



**Wydział  
Inżynierii Lądowej**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

**ZESPOŁY  
BADAWCZE  
POLITECHNIKI  
WARSZAWSKIEJ  
OFERTA B+R**



prof. dr hab. inż.  
Adam Woźniak

Prorektor ds. Rozwoju  
w kadencji 2020-2024

#### OD PROREKTORA DS. ROZWOJU POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Współpraca środowiska naukowego i biznesu jest jednym z kluczowych czynników wpływających na możliwość skutecznego transferu technologii, a tym samym kreowania innowacyjnej gospodarki, która będzie służyć potrzebom współczesnego społeczeństwa i rozwojowi naszego kraju. Budowa platformy do komunikacji nauki i biznesu, w tym nawiązywania kontaktów i wymiany doświadczeń oraz przekuwania potrzeb w realne rozwiązania, jest ważnym elementem tej współpracy.

Politechnika Warszawska to nie tylko unikatowa infrastruktura badawcza i aparatura naukowa, to przede wszystkim prężnie działające zespoły badawcze, aktywnie współpracujące w krajowych i międzynarodowych projektach badawczych, pracach rozwojowych i przemysłowych z wiodącymi partnerami, z różnych sektorów gospodarki. To dzięki nim Politechnika Warszawska zajmuje czołowe miejsce wśród polskich uczelni technicznych, szczególnie w obszarze badań aplikacyjnych, których efektem są patenty i innowacje.

Zapraszam Państwa do lektury kolejnej edycji Katalogu zespołów badawczych Politechniki Warszawskiej, mając nadzieję, że stanie się ona inspiracją i przyczynkiem do nawiązania współpracy, czego, i Państwu i sobie życzę.

#### OD DZIEKANA WYDZIAŁU

Szanowni Państwo,

Budownictwo jest szybko rozwijającą się dziedziną działalności inżynierskiej i staje się coraz bardziej interdyscyplinarne. Stanowi naturalny obszar wdrażania innowacyjnych rozwiązań zarówno materiałowych, jak i konstrukcyjnych: od zrównoważonych materiałów budowlanych, przez projektowanie konstrukcji z wykorzystaniem technologii BIM, po inteligentne obiekty spełniające wyśrubowane normy energooszczędności oraz niskiej emisji dwutlenku węgla.

Cechą szczególną badań w inżynierii lądowej jest ich aplikacyjny charakter inspirowany oczekiwaniami środowiska gospodarczego. Wymaga to zarówno prowadzenia symulacji cyfrowych, jak i badań w skali laboratoryjnej oraz na rzeczywistym obiekcie.

Zespoły badawcze zestawione w katalogu B+R Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej zapewniają zestaw oferty badawczej dla budownictwa, począwszy od zaawansowanej diagnostyki, poprzez projektowanie i wdrażanie innowacyjnych rozwiązań.

Serdecznie zapraszam do współpracy.

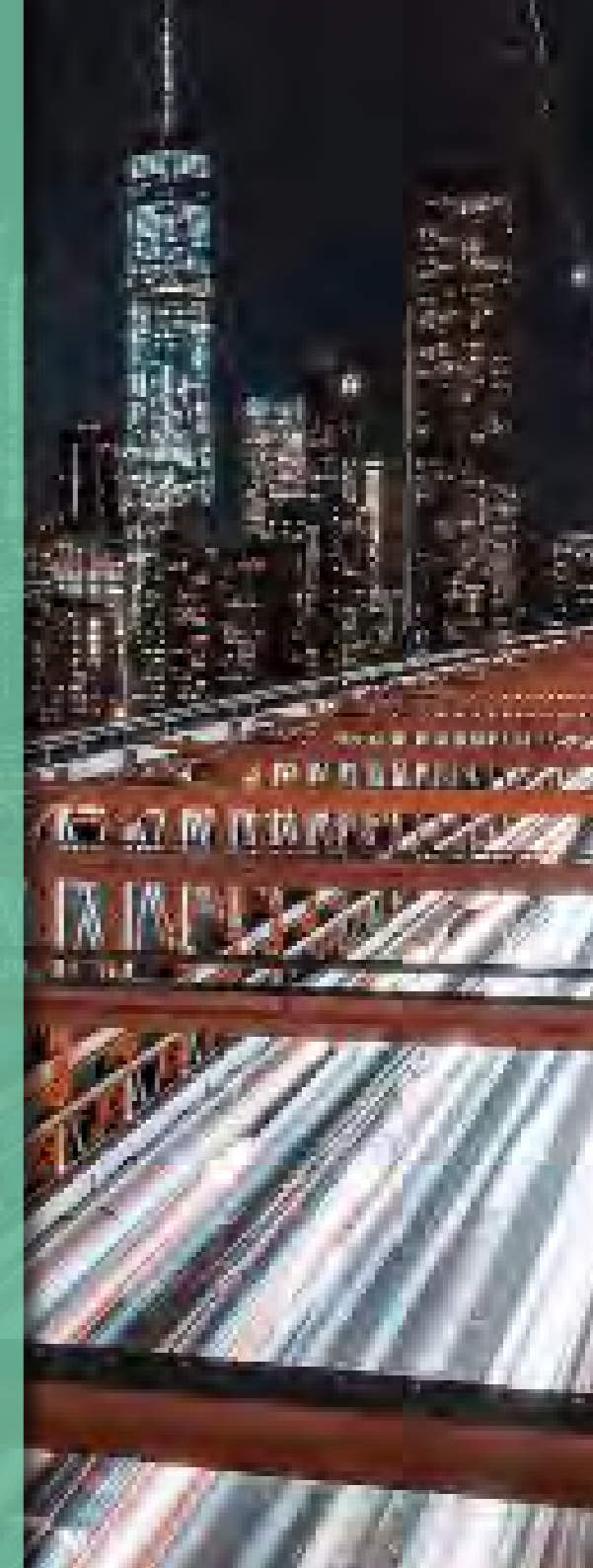


prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz  
Dziekan  
Wydziału Inżynierii Lądowej

## ■ SPIS TREŚCI

■ INSTYTUT DRÓG I MOSTÓW	STR. 7
■ ZESPÓŁ INFRASTRUKTURY TOROWEJ DRÓG SZYNOWYCH	STR. 8
■ ZESPÓŁ MECHANIKI I PROJEKTOWANIA NAWIERZCHNI DROGOWYCH I LOTNISKOWYCH	STR. 10
■ ZESPÓŁ ANALIZ, OCEN, MODELOWANIA I MONITORINGU TECHNICZNEGO OBIEKTÓW INFRASTRUKTURALNYCH	STR. 12
■ ZESPÓŁ ANALIZ WSPÓŁPRACY FUNDAMENTÓW I BUDOWLI PODZIEMNYCH Z PODŁOŻEM ORAZ OCENY ICH ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO	STR. 14
■ ZESPÓŁ PLANOWANIA SYSTEMÓW TRANSPORTOWYCH I INŻYNIERII RUCHU	STR. 16
■ ZESPÓŁ BADAŃ, ANALIZ I PROJEKTOWANIA MATERIAŁÓW I NAWIERZCHNI DROGOWYCH	STR. 18
■ ZESPÓŁ RECYKLINGU I ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU W DROGOWNICTWIE	STR. 20
■ INSTYTUT INŻYNIERII BUDOWLANEJ	STR. 23
■ ZESPÓŁ OPTIMALIZACJI MATERIAŁÓW I KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH	STR. 24
■ ZESPÓŁ ANALIZ DYNAMICZNYCH KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH I INŻYNIERSKICH	STR. 26
■ ZESPÓŁ DIAGNOSTYKI BUDOWLANEJ, REWITALIZACJI I KONSERWACJI OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH	STR. 28
■ ZESPÓŁ OPTIMALIZACJI BETONÓW OSŁONOWYCH ORAZ BUDOWY I EKSPLOATACJI OBIEKTÓW JĄDROWYCH	STR. 30
■ ZESPÓŁ BADAWCZY STRUKTURALNYCH FASAD I POWŁOK METALOWO-SZKLANÝCH	STR. 32
■ ZESPÓŁ BADAWCZY CLOSED-CYCLE CONCRETE-LIKE COMPOSITES FO(U)R CLIMATE	STR. 34
■ ZESPÓŁ BADAWCZY INNOWACYJNYCH MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH FRP W INŻYNIERII BUDOWLANEJ	STR. 36
■ ZESPÓŁ DIAGNOSTYCZNYCH METOD NIENISZCZĄCYCH I ANALIZ MIKROSTRUKTURALNYCH W INŻYNIERII LĄDOWEJ	STR. 38
■ ZESPÓŁ MECHANIKI MATERIAŁÓW, ANALIZY DOŚWIADCZALNEJ I NUMERYCZNEJ KONSTRUKCJI	STR. 40
■ ZESPÓŁ PROJEKTOWANIA I BADANIA KOMPOZYTÓW FOTOKATALITYCZNYCH	STR. 42

**INSTYTUT DRÓG  
I MOSTÓW**





# ZESPÓŁ INFRASTRUKTURY TOROWEJ DRÓG SZYNOWYCH

POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA ŁĄDOWA I TRANSPORT

#NAWIERZCHNIE TOROWE #NAWIERZCHNIE SZYNOWE  
#PROJEKTOWANIE NAWIERZCHNI TOROWYCH #OCHRONA AKUSTYCZNA  
#IZOLATORY WIBROAKUSTYCZNE #KONSTRUKCJA DRÓG SZYNOWYCH  
#IDENTYFIKACJA MODELI REOLOGICZNYCH #WIBROIZOLACJA  
#LEPKO-SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNOŚĆ MATERIAŁÓW  
#SYMULACJE MES #UKŁAD GEOMETRYCZNY DRÓG SZYNOWYCH  
#BUDOWA I UTRZYMANIE INFRASTRUKTURY TOROWEJ DRÓG SZYNOWYCH

Zespół prowadzi swoją działalność w ramach Zakładu Mechaniki Teoretycznej, Mechaniki Nawierzchni i Dróg Szynowych na Wydziale Inżynierii Łądowej PW. Współpracuje z wieloma jednostkami badawczymi oraz firmami z branży infrastruktury dróg szynowych.

Podstawowy zakres działalności Zespołu obejmuje zagadnienia budowy (w tym projektowania) i utrzymania infrastruktury torowej dróg szynowych. Szczególne miejsce w tych zagadnieniach zajmuje problematyka ochrony przed negatywnym oddziaływaniem dynamicznym od ruchu pojazdów szynowych (wibracje i hałas) na otoczenie tras dróg szynowych.

Dotychczasowi klienci Zespołu to m.in.: Torpol, Budimex, Sąd Okręgowy w Poznaniu, Tines, Alstom, Energopol Szczecin, KZN Bieżanów i wiele innych.

