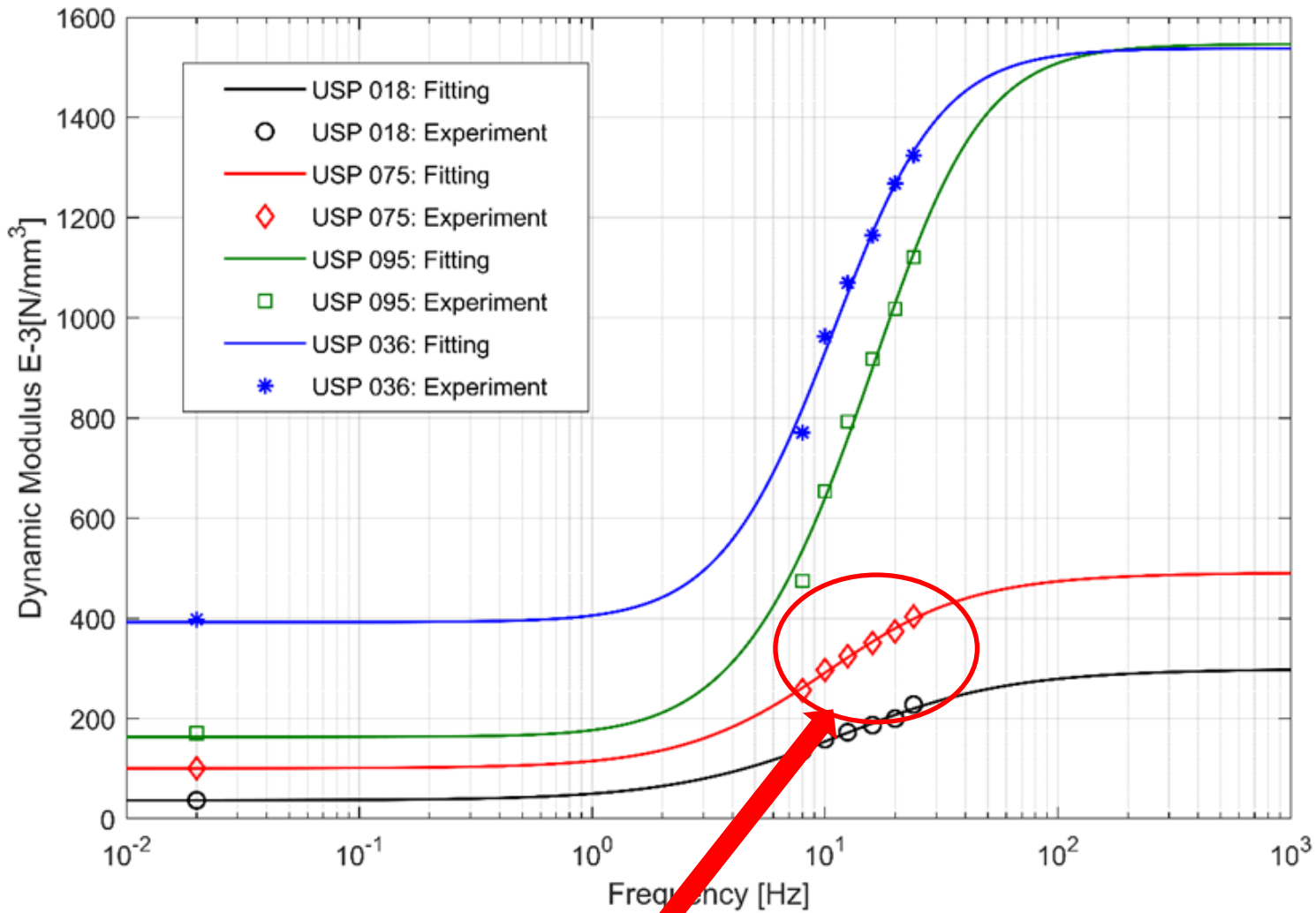
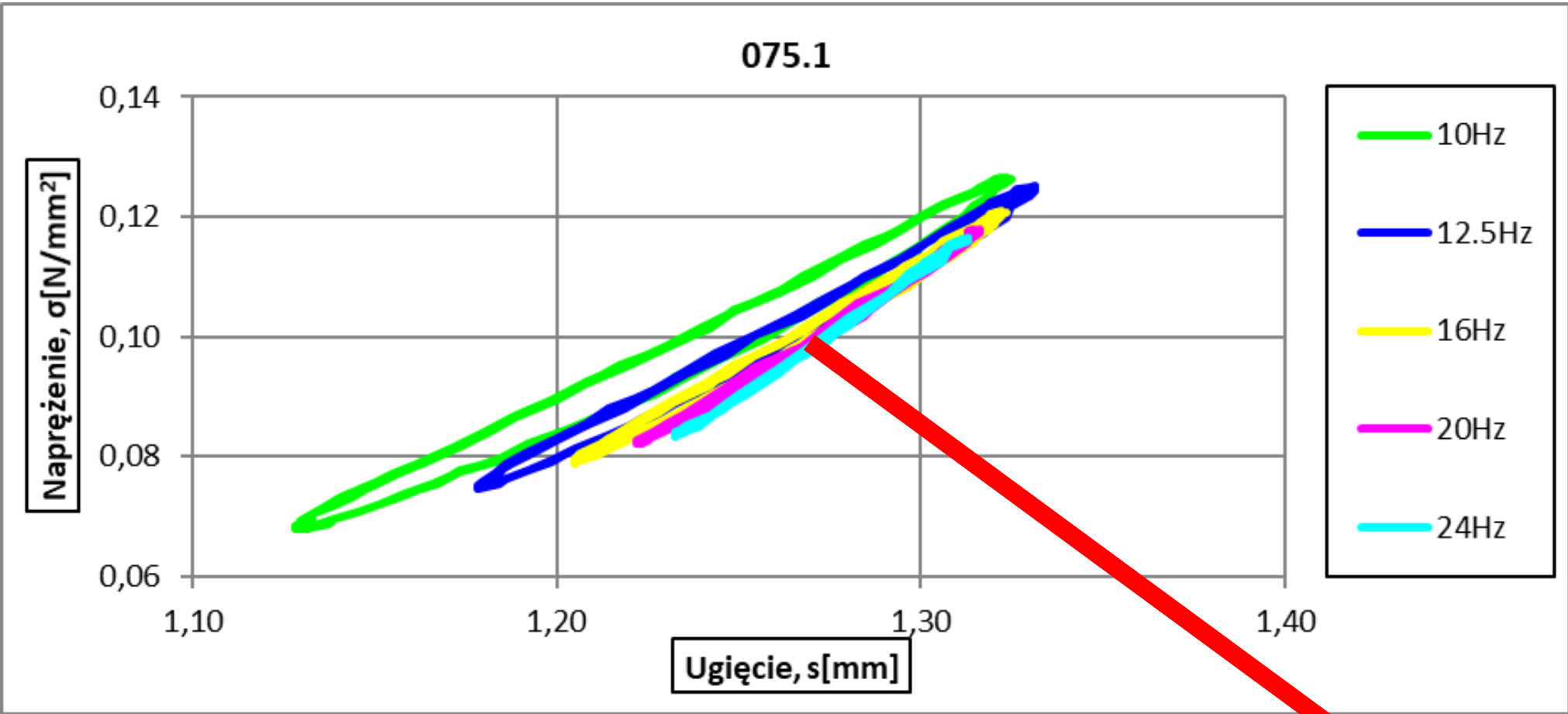


Wyrób	C _{stat}	C _{dyn} (5 Hz)	Odmiana podkładki
001	0,060	0,082	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
002	0,051	0,069	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
003	0,107	0,151	Podatna (ang. <i>Soft</i>)
004	0,058	0,079	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
005	0,091	0,117	Podatna (ang. <i>Soft</i>)
006	0,088	0,113	Podatna (ang. <i>Soft</i>)
007	0,083	0,107	Nieokreślona
008	0,077	0,100	Nieokreślona
009	0,073	0,095	Nieokreślona
010	0,077	0,102	Nieokreślona
011	0,065	0,088	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
012	0,058	0,080	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
013	0,059	0,082	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
014	0,059	0,081	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
015	0,051	0,072	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
016	0,052	0,072	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
017	0,043	0,062	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
018	0,037	0,055	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
019	0,055	0,077	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
020	0,045	0,066	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
021	0,044	0,063	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
022	0,048	0,067	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
032	0,047	0,066	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
033	0,055	0,076	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
034	0,042	0,070	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
035	0,043	0,064	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
036	0,398	0,583	Sztywna (ang. <i>Stiff</i>)
074	0,104	0,139	Podatna (ang. <i>Soft</i>)
075	0,101	0,137	Podatna (ang. <i>Soft</i>)
076	0,093	0,127	Podatna (ang. <i>Soft</i>)
077	0,076	0,103	Nieokreślona
078	0,052	0,073	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
079	0,046	0,068	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
080	0,042	0,064	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
095	0,171	0,384	Półsztywna (ang. <i>Medium</i>)
096	0,146	0,194	Podatna (ang. <i>Soft</i>)
097	0,167	0,225	Nieokreślona
098	0,118	0,149	Podatna (ang. <i>Soft</i>)
099	0,089	0,120	Podatna (ang. <i>Soft</i>)
100	0,064	0,087	Bardzo podatna (ang. <i>Very Soft</i>)
101	0,098	0,132	Podatna (ang. <i>Soft</i>)
102	0,067	0,090	Nieokreślona

WŁAŚCIWOŚCI PODKŁADEK USP ORAZ METODY ICH BADAŃ

DYNAMICZNY MODUŁ SZTYWNOŚCI PODKŁADKI C_H

➤ Parametr ten charakteryzuje pracę podkładki USP pod naciskiem poruszającego się taboru – determinują skuteczność ograniczenia poziomu vibracji (wykresy TR i IL).

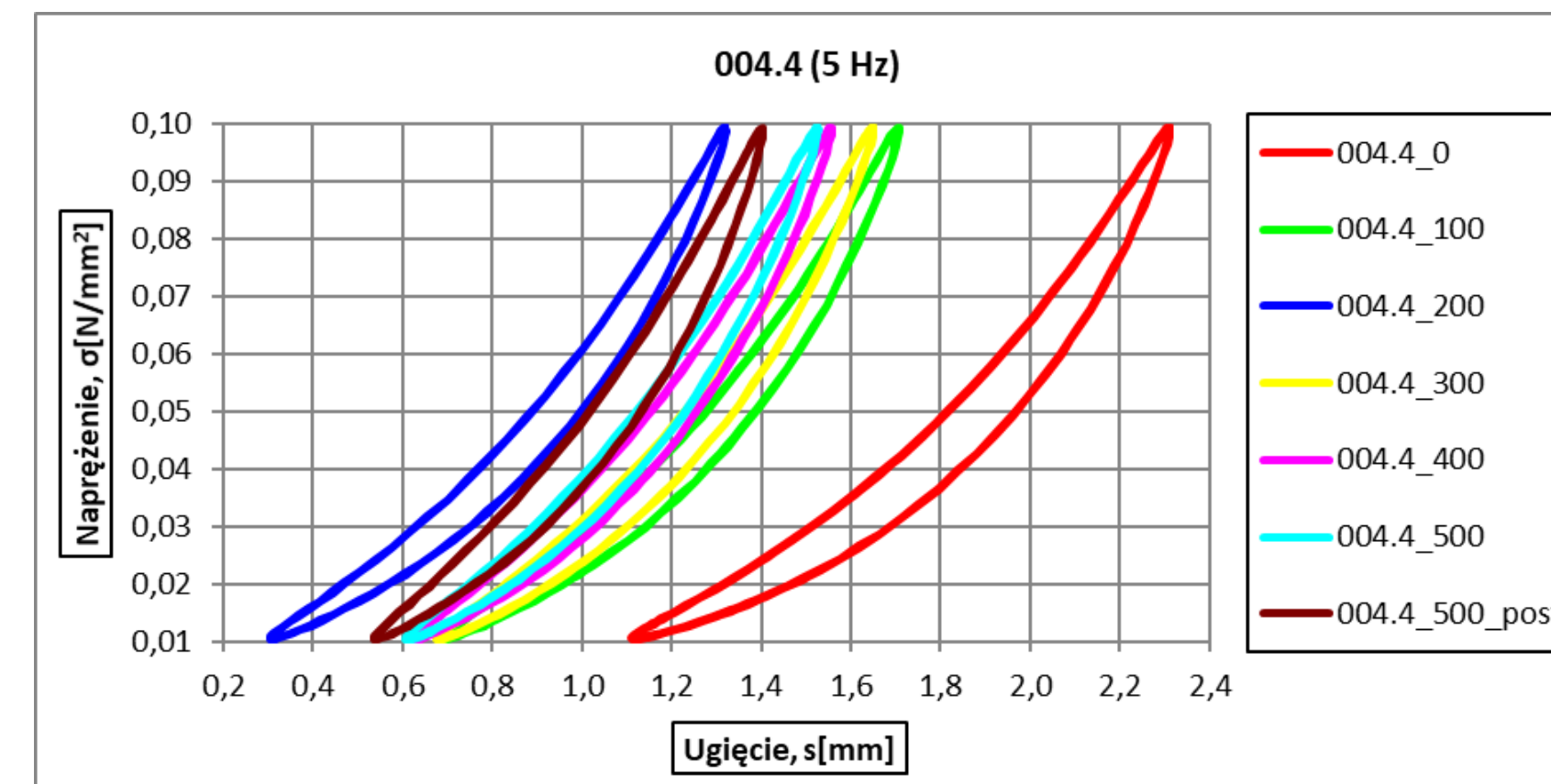
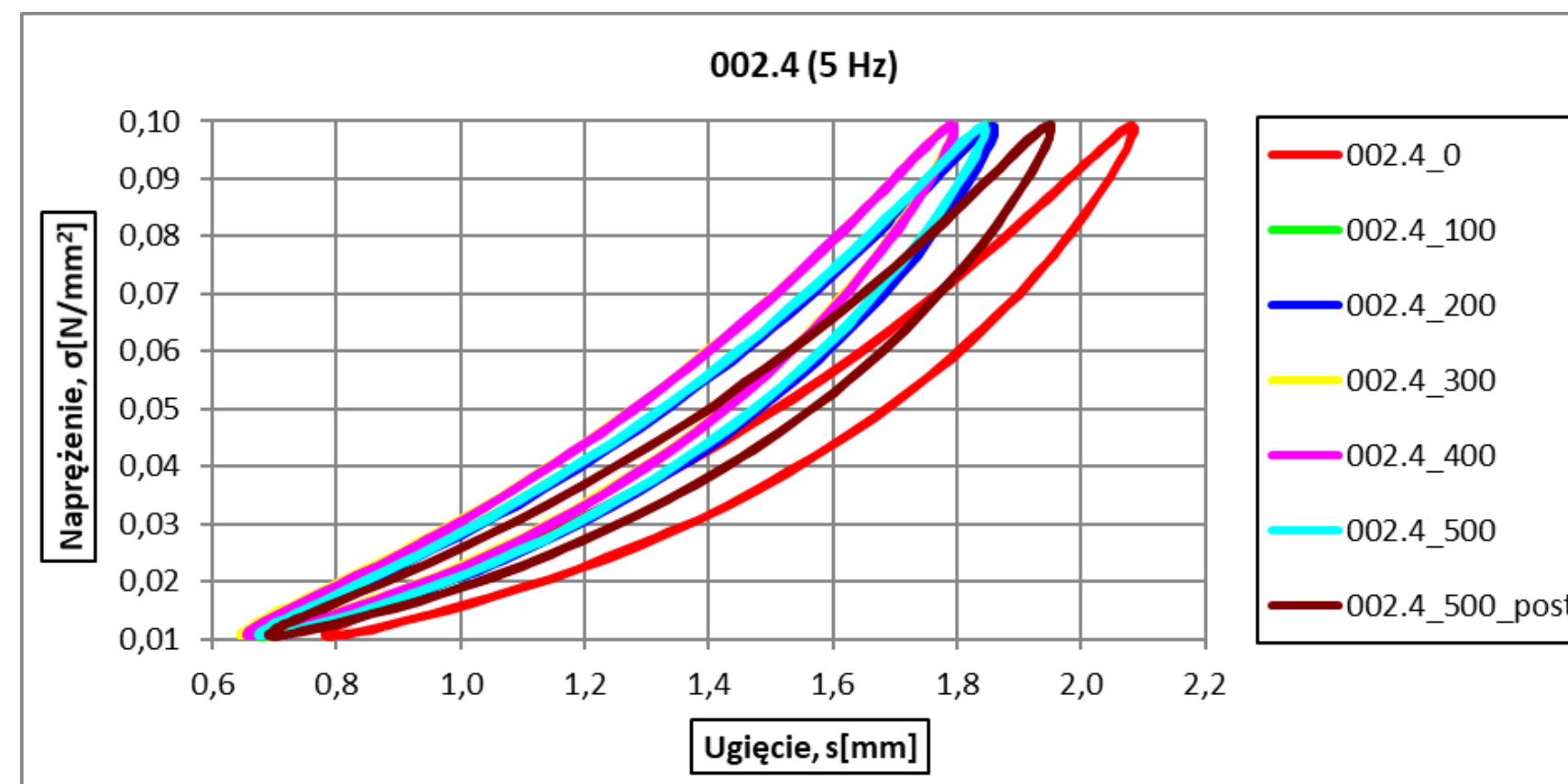
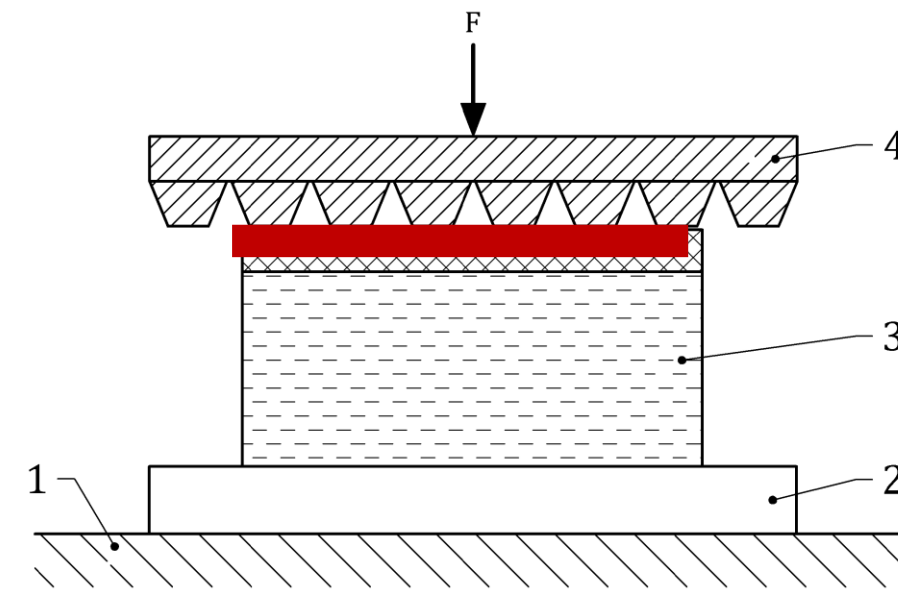


Częstotliwość f [Hz]	Dynamiczny moduł sztywności w wysokich częstotliwościach					
	C_H [N/mm³]			Średnia	Odch. st.	κ_H [-]
	075.1	075.2	075.3			
10	0,300	0,306	0,285	0,297	0,011	2,941
12,5	0,330	0,333	0,313	0,325	0,011	3,218
16	0,355	0,359	0,339	0,351	0,011	3,475
20	0,380	0,384	0,358	0,374	0,014	3,703
24	0,403	0,426	0,384	0,404	0,021	4,000

WŁAŚCIWOŚCI PODKŁADEK USP ORAZ METODY ICH BADAŃ

TRWAŁOŚĆ EKSPLOATACYJNA (WYTRZYMAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA)

- Wyniki badań **wytrzymałości zmęczeniowej** (z ograniczeniem do 500 tys. cykli obciążeń **do wstępnej preselekcji**) prototypowych podkładek USP.



Politechnika
Warszawska

$$\Delta C_{dyn}(5 \text{ Hz}) = 2,9\%$$

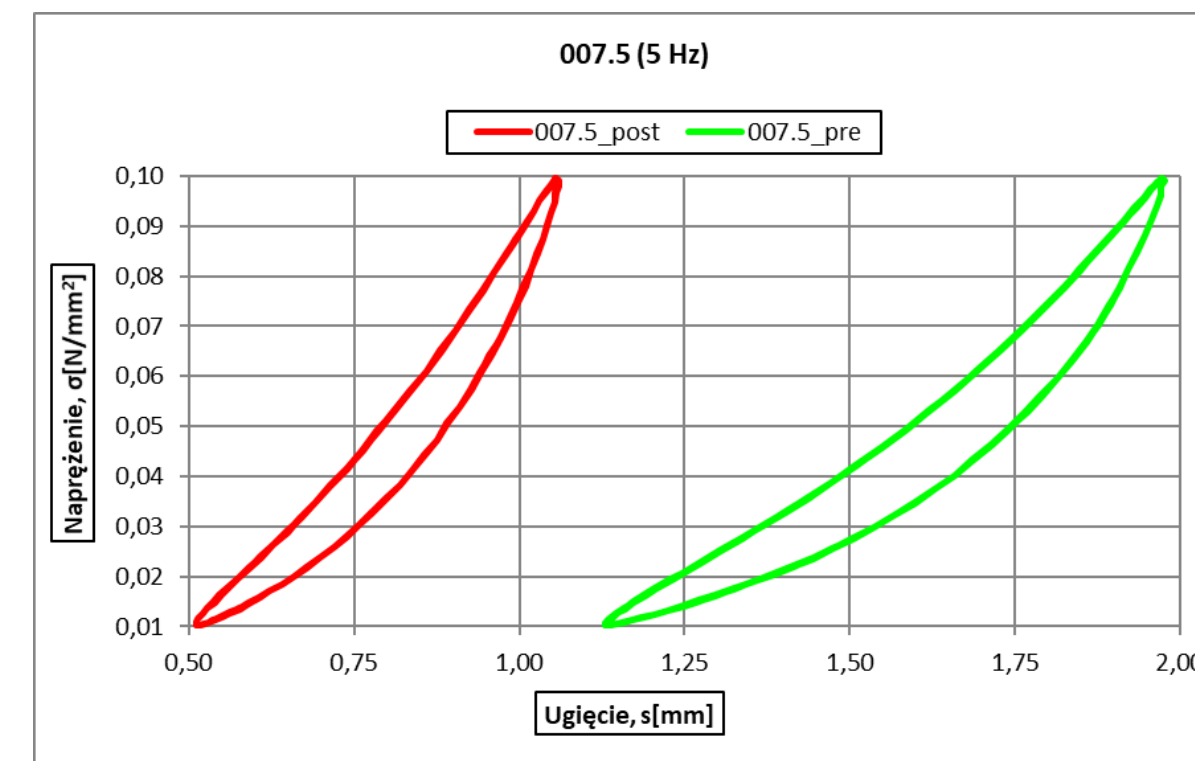
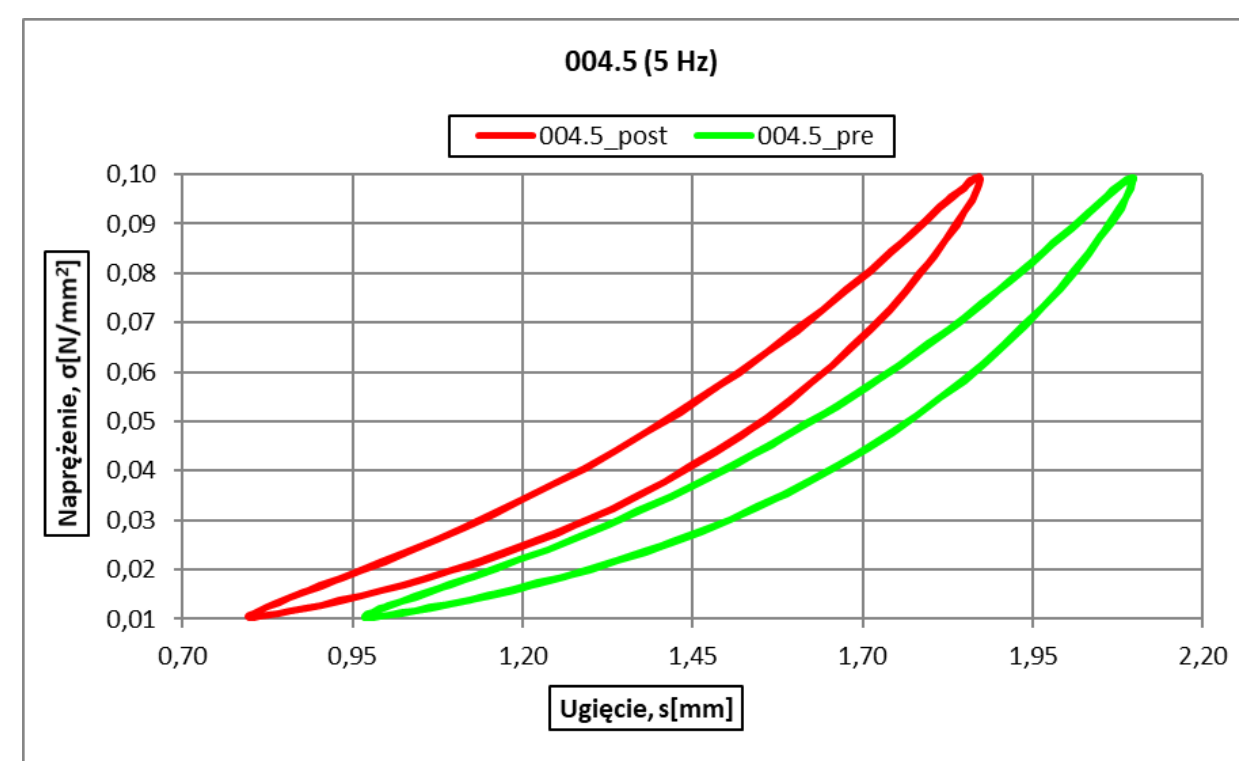
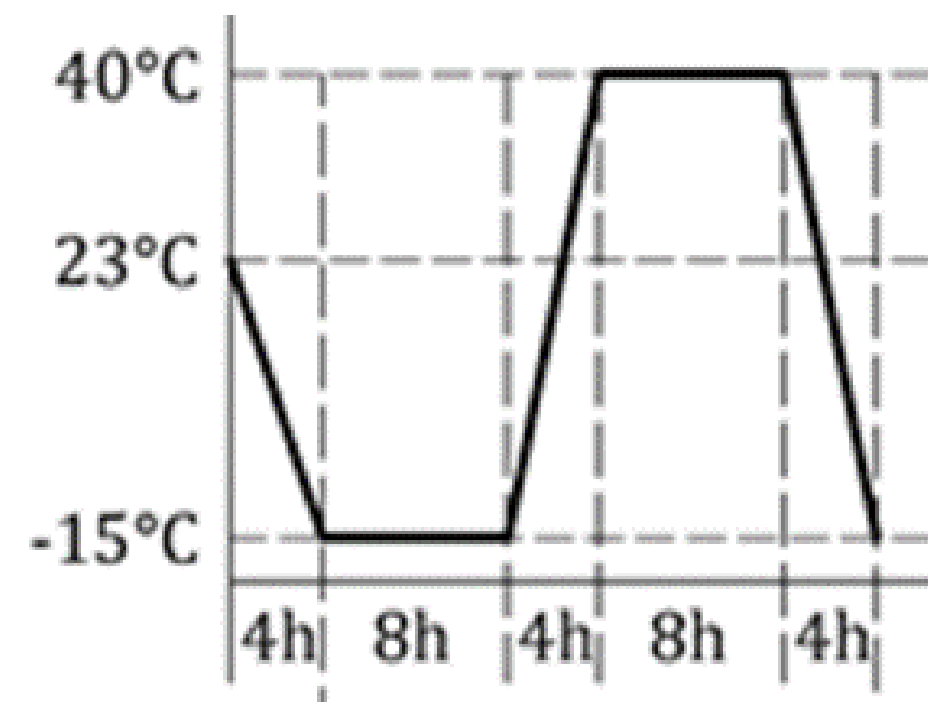
$$\Delta C_{dyn}(5 \text{ Hz}) = 37,3\%$$



WŁAŚCIWOŚCI PODKŁADEK USP ORAZ METODY ICH BADAŃ

ODPORNOŚĆ NA WARUNKI ATMOSFERYCZNE

- Ze względu na klimat występujący w Polsce **badanie podkładek USP pod kątem ich mrozoodporności jest jak najbardziej uzasadnione**. Odporność na działanie wody ma duże znaczenie w przypadku podkładek USP, ze względu na przenikanie wód opadowych przez podsypkę i związany z tym destrukcyjny wpływ wody na materiał, z którego wykonana jest podkładka.