## KONTAKT

prof. dr hab. inż. Artur Zbiciak  
dr inż. Cezary Kraśkiewicz  
a.zbiciak@il.pw.edu.pl;  
c.kraskiewicz@il.pw.edu.pl  
(+48) 22 234 63 49; (+48) 22 234 15 37  
www.zmntds.il.pw.edu.pl

## INFRASTRUKTURA BADAWCZA

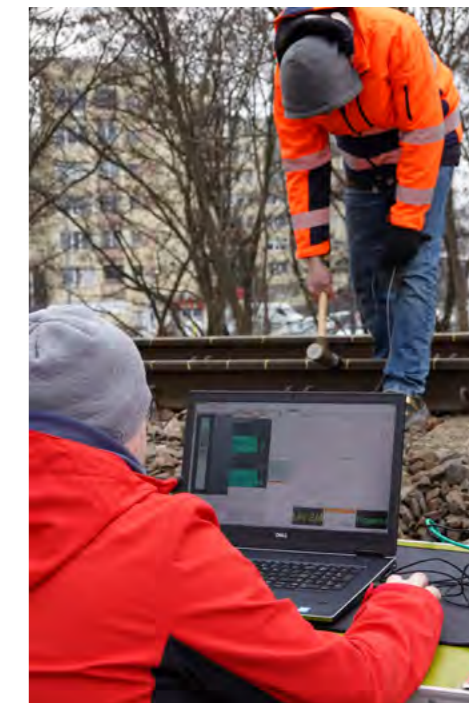
- stanowiska laboratoryjne do badania trwałości oraz identyfikacji statycznych i dynamicznych charakterystyk sprężystych izolatorów wibroakustycznych stosowanych w konstrukcji dróg szynowych:
- przekładki podszynowe, ciągłe profile podszynowe, sprężyste masy podlewowe wg PN-EN 13146-9
- systemy przytwierdzenia szyny w torowiskach tramwajowych wg PN-EN 17319
- podkładki podpodkładowe (USP – skrót od ang. Under Sleeper Pads) wg PN-EN 16730
- maty wibroizolacyjne/podtorowe:
  - podpodsypkowe (UBM – skrót od ang. Under Ballast Mats) przeznaczone do zastosowania w podsypkowej konstrukcji drogi szynowej wg PN-EN 17282 lub DIN 45673-5
  - podpłytkowe (USM – skrót od ang. Under-Slab Mats) przeznaczone do zastosowania w bezpodsypkowej konstrukcji drogi szynowej wg DIN 45673-7 lub prEN 17682

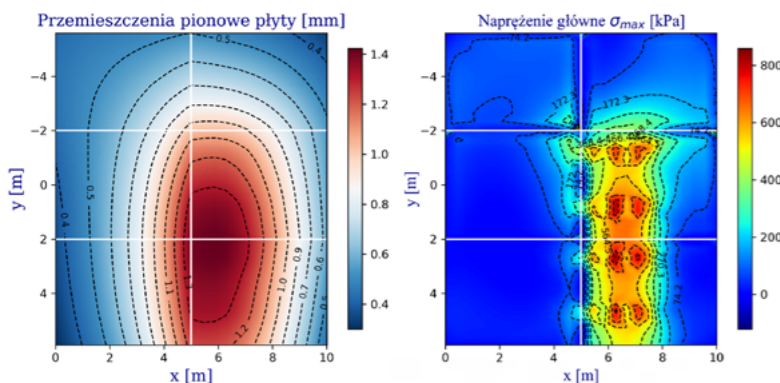
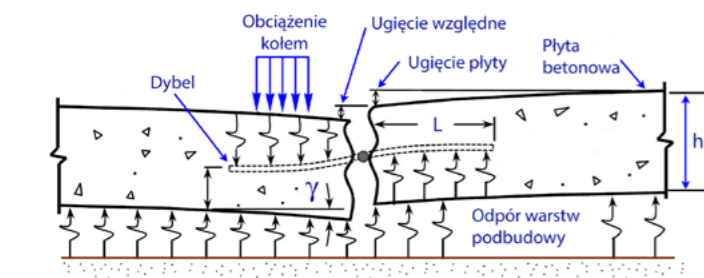
## WYBRANE PROJEKTY

- Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i budynków przed drganiami od ruchu kolejowego (InRaViS) (POIR, NCBR oraz PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., od 2018)
- Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i środowiska przed hałasem od ruchu kolejowego (InRaNoS) (POIR, NCBR oraz PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., od 2018)
- Innowacyjna nawierzchnia torowiska tramwajowo-autobusowego (INTTA) (Śląskie Centrum Przedsiębiorczości, od 2021)
- Opinia techniczna na temat stwierdzonych przemieszczeń (wysuwanie się spod szyn) przekładek podszynowych w torach kolejowych z systemem przytwierdzenia typu SB-W3 (Torpol, 2019)
- Opinia techniczna na temat zakresu i poprawności dokumentacji projektowej dotyczącej konstrukcji torowiska tramwajowego w rejonie przyczółków „Mostu Długiego” w Szczecinie (Energopol Szczecin, 2018)

## OFEROWANE USŁUGI

- prace badawczo-rozwojowe i ekspertyzy techniczne w dziedzinie konstrukcji i oceny stanu nawierzchni i podtorza dróg szynowych (kolej, tramwaj, metro)
- analizy numeryczne MES konstrukcji obiektów infrastruktury transportu szynowego
- badania laboratoryjne elementów składowych konstrukcji dróg szynowych
- badania poziomów oddziaływania ruchu pojazdów szynowych na otoczenie tras dróg szynowych oraz skuteczności działania izolatorów wibroakustycznych wraz z ich doбором dla redukcji oddziaływań w postaci wibracji i hałasu
- weryfikacje i opinie dotyczące dokumentacji technicznych (SIWZ, projekty budowlane, wykonawcze, STWiORB)





# ZESPÓŁ MECHANIKI I PROJEKTOWANIA NAWIERZCHNI DROGOWYCH I LOTNISKOWYCH POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA LĄDOWA I TRANSPORT

#NAWIERZCHNIE ASFALTOWE #NAWIERZCHNIE BETONOWE  
 #PROJEKTOWANIE NAWIERZCHNI #WZMOCNIENIA NAWIERZCHNI  
 #OCENA TRWAŁOŚCI #MODELE KONSTYTUTYWNE MIESZANEK  
 #SYMULACJE MES #IDENTYFIKACJA MODELI REOLOGICZNYCH  
 #LEPKO-SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNOŚĆ MATERIAŁÓW  
 #DIAGNOSTYKA NAWIERZCHNI I OBLICZENIA ODWROTNE

Zespół prowadzi swoją działalność w ramach Zakładu Mechaniki Teoretycznej, Mechaniki Nawierzchni i Dróg Szynowych na Wydziale Inżynierii Lądowej PW. Współpracuje z wieloma jednostkami badawczymi oraz firmami z branży budowlanej.

Podstawowy zakres działalności Zespołu obejmuje zagadnienia mechaniki i projektowania nawierzchni drogowych i lotniskowych. Szczególne miejsce w tych zagadnieniach zajmuje problematyka modelowania konstytutywnych właściwości materiałów inżynierskich (mieszanki mineralno-asfaltowe, grunty), modelowania konstrukcji nawierzchni oraz metod numerycznej analizy konstrukcji, a także problematykę oceny trwałości nawierzchni. Do realizacji obliczeń numerycznych, tj. wyznaczenie przemieszczeń, odkształceń i naprężeń w nawierzchniach, Zespół wykorzystuje zaawansowane oprogramowanie (Abaqus, VERoad, etc.).

Klienci Zespołu to m.in. Zarząd Dróg Wojewódzkich w Katowicach, Budimex S.A., IBDIM i wiele innych.

## KONTAKT

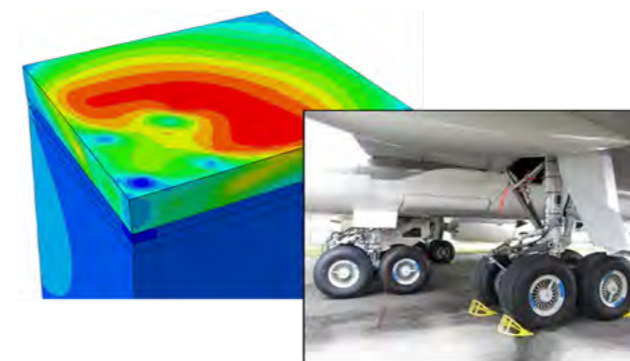
prof. dr hab. inż. Artur Zbiciak  
 dr inż. Rafał Michalczyk  
 a.zbiciak@il.pw.edu.pl;  
 r.michalczyk@il.pw.edu.pl  
 (+48) 22 234 63 49; (+48) 69 756 70 23  
 www.zmntds.il.pw.edu.pl

## INFRASTRUKTURA BADAWCZA

- VEROAD: A Viscoelastic Multilayer Computer Program
- Abaqus oprogramowanie do analiz MES

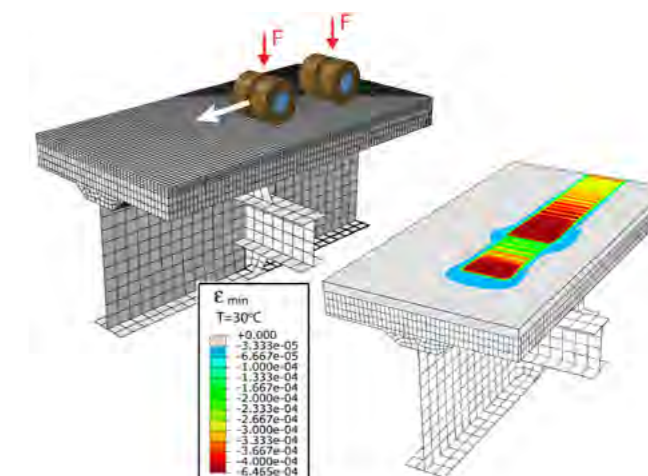
## OFEROWANE USŁUGI

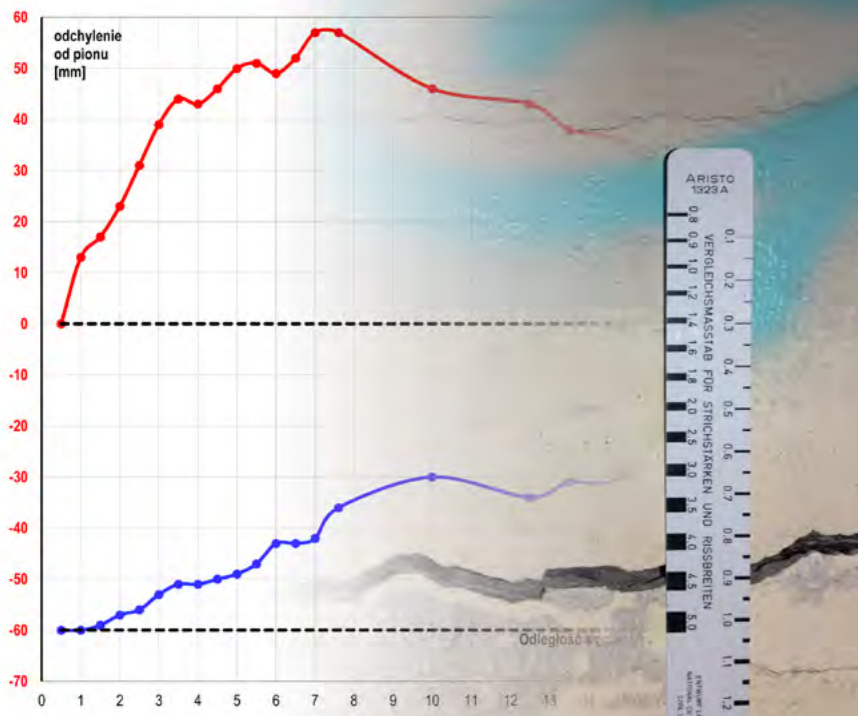
- zagadnienia dynamiki i reologii nawierzchni drogowych, lotniskowych, z uwzględnieniem sprężysto-lepko-plastycznych właściwości materiałów
- modelowanie konstytutywnych właściwości materiałów inżynierskich (mieszanki mineralno-asfaltowe, grunty); identyfikacja modeli materiałowych z wykorzystaniem wyników badań laboratoryjnych – testów cyklicznych (DMA) w różnych temperaturach
- wytrzymałość, nośność i trwałość konstrukcji nawierzchni komunikacyjnych (zastosowanie metod mechanistycznych); ocena cyklu życia nawierzchni
- metody obliczeniowe (analityczne i numeryczne MES) w analizie nawierzchni komunikacyjnych, charakterystyka mechaniki nawierzchni, obliczenia odwrotne
- projektowanie konstrukcji oraz wymiarowanie wzmocnień nawierzchni drogowych i lotniskowych
- analiza odkształceń warstw asfaltowych na obiektach mostowych



## WYBRANE PROJEKTY

- 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 (Zarząd Dróg Wojewódzkich w Katowicach, 2020)
- Analiza MES płyt betonowych do zaprojektowania konstrukcji nawierzchni betonowej autostrady A1 w technologii whitetopping z poszerzeniami oraz nowej konstrukcji nawierzchni (Budimex, 2019)
- Analiza obliczeniowa konstrukcji nawierzchni podatnych według katalogu wzorcowych konstrukcji dla województwa śląskiego (Zarząd Dróg Wojewódzkich w Katowicach, 2019)
- Zaprojektowanie zoptymalizowanej konstrukcji jezdni (EGIS Poland Sp. z o.o., 2017)
- Analiza obliczeniowa konstrukcji nawierzchni podatnych według katalogu wzorcowych konstrukcji dla województwa śląskiego (Zarząd Dróg Wojewódzkich w Katowicach, Śląskie Kruszywa Naturalne Sp. z o.o., 2015)





# ZESPÓŁ ANALIZ, OCEN, MODELOWANIA I MONITORINGU TECHNICZNEGO OBIEKTÓW INFRASTRUKTURALNYCH

POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA ŁĄDOWA I TRANSPORT

#MOSTOWNICTWO #EKSPERTYZY #OPRACOWANIE I ANALIZA DANYCH  
#INWENTARYZACJA OBIEKTÓW MOSTOWYCH #MODELOWANIE  
#PROJEKTY I OBCIĄŻENIA PRÓBNE #BIM W BUDOWNICTWIE #SHM  
#MONITORING PRZEMIESZCZEŃ I ODKSZTAŁCEŃ #KONTROLA REALIZACJI

Zespół prowadzi swoją działalność w ramach Zakładu Geotechniki, Mostów i Budowli Podziemnych na Wydziale Inżynierii Lądowej PW. Współpracuje z jednostkami badawczymi oraz firmami z branży infrastruktury drogowej i kolejowej, budownictwa kubaturowego i przemysłowego czy specjalistycznego.

Podstawowy zakres działalności Zespołu obejmuje prace eksperckie, diagnostykę, przeglądy, inwentaryzacje, badania materiałowe, monitoring, pomiary odkształceń i przemieszczeń oraz ocenę stanu technicznego mostowych obiektów inżynierskich, w szczególności z cięgniemi naprężanymi, o nietypowych układach geometrycznych i hybrydowych układach cięgien sprężających. Do realizacji pomiarów Zespół stosuje technologie bezdotykowe (pomiary tachymetryczne, fotogrametryczne, skaning laserowy, metody korelacji obrazu) oraz metody klasyczne (fizyczny pomiar przemieszczeń, przyśpieszeń, kątów). Dysponuje odpowiednim sprzętem pomiarowym i własnym polowym ciągiem pomiarowym.

Zespół wykonał kilkadziesiąt specjalistycznych opracowań dotyczących mostowych obiektów inżynierskich, w tym określenia stanu technicznego i oszacowania nośności po kilkunastu latach eksploatacji, wskazanie przyczyn powstania uszkodzeń wraz z wariantowymi propozycjami napraw, opracowania koncepcji rozwiązań projektowych obiektów usytuowanych w szczególnych lokalizacjach, inwentaryzacje i przeglądy o różnym zakresie szczegółowości. W ramach działań Zespołu wykonywane są również pomiary okresowe (monitoring) różnych obiektów inżynierskich.

## KONTAKT

dr hab. inż. Wojciech Trochymiak  
dr inż. Wojciech Karwowski  
mgr inż. Przemysław Mossakowski  
wojciech.trochymiak@pw.edu.pl;  
wojciech.karwowski@pw.edu.pl;  
przemyslaw.mossakowski@pw.edu.pl  
www.il.pw.edu.pl

## INFRASTRUKTURA BADAWCZA

- zestaw narzędzi do poboru próbek materiałów konstrukcyjnych (z betonu, stali konstrukcyjnej, sprężającej, drewna, kompozytów, materiałów na bazie elastomerów), oceny parametrów fizycznych i mechanicznych betonu w konstrukcji „in-situ”, oceny oraz klasyfikowania uszkodzeń w konstrukcji, jak: rysy, pęknięcia, przemieszczenia, obroty, wyboczenie, ubytki grubości, deformacje wraz z zapisem w postaci cyfrowej, oceny środowiska konstrukcji (temperatury i wilgotności powietrza oraz konstrukcji)
- zestawy odczynników do oceny zanieczyszczeń chemicznych materiałów w konstrukcjach „in-situ”
- polowy ciąg pomiarowy oparty o 64 kanałowy przetwornik analogowo-cyfrowy firmy HBM, wyposażony w czujniki: przemieszczeń (15 czujniki indukcyjne), przyśpieszeń (33 akcelerometry), odkształceń (tensometry elektrooporowe w dowolnej konfiguracji), temperatury, siły
- polowy bezprzewodowy ciąg pomiarowy oparty o czujniki firmy Sylvac o bazie pomiarowej 150 mm i 50 mm, działający z częstotliwością 10 Hz w promieniu 100 m w sieci Wi-Fi firmy IBR
- polowy ciąg pomiarowy do pomiaru sił metodą wzbudzenia dynamicznego, w naprężonych cięgnach zewnętrznych i linach podwieszonych, oparty o przetworniki firmy Bruel & Kjer
- czujniki przemieszczeń (HBM, Sylvac, Schut), odkształceń (HBM, Geokon), bezdotykowe czujniki przemieszczeń oparte o korelację obrazu (smartfony i kamery przemysłowe, DES Solution)
- kompletny zestaw narzędzi i wyposażenia umożliwiający aranżację polowego ciągu pomiarowego, w tym niwelatory precyzyjne Zeiss Ni 007 i aparaty fotograficzne (Nikon, Canon)
- specjalistyczne oprogramowanie: do zaawansowanych analiz z zakresu statyki i dynamiki oraz wymiarowania konstrukcji (Sofistik 2020, Midas Civil, Idea Statica i inne), do rejestracji, opracowania danych z pomiarów (Catman, BK Connect, IBR), typu CAD z rozszerzeniami branżowymi (AutoCad 2020, Revit 2020 i inne)

## OFEROWANE USŁUGI

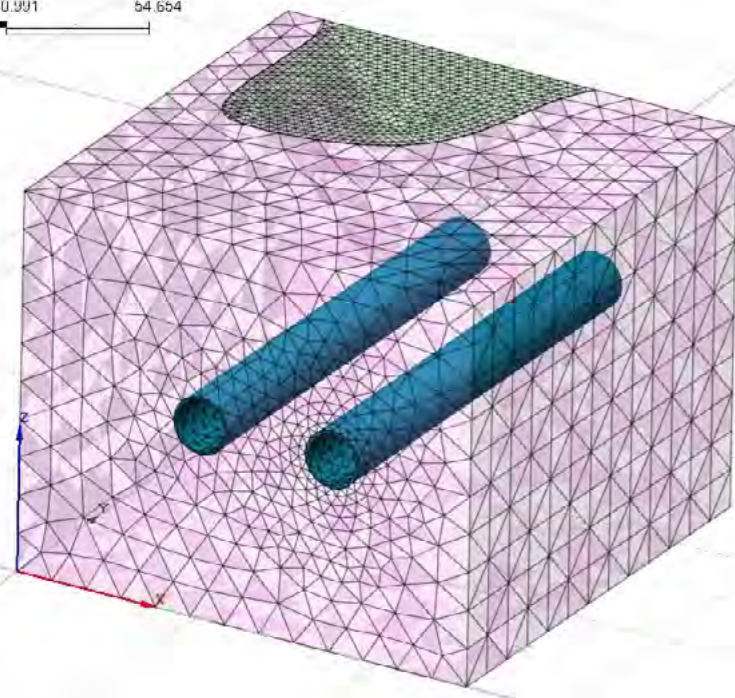
- oceny stanu technicznego obiektów infrastrukturalnych i przemysłowych
- przeglądy, ekspertyzy, oceny nośności obiektów mostowych, instrukcje utrzymania
- opracowywanie, weryfikacja i nadzór nad programami naprawczymi
- weryfikacja opracowań projektowych, wspomaganie administracji drogowej i kolejowej w opracowywaniu planów i strategii postępowania dotyczącego infrastruktury drogowo-kolejowej
- pomiary przemieszczeń, odkształceń, przyspieszeń konstrukcji „in-situ” i laboratoryjnie
- badania parametrów fizycznych i mechanicznych materiałów konstrukcyjnych „in-situ” i laboratoryjnie
- obliczenia i analizy konstrukcji w zakresie statyki i dynamiki
- obliczenia i wymiarowanie elementów konstrukcji żelbetonowych, sprężonych, zespolonych i stalowych
- wsparcie techniczne dla inwestorów na wszystkich etapach procesu budowlanego

## WYBRANE PROJEKTY

- Ekspertyza techniczna poprzecznic podporowych nad przyczółkami wiaduktu typu extradosed (WA244P) na Węzle Łódź-Północ w ciągu jezdni prawej autostrady A1 (GDDKiA Oddział Łódź, 2019–2020)
- Ekspertyzy 3. wiaduktów kolejowych w km 5,327 (tor 1 i 2) oraz 6,429 na linii nr 20 WGT - Warszawa Praga (PKP PLK S.A. ZLK w Warszawie, 2015)
- Projekt i próbne obciążenia przęseł kablobetonowych Mostu Łazienkowskiego („warszawskich czterdziestek”) (ZDM Warszawa, 2015)

## OPRACOWANE METODYKI

- Metodyka oceny aktualnej nośności eksploatowanych drogowych i kolejowych obiektów mostowych na podstawie oceny stanu technicznego, opracowania adekwatnych modeli obliczeniowych i wieloaspektowych analiz z uwzględnieniem projektowych i rzeczywistych obciążeń oraz oddziaływań, w tym środowiskowych, reologicznych oraz specjalnych
- Metodyka wykorzystania danych z monitoringu w celu nadzoru stanu technicznego konstrukcji, optymalizacji prac serwisowych oraz oceny środowiska konstrukcji pod kątem bezpieczeństwa eksploatacji
- Metodyka wykorzystania pomiarów geodezyjnych, rejestracji obrazów z dronów w celu inwentaryzacji geometrii konstrukcji, sporządzania inwentaryzacji i map uszkodzeń, monitoringu przemieszczeń i uszkodzeń oraz oceny starzenia się konstrukcji



## ZESPÓŁ ANALIZ WSPÓŁPRACY FUNDAMENTÓW I BUDOWLI PODZIEMNYCH Z PODŁOŻEM ORAZ OCENY ICH ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA ŁĄDOWA I TRANSPORT

#TUNELE #TBM #GŁĘBOKIE WYKOPY #NIECKA OSIADANIA  
#FUNDAMENTY PALOWE I PŁYTOWO-PALOWE #NASYPY DROGOWE  
#PRZEMIESZCZENIA OBUDÓW WYKOPÓW #ANALIZY NUMERYCZNE  
#OCENA ODDZIAŁYWANIA NA ŚRODOWISKO #EKSPERTYZY TECHNICZNE

Zespół działa w Zakładzie Geotechniki, Mostów i Budowli Podziemnych na Wydziale Inżynierii Łądowej PW. Współpracuje z otoczeniem gospodarczym – wykonawcami, projektantami i jednostkami administracji zaangażowanymi w inwestycje z zakresu robót podziemnych (tunele komunikacyjne, stacje metra, głębokie podziemia budynków użyteczności publicznej, głębokie posadowienia obiektów kubaturowych i mostowych) oraz budownictwa infrastrukturalnego (nasypy drogowe i kolejowe), m.in. z: Metrem Warszawskim, Generalną Dyрекcją Dróg Krajowych i Autostrad, PKP PLK, firmami wykonawczymi i biurami projektów oraz jednostkami naukowo-badawczymi takimi jak Instytut Techniki Budowlanej i Instytut Badawczy Dróg i Mostów.

Podstawowy zakres działalności Zespołu to analiza i ocena wpływu wykonania głębokich wykopów i tuneli drążonych tarczami zmechanizowanymi, tzw. TBM na powierzchnię terenu i na obiekty znajdujące się w strefie oddziaływania. Aktywność Zespołu obejmuje również prognozę przemieszczeń poziomych obudów głębokich wykopów, analizę pracy fundamentów płytowo-palowych, ekspertyzy dotyczące wzmocnień nasypów oraz ocenę warunków geotechnicznych, hydrogeologicznych i opinie środowiskowe.

Do realizacji tych zagadnień Zespół stosuje analizy numeryczne z wykorzystaniem zaawansowanych modeli konstytutywnych gruntu, specjalistyczne oprogramowanie z pakietów m.in. GEO5, PLAXIS 2D i 3D, MIDAS GTX 2D i 3D oraz własne udokumentowane doświadczenie. Uzupełnieniem działalności jest możliwość przeprowadzania zaawansowanych badań laboratoryjnych gruntów.

### KONTAKT

prof. dr hab. inż. Anna Siemińska-Lewandowska  
anna.lewandowska@pw.edu.pl  
(+48) 22 234 56 70  
www.il.pw.edu.pl

Członkowie Zespołu wykonali kilkadziesiąt opinii i ekspertyz związanych z budową tuneli komunikacyjnych w Warszawie i w Polsce, z analizą oddziaływania głębokich wykopów na budynki, sąsiednią infrastrukturę drogową, kolejową i techniczną, z oceną prawidłowości posadowienia obiektów mostowych, nasypów drogowych i kolejowych oraz wysokich budynków biurowych.

Członkowie zespołu posiadają uprawnienia do pełnienia samodzielnych funkcji w budownictwie (projektowe, wykonawcze, geotechniczne), uprawnienia z zakresu prowadzenia robót i dokumentacji geologicznych i hydrogeologicznych oraz są rzeczoznawcami wojewody lub sądowymi.