Politechnika
Warszawska

$$\Delta C_{dyn}(5 \text{ Hz}) = 5,1\%$$

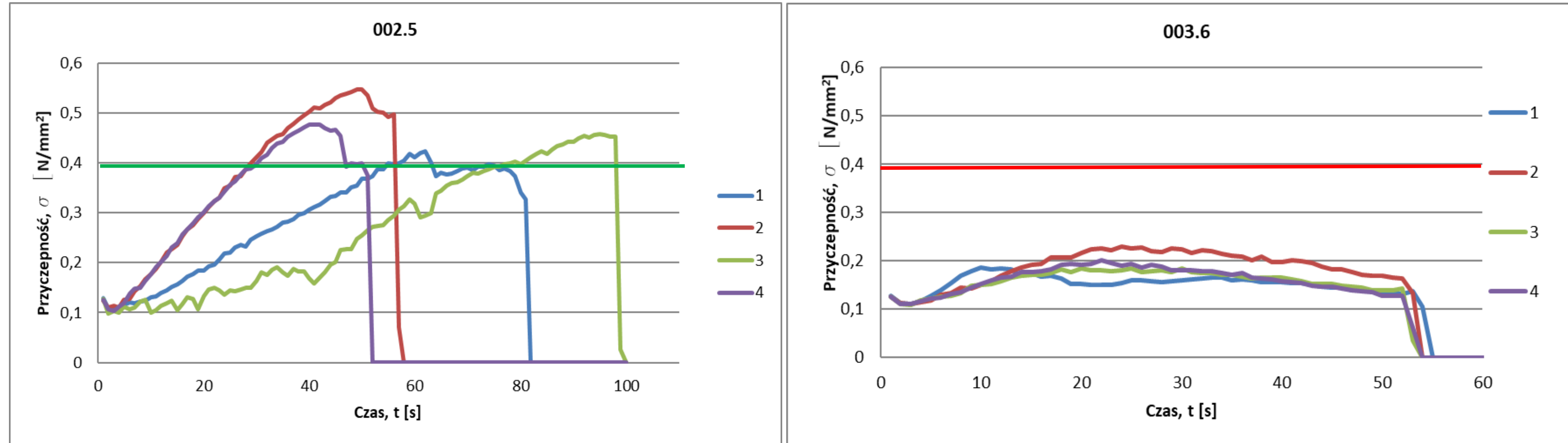
$$\Delta C_{dyn}(5 \text{ Hz}) = 54,7\%$$



WŁAŚCIWOŚCI PODKŁADEK USP ORAZ METODY ICH BADAŃ

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ODRYWANIE (PRZYCZEPNOŚĆ PRZEZ ODRYWANIE)

- **Podkładka USP jako element połączony z podkładem lub podrozdźnicą w sposób trwały, bez względu na technologię montażu, musi mieć zapewnioną odpowiednią wartość przyczepności przez odrywanie, aby podkładka nie oddzieliła się od podpory szynowej w trakcie transportu na miejsce zabudowy lub w trakcie jej wieloletniej eksploatacji.**

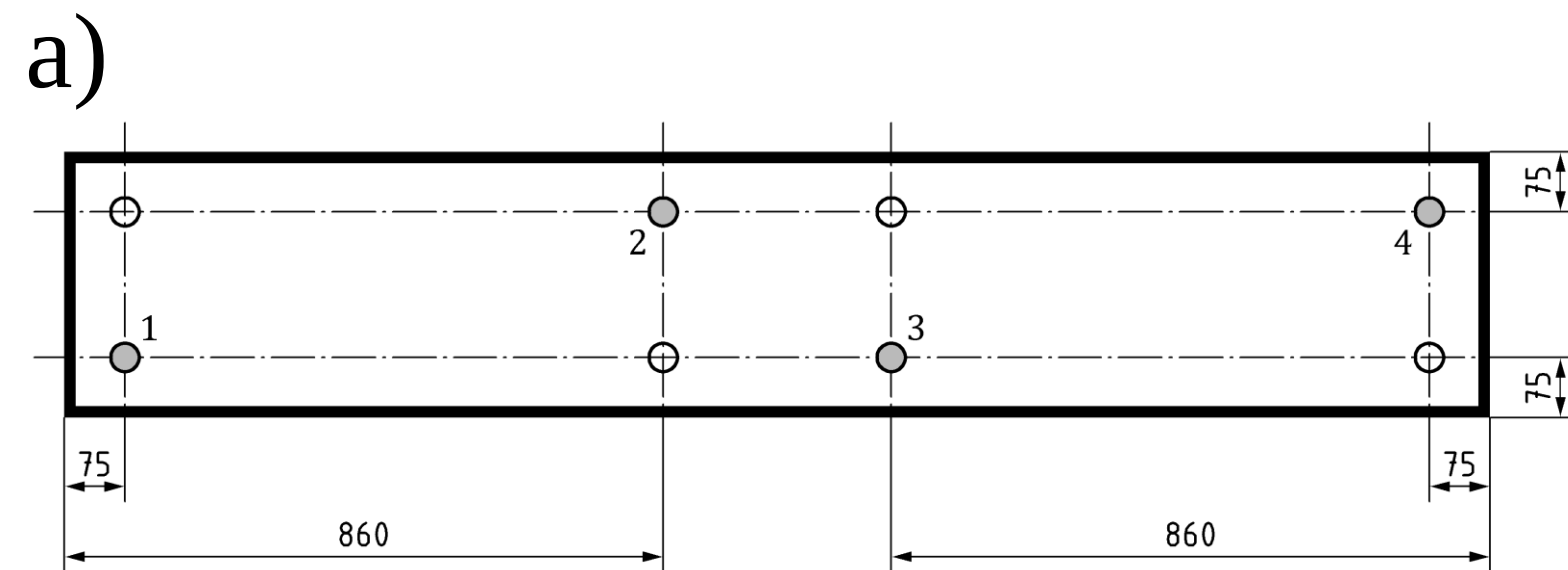


Politechnika
Warszawska



WŁAŚCIWOŚCI PODKŁADEK USP ORAZ METODY ICH BADAŃ

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ODRYWANIE (PRZYCZEPNOŚĆ PRZEZ ODRYWANIE)



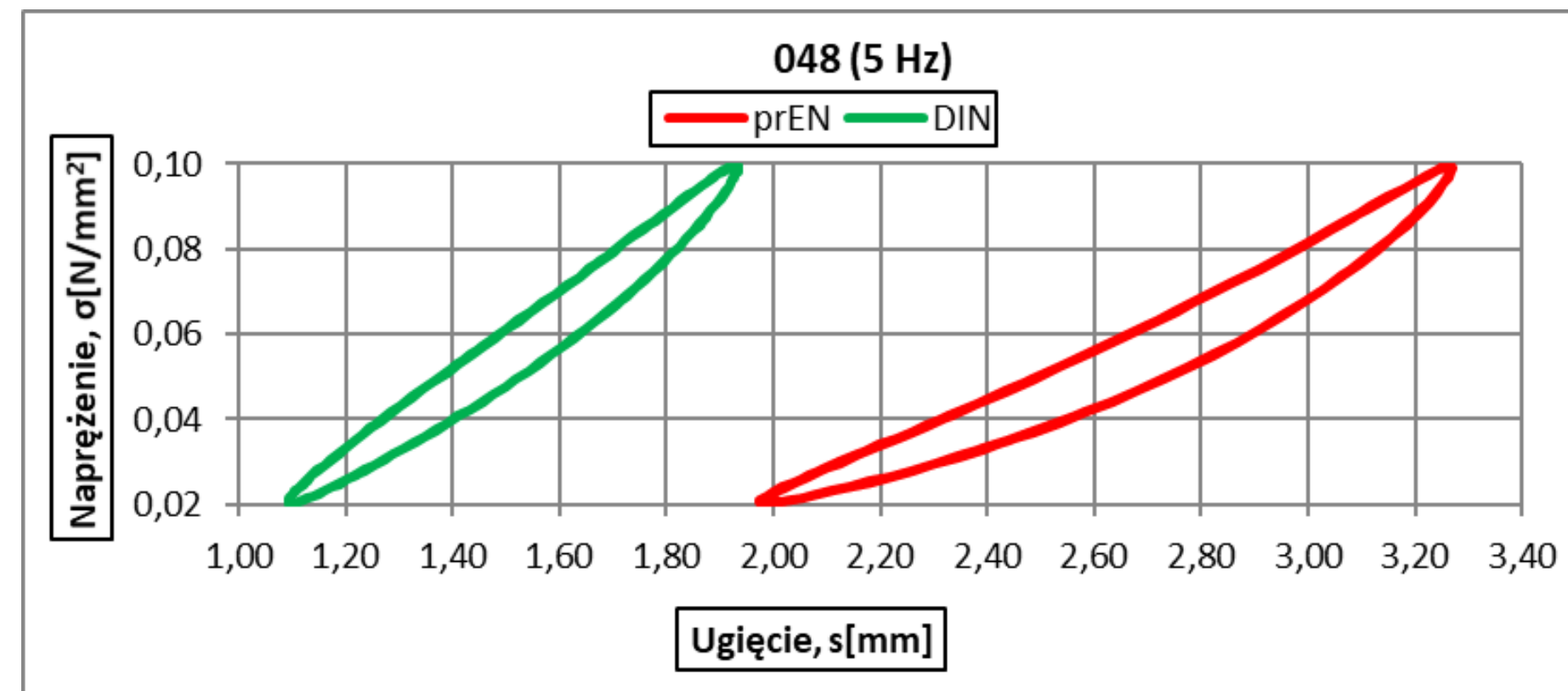
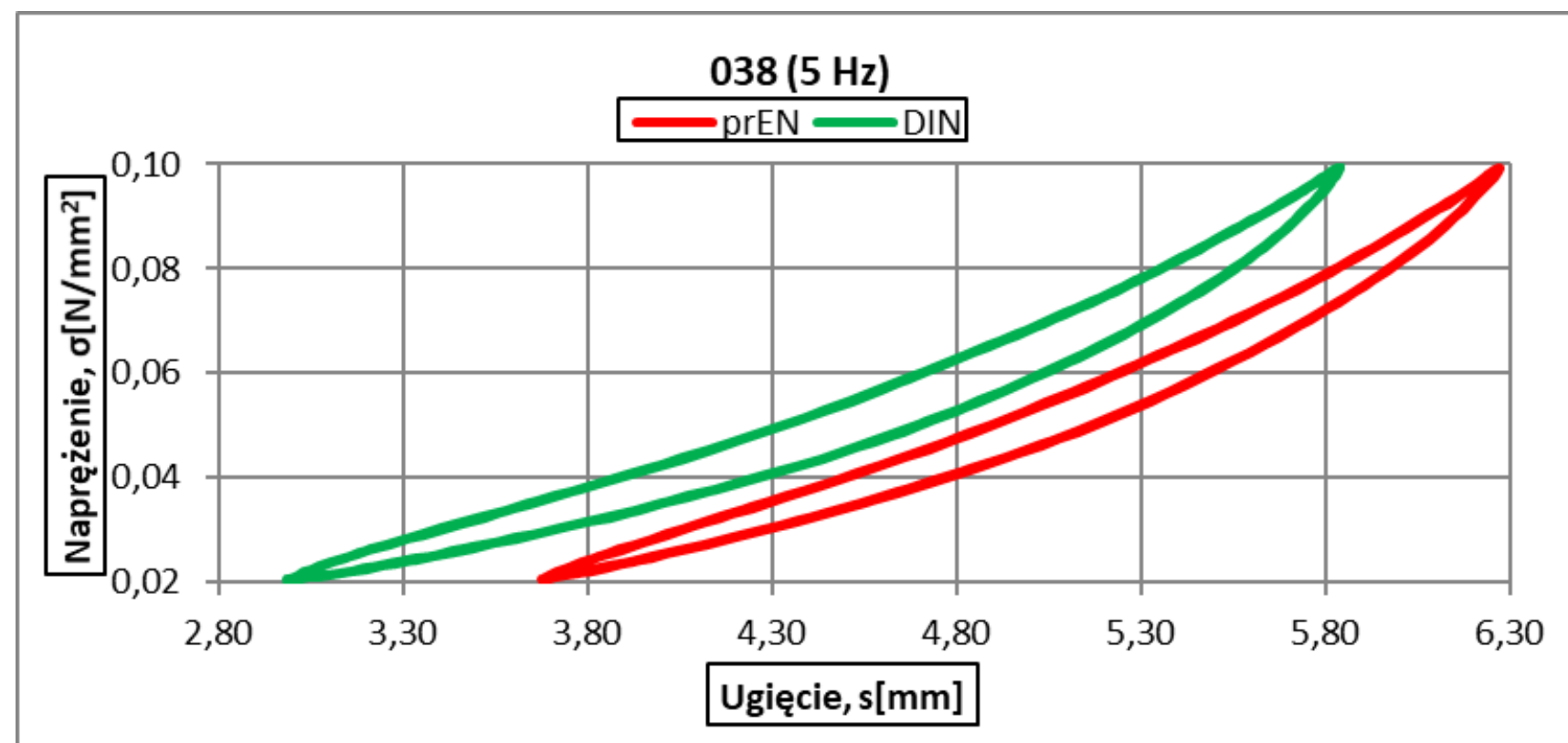
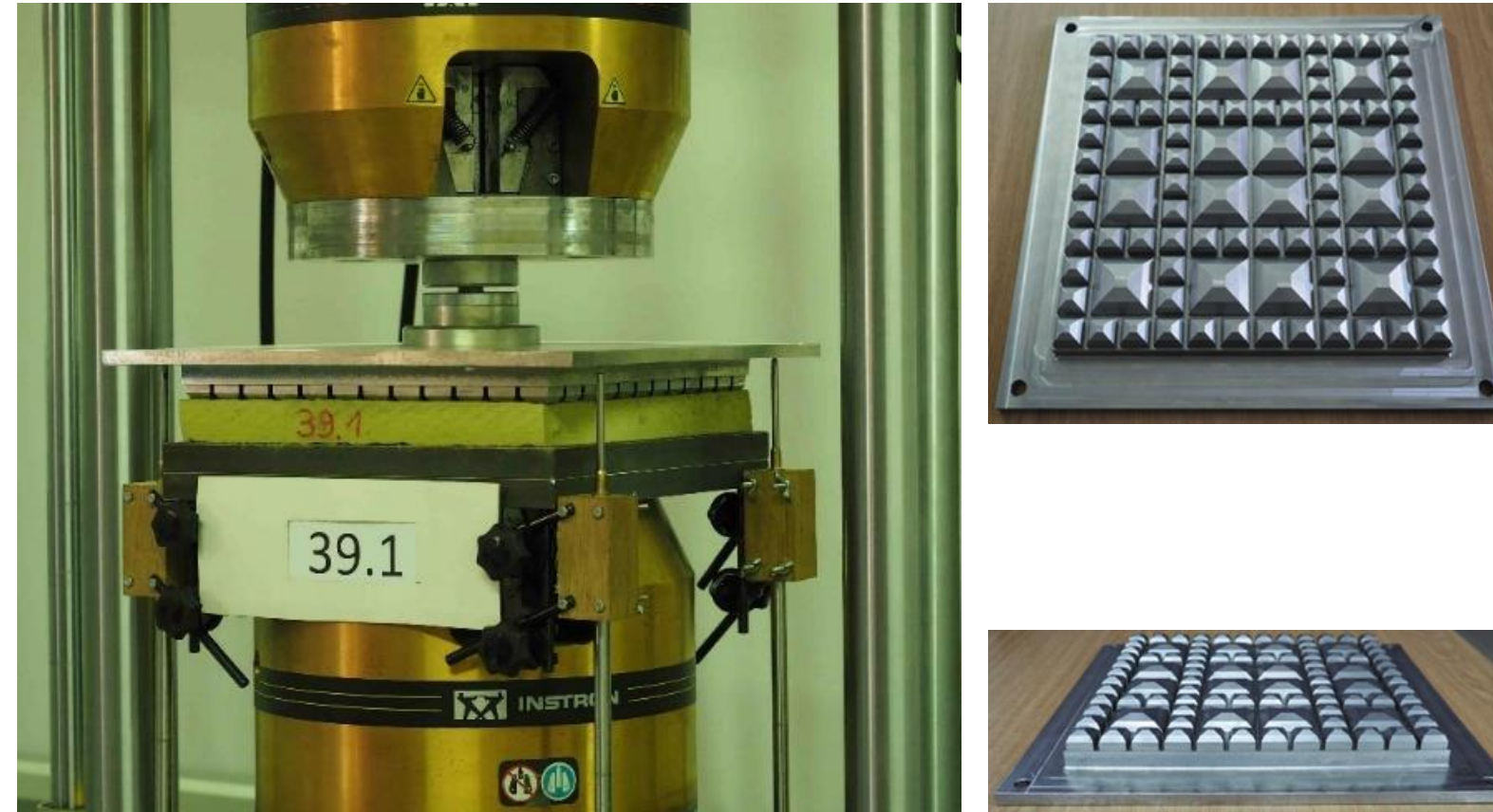
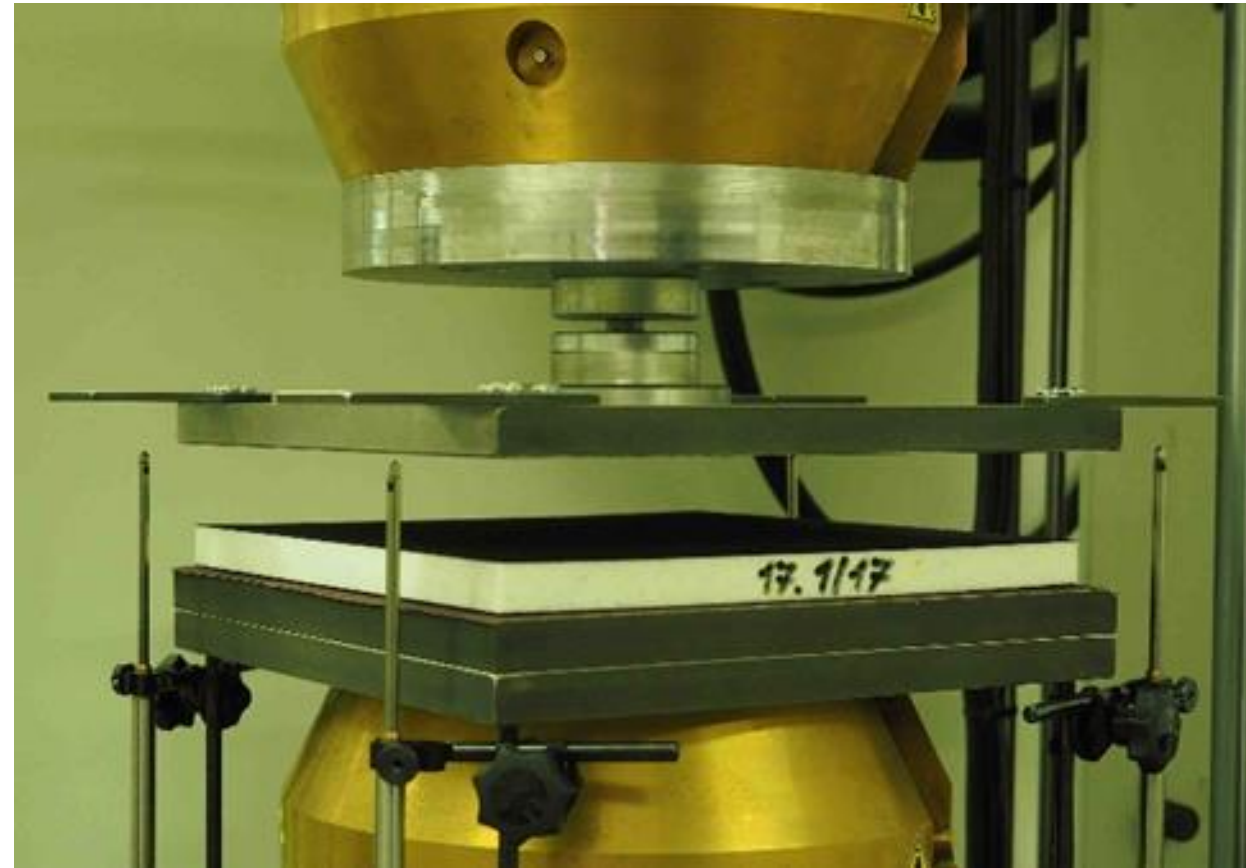
Rys. Podkład z oznaczoną lokalizacją czterech punktów pomiarowych do badania przyczepności przez odrywanie (nr: 1, 2, 3 i 4).



Rys. Próbkki podkładek USP po badaniu – widoczny rodzaj zniszczenia.

BADANIA IDENTYFIKACYJNE MAT UBM

- Maty podtłuczniowe UBM wg. **DIN 45673-5** oraz normy **PN-EN 17282**.

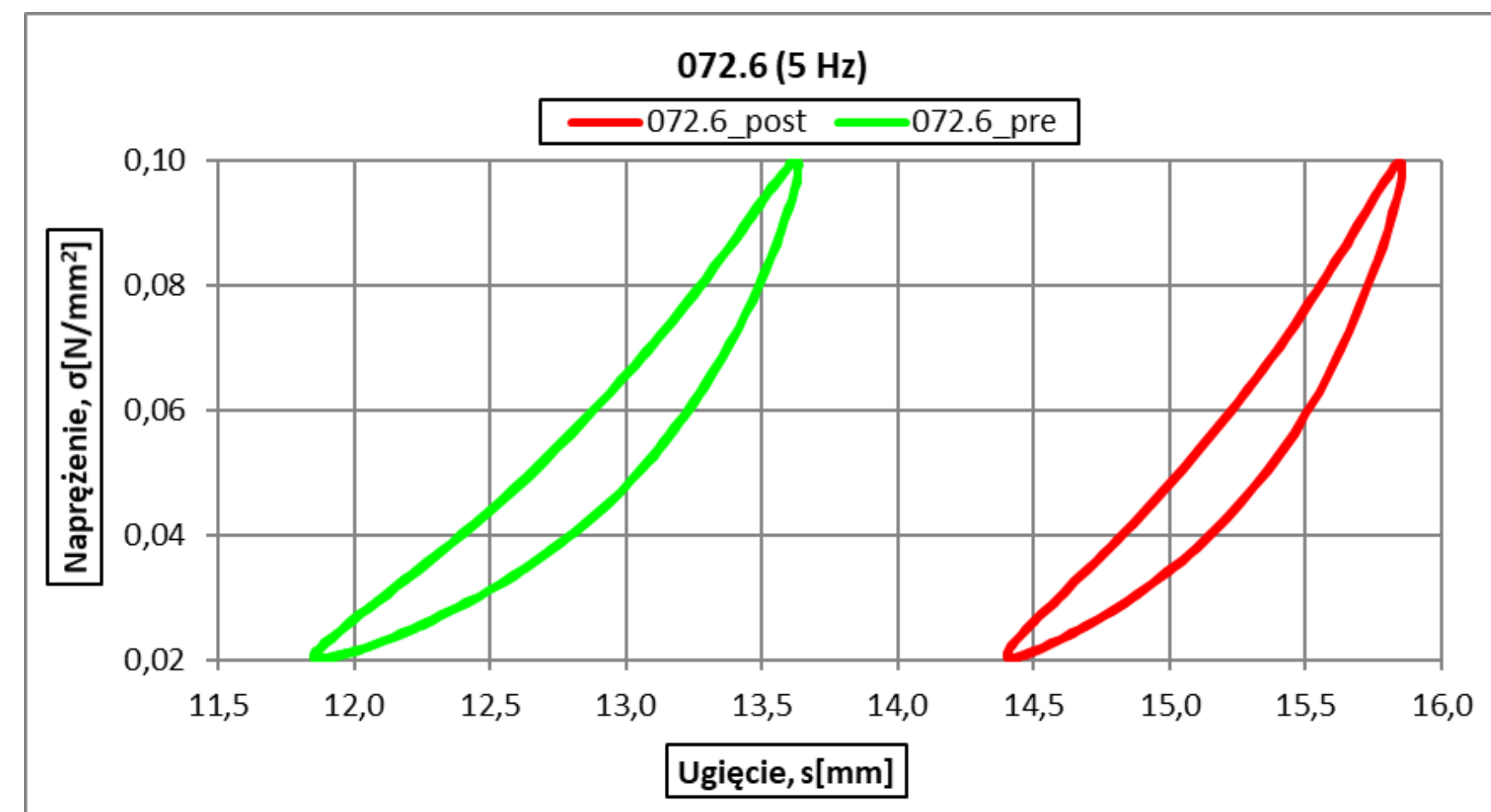
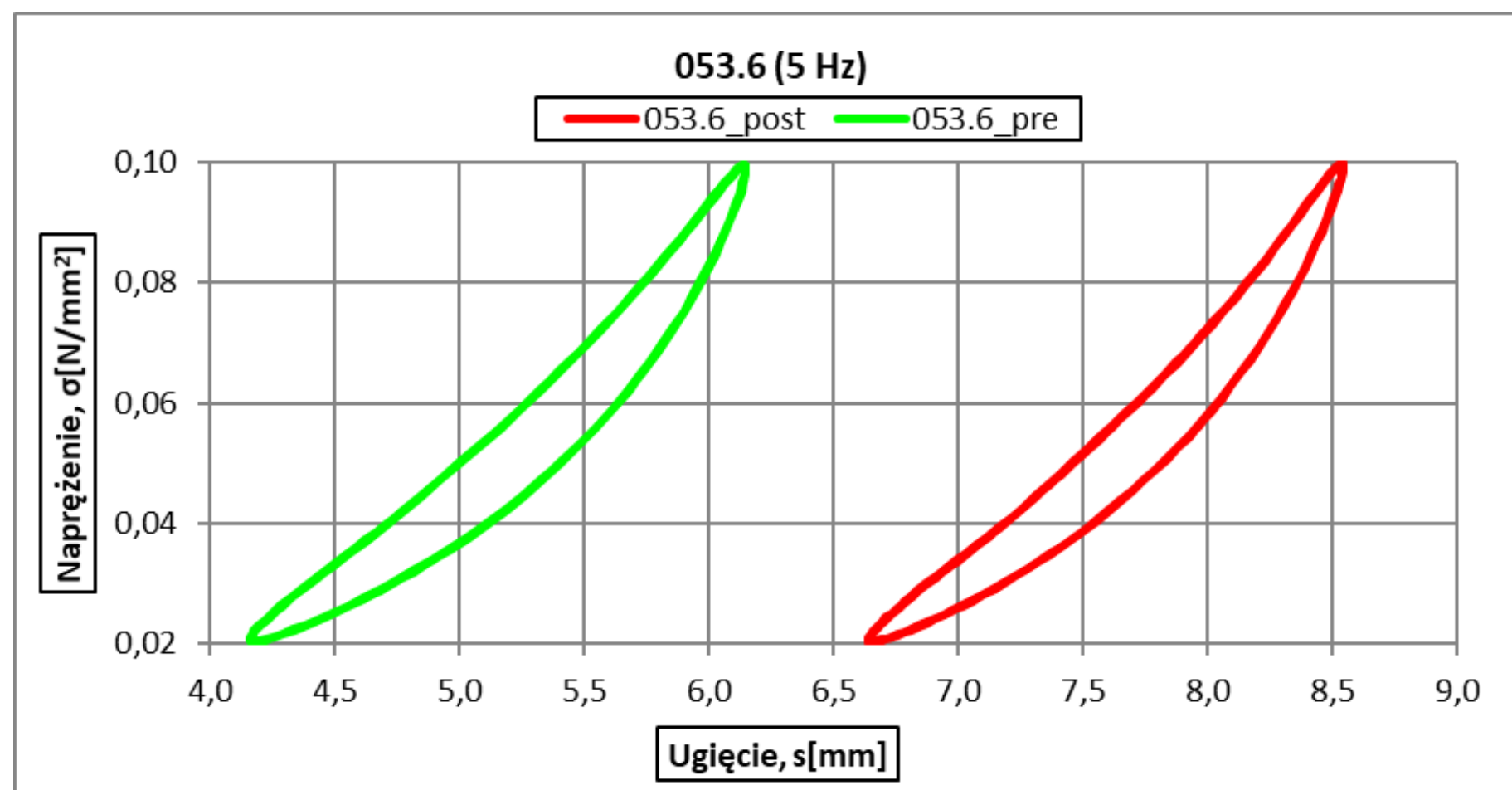


WŁAŚCIWOŚCI MAT UBM ORAZ METODY ICH BADAŃ

ODPORNOŚĆ NA STARZENIE



Rys. Próbkę mat UBM w trakcie badań odporności na starzenie: a) próbka w trakcie ważenia; b) komora klimatyczna z badanymi próbkami.