### INFRASTRUKTURA BADAWCZA

- specjalistyczne oprogramowanie do symulacji zagadnień geotechnicznych, m.in. GEO5, PLAXIS 2D i 3D, MIDAS GTX 2D i 3D
- aparatura badawcza do laboratoryjnych badań gruntów pod budowę dróg i kolei, w tym nowoczesny aparat Proctora, aparaty do badania uziarnienia i stanów gruntu, aparaty do badania kapilarności i filtracji
- aparatura badawcza do polowych badań gruntów pod budowę dróg i kolei, w tym płyta VSS i płyta dynamiczna
- aparatura badawcza do laboratoryjnego wyznaczania parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych podłoża budowli w tym nowoczesny aparat bezpośredniego ścinania, aparat trójosiowego ściskania, edometry o dużym zakresie obciążeń

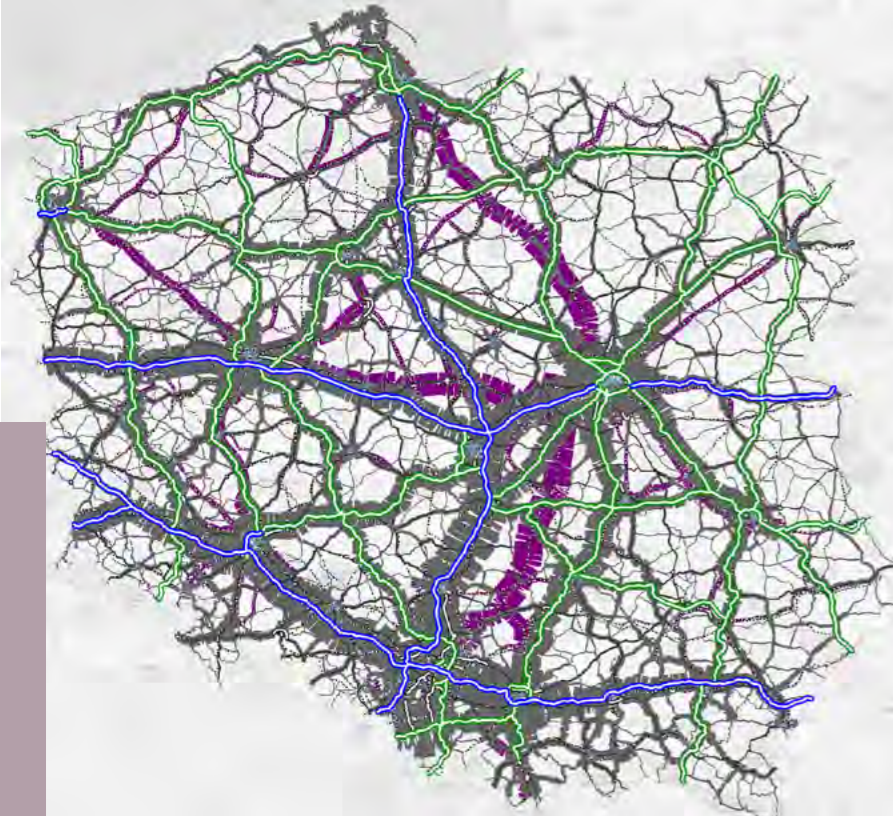
### OFEROWANE USŁUGI

- kompleksowe analizy posadowienia i oddziaływania obiektów budowlanych na podłoże i otoczenie inwestycji
- kompleksowe doradztwo i analizy w zakresie drążenia tuneli, technologii, oddziaływania na otoczenie
- kompleksowe badania laboratoryjne weryfikacyjne i projektowe próbek gruntów z podaniem parametrów geotechnicznych
- nadzory naukowe, opinie, doradztwo i wsparcie eksperckie inwestora, generalnego wykonawcy, projektanta w zakresie geologii, geotechniki, hydrogeologii i budownictwa podziemnego

### WYBRANE PROJEKTY

- Analiza skumulowanego wpływu na wody podziemne budowy II linii metra w Warszawie – III etap realizacji odcinka zachodniego od szlaku za stacją C04 do stacji C01 „Połczyńska” (ILF, 2020)
- Opinie o zastosowaniu segmentów obudowy tunelu z fibrobetonu w projekcie rozbudowy II linii metra w Warszawie (Gulermak, Metro Warszawskie, 2019-2020)
- Ocena wpływu nowej inwestycji biurowej na infrastrukturę metra (Arup, 2018)
- Analiza 3D wpływu trzech wykopów inwestycji VARSO na Tunel Średnicowy PKP S.A. (HBReavis 2014, 2018)
- Nadzór naukowy nad badaniami fundamentów w ramach projektu: „Opracowanie nowego typoszeregu słupów energetycznych 400 kV oraz odpowiednich dla nich fundamentów, w tym fundamentów do zastosowania na gruntach o szczególnie niekorzystnych parametrach geotechnicznych” (NCBiR, Enprom, 2017-2020)





# ZESPÓŁ PLANOWANIA SYSTEMÓW TRANSPORTOWYCH I INŻYNIERII RUCHU

POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA ŁĄDOWA I TRANSPORT

#POMIARY I BADANIA RUCHU #MODELOWANIE PODRÓŻY  
 #ANALIZY BIGDATA #PROGNOZOWANIE RUCHU #SYMULACJA RUCHU  
 #BEZPIECZEŃSTWO RUCHU DROGOWEGO #RUCH ROWEROWY  
 #BADANIE KONFLIKTÓW RUCHOWYCH #ANALIZY RUCHU PIESZEGO  
 #ORGANIZACJA RUCHU DROGOWEGO #ZRÓWNOWAŻONA MOBILNOŚĆ  
 #INTEGRACJA WĘZŁÓW PRZESIADKOWYCH #SYSTEMY TRANSPORTU ZBIOROWEGO

Zespół Planowania Systemów Transportowych i Inżynierii Ruchu stanowi trzon Zakładu Inżynierii Transportowej i Geodezji na Wydziale Inżynierii Lądowej PW.

Zainteresowania badawcze członków zespołu obejmują następujące obszary: badania zachowań transportowych i mobilności, innowacyjne metody pozyskiwania i wykorzystania danych (m.in. dane typu BigData), modelowanie ruchu i podróży, bezpieczeństwo ruchu drogowego, w tym szczególnie niechronionych uczestników ruchu (piesi i rowerzyści), analizy przepustowości dróg, Inteligentne Systemy Transportowe, integracja węzłów przesiadkowych transportu publicznego, planowanie infrastruktury transportu publicznego.

Zespół wykonał wiele prac badawczych i ekspertyz dla zarządców dróg (Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Zarząd Dróg Miejskich w Warszawie) oraz jednostek samorządów (Miasto Stołeczne Warszawa).

## KONTAKT

prof. dr hab. inż. Piotr Olszewski  
 piotr.olszewski@pw.edu.pl  
 (+48) 22 234 63 31  
 www.il.pw.edu.pl

## INFRASTRUKTURA BADAWCZA

- oprogramowanie służące do modelowania i prognozowania ruchu i podróży (Visum, Vissim, Viswalk firmy PTV Group oraz Transyt firmy TRL)
- programy do analizy przestrzennej i projektowania (Microstation, PowerDraft firmy Bentley Systems) oraz geokodowania (Mapinfo)
- system kamer SCOUT rejestrujących pojazdy w standardzie MioVision
- programy RUBA i T-Analyst do wykrywania i analizy konfliktów ruchowych
- system VBOX Pro 10Hz GPS z 4 kamerami do analiz typu „naturalistic driving”

## WYBRANE PROJEKTY

- InDeV – Pogłębione zrozumienie przyczyn wypadków z niechronionymi uczestnikami ruchu (Horyzont 2020, 2015–2018)
- Zasady prognozowania ruchu drogowego z uwzględnieniem innych środków transportu; Efektywność przekroju 2+1 pasowego; Nowoczesne metody obliczania przepustowości i oceny warunków ruchu (NCBR/GDDKiA, program RID, 2016–2019)
- Aktywne przejścia dla pieszych – badania konfliktów ruchowych; Badanie zachowań motocyklistów w ruchu drogowym w kontekście ewentualnego dopuszczenia na pasy autobusowe (analizy bezpieczeństwa ruchu w Warszawie, ZDM i ZTM Warszawa, 2017)
- Opracowanie Nowego Modelu Ruchu w Warszawie dla projektów budowy II linii metra, nowych tras tramwajowych oraz rozszerzenia potencjału przewozowego kolei metropolitalnej (Tramwaje Warszawskie, 2017)
- Ocena dotychczasowych rozwiązań projektowych budowy Obwodnicy Śródmiejskiej na odcinku od ul. Radzywińskiej do węzła Żaba (ZMiD Warszawa, 2017)

## OFEROWANE USŁUGI

- analizy bezpieczeństwa ruchu drogowego – badania przed i po, analizy wypadkowości i konfliktów ruchowych
- wykonywanie analiz ekonomicznych i studiów wykonalności inwestycji transportowych
- badania i pomiary ruchu oraz badania zachowań użytkowników systemu transportowego
- wykonywanie analiz przepustowości układu drogowego z wykorzystaniem modeli symulacyjnych
- analizy i prognozy ruchu drogowego oraz przewozów w transporcie zbiorowym z wykorzystaniem modeli makro-symulacyjnych
- analizy ruchu pieszego i rowerowego z zastosowaniem modeli symulacyjnych
- wykonywanie analiz węzłów przesiadkowych transportu publicznego





## ZESPÓŁ BADAŃ, ANALIZ I PROJEKTOWANIA MATERIAŁÓW I NAWIERZCHNI DROGOWYCH

POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA ŁĄDOWA I TRANSPORT

#NAWIERZCHNIE DROGOWE #MIESZANKI MINERALNO-ASFALTOWE  
#NAWIERZCHNIE ASFALTOWE #BADANIA MATERIAŁÓW DROGOWYCH  
#BADANIA LEPI SZCZY ASFALTOWYCH #PROJEKTOWANIE NAWIERZCHNI  
#ASFALTY #RECYKLING MATERIAŁÓW DROGOWYCH

Zespół funkcjonuje w ramach Zakładu Technologii Budowy Dróg, w Instytucie Dróg i Mostów, Wydziału Inżynierii Lądowej PW. Współpracuje z wieloma jednostkami badawczymi, przedsiębiorstwami z branży budownictwa drogowego, producentami materiałów do budowy dróg, jak również jednostkami administracji drogowej.

Zespół posiada bogate doświadczenie w realizacji projektów naukowo-badawczych ukierunkowanych na wdrażanie rezultatów badań na potrzeby branży budowlanej i drogowej.

Przedmiotem działalności zespołu są prace badawcze z zakresu:

- badań właściwości materiałów do budowy i remontów dróg z wykorzystaniem nowoczesnych, zaawansowanych metod badawczych,
- opracowywanie innowacyjnych rozwiązań materiałowo-technologicznych na potrzeby drogownictwa, m.in. dotyczących recyklingu i modyfikacji materiałów drogowych,
- projektowanie i analizy konstrukcji nawierzchni drogowych i lotniskowych.

Zespół zrealizował kilkadziesiąt projektów, opracowań, ekspertyz na zlecenie przedsiębiorstw i jednostek administracji publicznej. Wśród głównych partnerów biznesowych można wskazać: Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad, Lotos Asphalt Sp. z o.o., Orlen Asphalt Sp. z o.o., Budimex S.A., Strabag Sp. z o.o., TPA Sp. z o.o., Eurovia Polska S.A., Mostostal Warszawa S.A.

KONTAKT

prof. dr hab. Inż. Piotr Radziszewski  
dr inż. Adam Liphardt  
p.radziszewski@il.pw.edu.pl;  
a.liphardt@il.pw.edu.pl  
(+48) 22 234 64 72; (+48) 22 234 64 61  
www.il.pw.edu.pl

### INFRASTRUKTURA BADAWCZA

- KOMPLEKS LABORATORIÓW:
  - Laboratorium badań mieszanek mineralno-asfaltowych
  - Laboratorium badań lepiszczy asfaltowych
  - Laboratorium badań kruszyw drogowych
  - Laboratorium analizy obrazu w badaniach materiałów drogowych

### WYBRANE PROJEKTY

- Technologia wytwarzania innowacyjnych wysokowytrzymałych kompozytów asfaltowych zbrojonych włóknami, z przeznaczeniem do budowy nowych i modernizacji istniejących dróg o zwiększonej trwałości eksploatacyjnej (NCBR, TechMatStrateg II, 2019–2022)
- Opracowanie i wdrożenie innowacyjnej technologii asfaltowych nawierzchni samonaprawialnych o wysokiej trwałości (NCBR, Budimex S.A., 2019–2022)
- Optymalizacja konstrukcji asfaltowej nawierzchni drogi dzięki zastosowaniu asfaltów modyfikowanych (Lotos Asphalt Sp. z o.o., Orlen Asphalt Sp. z o.o., Budimex S.A., 2019–2020)
- RID-25 – Asfalty drogowe i modyfikowane w polskich warunkach klimatycznych (NCBR, GDDKiA, 2015–2018)
- InnGA – Destrukt: Innowacyjna technologia mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem materiału z recyklingu nawierzchni asfaltowej (NCBR, Budimex S.A., 2015–2018)
- Opracowanie i wdrożenie innowacyjnej, przyjaznej środowisku technologii modyfikacji asfaltów drogowych gumą (Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, Strabag, 2012–2013)

### OFEROWANE USŁUGI

- badania laboratoryjne materiałów drogowych
- projektowanie mieszanek mineralno-asfaltowych do nawierzchni drogowych i lotniskowych
- projektowanie konstrukcji nawierzchni drogowych i lotniskowych oraz wzmocnień nawierzchni asfaltowych i betonowych
- opracowywanie i wdrażanie nowych technologii w drogownictwie
- ekspertyzy naukowo-techniczne nawierzchni drogowych
- nadzór i doradztwo przy wykonywaniu badań, projektów i realizacji nawierzchni drogowych
- analizy przyczyn uszkodzeń nawierzchni drogowych
- realizacja projektów badawczych z partnerami przemysłowymi

### WYBRANE OSIĄGNIĘCIA

- Nagroda Naukowa Politechniki Warszawskiej za szczególne osiągnięcia uwieńczone transferem prac naukowych i technicznych na potrzeby gospodarki (2014)
- Patent: Asphalt fluksowany i sposób otrzymywania asfaltu fluksowanego (PL 214138 B1)
- Patent: Konstrukcja nawierzchni drogowej o podwyższonej trwałości zmęczeniowej (PL 226747)
- Patent: Urządzenie do pomiaru stabilności magazynowania asfaltów, modyfikowanych polimerami, gumą lub mieszaniną modyfikatorów (PL 226899)





# ZESPÓŁ RECYKLINGU I ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU W DROGOWNICTWIE

POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA ŁĄDOWA I TRANSPORT

#RECYKLING #ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ #KRUSZYWO  
 #BUDOWNICTWO ZRÓWNOWAŻONE #DESTRUKT ASFALTOWY  
 #ASFALT #BETON #LCA #GOSPODARKA OBIEGU ZAMKNIĘTEGO  
 #BUDOWA DRÓG #NAWIERZCHNIA DROGOWA #KONSTRUKCJA DROGOWA

Interdyscyplinarny Zespół Badawczy działa w ramach Instytutu Dróg i Mostów (Zakładów Technologii Budowy Dróg oraz Inżynierii Transportowej i Geodezji) na Wydziale Inżynierii Łądowej PW. Główny obszar prac badawczych Zespołu to zagadnienia zrównoważonego rozwoju w budownictwie drogowym. Zespół prowadzi prace badawcze i wdrożeniowe w zakresie recyklingu materiałów konstrukcyjnych i zastosowania biomateriałów do budowy dróg.

Zespół specjalizuje się w badaniach mieszanek mineralno-asfaltowych zawierających destrukty i granulaty asfaltowe (RAP) oraz podbudów drogowych zawierających kruszywo z rozbiórki konstrukcji budowlanych (C&DW). Dodatkowo, prowadzi interdyscyplinarne badania z zakresu wtórnego wykorzystania materiałów konstrukcyjnych w budownictwie infrastrukturalnym, tj. w zakresie zagospodarowania materiałów ubocznej produkcji budowlanej. W ramach prowadzonej działalności Zespół wykonuje również analizy ekonomiczne i środowiskowe cyklu życia (LCA i LCCA) materiałów i konstrukcji drogowych.

Zespół posiada wieloletnie doświadczenie we współpracy z dużymi krajowymi oraz międzynarodowymi podmiotami sektora budowlanego i petrochemicznego, w ramach której powstało wiele unikatowych rozwiązań i wdrożeń (m.in. wspólne projekty badawczo-rozwojowe z Budimex, Eurovia, Strabag, Mostostal Warszawa, Acciona, GDDKiA oraz LOTOS Asphalt i ORLEN Asphalt).

Członkowie Zespołu współpracują z krajowymi organizacjami branżowymi takimi jak Polskie Stowarzyszenie Wykonawców Nawierzchni Asfaltowych (PSWNA), Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP (SITK) oraz są członkami podkomitetu ds. Asphaltów przy PKN. Współpracują także z międzynarodowymi organizacjami i grupami badawczymi takimi jak TRB, PIARC – World Road Association oraz RILEM – TC 264-RAP: Asphalt Pavement Recycling.

## KONTAKT

dr hab. inż. Jan Król, prof. uczelni  
 dr hab. inż. Karol Kowalski, prof. uczelni  
 jan.krol@pw.edu.pl, karol.kowalski@pw.edu.pl  
 (+48) 22 234 56 74; (+48) 22 234 65 04  
 www.il.pw.edu.pl/instytut-drog-i-mostow

## INFRASTRUKTURA BADAWCZA

- LABORATORIUM SPECJALISTYCZNE:
  - charakterystyka właściwości technicznych materiałów budowlanych i drogowych pochodzących z ubocznej produkcji budowlanej
  - badanie właściwości reologicznych lepiszczy i mieszanek mineralno-asfaltowych
  - badanie budowy wewnętrznej materiałów i kompozytów asfaltowych w zakresie ich jednorodności oraz powstawania deformacji i propagacji spękań
- LABORATORIUM OBLICZENIOWE:
  - ocena efektywności ekonomicznej technologii i rozwiązań konstrukcyjnych stosowanych w drogownictwie
  - ocena skutków środowiskowych zastosowania w drogownictwie nowych materiałów i technologii
  - analiza budowy wewnętrznej i struktury drogowych materiałów kompozytowych

## PATENTY

- Urządzenie do pomiaru stabilności magazynowania asfaltów modyfikowanych polimerami, gumą lub mieszaniną modyfikatorów (PL 226899 B1)
- Sposób wytwarzania lepiszcza asfaltowego (PL 228124 B1)



## OFEROWANE USŁUGI

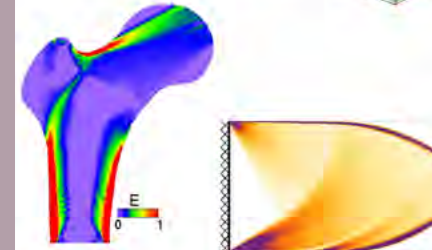
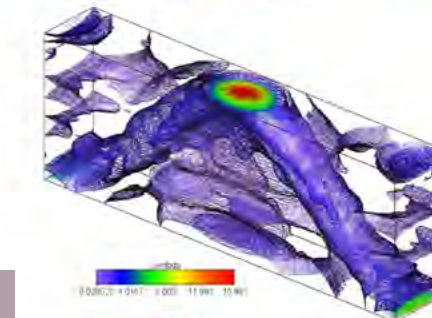
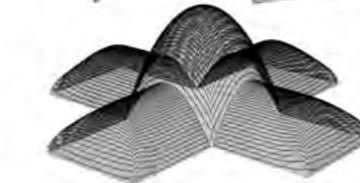
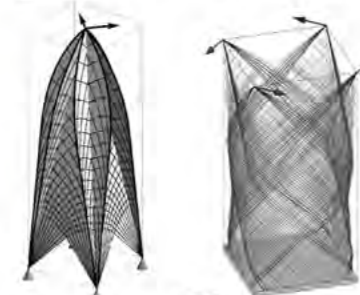
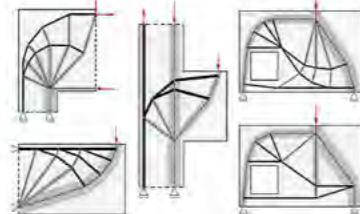
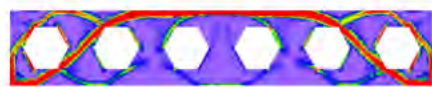
- ocena i wybór optymalnych technologii przetwarzania materiałów budowlanych w drodze recyklingu
- badania właściwości materiałów z recyklingu nawierzchni drogowych
- definiowanie nowych technologii zagospodarowania materiałów wtórnych w budownictwie drogowym
- opracowanie nowych technologii odzysku i wykorzystania materiałów ubocznej produkcji budowlanej w zakresie:
  - recyklingu mieszanek mineralno-asfaltowych w technologii na gorąco i na zimno
  - recyklingu mieszanek mineralno-asfaltowych na zimno z wykorzystaniem emulsji asfaltowych
  - wykorzystania tworzyw sztucznych, gumy odpadowej oraz biokomponentów
  - technologii mieszanek mineralno-asfaltowych
  - technologii modyfikacji lepiszczy asfaltowych
- analiza efektywności ekonomicznej i skutków środowiskowych w zakresie nowych materiałów i technologii drogowych

## WYBRANE PROJEKTY

- Opracowanie innowacyjnej technologii mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE+) o zwiększonym module sztywności z wykorzystaniem materiałów z recyklingu do warstwy podbudowy o podatnym charakterze pracy w konstrukcji drogowej (EUROVIA S.A., 2018–2020)
- Destrukt: Innowacyjna technologia mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem materiału z recyklingu nawierzchni asfaltowej – InnGA (NCBR INNNOTECH w konsorcjum, 2015–2018)
- Use of eco-friendly materials for a new concept of Asphalt Pavements for a Sustainable Environment – APSE (7 PR UE w konsorcjum, 2014–2017)
- Ocena wpływu zastosowania przyjaznych dla środowiska lepiszczy gumowo-asfaltowych produkowanych w technologii Grupy Lotos S.A. na właściwości drogowych mieszanek mineralno-asfaltowych (Grupa Lotos S.A., 2011–2013)
- Przyjazne dla środowiska mieszanki mineralno-asfaltowe na ciepło jako nowoczesne rozwiązanie technologiczne zwiększające wydajność budowy nawierzchni asfaltowych – MMAC (grant celowy MNiSW w konsorcjum, 2010–2012)

The background of the image shows a construction site. On the right side, there is a tall, yellow tower crane against a clear blue sky. Below the crane, the steel skeleton of a building is visible, consisting of numerous vertical and horizontal beams. The left side of the image is a plain white background. A vertical teal-colored bar runs down the center-right of the image, partially overlapping the construction site. The text is centered within this teal bar.

**INSTYTUT INŻYNIERII  
BUDOWLANEJ**



# ZESPÓŁ OPTYMALIZACJI MATERIAŁÓW I KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH

POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA LĄDOWA I TRANSPORT

#OPTYMALIZACJA TOPOLOGII KONSTRUKCYJNEJ #DRUK PRZESTRZENNY  
#OPTYMALIZACJA WIELOKRYTERIALNA #KONSTRUKCJE KOMPOZYTOWE  
#OPTYMALNE MODUŁY SPRĘŻYSTE #KONSTRUKCJE MICHELLA  
#MINIMALIZACJA PODATNOŚCI #KONSTRUKCJE W PEŁNI WYŁĘŻONE  
#PROJEKTOWANIE PLASTYCZNE #PRZEKRYCIA PRAGERA

Pracownicy Zespołu są zatrudnieni na Wydziale Inżynierii Lądowej PW, w Instytucie Inżynierii Budowlanej w Zakładzie Mechaniki Budowli i Zastosowań Informatyki.

Zespół stworzył wiele oryginalnych programów komputerowych, rozwiązujących wybrane klasy zadań optymalnego projektowania konstrukcji inżynierskich. Optymalne projektowanie dotyczy topologii konstrukcyjnej, a nie wymiarów, przez co nawiązuje do najnowszych koncepcji kreowania rozwiązań innowacyjnych. Poszukiwana jest konstrukcja, układ połączeń jej elementów oraz lokalne cechy materiałowe – optymalizacja topologiczna wprowadza cechy optymalnej anizotropii.

Zespół utrzymuje stałe kontakty z Wydziałem Inżynierii Lądowej w Sheffield, Politechniką w Lotaryngii, Wydziałem Matematycznym w Tulonie, firmą budowlaną S.O.M. w Chicago oraz IBS PAN w Warszawie. Kierownik Zespołu, jako przewodniczący Sekcji Optymalizacji Komitetu Mechaniki PAN, koordynuje wiele działań Zespołu w ramach prac badawczych wykonywanych w skali kraju.