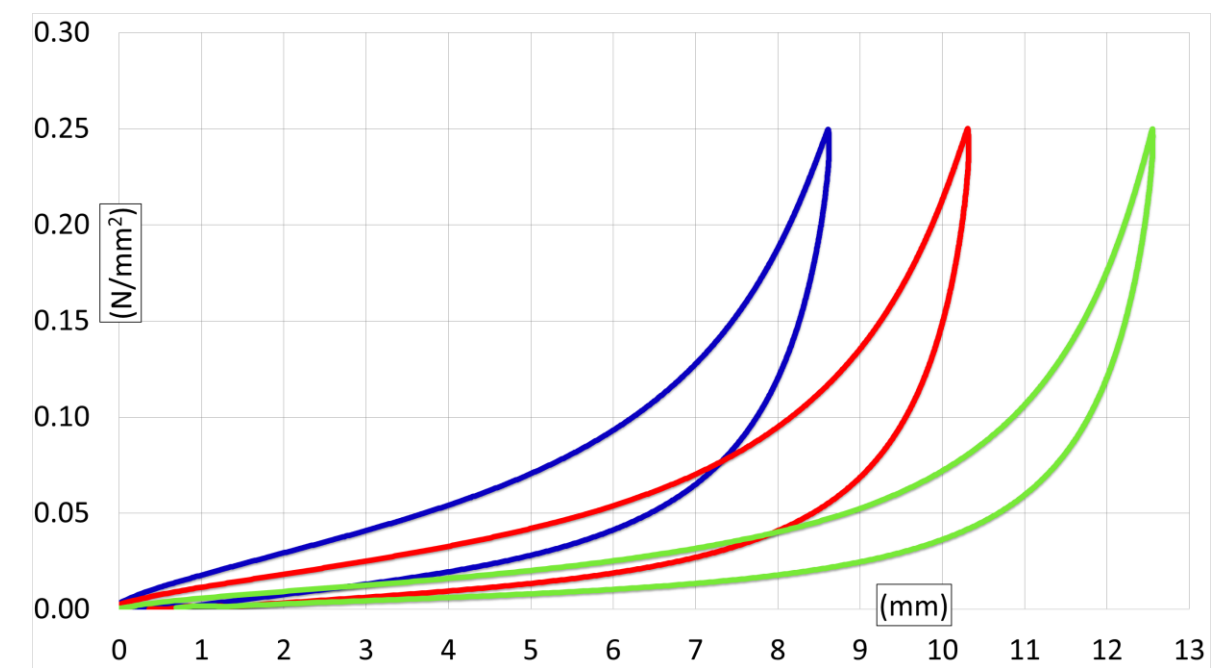
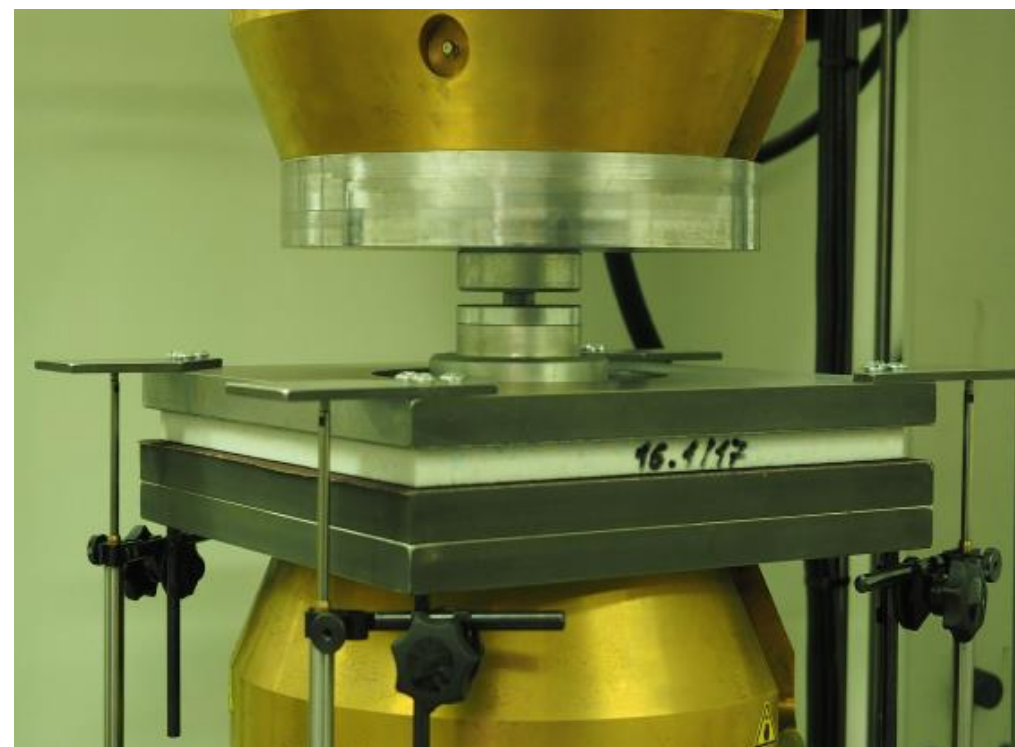
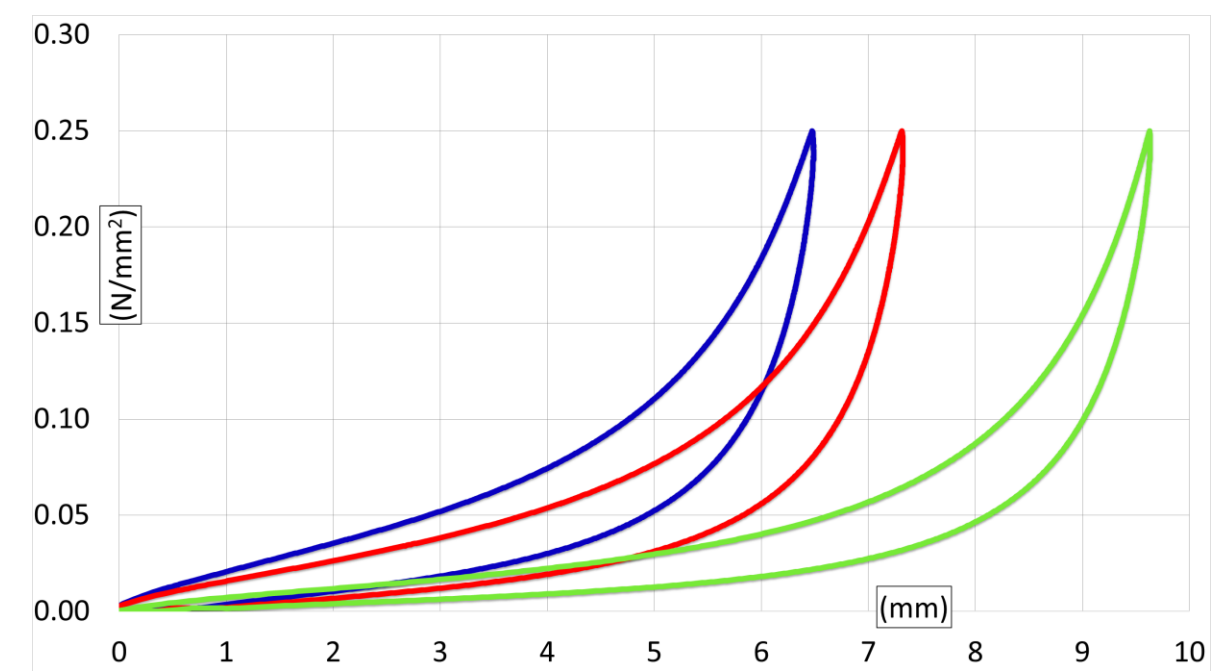
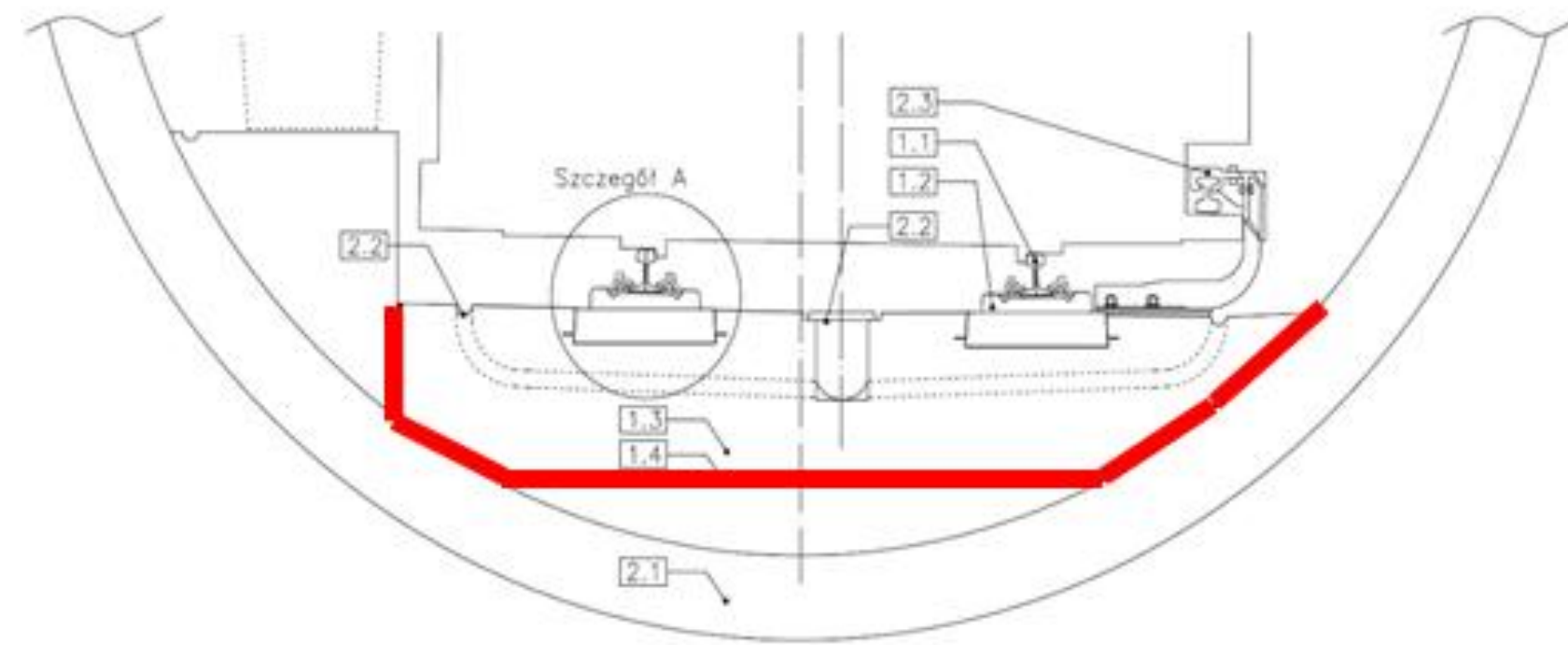


Politechnika
Warszawska

$\Delta C_{dyn}(5 \text{ Hz}) = 5,0\%$
 $\Delta m = 0,11\%$

$\Delta C_{dyn}(5 \text{ Hz}) = 19,6\%$
 $\Delta m = -0,69\%$

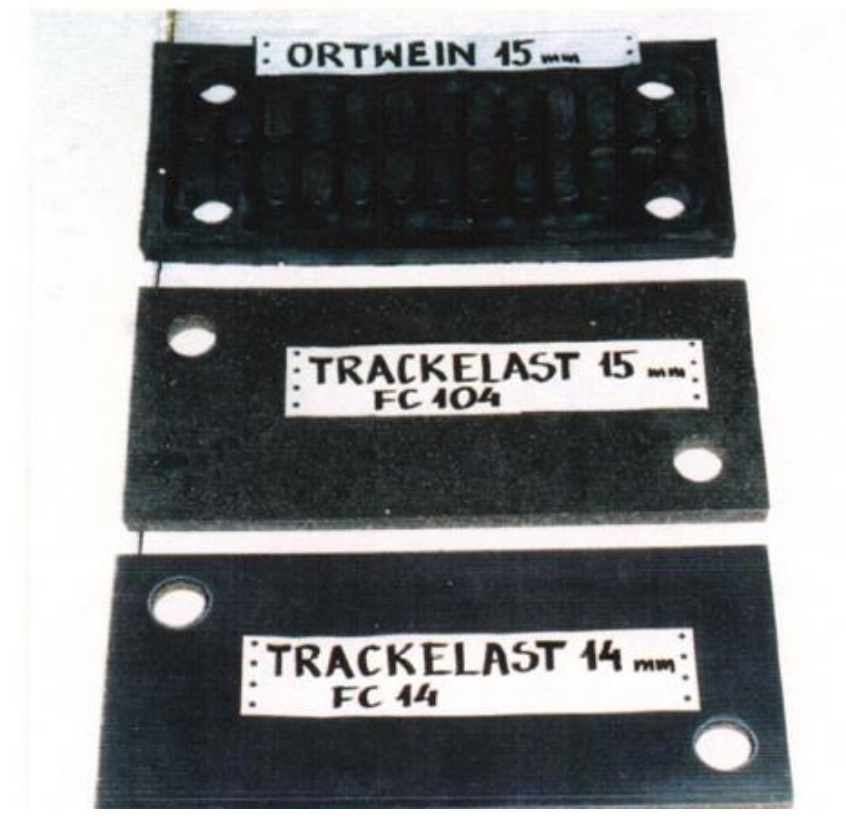
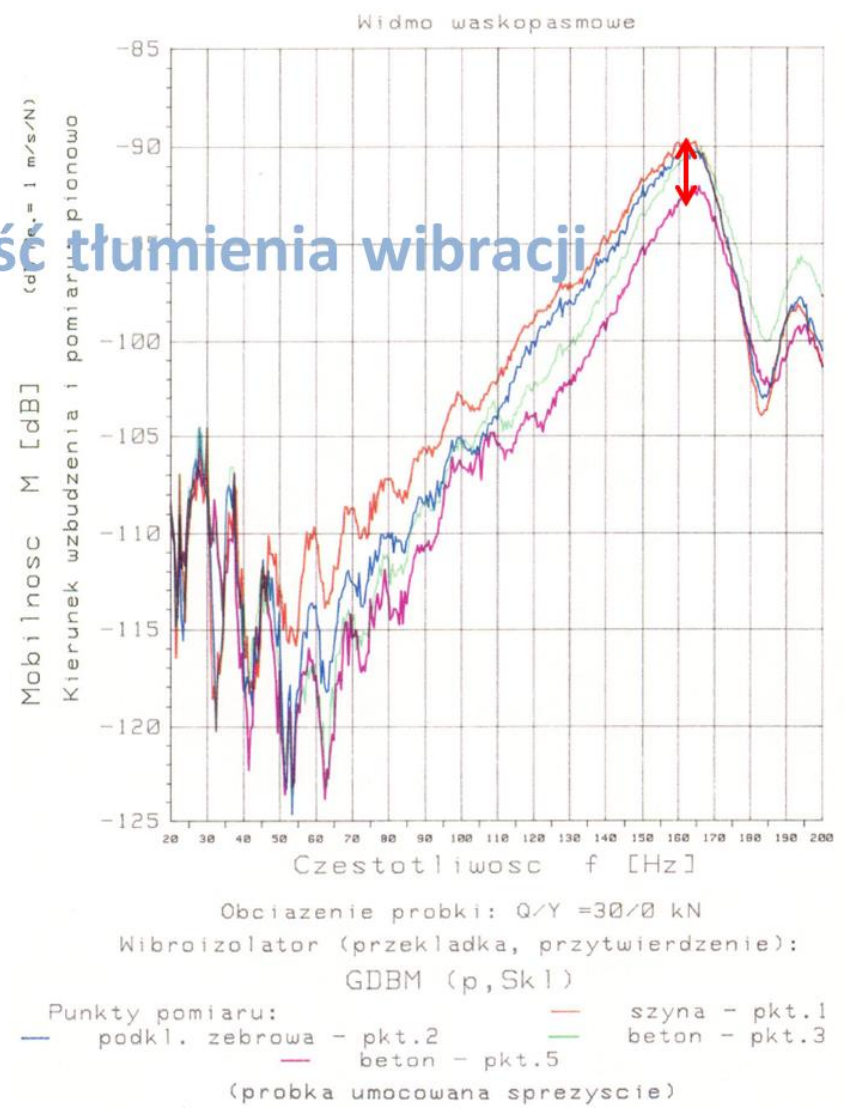
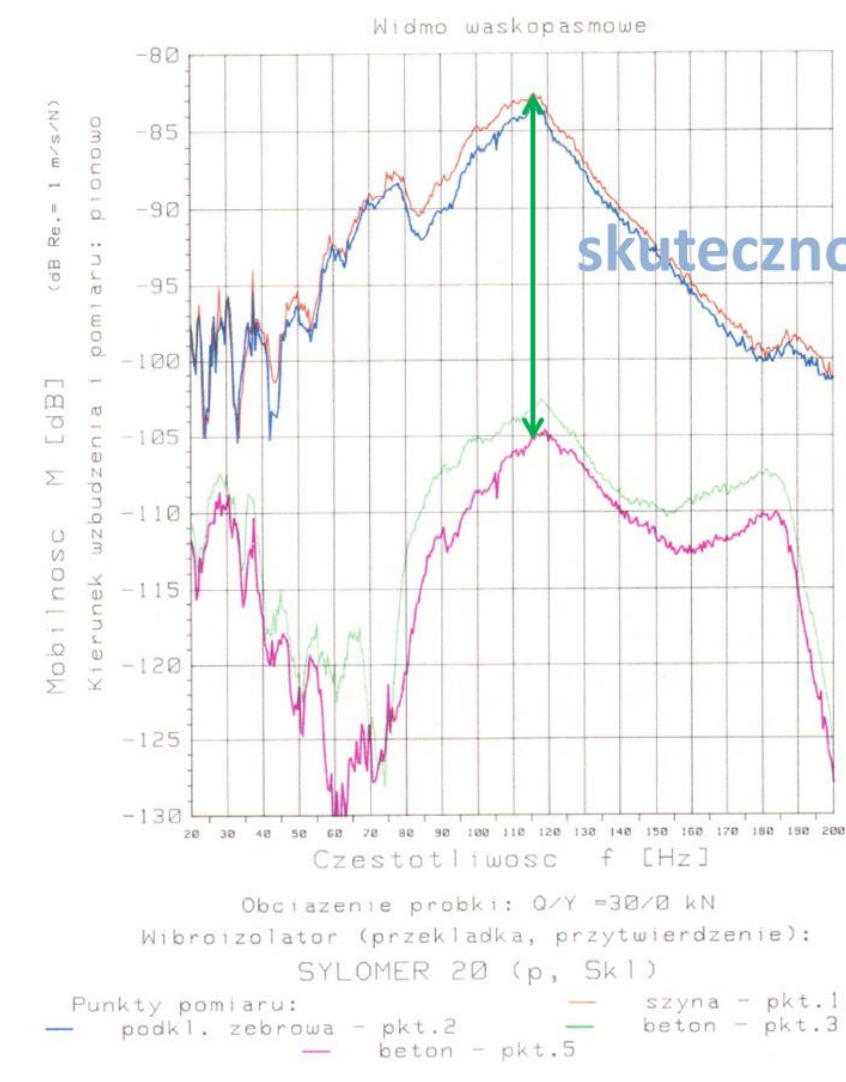
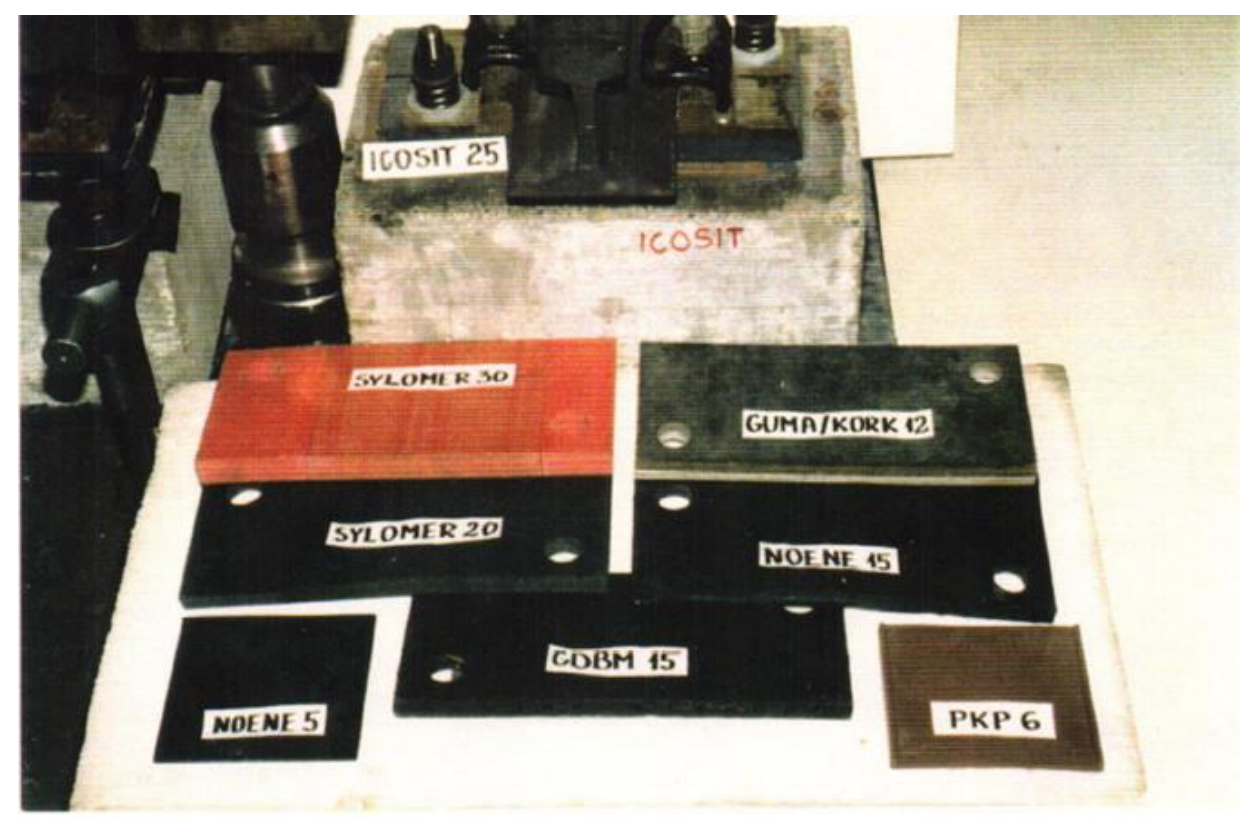
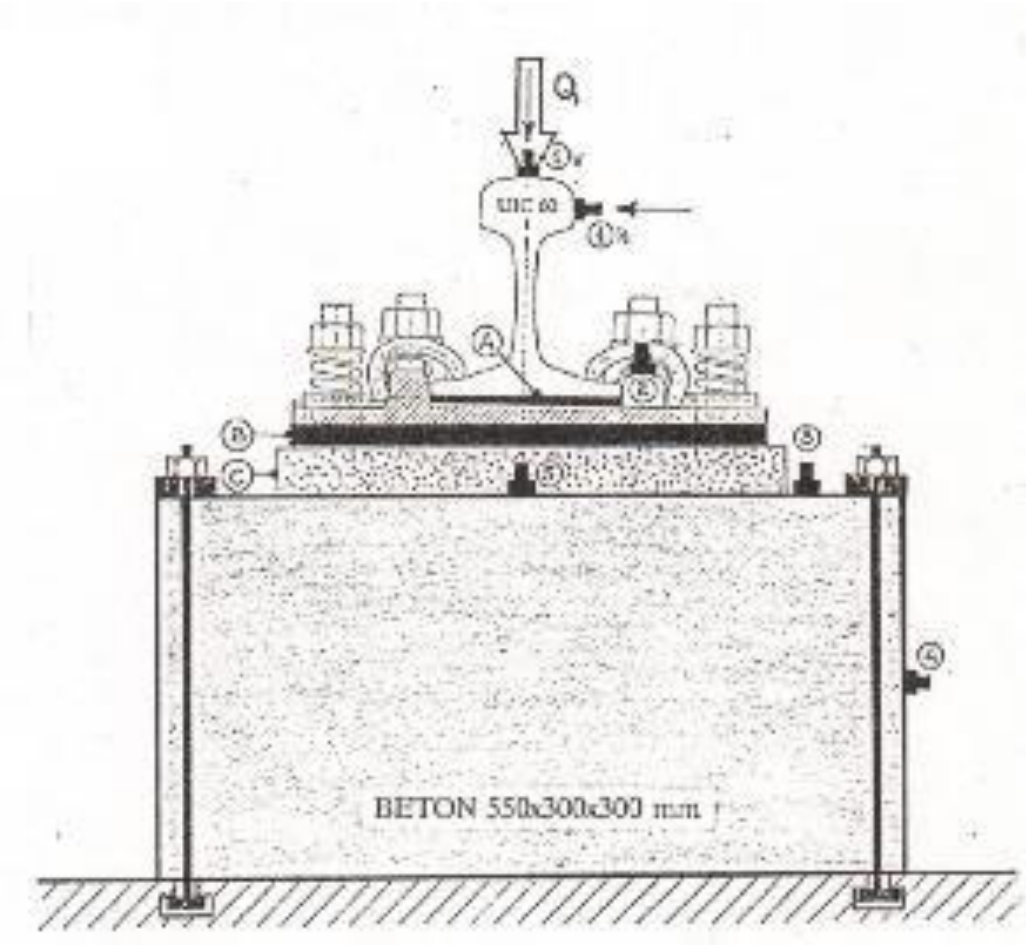
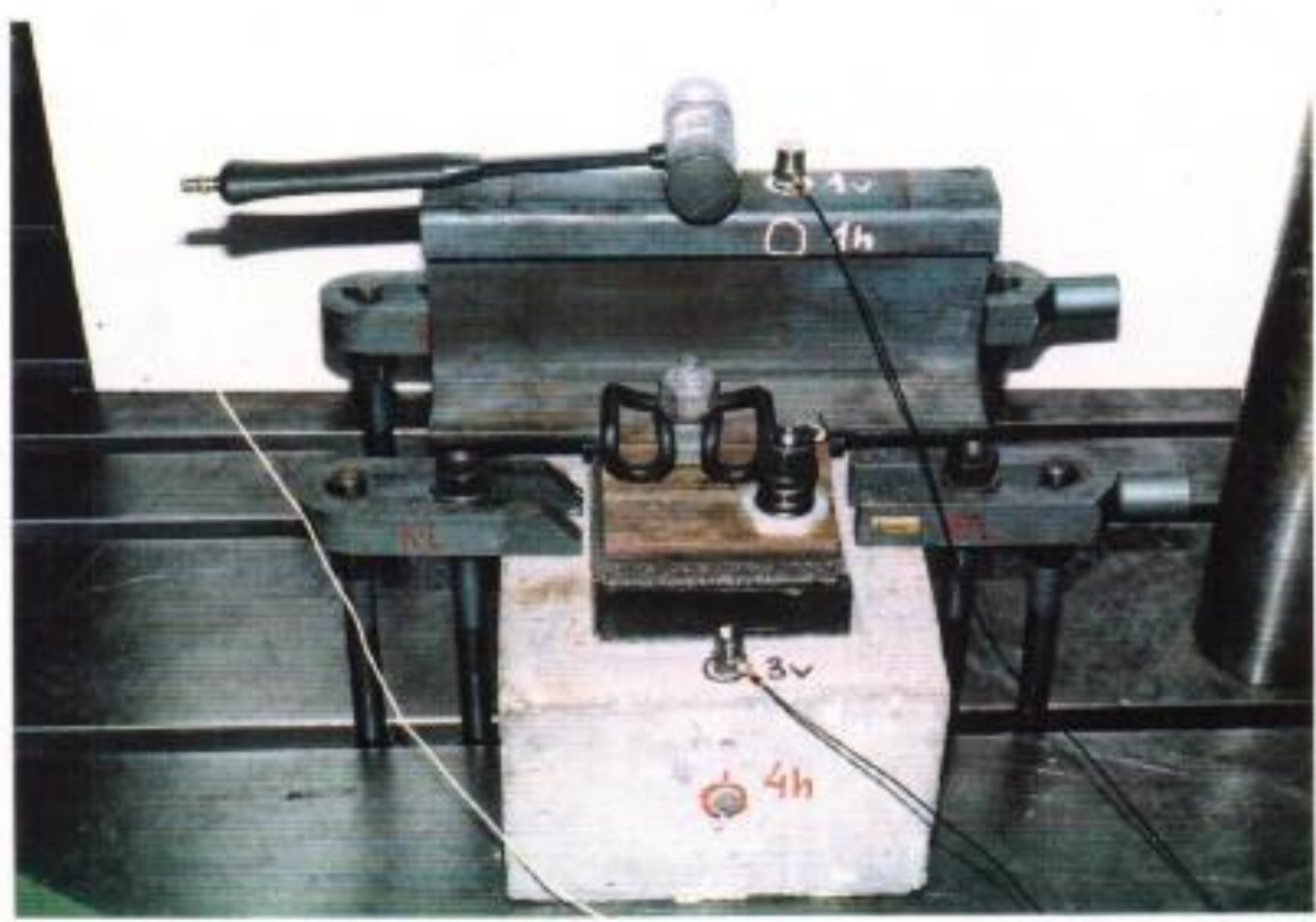