## KONTAKT

prof. dr hab. inż. Tomasz Lewiński  
tomasz.lewinski@pw.edu.pl  
(+48) 22 234 63 79  
<http://zmbizi.il.pw.edu.pl/>

## INFRASTRUKTURA BADAWCZA

- program tworzący konstrukcje Michella (2D, 3D)
- programy tworzące przekrycia Pagera
- programy tworzące optymalne rozkłady modułów sprężystych o danych cechach anizotropowych
- program optymalnego rozkładu dwu materiałów bazujący na interpolacji materiałowej GRAMP

## WYBRANE PROJEKTY

- Scalenie zagadnień projektowania optymalnego topologii konstrukcyjnej oraz optymalnego wyboru charakterystyk materiałowych. Podstawy teoretyczne i metody numeryczne (NCN, OPUS 17, 2020–2022)
- Optymalizacja topologiczna konstrukcji inżynierskich. Ujęcie syntetyzujące metody: projektowania anizotropii z wolnego wyboru, projektowania materiałów niejednorodnych oraz metodę siatek typu Michella (NCN, OPUS 11, 2014–2017)
- Optymalizacja topologiczna konstrukcji inżynierskich. Jednoczesny dobór kształtu i lokalnych cech materiałowych (MNiSW, 2010–2013)
- Teoria i implementacja numeryczna zrelaksowanych sformułowań zadań optymalizacji w zagadnieniach z polami sprzężonymi. Projektowanie rozmieszczenia materiałów w konstrukcjach kompozytowych (MEN, 2006–2008)
- Zagadnienia optymalnego projektowania konstrukcji kompozytowych. Zastosowanie homogenizacji i teorii reprezentacji funkcji tensorowych (KBN, 2000–2003)

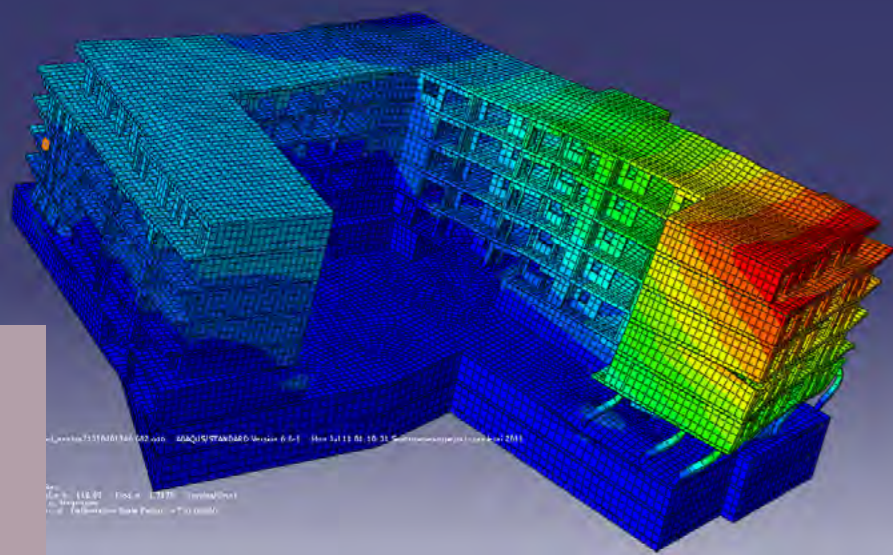
## OFEROWANE USŁUGI

- tworzenie koncepcji projektowych konstrukcji o nietypowych warunkach posadowienia lub projektowanych pod kątem nietypowej pracy statycznej
- programy do druku przestrzennego materiałów o projektowanych, zmiennych przestrzennie własnościach zastępczych
- programy tworzące sztywne i lekkie przykrycia o dużych rozpiętościach

## WYBRANE OSIĄGNIĘCIA

- Medal PTMKM im. O.C. Zienkiewicza przyznany Kierownikowi Zespołu w roku 2019 w kategorii całokształt działalności
- Nagroda Naukowa Politechniki Warszawskiej za wybitne publikacje naukowe im. Mieczysława Wolfkego przyznana Zespołowi w 2019





# ZESPÓŁ ANALIZ DYNAMICZNYCH KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH I INŻYNIERSKICH POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA ŁĄDOWA I TRANSPORT

#DRGANIA KONSTRUKCJI #ODDZIAŁYWANIA DYNAMICZNE  
 #WYMUSZENIA KINEMATYCZNE #POMIAR DRGAŃ BUDOWLI  
 #OCENA WPŁYWU DRGAŃ #DRGANIA KOMUNIKACYJNE  
 #ODPOWIEDŹ KONSTRUKCJI #ANALIZA WIDMOWA #WIBROIZOLACJA  
 #MODELOWANIE MES #OCHRONA PRZED DRGANIAMI I HAŁASEM

Pracownicy Zespołu są zatrudnieni na Wydziale Inżynierii Łądowej PW, w Instytucie Inżynierii Budowlanej w Zakładzie Mechaniki Budowli i Zastosowań Informatyki oraz w Instytucie Dróg i Mostów w Zakładzie Mechaniki Teoretycznej, Mechaniki Nawierzchni i Dróg Szynowych.

Zespół opracowuje ekspertyzy techniczne i wykonuje prace badawcze dotyczące wpływu drgań komunikacyjnych na budynki, obiekty i urządzenia infrastruktury technicznej oraz na ludzi przebywających w budynkach. Wykonywane są analizy numeryczne obiektów budowlanych i inżynierskich przy wykorzystaniu modeli MES 3D, na podstawie których dokonywana jest ocena lub prognoza wpływu drgań komunikacyjnych na konstrukcję i na ludzi.

We współpracy z Wydziałem Transportu PW prowadzone są również pomiary drgań wraz z opracowaniem wyników.

Ponadto Zespół przeprowadził wiele ekspertyz oraz wykonywał prace badawcze w zakresie analiz wpływu drgań, w tym drgań komunikacyjnych na konstrukcję i na ludzi w budynkach.

## KONTAKT

dr inż. Zofia Kozyra  
 zofia.kozyra@pw.edu.pl  
 (+48) 22 234 64 31  
<http://zmbizi.il.pw.edu.pl/>

## INFRASTRUKTURA BADAWCZA

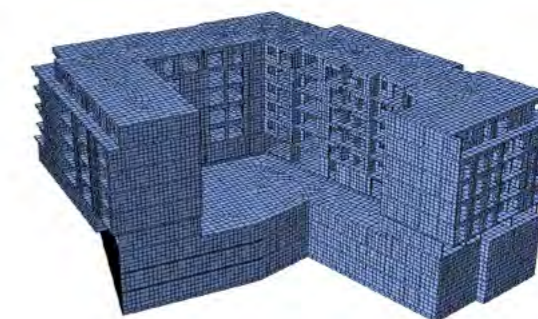
- systemy MES ABAQUS i COMSOL Multiphysics
- Wolfram Mathematica
- Matlab/Simulink
- oprogramowanie Autodesk

## WYBRANE PROJEKTY

- Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i budynków przed drganiami od ruchu kolejowego (projekt BRIK, POIR, od 2018)
- Badanie drgań układów dyskretnych i ciągłych wywołanych uderzeniami (NCN, 2010–2014)
- Przeprowadzenie badań eksperymentalnych w zakresie oddziaływania drgań oraz hałasu w obiekcie Targowa 15 zlokalizowanym na trasie eksploatowanego odcinka centralnego drugiej linii metra w Warszawie (Metro Warszawskie S.A., 2015)
- Analiza numeryczna drgań 2 budynków od zadanych wymuszeń kinetycznych (inwestor prywatny, 2015)
- Dynamiczne zarządzanie zdolnościami przesyłowymi sieci elektroenergetycznych przy wykorzystaniu innowacyjnych technik pomiarowych – SDZP (przeprowadzanie analiz dynamicznych konstrukcji wsporczych – słupów; NCBR i NFOŚiGW, GEKON, 2014–2016)
- Opracowanie wytycznych zabezpieczenia płyty boiska w celu ochrony przed oddziaływaniem obciążeń dynamicznych pochodzących od ruchów pojazdów w trakcie imprezy Monster Jam (Stadion Narodowy – PL.2012+ Sp. z o.o., 2014)

## OFEROWANE USŁUGI

- ekspertyzy techniczne dotyczące analizy wpływu drgań komunikacyjnych na konstrukcję budynków i ludzi w nich przebywających w zakresie oceny i prognozy
- pomiar drgań w budynkach i obiektach inżynierskich wraz z opracowaniem uzyskanych wyników
- analizy dynamiczne konstrukcji budowlanych i inżynierskich
- projektowanie wibroizolacji





# ZESPÓŁ DIAGNOSTYKI BUDOWLANEJ, REWITALIZACJI I KONSERWACJI OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH

POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA LĄDOWA I TRANSPORT

#KONSERWACJA OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH #DIAGNOSTYKA BUDOWLANA  
#REWITALIZACJA BUDYNKÓW ZABYTKOWYCH #EKSPERTYZY TECHNICZNE  
#KONSERWACJA ZABYTKÓW ARCHITEKTURY #MISJE KONSERWATORSKIE  
#KONSERWACJA OBIEKTÓW NA WYKOPALISKACH #BADANIA WILGOTNOŚCI MURÓW  
#OCENY STANU TECHNICZNEGO BUDYNKU #REMONTY I MODERNIZACJE BUDYNKÓW  
#KONCEPCJA REWITALIZACJI BUDYNKU #REHABILITACJA KONSTRUKCJI BUDYNKÓW

Zespół Diagnostyki Budowlanej, Rewitalizacji i Konserwacji Obiektów Zabytkowych działa w ramach Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej, w Instytucie Inżynierii Budowlanej, w Zakładzie Budownictwa Ogólnego.

Zespół zajmuje się diagnostyką budowlaną, konserwacją obiektów zabytkowych i ich rewitalizacją, wykonuje ekspertyzy techniczne budynków istniejących, w tym zabytkowych, prowadzi misje konserwatorskie na wykopaliskach archeologicznych, wykonuje badania laboratoryjne i nieniszczące konstrukcji budowlanych. Na podstawie opracowanej w sposób autorski metody, stosuje interdyscyplinarną diagnostykę budowlaną, opartą na zasadach zrównoważonego rozwoju.

W swoich działaniach współpracuje z Centrum Archeologii Śródziemnomorskiej Uniwersytetu Warszawskiego, Instytutem Archeologii Polskiej Akademii Nauk, Ośrodkiem Badań Nad Antykiem Europy Południowo-Wschodniej Uniwersytetu Warszawskiego, Stołecznym Konserwatorem Zabytków, Miastem Stołecznym Warszawa oraz firmami i osobami prywatnymi.

## KONTAKT

dr inż. Wojciech Terlikowski  
w.terlikowski@il.pw.edu.pl  
(+48) 22 234 65 56  
<https://www.il.pw.edu.pl/institut-inzynierii-budowlanej/zaklad-budownictwa-ogolnego/zespol-budownictwa-ogolnego-i-zrownowazonego-rozwoju/>

## INFRASTRUKTURA BADAWCZA

- aplikacja „Ocena zdolności rewitalizacyjnej budynków zabytkowych” – autorska metoda diagnostyki interdyscyplinarnej, opartej na zasadach zrównoważonego rozwoju

## WYBRANE PROJEKTY

- Prowadzenie misji konserwatorskich w Kerczu na Krymie (Ukraina) w ramach Polskiej Misji Archeologicznej „Tyritake” (na mocy porozumienia zawartego przez Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej z Muzeum Narodowym w Warszawie, mającego na celu wsparcie ukraińskiego programu „Bosporańskie miasto Tyritake”, 2011–2013)
- Prowadzenie misji konserwatorskich w Kom el-Dikka w Aleksandrii w Egipcie (we współpracy z Centrum Archeologii Śródziemnomorskiej Uniwersytetu Warszawskiego, w ramach Polskiej Misji Archeologicznej w Aleksandrii, 2015)
- Prowadzenie misji konserwatorskich w Tanais koło Rostowa w Rosji (w ramach współpracy naukowej z Ośrodkiem Badań nad Antykiem Europy Południowo-wschodniej Uniwersytetu Warszawskiego, 2016–2019; misja konserwatorska wchodziła w skład Polskiej Misji Archeologicznej Instytutu Archeologii UW i Ośrodka Badań nad Antykiem w Europie Południowej i Wschodniej, w ramach rosyjskiej Ekspedycji Archeologicznej Muzeum Rezerwatu Tanais)
- Ekspertyza techniczna dotycząca stanu technicznego z inwentaryzacją konstrukcyjno-architektoniczną budynku internatu sportowego Rybitwa znajdującego się na terenie COS OPO Cetniewo we Władystawowie (zleceniodawca Centralny Ośrodek Sportu, Instytucja Gospodarki Budżetowej z siedzibą w Warszawie, 2018)

## OFEROWANE USŁUGI

- ekspertyzy techniczne budynków zabytkowych
- oceny stanu technicznego budynków istniejących
- wykonywanie koncepcji rewitalizacji budynków istniejących, w tym zabytkowych
- projekty rewitalizacji konstrukcji budynków istniejących, w tym zabytkowych, projekty konserwacji, wzmocnienia, zabezpieczenia konstrukcji istniejących
- diagnostyka interdyscyplinarna budynków istniejących, w tym zabytkowych w oparciu o „Ocenę zdolności rewitalizacyjnej budynków zabytkowych”, wg zasad zrównoważonego rozwoju
- badania nieniszczące konstrukcji budowlanych, w tym badanie wilgotności, zasolenia, określanie współczynnika przenikania ciepła przez przegrody, badania termowizyjne, skanowanie konstrukcji inżynierskich
- prowadzenie misji konserwatorskich, konserwacja, zabezpieczanie, wzmocnianie konstrukcji budowlanych na wykopaliskach archeologicznych

## WYBRANE SUKCESY

- uznanie specjalistów konserwatorów ukraińskich i rosyjskich, które zaowocowało rozszerzeniem i kontynuacją współpracy
- aplikacja oparta na autorskiej metodzie diagnostyki interdyscyplinarnej budynków istniejących, opartej na zasadach zrównoważonego rozwoju





# ZESPÓŁ OPTYMALIZACJI BETONÓW OSŁONOWYCH ORAZ BUDOWY I EKSPLOATACJI OBIEKTÓW JĄDROWYCH

POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA ŁĄDOWA I TRANSPORT; FIZYKA

#OPTYMALIZACJA MATERIAŁOWA #BETON OSŁONOWY #BETON CIĘŻKI  
#PROMIENIOWANIE GAMMA #PROMIENIOWANIE NEUTRONOWE  
#PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE #OCHRONA RADIOLOGICZNA  
#BEZPIECZEŃSTWO RADIOLOGICZNE #SYMULACJE MONTE CARLO  
#ELEKTROWNIA JĄDROWA #ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO  
#SKŁADOWANIE ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH #PROCES BUDOWLANY

Zespół badawczy tworzą pracownicy Wydziału Inżynierii Łądowej PW z Zakładu Inżynierii Materiałów Budowlanych, oraz Zakładu Inżynierii Produkcji i Zarządzania w Budownictwie Instytutu Inżynierii Budowlanej oraz Zakładu Geotechniki, Mostów i Budowli Podziemnych Instytutu Dróg i Mostów.

Podstawowy zakres działalności Zespołu obejmuje optymalizację materiałową w celu uzyskania trwałych kompozytów o podwyższonych właściwościach osłonowych. W badaniach wykorzystywane są zarówno symulacje komputerowe, metody obliczeniowe jak też badania eksperymentalne (w tym również we współpracy z NCBJ w jedynym w Polsce reaktorze badawczym MARIA). Zespół zajmuje się także szeroko rozumianym procesem realizacji obiektów jądrowych od aspektów administracyjnych, przez zagadnienia oddziaływania na środowisko, aż do zapewnienia jakości i monitoringu trwałości tego typu obiektów.

Zespół wykonał kilkadziesiąt prac w ramach projektów badawczych finansowanych przez agencje rządowe oraz prac zleconych WIL PW przez reprezentantów otoczenia gospodarczego.

Wśród partnerów Zespołu należy wymienić jednostki badawcze oraz firmy z branży jądrowej w kraju: ITB, NCBJ, IPPT PAN, ZUOP i za granicą AFCEN, STUK, CEN.

## KONTAKT

dr inż. Tomasz Piotrowski  
tomasz.piotrowski@pw.edu.pl  
(+48) 22 234 64 80  
www.il.pw.edu.pl

## INFRASTRUKTURA BADAWCZA

- aparatura do badań stanu materiałów i konstrukcji obiektów jądrowych – zestawy do badań metodą ultradźwiękową i impact-echo, radar (GPR), kamera termowizyjna i inne, klaster obliczeniowy i oprogramowanie komputerowe MCNP do wykonywania obliczeń i symulacji komputerowych transportu cząstek przez materię
- stanowisko do badań mikrostruktury kompozytów osłonowych obejmujące m.in. precyzyjne przecinarki do próbek i cienkich szlifów, szlifierko-polerkę, mikroskop optyczny z aparatem cyfrowym, skaner wysokiej rozdzielczości

## WYBRANE OSIĄGNIĘCIA

- Opracowanie receptury betonu ciężkiego o podwyższonych właściwościach osłonowych przed promieniowaniem neutronowym przy zachowaniu odpowiedniej gęstości zapewniającej właściwości osłonowe przed promieniowaniem gamma oraz innych spełniających wymagania właściwościach technicznych takich jak np. wytrzymałość na ściskanie (2016; efekt realizacji projektu: Nowej generacji beton osłonowy przed promieniowaniem jonizującym (NCBR, Lider IV edycja, 2013–2016)
- Opracowanie autorskiej metody obliczania właściwości osłonowych przed promieniowaniem neutronowym uwzględniającej zarówno efekt spowalniania neutronów prędkich, jak i absorpcji neutronów termicznych (2021)

## OFEROWANE USŁUGI

- optymalizacja i charakterystyka kompozytów z uwagi na właściwości osłonowe przed promieniowaniem jonizującym
- obliczenia i symulacje komputerowe dotyczące transportu cząstek przez materię
- ocena trwałości, wykrywanie i lokalizacja wad wewnętrznych w elementach budowlanych w obiektach jądrowych – monitoring konstrukcji
- opinie w zakresie oddziaływania na środowisko obiektów jądrowych

## WYBRANE PROJEKTY

- Analiza procesu przygotowania budowy, wykonania projektu budowlanego elektrowni jądrowych pod kątem określenia materiałów, produktów i usług, których dostawy mogłyby być zrealizowane przez podmioty krajowe, analiza potencjału polskich przedsiębiorstw działających w tych branżach oraz nawiązanie współpracy z wytypowanymi podmiotami oraz określenie standardów; opracowanie warunków i specyfikacji technicznych inspekcji, testowania i odbiorów elementów konstrukcyjnych i usług budowlanych (Strategiczny projekt badawczy NCBR Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej, część zadania badawczego, 2011–2013)
- Zrównoważone materiały – zaprawy aktywowane alkalicznie – do szczególnych zastosowań osłonowych w budownictwie (NCBR, Lider XI edycja, 2021–2024)
- CEN WS 64 Phase 2 – CEN Workshop Design and Construction Code for mechanical and civil engineering for Gen II to IV nuclear facilities (CEN, 2014–2017)
- Wytyczne wspomagające działania przedsiębiorstw krajowych w budownictwie elektrowni jądrowych. Konstrukcje z betonu w obiektach energetyki jądrowej (na zlecenie Ministerstwa Gospodarki, 2018)
- Analiza konstrukcji tzw. komory testów (Test Cell) urządzenia do naświetlania wiązką wysokoenergetycznych neutronów materiałów, które będą zastosowane w konstrukcji przyszłego reaktora termojądrowego w ramach projektu „Realizacja działań opisanych w Mapie Drogowej dla Fuzji podczas Horyzontu 2020 poprzez wspólny program członków konsorcjum EUROfusion” (Horyzont 2020 nr grantu 633053–2021)





## ZESPÓŁ BADAWCZY STRUKTURALNYCH FASAD I POWŁOK METALOWO-SZKLANYCH POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA LĄDOWA I TRANSPORT

#STRUKTURY METALOWO-SZKLANE  
#ANALIZY NUMERYCZNE FASAD #TRWAŁOŚĆ ELEWACJI  
#BEZPIECZEŃSTWO UŻYTKOWANIA ELEWACJI #STRUKTURY POWŁOKOWE  
#ANALIZA PRZESZKLEŃ #SYSTEMY METALOWO-SZKLANE

Zespół składa się z pracowników Wydziału Inżynierii Lądowej PW, Instytut Inżynierii Budowlanej, Zakład Konstrukcji Betonowych i Metalowych.

Członkowie Zespołu posiadają doświadczenie w przygotowywaniu opracowań eksperckich i opinii technicznych, a także w realizacji prac badawczych oraz analiz numerycznych wraz z analizami porównawczymi.

Partnerami Zespołu są inwestorzy zainteresowani oceną stosowanych rozwiązań projektowych na realizowanych w ramach ich działalności obiektach budowlanych, w tym:

- zarządcy nieruchomości zainteresowani oceną stanu zużycia struktur elewacyjnych, oceną możliwości dalszego użytkowania przeszkleń i konstrukcji metalowo-szklanych,
- firmy wprowadzające na rynek innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne przeszkleń, detali konstrukcyjnych, węzłów i mocowań – Zespół oferuje możliwość oceny bezpieczeństwa stosowanych rozwiązań oraz trwałości związanej ze zmęczeniem materiałowym; wyznacza również lokalne karby naprężeń, a także dokonuje analizy wpływu zjawisk stateczności globalnej i lokalnej wprowadzanych na rynek rozwiązań konstrukcyjnych,
- firmy montażowe w zakresie oceny prawidłowości rozwiązań konstrukcyjnych, bezpieczeństwa stosowania realizowanych przeszkleń – Zespół oferuje możliwość oceny rozwiązań projektowych i wykonawczych – prowadzenie badań laboratoryjnych, analiz numerycznych oraz analiz porównawczych.

### KONTAKT

dr inż. Maciej Cwyl  
maciej.cwyl@pw.edu.pl  
(+48) 22 234 65 56  
www.il.pw.edu.pl/instytut-inzynierii-budowlanej/#Biuro

### INFRASTRUKTURA BADAWCZA

- urządzenia do badań podstawowych parametrów materiałowych
- maszyny wytrzymałościowe do badań elementów budowlanych
- przestronne stanowisko badawcze do badań elementów budowlanych w złożonym stanie obciążenia – Zespół dysponuje możliwościami wykonywania powtarzalnych obciążeń cyklicznych oraz o dynamicznej charakterystyce obciążenia; stanowisko umożliwia modelowanie zjawisk związanych ze zniszczeniem elementów w zakresie zmęczenia materiałowego

### WYBRANE REALIZACJE

W zakresie realizowanych ekspertyz i prac zespołu realizowane były prace na obiektach takich jak:

- Centrum Handlowe „Złote Tarasy” w Warszawie
- Galeria Handlowa „Renoma” we Wrocławiu
- wysokościowiec „Skyliner” w Warszawie
- Centrum Handlowe „Klif” w Warszawie
- Centrum Handlowe „Koszyki” w Warszawie
- Biurowiec „PZU Tower” w Warszawie

### OFEROWANE USŁUGI

- opinie techniczne rozwiązań projektowych i wprowadzanych na rynek rozwiązań prototypowych
- ekspertyzy oceniające stan konstrukcji wraz z propozycjami napraw uszkodzeń i wad powstałych na analizowanej konstrukcji
- orzeczenia techniczne o stanie zużycia konstrukcji metalowo-szklanych, ich zgodności z normami i przepisami technicznymi w zakresie budownictwa





## ZESPÓŁ BADAWCZY CLOSED-CYCLE CONCRETE- -LIKE COMPOSITES FO(U)R CLIMATE

POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA LĄDOWA I TRANSPORT

#INŻYNIERIA MATERIAŁOWA #REDUKCJA ŚLADU WĘGLOWEGO  
#MODYFIKACJE MATERIAŁOWE #ZRÓWNOWAŻONY BETON  
#ZAGOSPODAROWANIE ODPADÓW #ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ  
#MODYFIKOWANE KOMPOZYTY CEMENTOWE #TRWAŁOŚĆ

Zespół Closed-cycle Concrete-like Composites FO(u)R Climate stanowi część Zakładu Inżynierii Materiałów Budowlanych Wydziału Inżynierii Lądowej PW.

Celem Zespołu jest prowadzenie prac badawczo-rozwojowych w zakresie zastosowania materiałów odpadowych i produktów ubocznych w produkcji materiałów i wyrobów budowlanych. Ideą prac jest wykorzystanie opadów w celu wytworzenia materiałów o zoptymalizowanej trwałości, z jednoczesnym zagospodarowaniem odpadów i minimalizacją śladu węglowego. Badania obejmują także ograniczenie zużycia zasobów naturalnych, w tym wody oraz złóż mineralnych.

W ramach dotychczasowej działalności Zespołu zrealizowano kilkanaście projektów badawczych, w tym międzynarodowych, a także analizy i ekspertyzy na rzecz przemysłu. Zespół w swojej codziennej działalności prowadzi szeroko zakrojoną współpracę z wieloma partnerami przemysłowymi, uczelniami i jednostkami badawczymi.