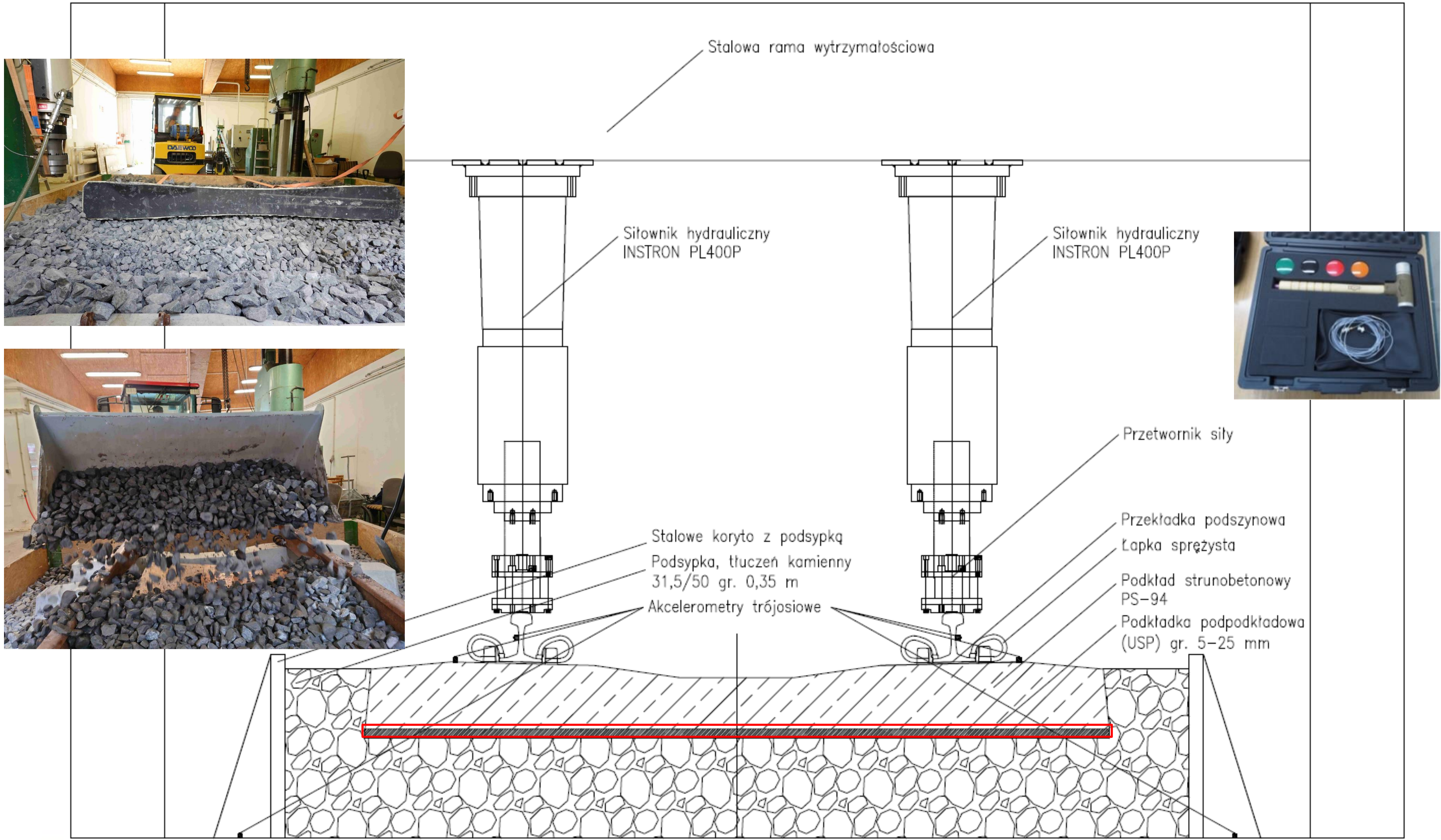
➤ **Maty pod płytowe USM (STM) wg. normy *DIN 45673-7* lub *prEN 17682*.**



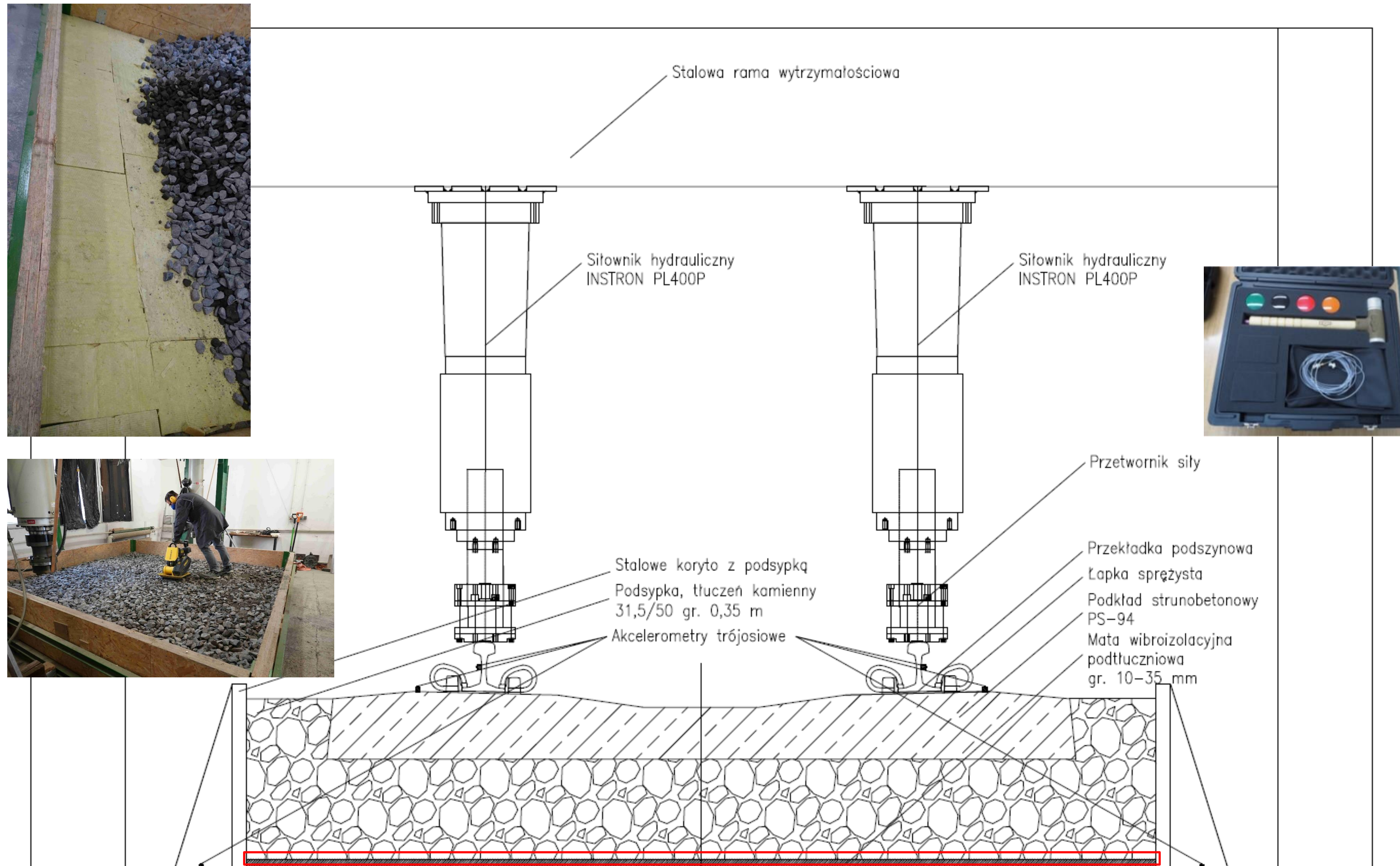
➤ Wykonaniu modeli strukturalnych konstrukcji nawierzchni kolejowej i **badan metoda impulsowa.**



➤ Wykonaniu modeli strukturalnych konstrukcji nawierzchni kolejowej **podsypkowej z podkładką USP** i badań metodą impulsową.



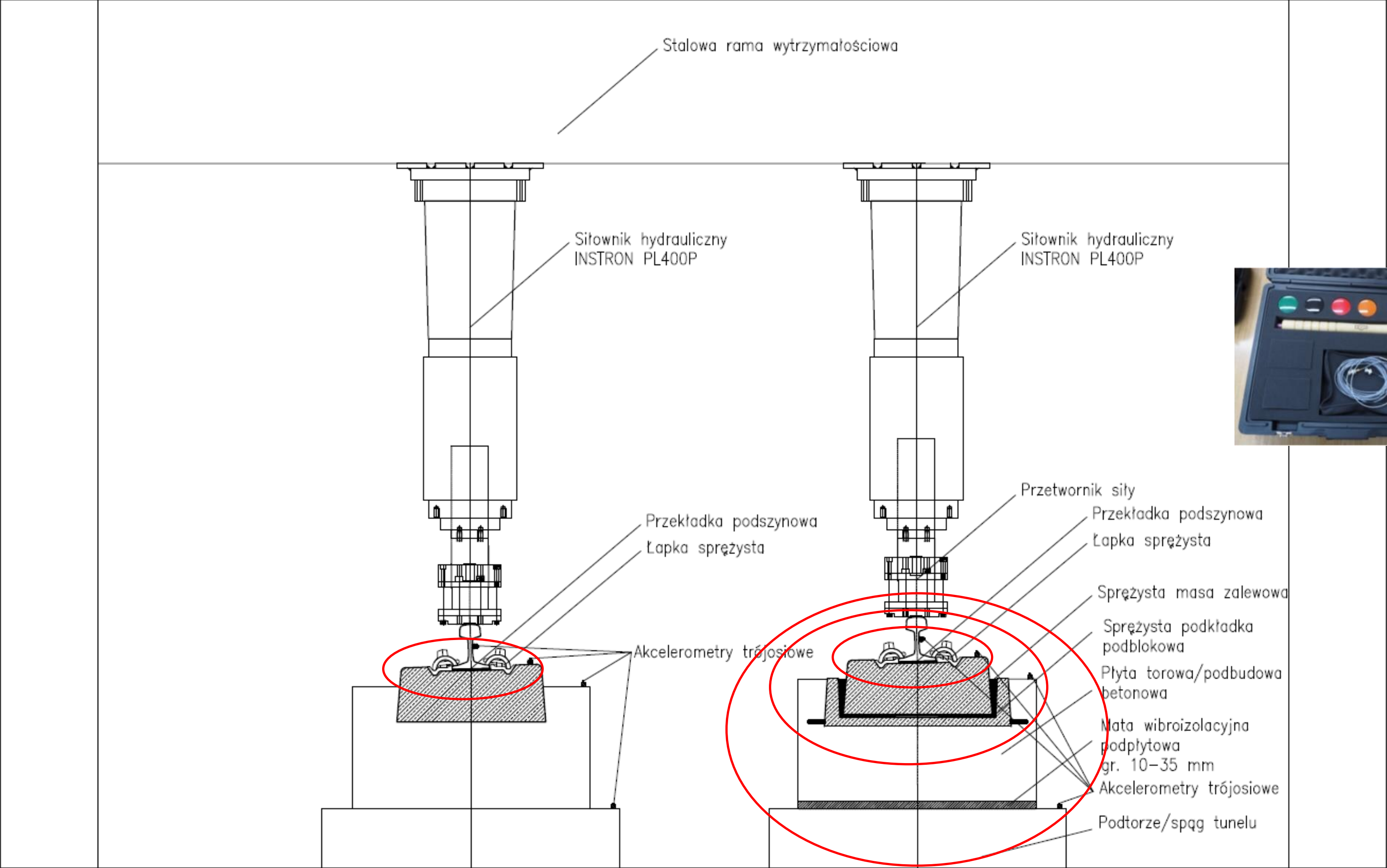
- Wykonaniu modeli strukturalnych konstrukcji nawierzchni kolejowej **podsypkowej z matą UBM** i badań metodą impulsową.



- Wykonaniu modeli strukturalnych konstrukcji nawierzchni kolejowej **podsypkowej z podkładką USP** i badań metodą impulsową.



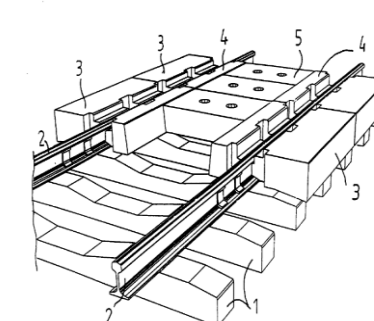
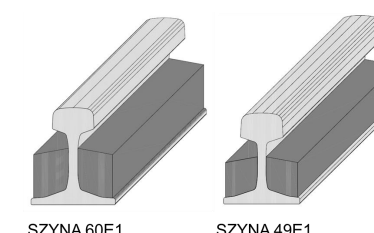
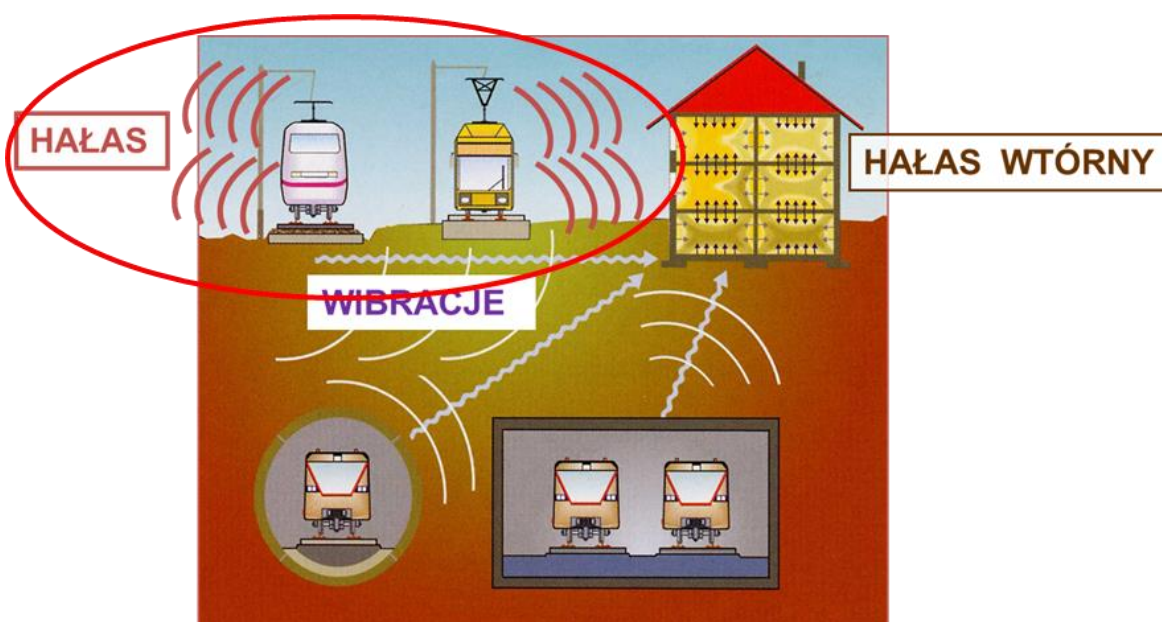
➤ Wykonaniu modeli strukturalnych konstrukcji nawierzchni kolejowej **bezpodsypkowe systemem EBS i matą pod płytową** i badań metodą impulsową.



PROJEKTY BADAWCZE I GRANTY

Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i środowiska przed hałasem od ruchu kolejowego InRaNOS

CELE PROJEKTU



Podstawowy

Opracowanie urządzenia montowanego w torze kolejowym w celu ograniczenia emisji hałasu.

Dodatkowy

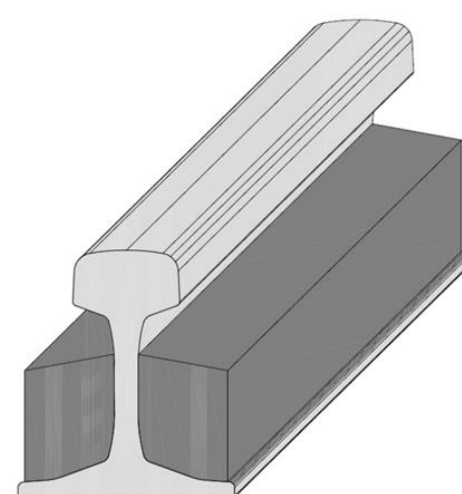
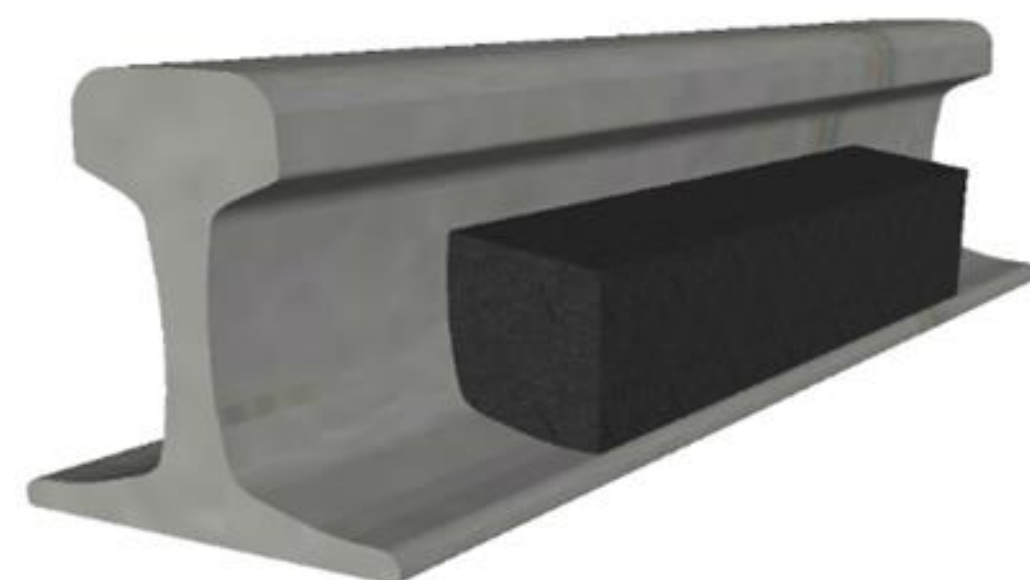
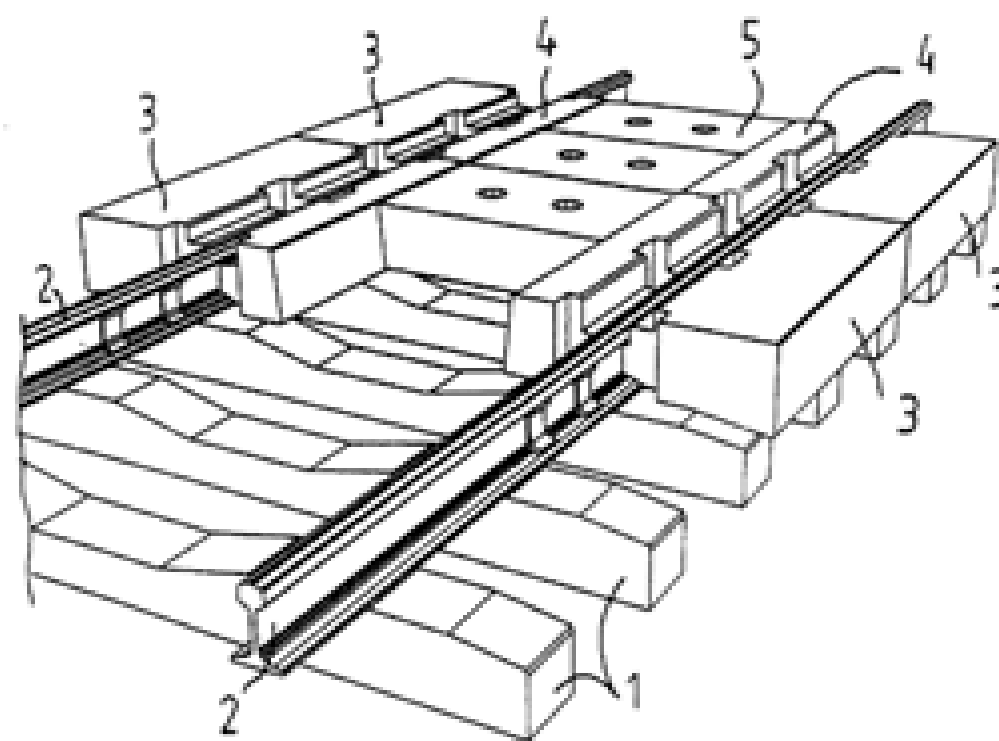
Opracowanie wytycznych stosowania urządzeń ograniczających hałas od ruchu kolejowego.



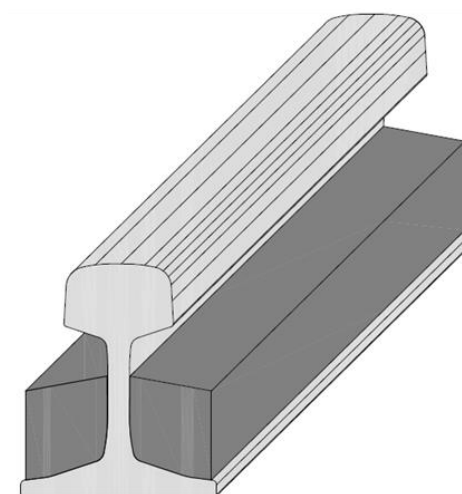
- Innymi **dodatkowymi** elementami stosowanymi w konstrukcji nawierzchni szynowej w celu ograniczania emisji hałasu mogą być tłumiki, określane w zależności od ich położenia w torze jako:

- **tłumiki torowe,**
- **tłumiki przyszynowe,**

których charakterystyka jest przedmiotem niniejszego wystąpienia.



SZYNA 60E1



SZYNA 49E1



ZASADY KONSTRUKCJI I DZIAŁANIA TŁUMIKÓW PRZYSZYNOWYCH



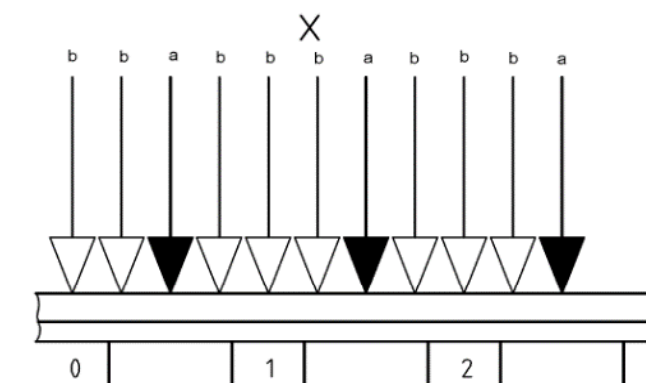
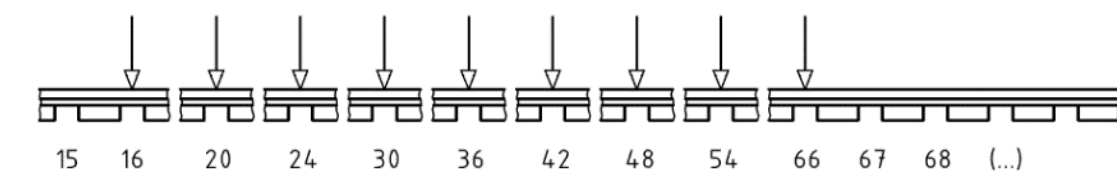
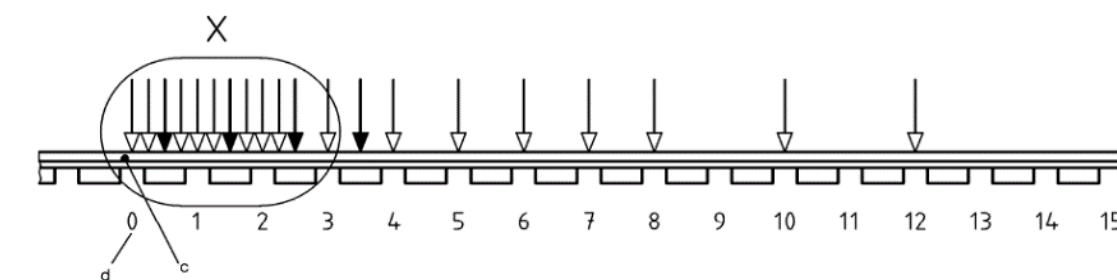
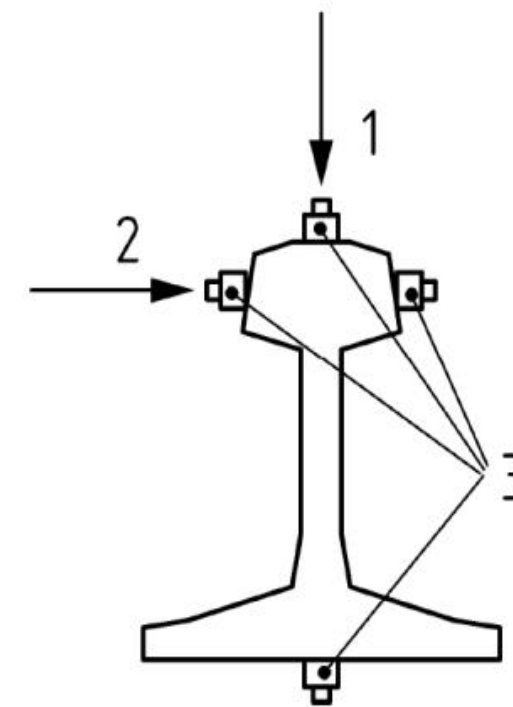
**Wydział
Inżynierii Lądowej**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

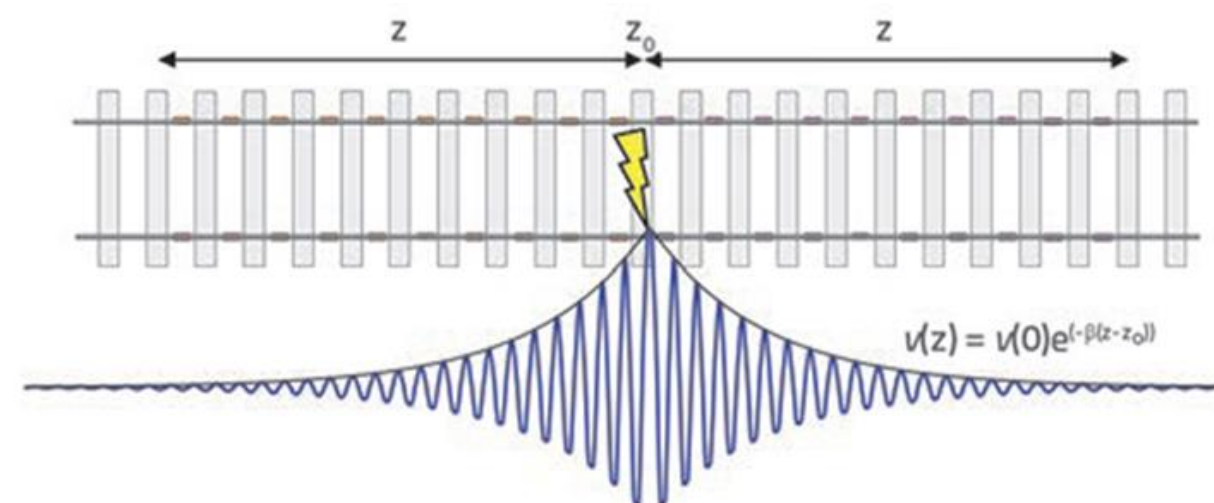
- Skuteczność tego typu rozwiązań można zweryfikować przez bezpośredni pomiar albo w sposób pośredni prognozować na podstawie charakterystyki dynamicznej – TDR (ang. *Track Decay Rate*).
- Na skuteczność tłumików przyszynowych wpływa kilka czynników, takich jak:
 - prędkość jazdy, zależna od typu pojazdu,
 - szorstkość powierzchni szyn i kół.
- Prowadzone w tym zakresie badania wykazały, że skuteczności tłumienia tłumików przyszynowych wynosi od 2 dB do 6 dB w zależności od typu pojazdów i ich prędkości.



PN-EN 15461



**Politechnika
Warszawska**



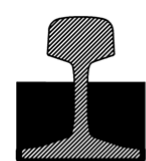
Tłumiki przyszynowe – symulacje numeryczne



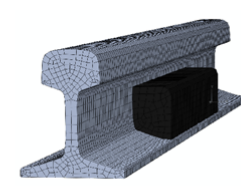
Wydział
Inżynierii Lądowej

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

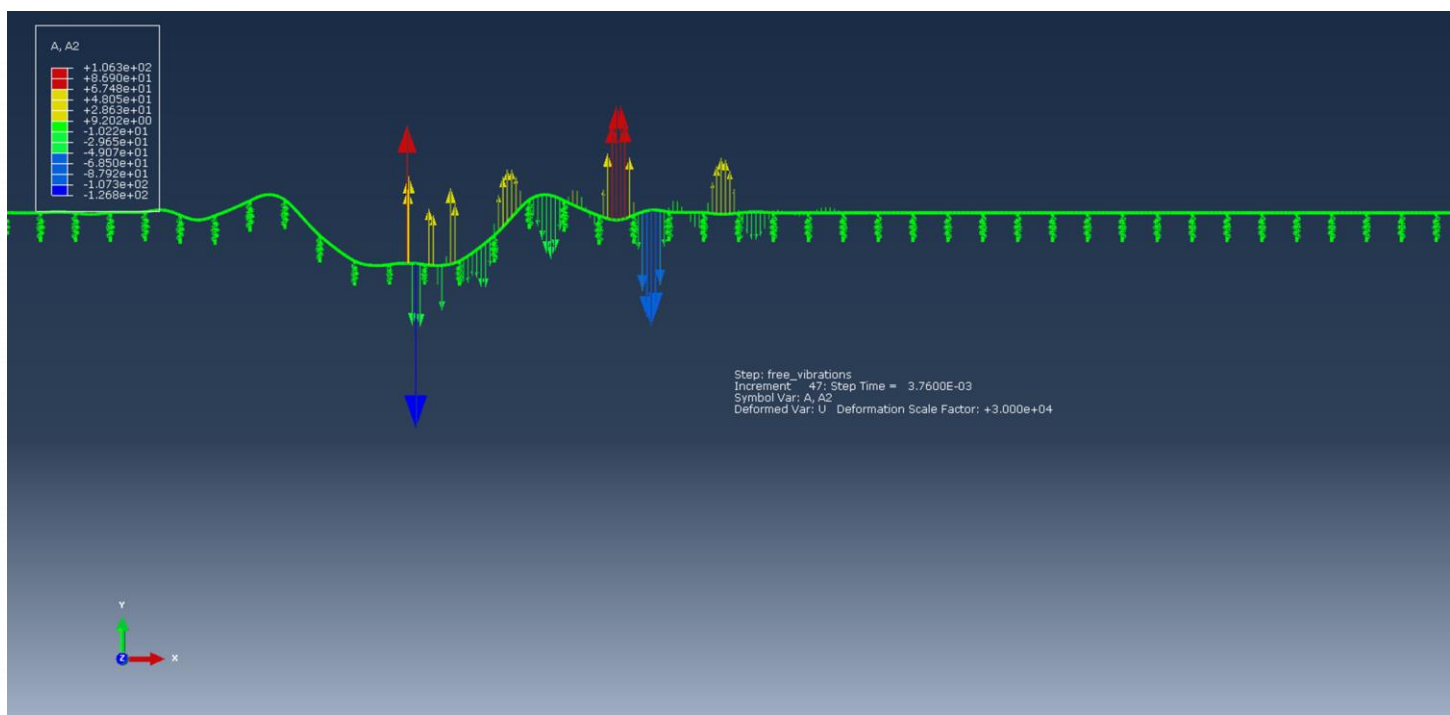
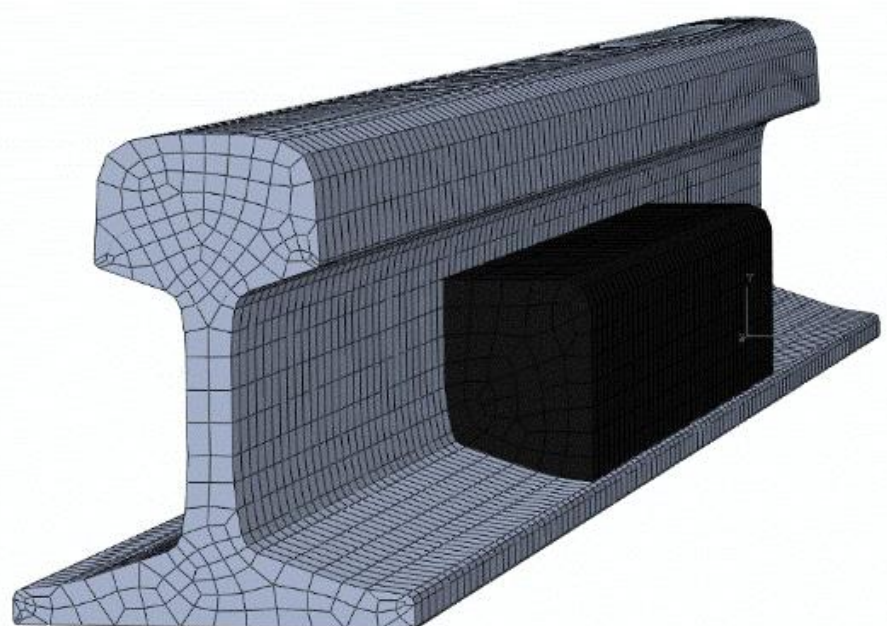
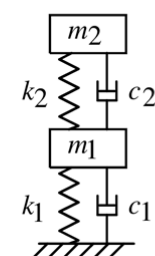
projekt



model MES
3D

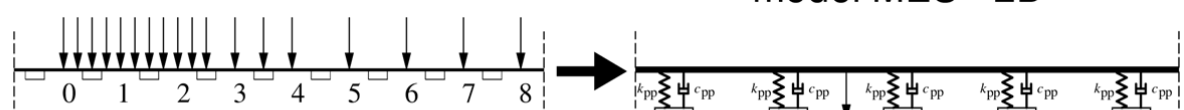


model dyskretny
1D

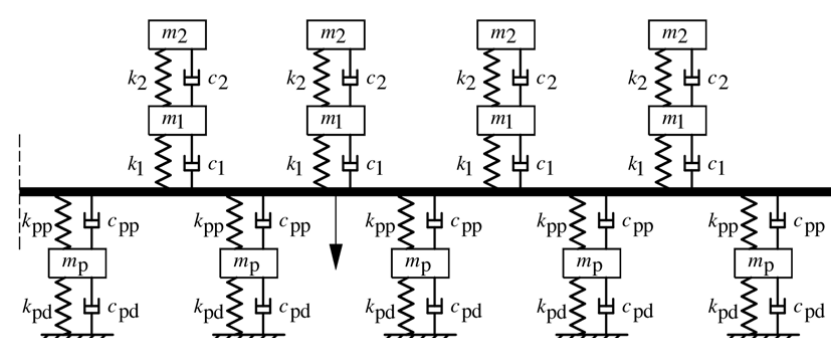


rzeczywiste badanie toru

symulacja badania toru
model MES - 2D



badanie toru z tłumikiem przyszynowym
model MES - 2D



Politechnika
Warszawska



Prototypy do szyny 60E1 i 49E1 do badań laboratoryjnych.

ZASADY KONSTRUKCJI I DZIAŁANIA TŁUMIKÓW PRZYSZYNOWYCH I



Wydział

Inżynierii Lądowej

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

TOROWYCH - TŁUMIKI PRZYSZYNOWE „DYNAMICZNE”

Badania TDR metodą STARDAMP

Badania tłumików przyszynowych wg DBS 918 290 z 2017 r.



Deutsche Bahn-Standard

01.12.2017

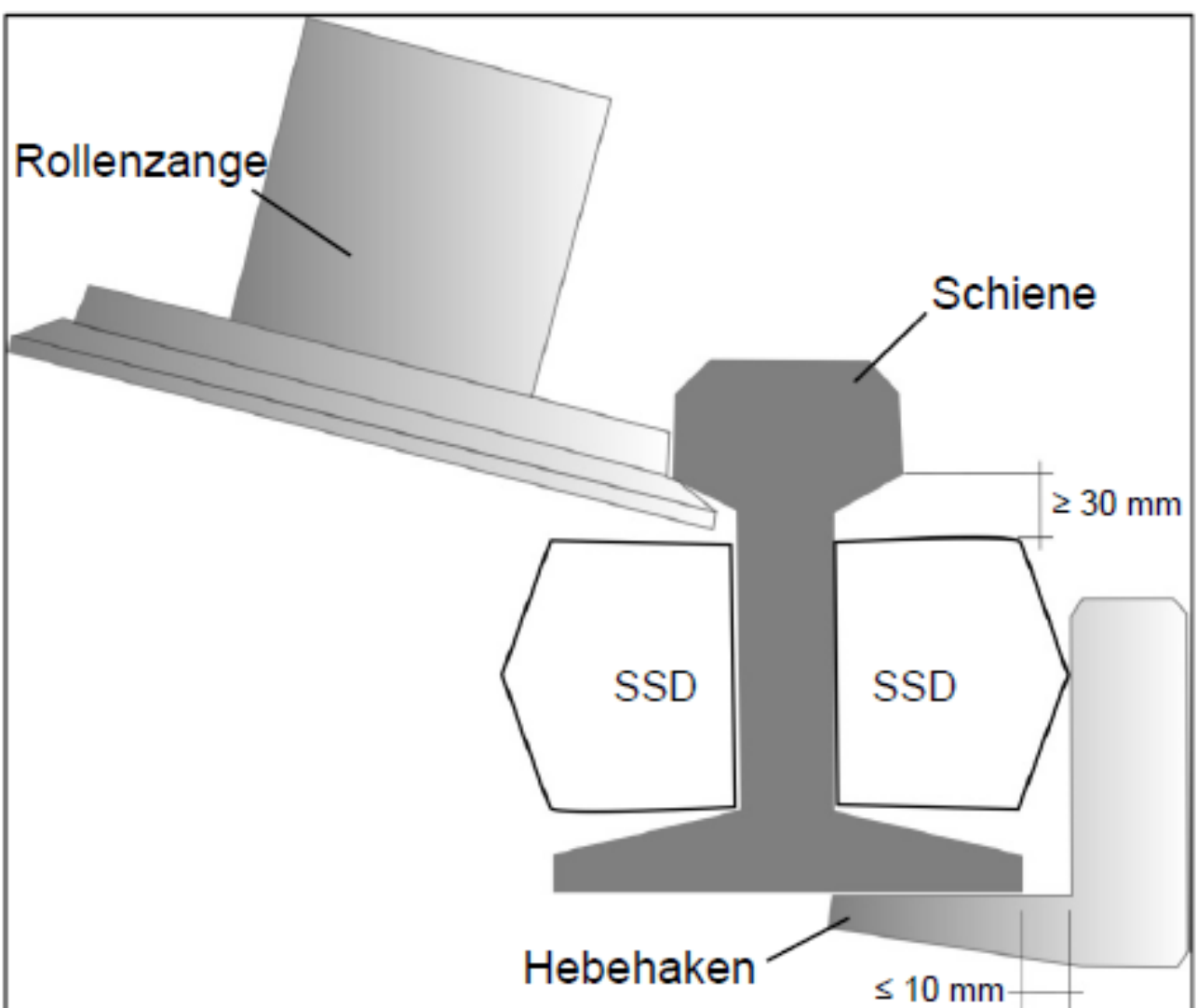
Technische Lieferbedingungen

Schienenstegdämpfer (SSD)

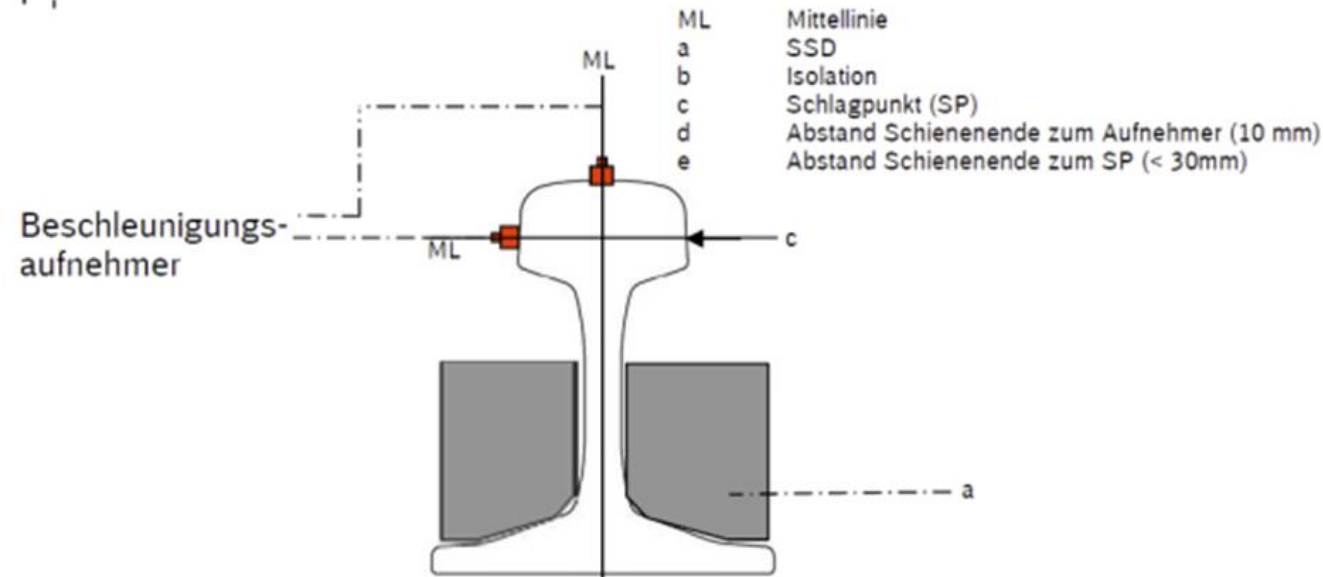
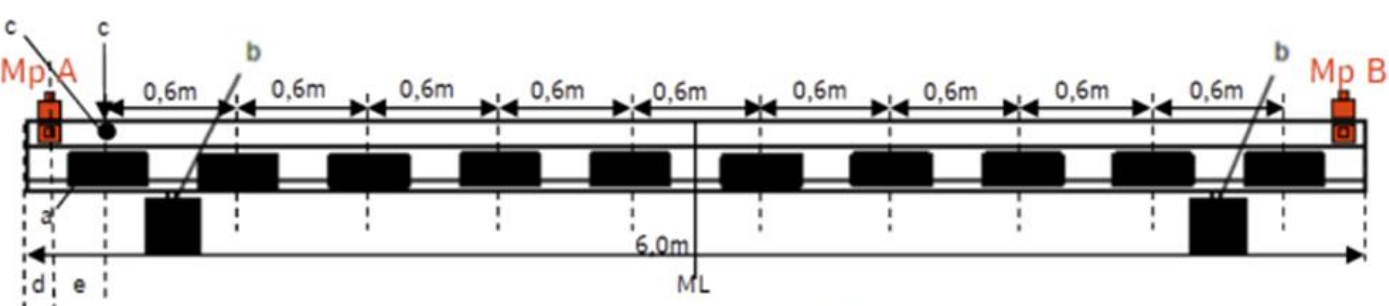
Oberbautechnische und akustische Anforderungen

DBS

918 290



Deutsche Bahn-Standard		01.12.2017
Technische Lieferbedingungen		DBS
Schienenstegdämpfer (SSD)		918 290
Oberbautechnische und akustische Anforderungen		
Inhalt	Seite	
VORWORT	2	
1 ANWENDUNGSBEREICH	2	
2 NORMATIVE VERWEISUNGEN	2	
3 BEGRIFFE	3	
3.1 Schienenstegdämpfer (SSD)	3	
3.2 Abklingrate	3	
4 OBERBAUTECHNISCHE ANFORDERUNGEN	3	
4.1 Allgemeines	3	
4.2 Schienenfußkabel	4	
4.3 Durcharbeitung des Gleises	4	
4.4 Schienenbearbeitung	5	
4.5 Befestigungen am Schienenfuß	5	
4.6 Temperaturbeständigkeit	5	
4.7 Lückenloses Gleis	5	
4.8 Instandhaltbarkeit der Schiene	5	
4.9 Befestigung der Produkte	6	
4.10 Einbau der Produkte auf Brücken und in Tunneln	6	
5 AKUSTISCHE ANFORDERUNGEN	6	
6 QUALIFIKATION UND QUALITÄTSSICHERUNG	7	
6.1 Qualifikation eines Produktes	7	
6.2 Qualitätssicherung	7	
ANLAGEN:		
Anlage 1: Vorlage Produktdatenblatt		
Anlage 2: Messung der Abklingrate		
Der vorliegende DBS ist urheberrechtlich geschützt. Der DB AG steht an diesem DBS das ausschließliche und unbeschränkte Nutzungsrecht zu. Jegliche Formen der Vervielfältigung zum Zwecke der Weitergabe an Dritte bedürfen der Zustimmung der DB AG.		
Fortsetzung Seiten 2 bis 7		
Fachautor: Christian Frank, DB Netz AG, L1PFF 121(G), christian.frank@deutschebahn.com		



Frequenz [Hz]	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
vertikale Abklingrate [dB/m]	1,0	1,5	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5
laterale Abklingrate [dB/m]	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

ZASADY KONSTRUKCJI I DZIAŁANIA TŁUMIKÓW PRZYSZYNOWYCH I



Wydział Inżynierii Lądowej TOROWYCH - TŁUMIKI PRZYSZYNOWE „DYNAMICZNE”

Badania TDR metodą STARDAMP

POLITECHNIKA WARSZAWSKA Badania tłumików przyszynowych wg DBS 918 290 na PW WIL



ZASADY KONSTRUKCJI I DZIAŁANIA TŁUMIKÓW PRZYSZYNOWYCH



Wydział
Inżynierii Lądowej

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

I TOROWYCH - TŁUMIKI PRZYSZYNOWE „DYNAMICZNE”

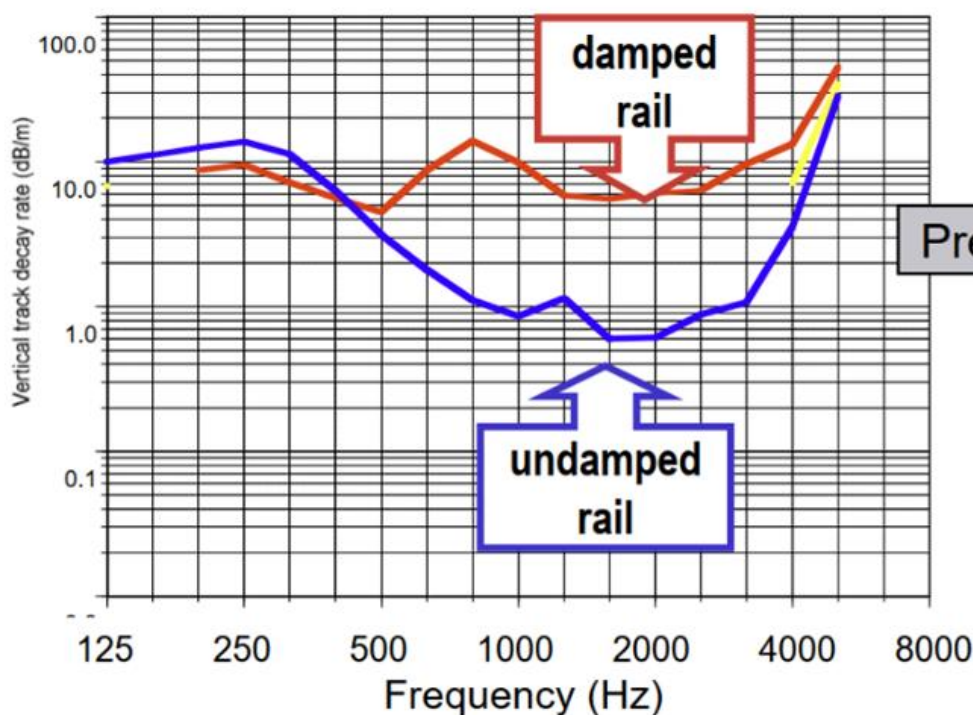
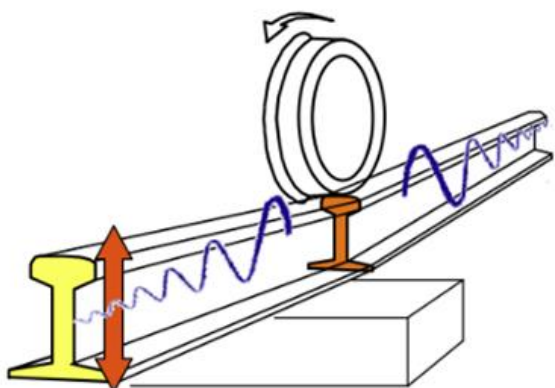
Badania TDR metodą STARDAMP

Badania tłumików przyszynowych wg DBS 918 290 z 2017 r.

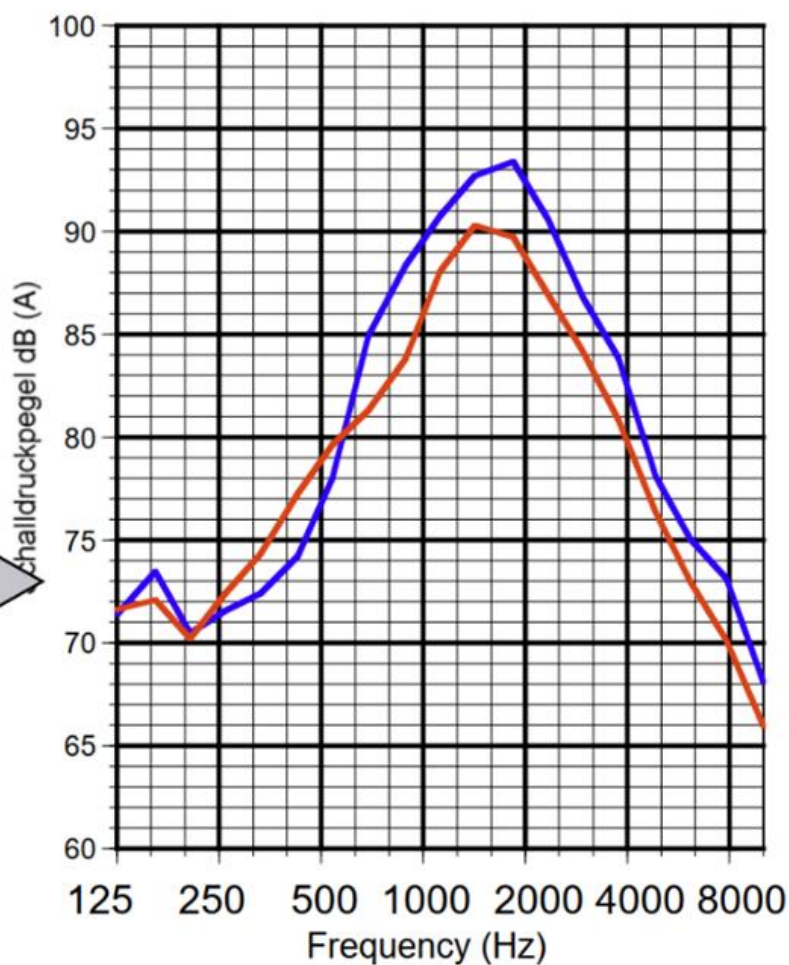


STARDAMP

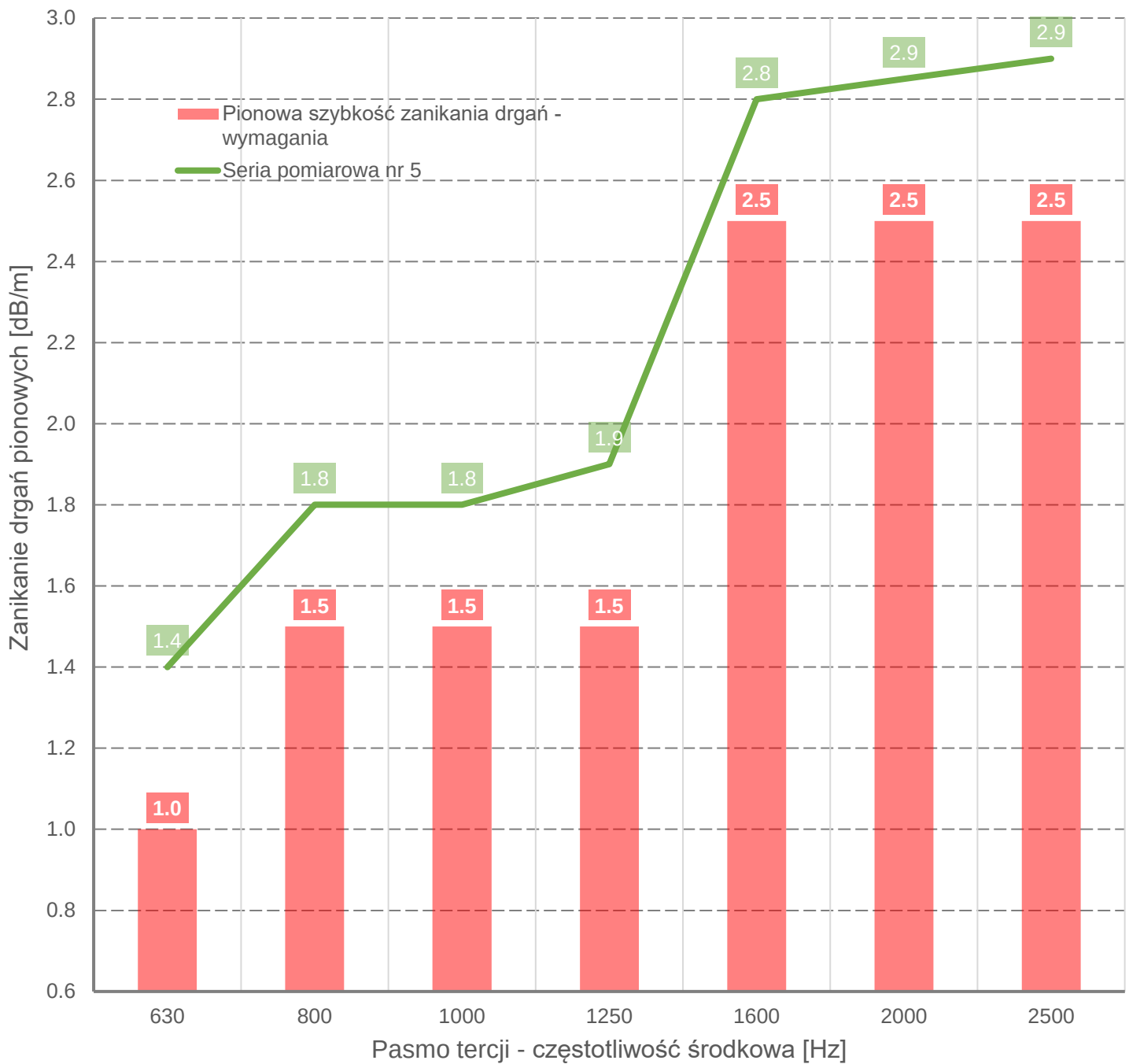
Example: Track decay rate



Prediction of noise



WYMAGANIA AKUSTYCZNE
Pionowa szybkość zanikania drgań wg DBS 918 290



Politechnika
Warszawska

ZASADY KONSTRUKCJI I DZIAŁANIA TŁUMIKÓW PRZYSZYNOWYCH I TOROWYCH - TŁUMIKI TOROWE

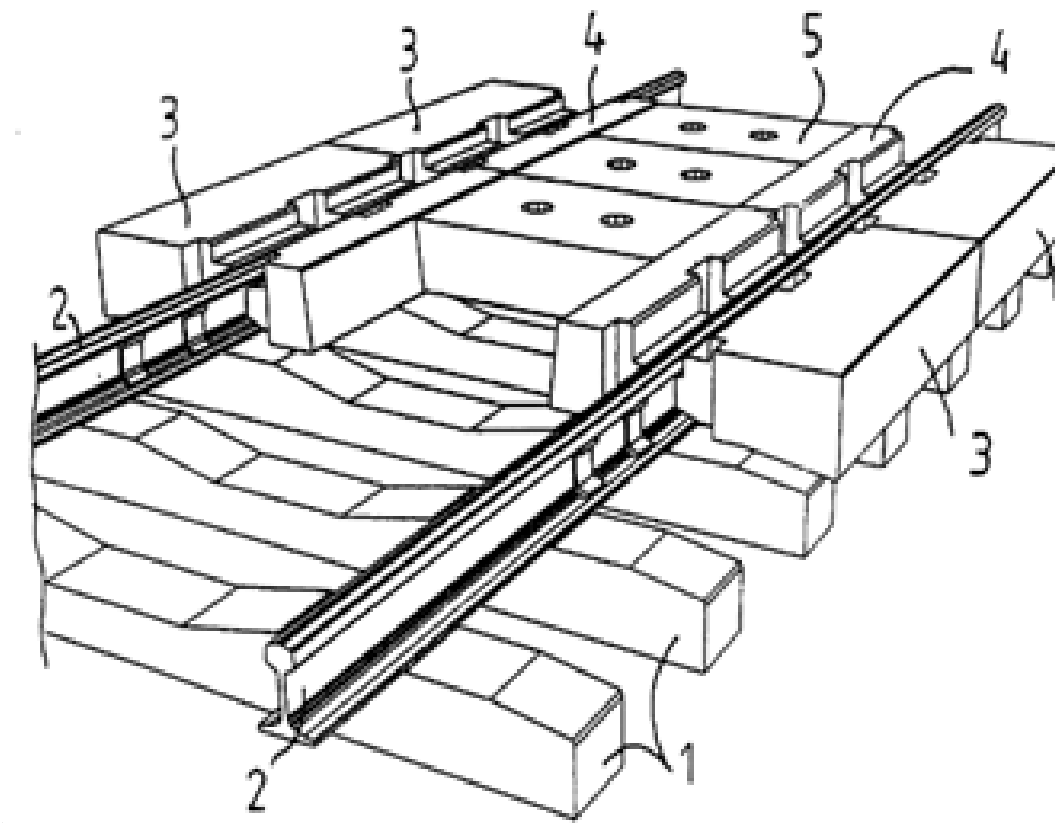


**Wydział
Inżynierii Lądowej**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

- Jako tłumiki torowe są rozumiane **elementy tworzące warstwę tłumiącą hałas** ułożoną na górnej powierzchni podkładów lub na płycie podbudowy betonowej w bezpodsypkowych konstrukcjach nawierzchni. Są one **układane pomiędzy tokami szynowymi**, tworzącymi tor oraz na zewnątrz szyn i ewentualnie w międzytorzu.
- Mechanizm działania tłumików torowych polega częściowo na pochłanianiu, a częściowo na rozpraszaniu fali dźwiękowej.
- Nie oddziałują więc one na źródło dźwięku, lecz znajdują się na drodze jego propagacji.
- Swoją skuteczność zawdzięczają zlokalizowaniu elementu tłumiącego na wierzchu konstrukcji nawierzchni, bardzo blisko źródła hałasu, gdzie jego natężenie jest największe.

**Politechnika
Warszawska**

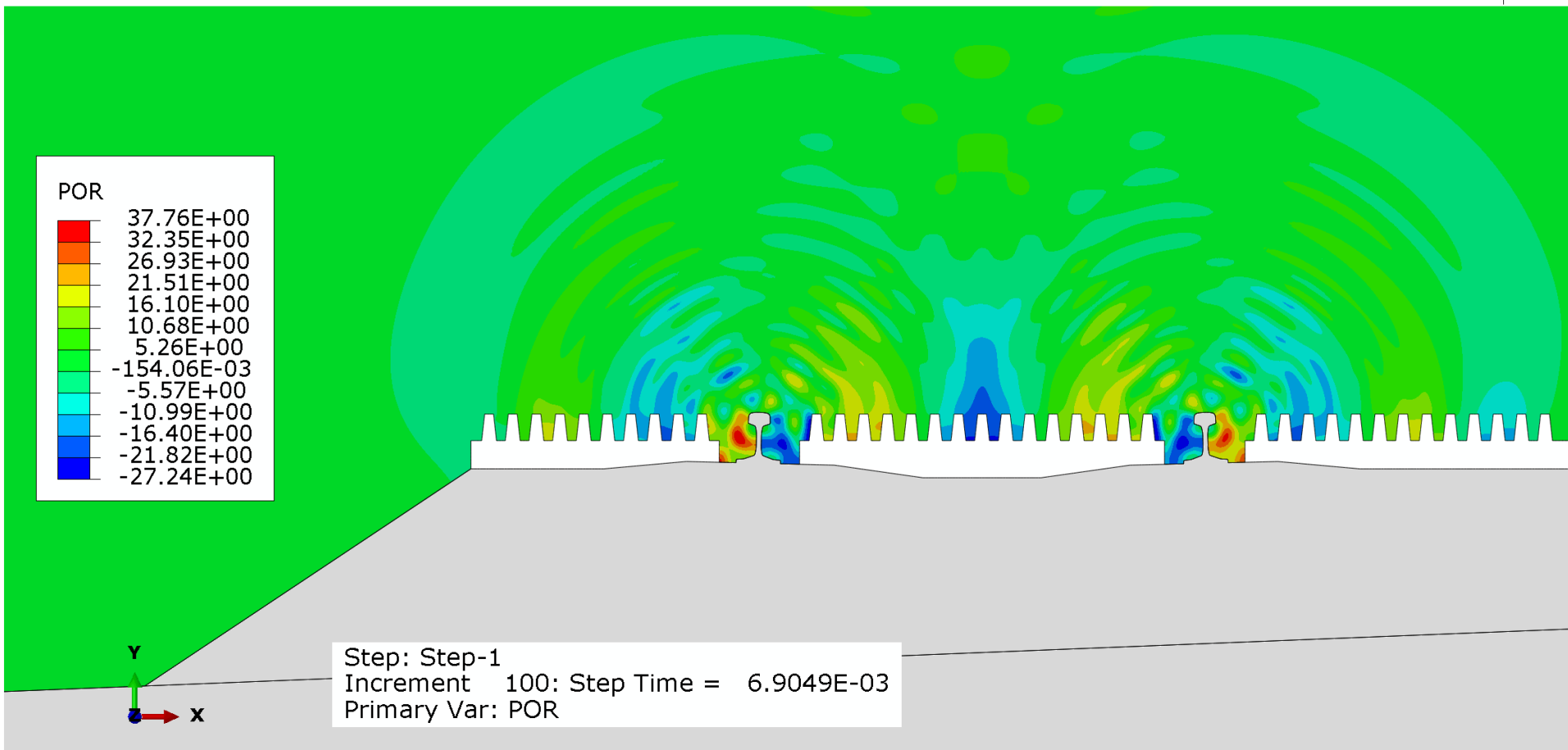
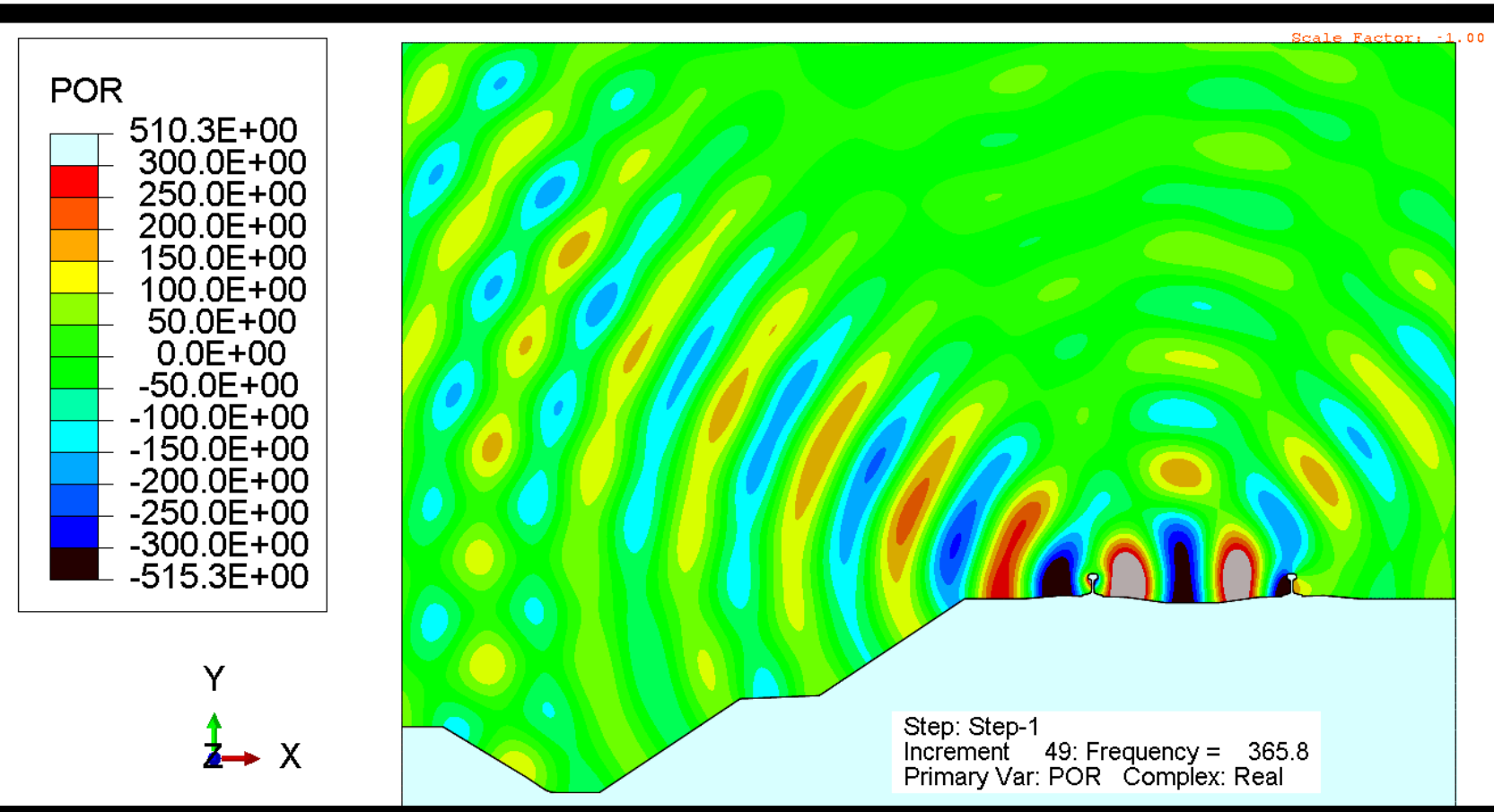
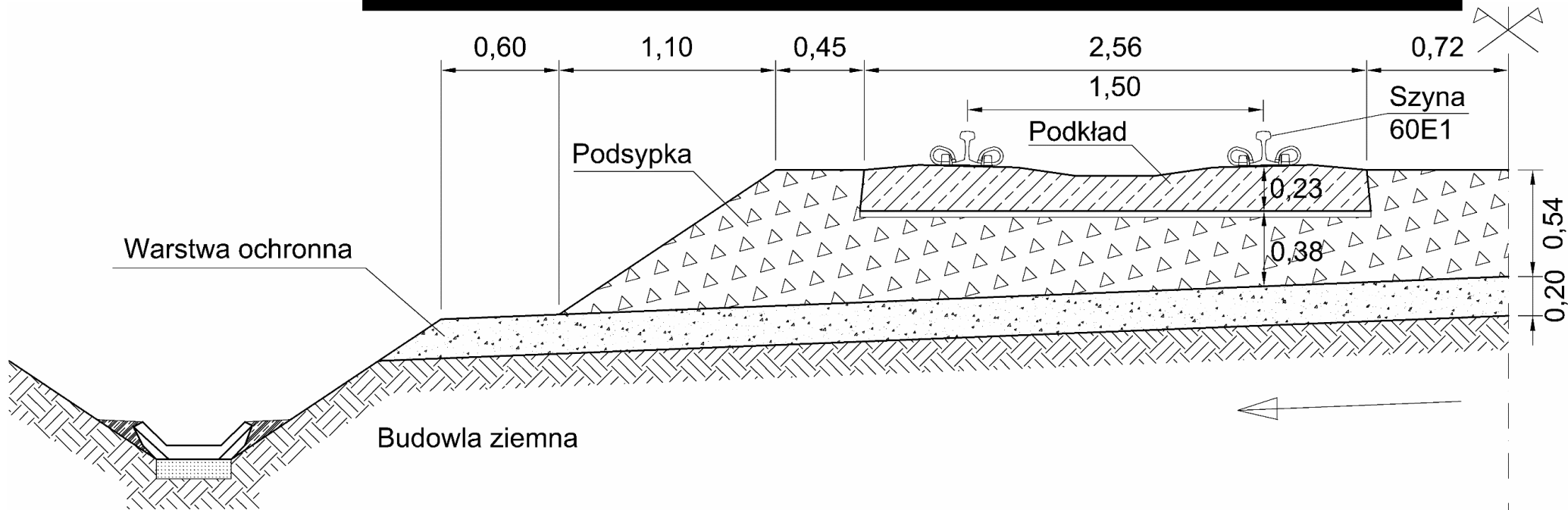
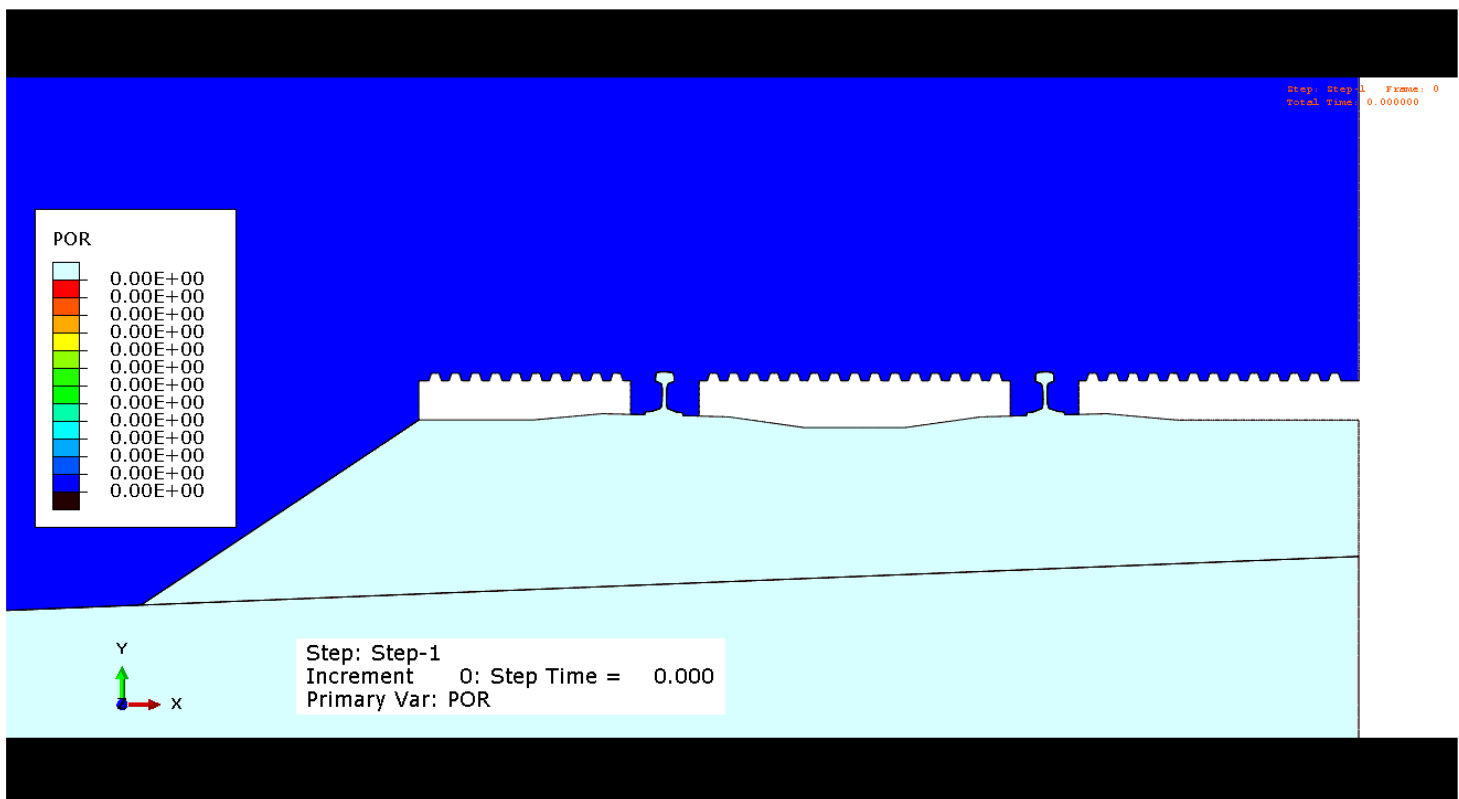
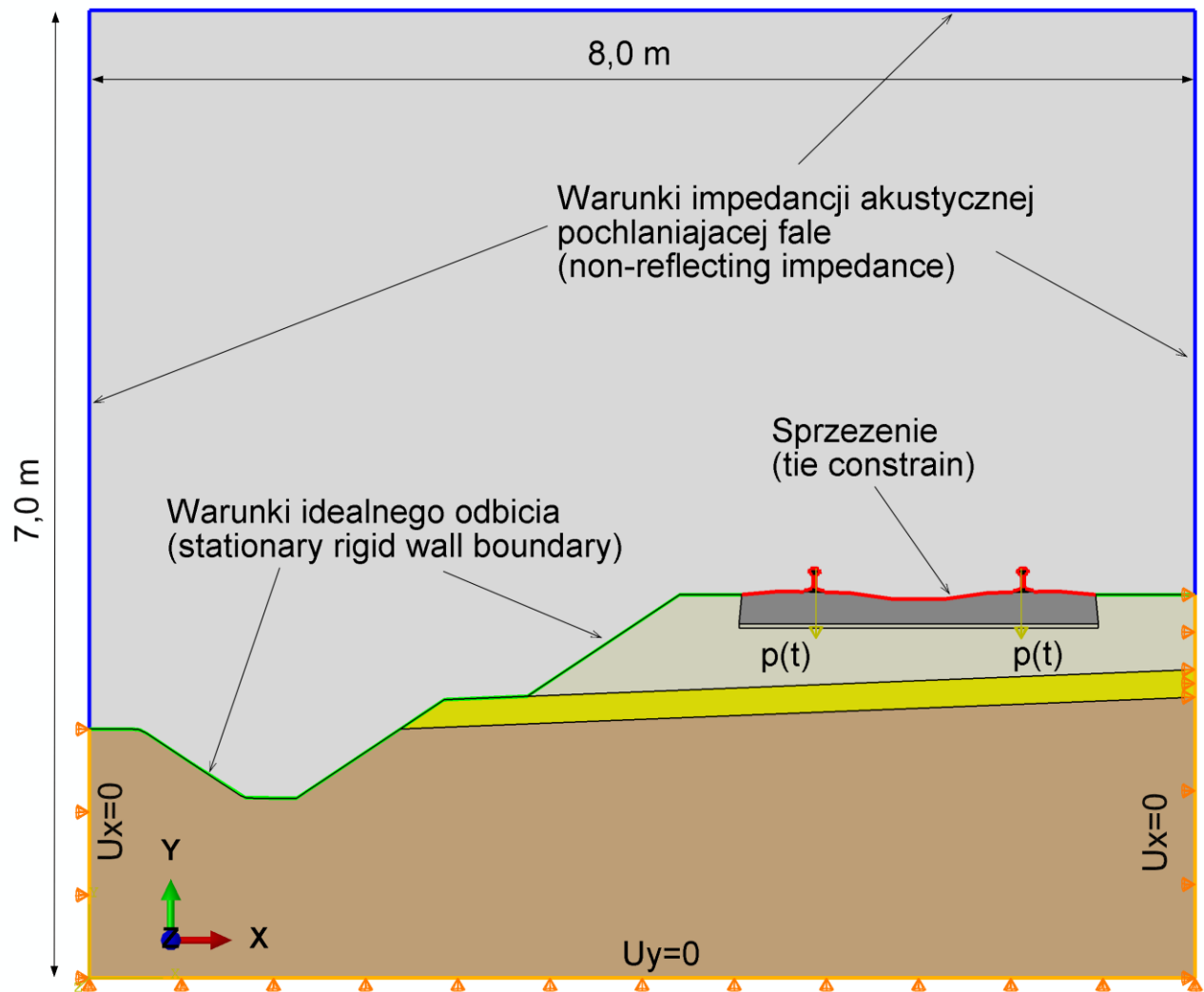


Tłumiki torowe – symulacje numeryczne



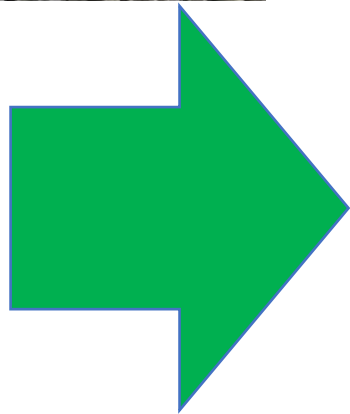
Wydział
Inżynierii Lądowej

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

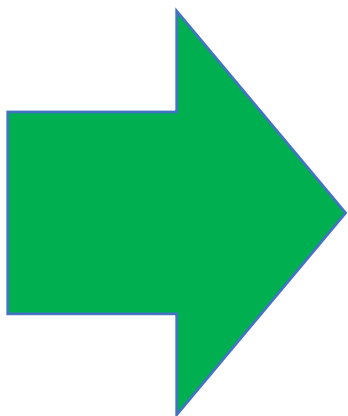
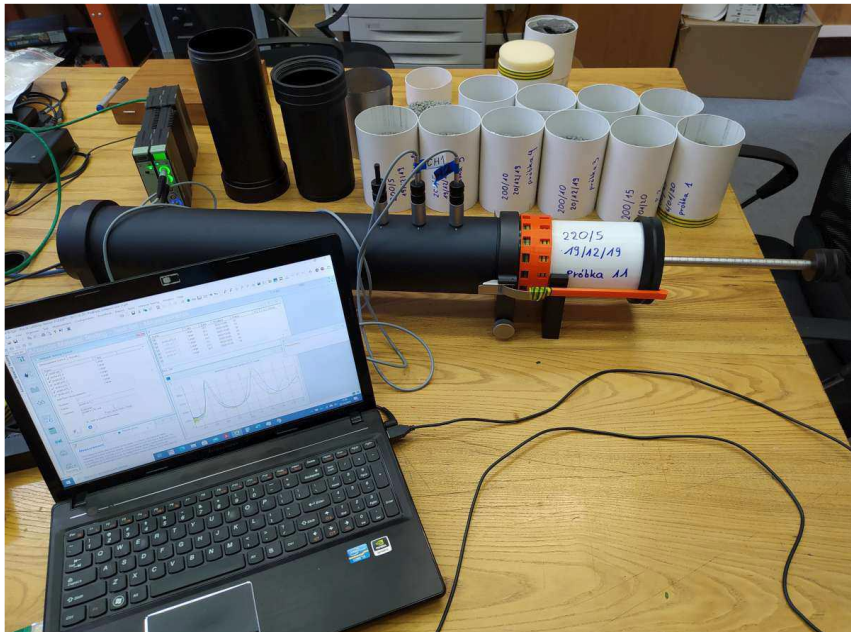


Rys. Mapy warstwowe ciśnienia akustycznego.

Tłumiki torowe – badania akustyczne



Tuba impedancyjna (PW)



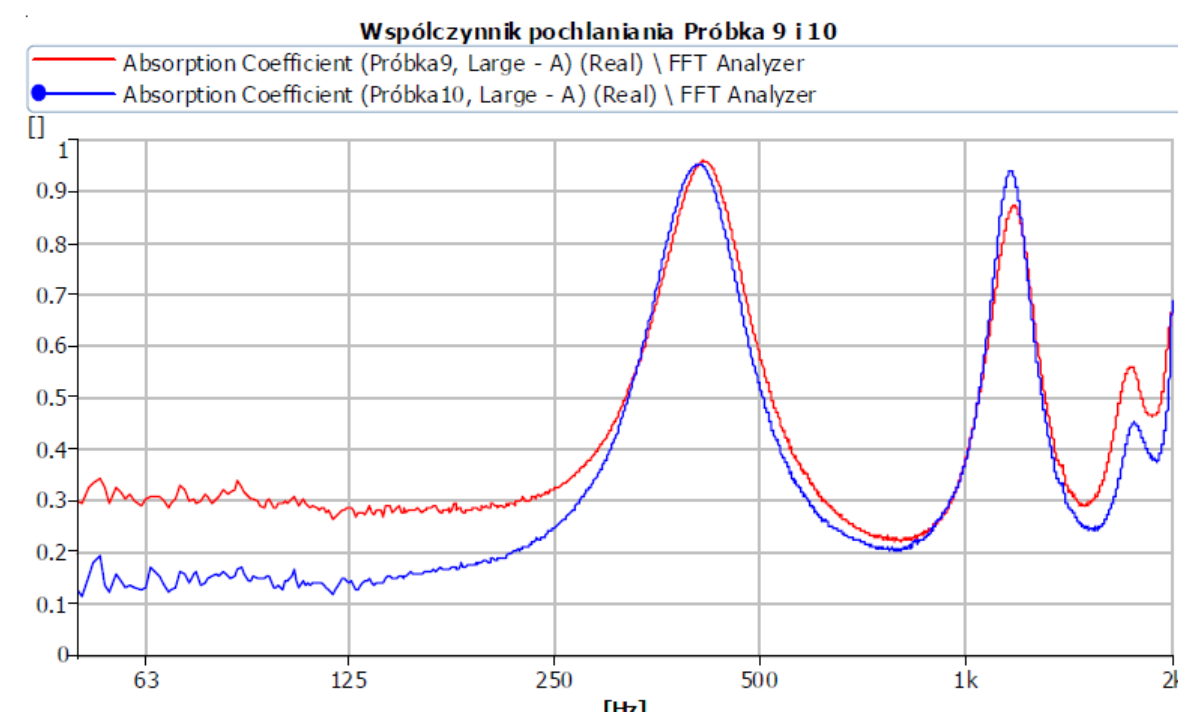
Komora podłosowa (PW)



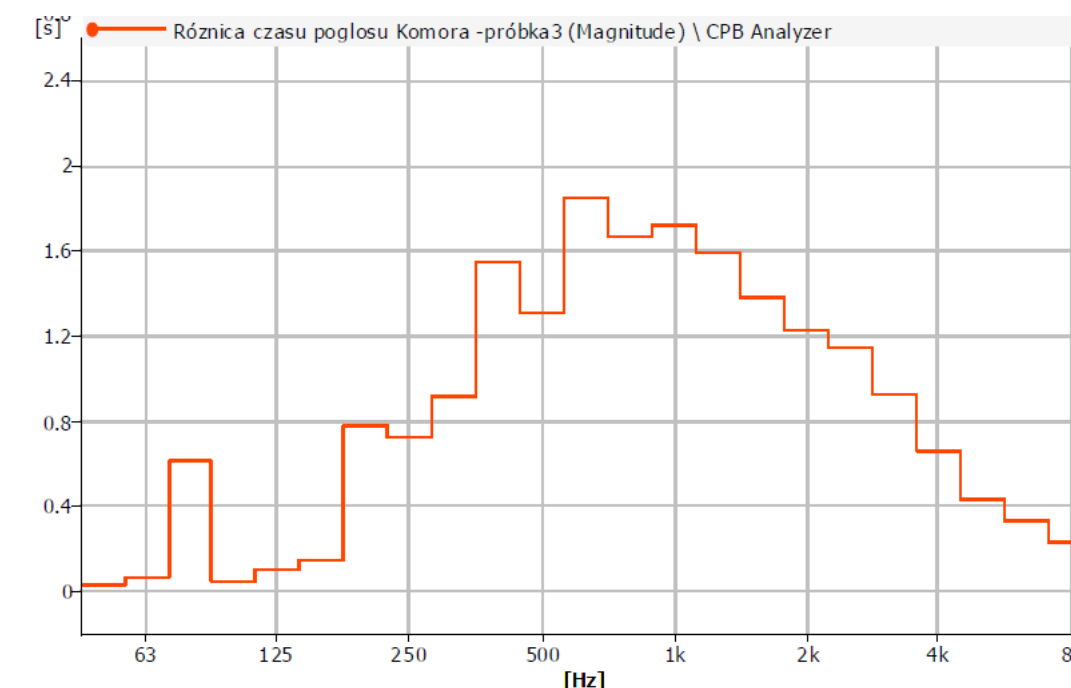
Wydział Inżynierii Lądowej

Tłumiki torowe – badania akustyczne

POLITECHNIKA WARSZAWSKA



Rura impedancyjna (PW) – współczynnik pochłaniania dźwięku α



Politechnika
Warszawska

Komora podłosowa (PW) – czas pogłosu

Tłumiki torowe – badania laboratoryjne



Wydział
Inżynierii Lądowej

POLITECHNIKA WARSZAWSKA



nika
ska





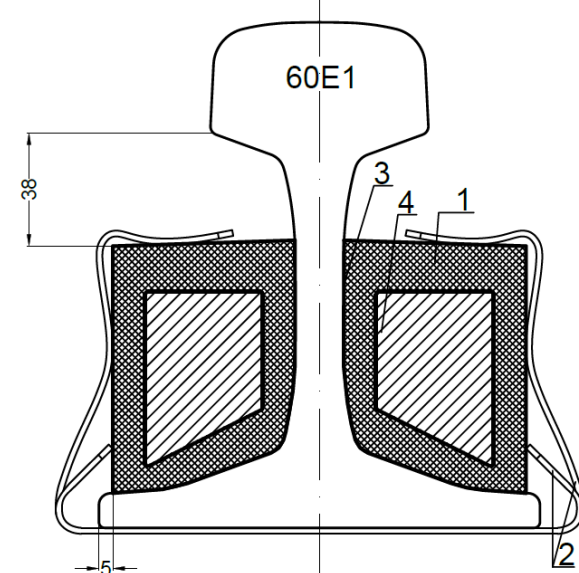
Wydział
Inżynierii Lądowej

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

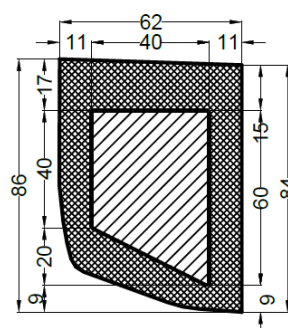
Projektowane urządzenia

Tłumiki przyszynowe

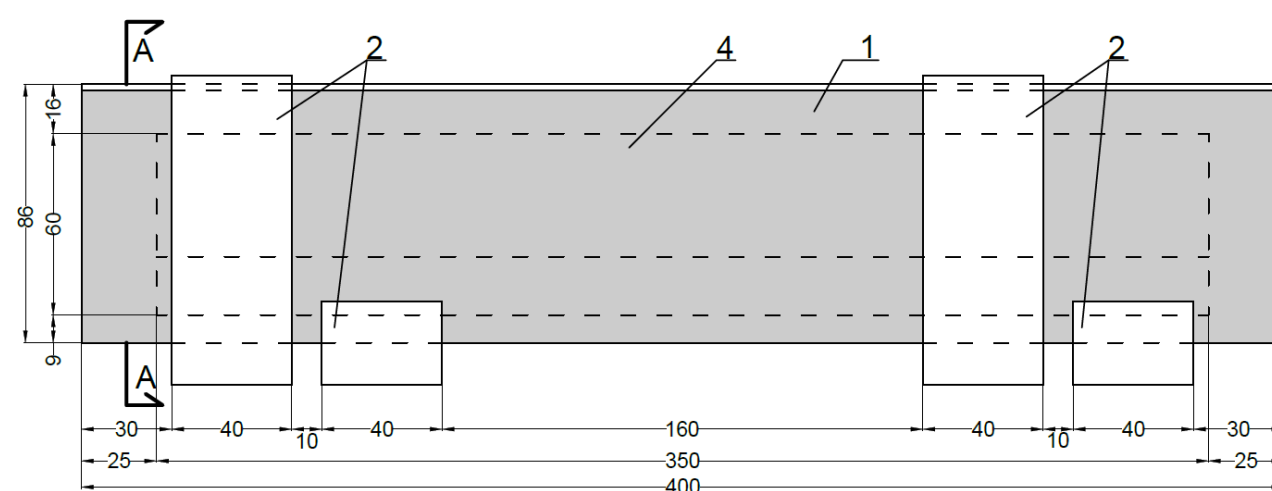
Przekrój A-A



Przekrój tłumika przyszynowego

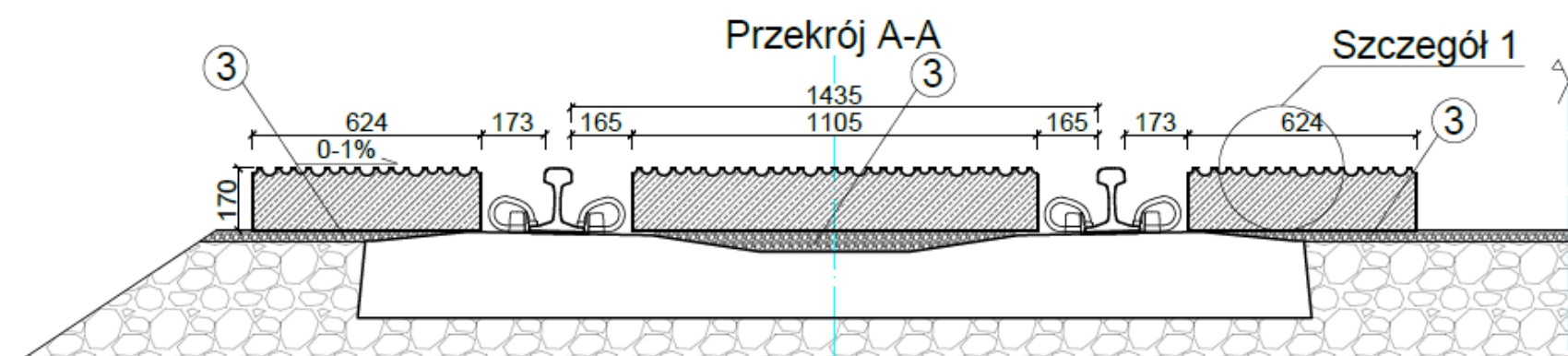


Widok z boku

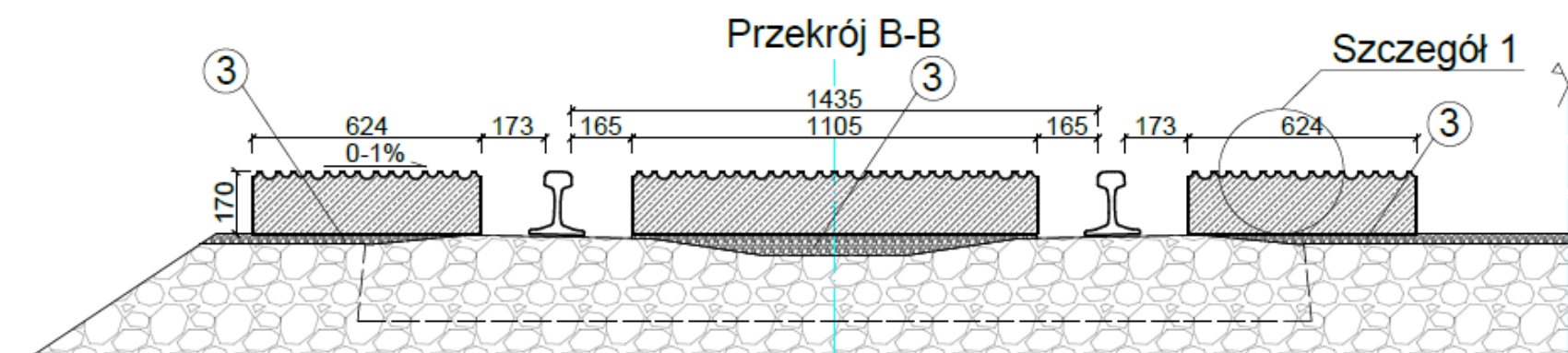


Tłumiki torowe

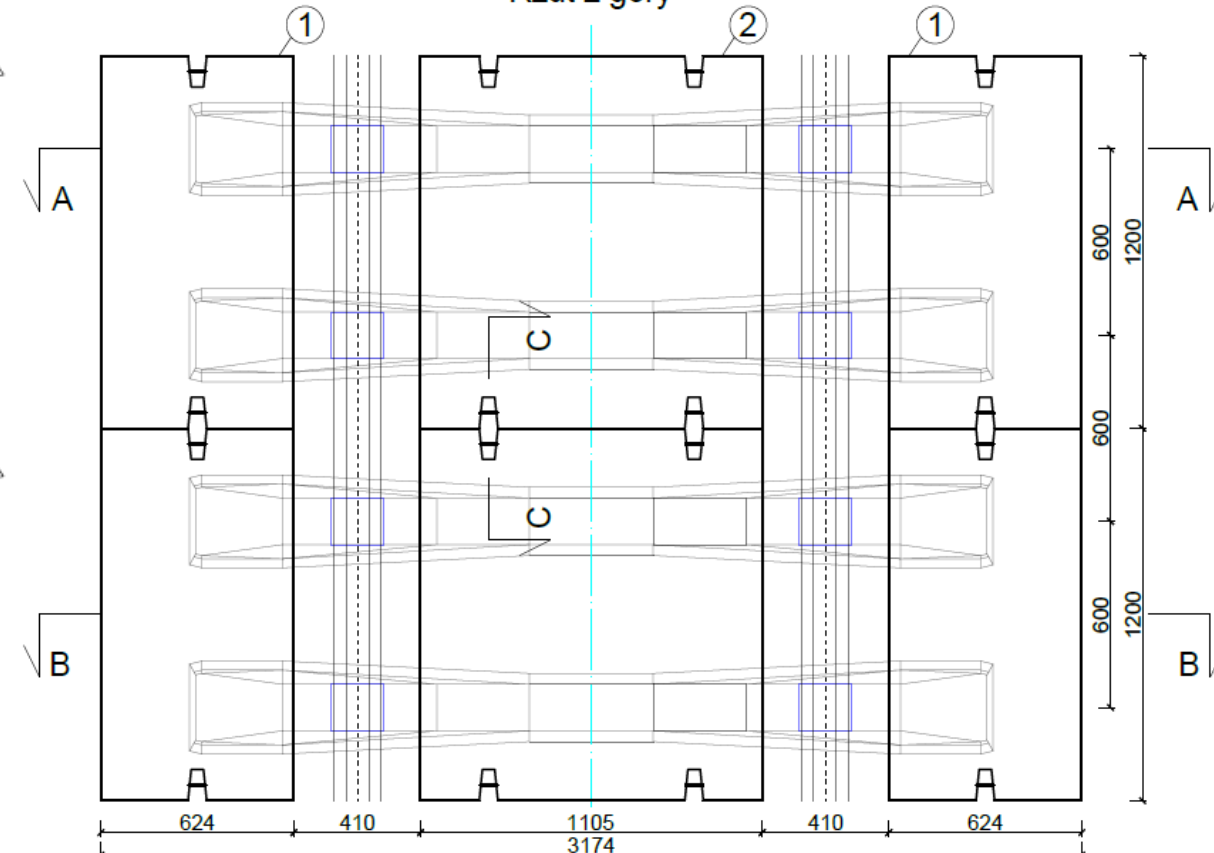
Przekrój A-A



Przekrój B-B



Rzut z góry



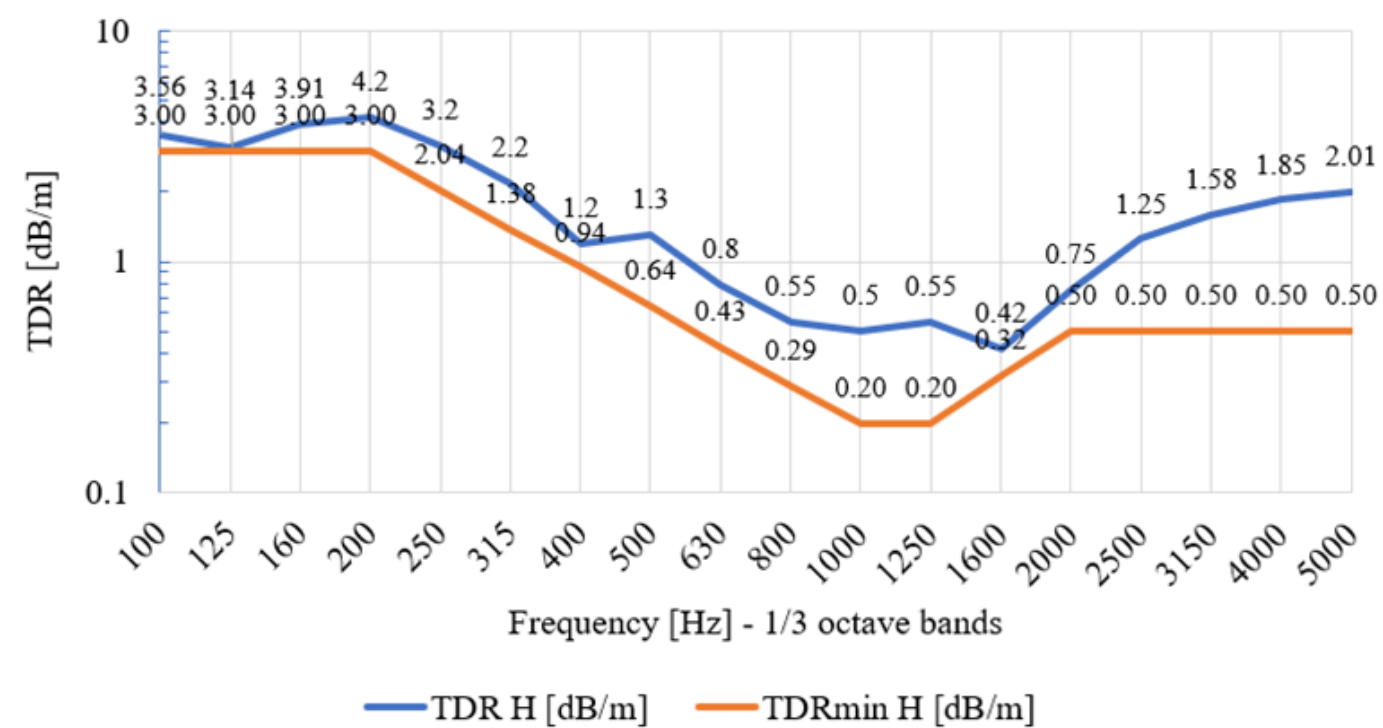
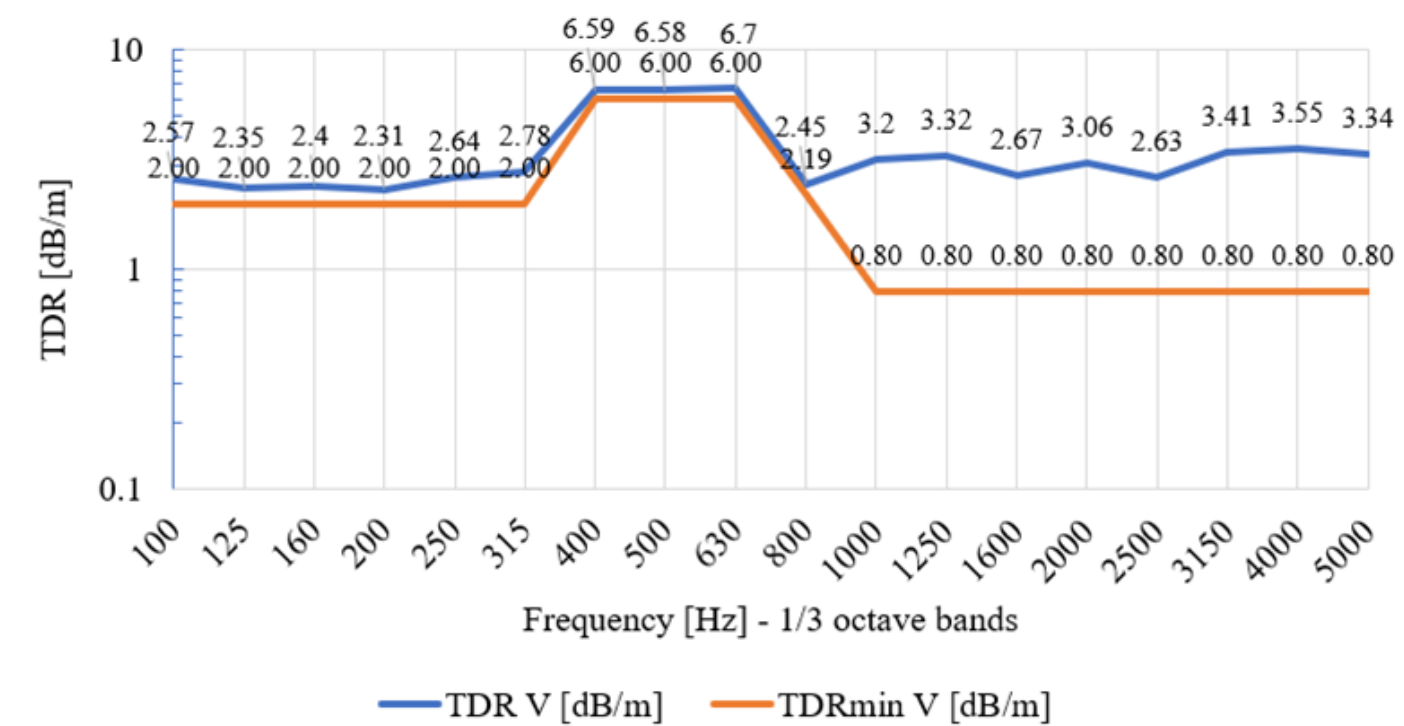
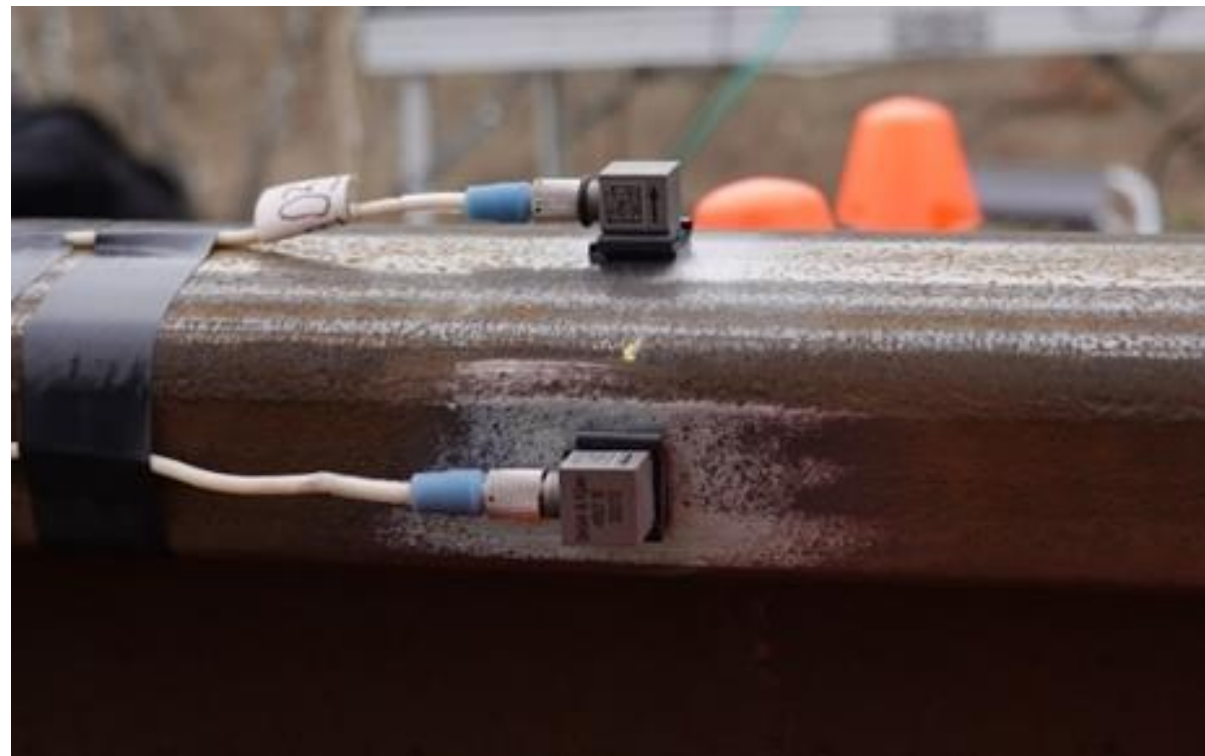
Badania poligonowe PW WIL (Lk-501)



Wydział
Inżynierii Lądowej

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Badanie wsp. TDR wg PN-EN 15461
Układ referencyjny na LK-501 w Warszawie



Politechnika
Warszawska





Wydział Inżynierii Lądowej

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

PW WIL opracował pierwszą wersję **wytycznych stosowania izolatorów wibroakustycznych w polskich warunkach organizacyjnych i eksploatacyjnych na sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.** (aktualnie w opiniowaniu):

1) **Wytyczne stosowania rozwiązań w zakresie ochrony ludzi i budynków przed drganiami od ruchu kolejowego** (Zbiciak A., Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W.). Warszawa 2021.

2) **Wytyczne stosowania tłumików akustycznych na liniach kolejowych** (Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W., Zbiciak A.). Warszawa 2021.

Politechnika
Warszawska

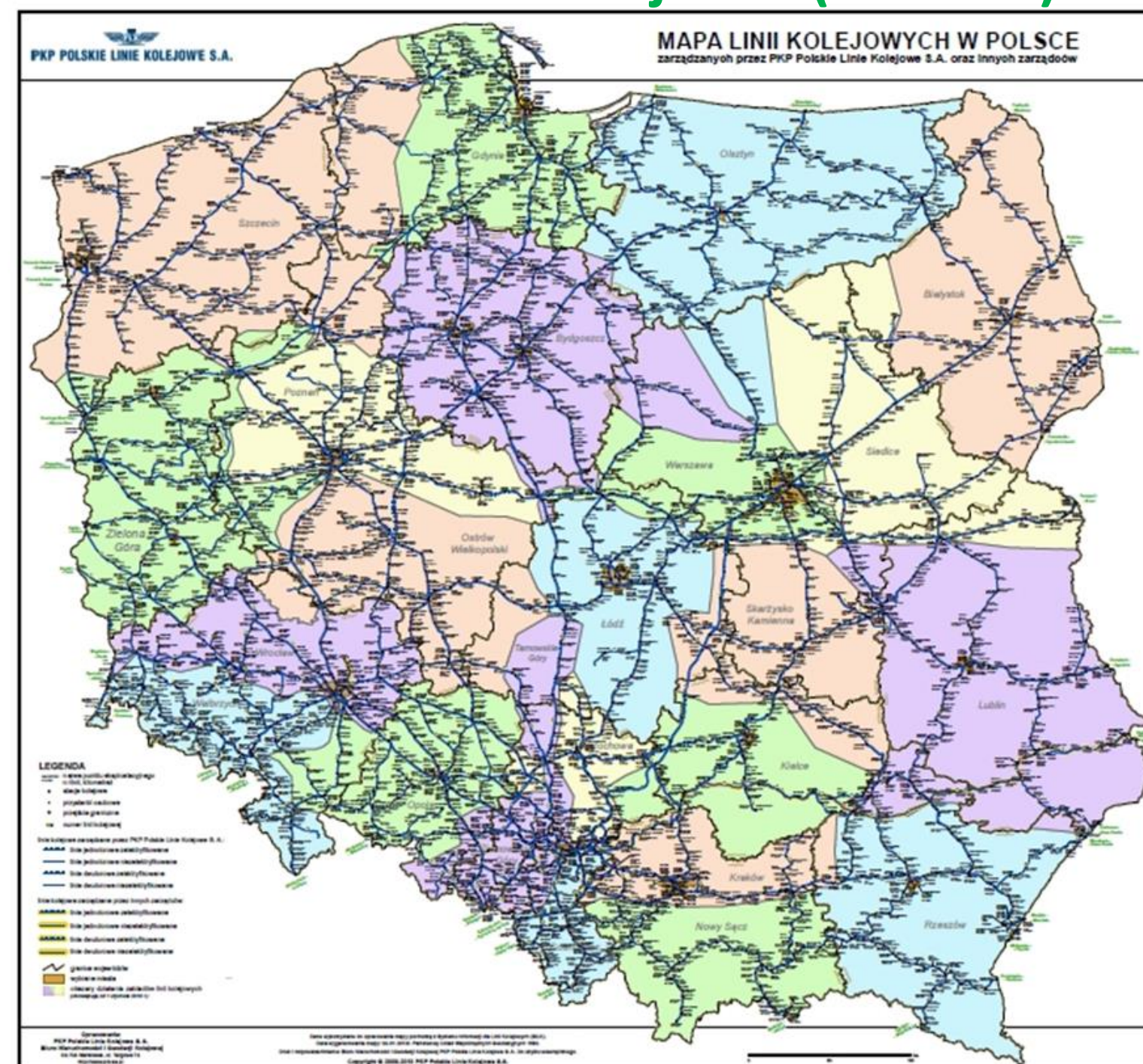


PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A.



Zarządcy udostępniający infrastrukturę przewoźnikom kolejowym:

➤ **PKP Polskie Linie Kolejowe (ok. 93%)**



Badania poligonowe PW WIL (PKM)



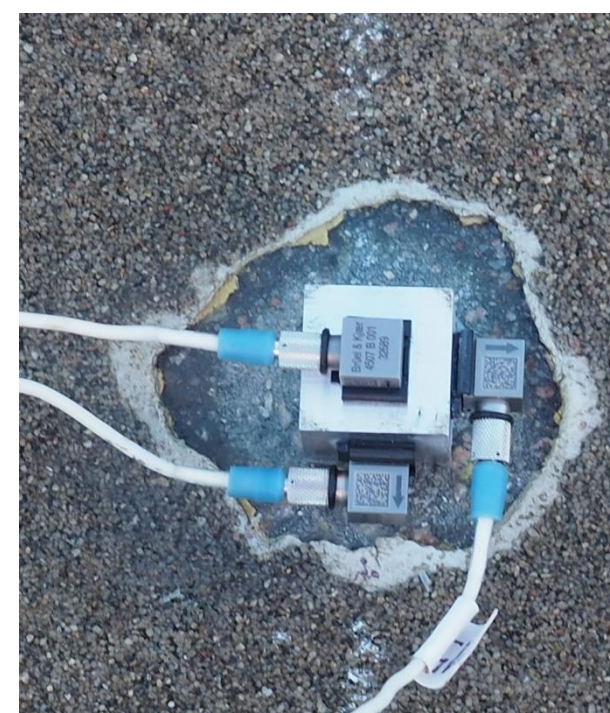
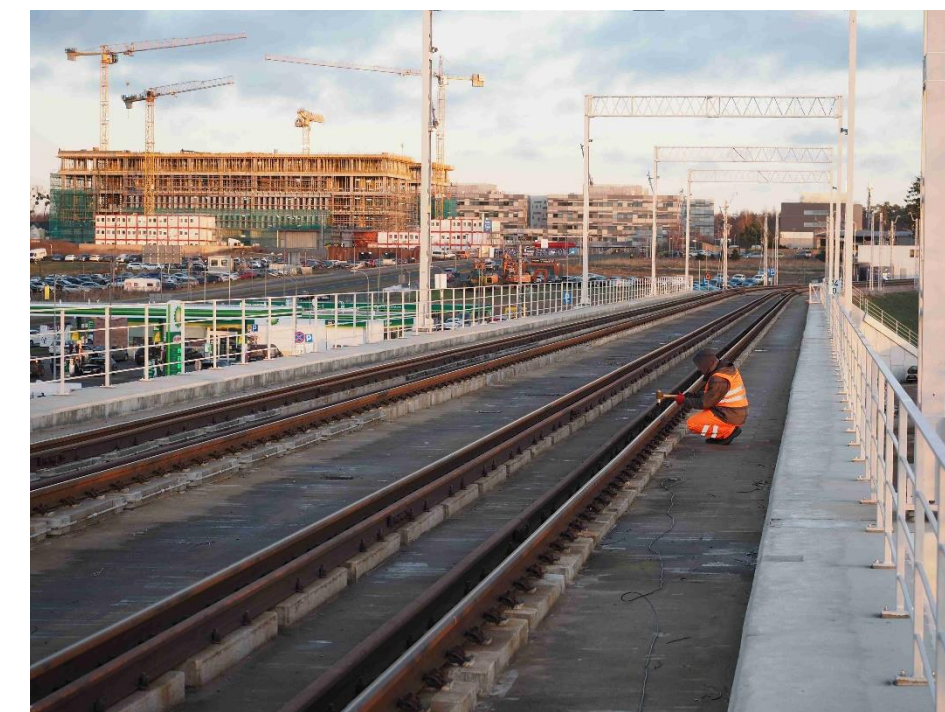
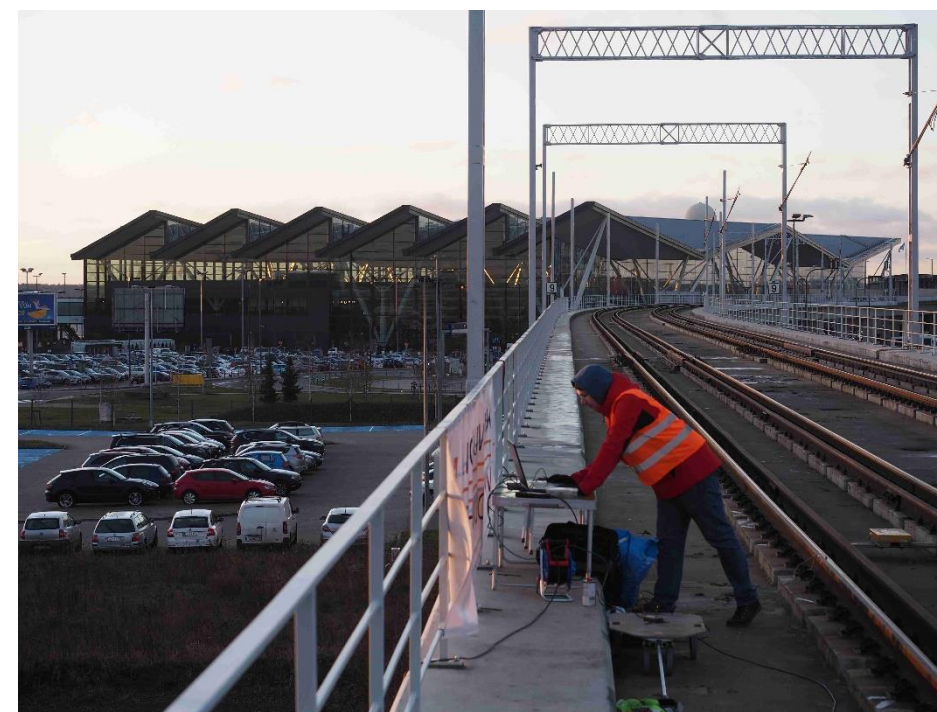
**Wydział
Inżynierii Lądowej**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Badanie poziomu drgań oraz wsp. TDR wg PN-EN 15461

PKM w Trójmieście

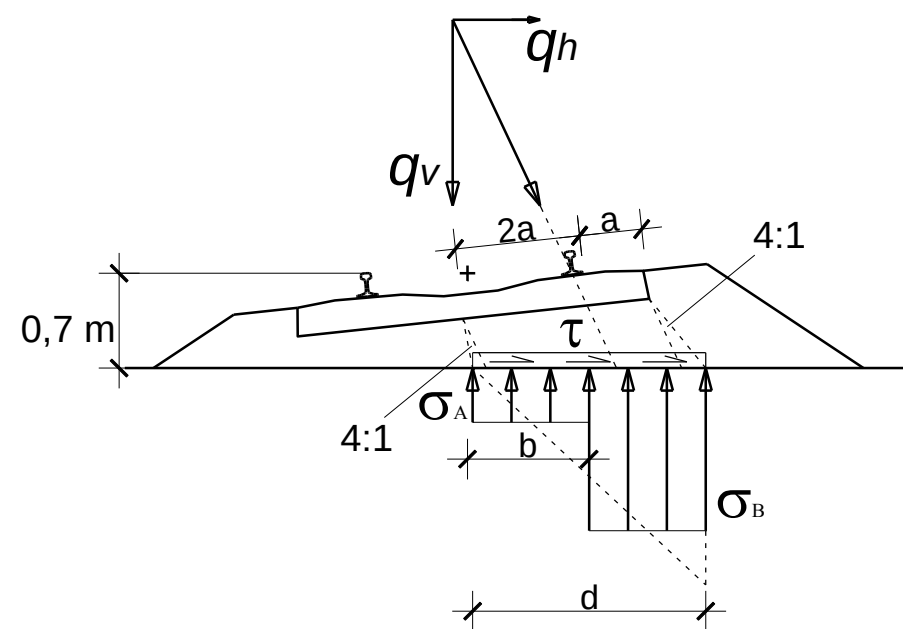
We współpracy z Zespołem Mostów (ZGMBP)



Włączenie studentów do współpracy w zakresie zagadnień podtorza kolejowego – dr inż. Karol Brzeziński

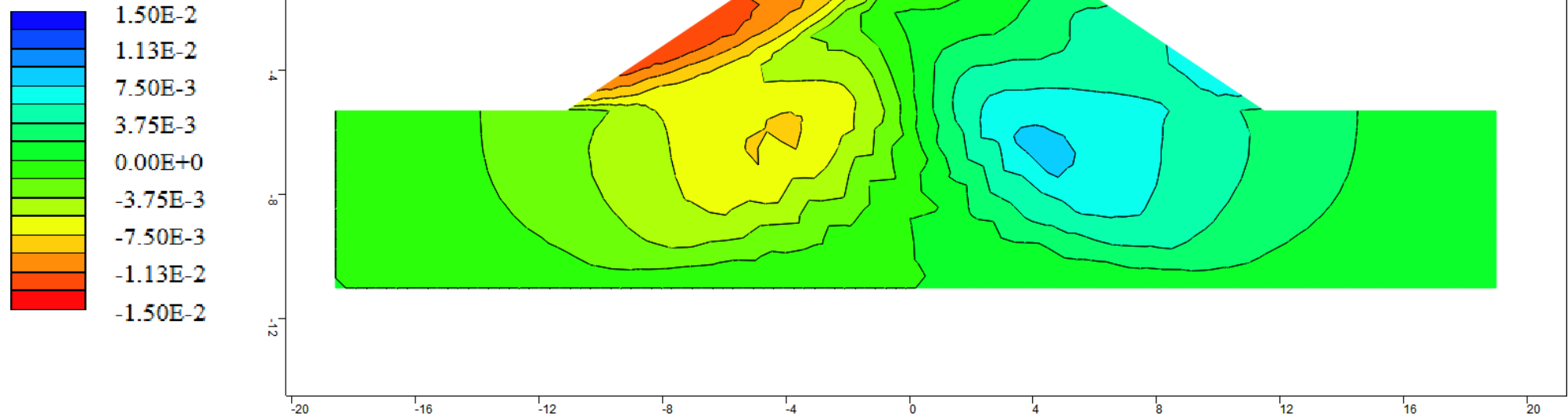
PRZYKŁADOWE TEMATY ZREALIZOWANYCH PRAC DYPLOMOWYCH, KTÓRYCH EFEKTEM BYŁY RÓWNIEŻ PUBLIKACJE NAUKOWE:

T.Rybicki: Analiza stateczności nasypu kolejowego przy uwzględnieniu sił poziomych w świetle Eurokodu

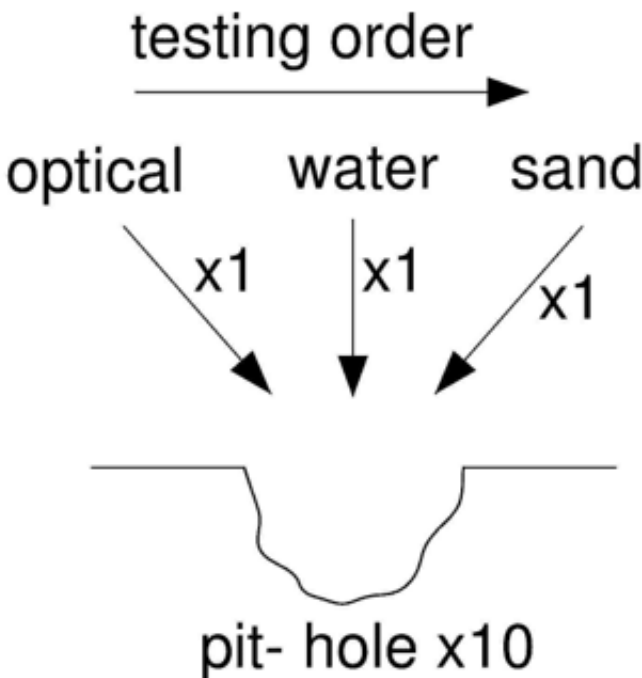


ADONIS 2.3
©2018 Roozbeh Geraili Mikola

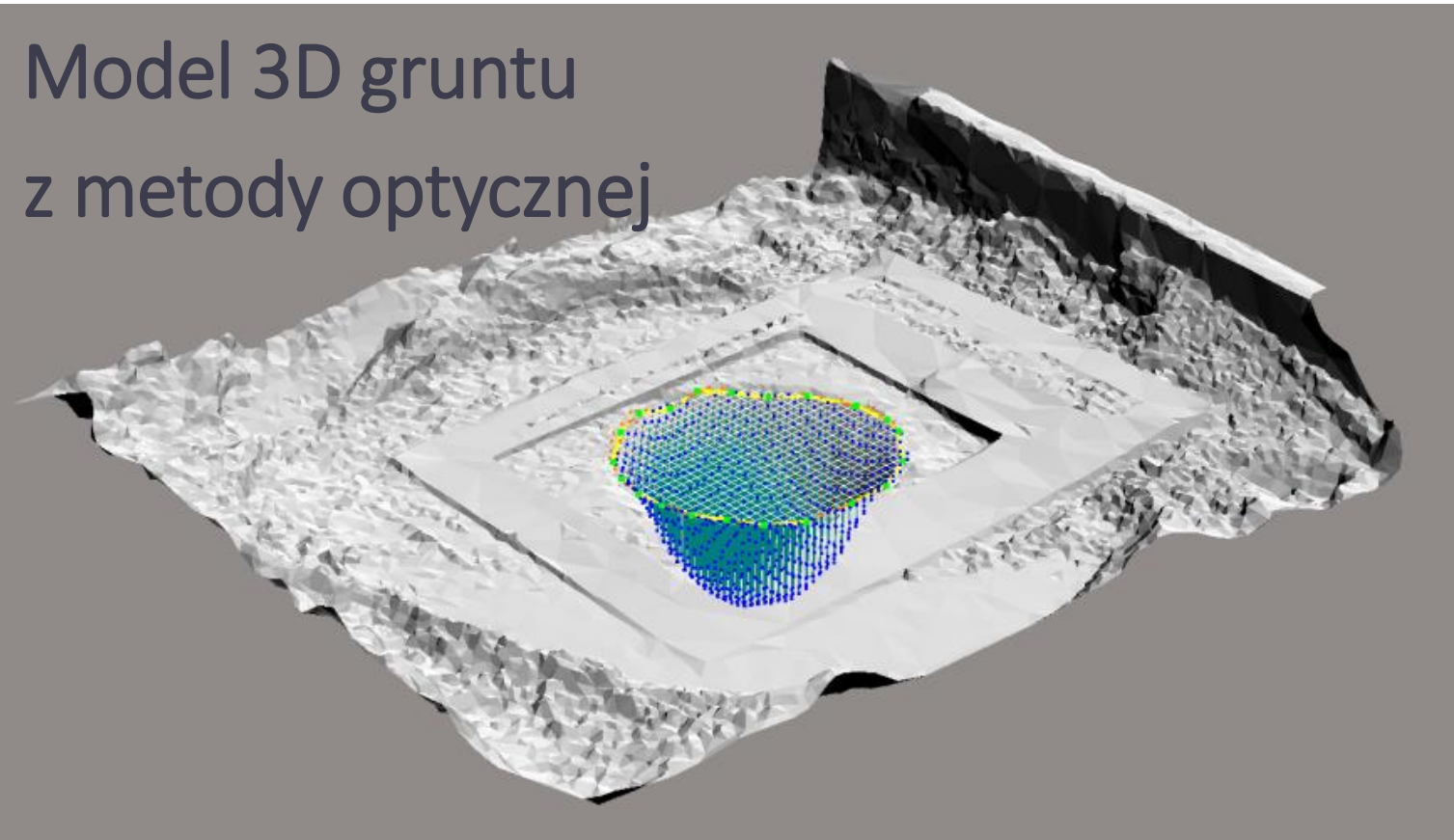
Contour of X-Displacement (m)



P.Liszewski: Ocena przydatności optycznej metody pomiaru objętości do wyznaczania wskaźnika zagęszczenia podłoża.



Model 3D gruntu z metody optycznej



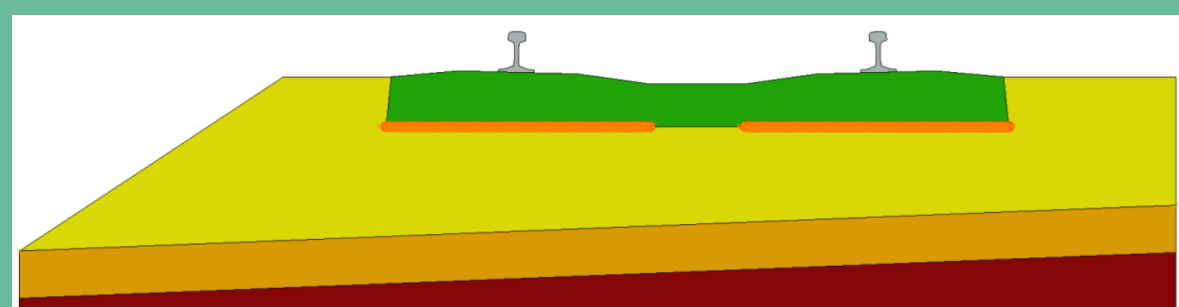
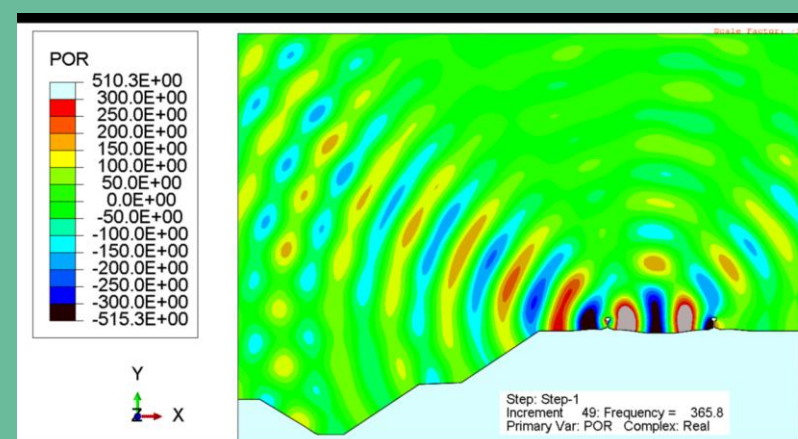
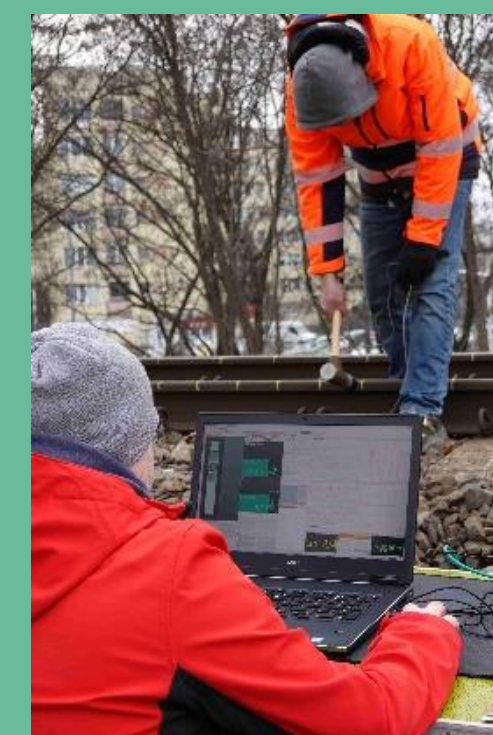


Wydział
Inżynierii Lądowej

POLITECHNIKA WARSZAWSKA



Dziękujemy za uwagę!



Seminarium IDiM
19 stycznia 2022 r.