### KONTAKT

dr inż. Maja Kępniak  
maja.kepniak@pw.edu.pl  
(+48) 22 234 62 82  
www.zimb.il.pw.edu.pl

### INFRASTRUKTURA BADAWCZA

- aparatura do kompleksowej oceny składników kompozytów, w tym aparatura pozwalająca na badania materiałów pylastych, np. laserowy analizator uziarnienia Horiba
- aparatura do zaawansowanych badań cech technologicznych, w tym reologicznych: żelometr GELNORM, reometr, aparatura do analizy skurczu, urządzenie AutoLab
- aparatura pozwalająca na ocenę cech mechanicznych kompozytów: Instron 5667 oraz Controls MC66
- laboratorium przeprowadzające badania trwałości kompozytów w warunkach agresji chemicznej oraz środowiskowej, wyposażone między innymi w: automatyczną komorę karbonatyzacyjną, komorę do badania mrozodporności, komorę solną do badań materiałów w środowisku agresywnym, aparaturę do oceny wodoszczelności
- LABORATORIUM BADAŃ MIKROSTRUKTURY METODAMI WIZUALNYMI
- aparatura pozwalająca na dokonanie pomiarów metodami nieniszczącymi, w tym mobilny zintegrowany system pomiarowy UIR Skaner

### PATENTY

- Środek zwiększający trwałość i szczelność betonu konstrukcyjnego (PL 215644)
- Sposób modyfikacji betonów i zapraw żywicznych (PL 414322)

### OFEROWANE USŁUGI

- projektowanie, modelowanie i optymalizacja materiałowa kompozytów cementowych, polimerowo-cementowych i polimerowych
- opracowanie i wdrażanie technologii materiałowych na skalę przemysłową
- badania i analizy ekologicznych materiałów stosowanych w budownictwie
- badania i analizy nad wykorzystaniem produktów ubocznych i odpadów w inżynierii materiałów budowlanych
- ocena trwałości materiałów i wyrobów budowlanych

### WYBRANE PROJEKTY

- Kompleksowe wykorzystanie odpadu powstającego podczas produkcji lub stosowania perlitu ekspandowanego (NCBR, 2012–2015)
- Żywiczne betony popiołowe (MNiSW, 2008–2010)
- Betony na cementach z popiołem lotnym z kotłów fluidalnych (MNiSW 2006–2011)
- Zrównoważone kompozyty polimerowo-cementowe (MNiSW, 2013–2014)
- Opracowanie technologii betonu o zerowej emisji CO<sub>2</sub> (NCN, 2011–2012)
- Ocena przydatności odpadowych pyłów mineralnych z odpylania kruszywa jako składnika betonu (PW, 2016–2017)



# ZESPÓŁ BADAWCZY INNOWACYJNYCH MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH FRP W INŻYNIERII BUDOWLANEJ POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA LĄDOWA I TRANSPORT

#PRĘTY ZBROJENIOWE FRP #PRĘTY ZBROJENIOWE HFRP  
#BELKI ZBROJONE FRP #WŁASNOŚCI FIZYKO-MECHANICZNE HFRP  
#SŁUPY ZBROJONE FRP #ODPORNOŚĆ OGNIOWA FRP

Zespół Badawczy składa się z pracowników Wydziału Inżynierii Lądowej PW, Instytutu Inżynierii Budowlanej, Zespołu Konstrukcji Betonowych i Metalowych.

Celem Zespołu jest ocena przydatności prętów kompozytowych FRP (Fiber Reinforced Polymer) ze szczególnym uwzględnieniem ich hybrydyzacji (HFRP) jako niemetalicznego zbrojenia wybranych elementów betonowych stosowanych w obiektach infrastrukturalnych.

Podjęcie tematu ma zarówno walor poznawczy, jak i praktyczny. Jest przedmiotem zainteresowań wielu partnerów przemysłowych. Utrzymanie i naprawa infrastruktury stanowią jedno ze współczesnych wyzwań cywilizacyjnych. Podczas użytkowania konstrukcje betonowe ulegają uszkodzeniom pod wpływem różnych czynników, np. na skutek uderzenia, przeciążenia, osiadania, wibracji, a także pod wpływem oddziaływań środowiska. Problem ten dotyczy przede wszystkim nawierzchni drogowych (bitumicznych i betonowych), mostów, wiaduktów, tuneli i podziemnych garaży. Zapewnienie odpowiedniej trwałości budowlom stanowi poważny problem techniczny. Z tego względu od kilkunastu lat Zespół prowadzi prace nad opracowaniem rozwiązania alternatywnego w stosunku do zbrojenia stalowego w postaci zbrojenia niemetalicznego.

Dotychczasowymi partnerami i klientami Zespołu były liczne firmy, w tym: Orlen S.A., PKP Energetyka, Strabag S.A., GDDKiA oraz Tramwaje Warszawskie Sp. z o.o.

## KONTAKT

dr inż. Marek Urbański  
prof. dr hab. inż. Elżbieta Szmigiera  
mgr inż. Kostiantyn Protchenko  
m.urbanski@il.pw.edu.pl  
(+48) 22 234 65 78

## INFRASTRUKTURA BADAWCZA

- maszyna wytrzymałościowa horyzontalna
- piec do badań elementów betonowych w wysokich temperaturach
- urządzenie do badania wytrzymałości na ścinania prętów FRP
- urządzenie do badania wytrzymałości ściskania prętów FRP

## WYBRANE PROJEKTY

- Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju (POIG, 2012–2013)
- Innowacyjne hybrydowe zbrojenie kompozytowe FRP do konstrukcji infrastrukturalnych o podwyższonej trwałości (NCBR, PBS III, 2015–2018)

## ZGŁOSZENIE PATENTOWE

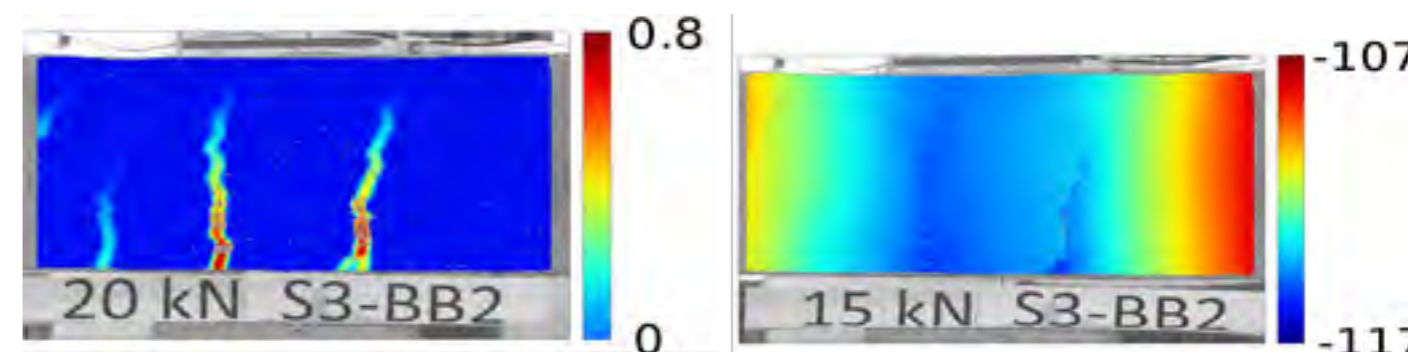
- Łączniki mechaniczne do mocowania elementów warstwowych konstrukcji betonowych (P.412463, 2015)

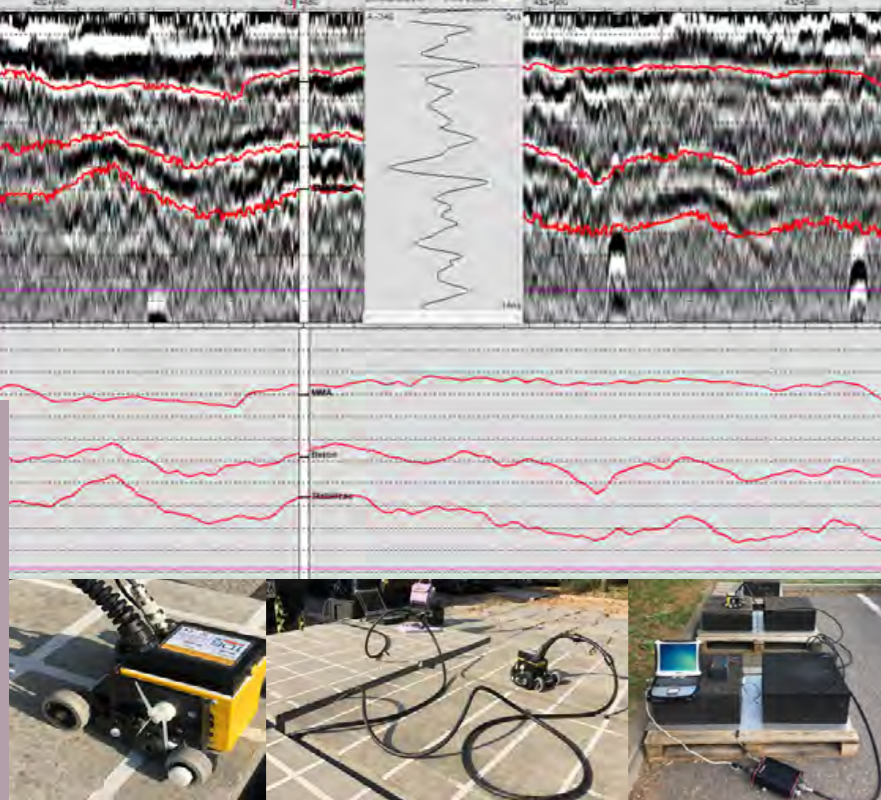
## OFEROWANE USŁUGI

- badanie własności fizyko-mechanicznych zbrojenia kompozytowego FRP
- badanie zginanych i ściskanych elementów betonowych zbrojonych FRP
- badanie zbrojenia FRP w warunkach wysokich temperatur
- badanie elementów betonowych ze zbrojeniem FRP w warunkach podwyższonych temperatur
- ekspertyzy z zakresu opracowania i analizy wyników badań elementów betonowych zbrojonych FRP
- ekspertyzy i analizy elementów betonowych z wykorzystaniem Metody Cyfrowej Korelacji Obrazu

## OPRACOWANE METODYKI (2014-2020)

- Metodyka oceny parametrów wytrzymałościowych zbrojenia FRP
- Metodyka analizy nośności elementów konstrukcji ze zbrojeniem FRP z wykorzystaniem Cyfrowej Korelacji Obrazu (DIC)
- Metodyka analizy parametrów fizyko-mechanicznych w warunkach pożarowych





## ZESPÓŁ DIAGNOSTYCZNYCH METOD NIENISZCZĄCYCH I ANALIZ MIKROSTRUKTURALNYCH W INŻYNIERII LĄDOWEJ POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA LĄDOWA I TRANSPORT

#DIAGNOSTYKA OBIEKTÓW BUDOWLANYCH #METODY NIENISZCZĄCE (NDT)  
#METODY ULTRADŹWIĘKOWE #METODA GEORADAROWA (GPR)  
#METODA IMPACT-ECHO #LOKALIZACJA ZBROJENIA  
#SZACOWANIE GRUBOŚCI ELEMENTÓW #DETEKCJA WAD WEWNĘTRZNYCH  
#OCENA PRZYCZEPNOŚCI METODAMI NIENISZCZĄCYMI I MAŁONISZCZĄCYMI  
#CHARAKTERYSTYKA MIKROSTRUKTURY KOMPOZYTÓW  
#METODY STEREOLOGII I FRAKTOGRAFII ILOŚCIOWEJ  
#AUTOMATYCZNA ANALIZA OBRAZU

POWRÓT DO SPISU TREŚCI

38

Zespół badawczy tworzą pracownicy Zakładu Inżynierii Materiałów Budowlanych Instytutu Inżynierii Budowlanej oraz Zakładu Geotechniki, Mostów i Budowli Podziemnych Instytutu Dróg i Mostów na Wydziale Inżynierii Lądowej PW.

Podstawowy zakres działalności Zespołu obejmuje zastosowanie metodyki badań nieniszczących oraz analizy relacji między mikrostrukturą a właściwościami technicznymi materiałów budowlanych w projektach badawczych oraz pracach dla otoczenia gospodarczego, ukierunkowanych na diagnostykę obiektów budowlanych oraz monitorowanie ich stanu technicznego, szczególnie podsadzek przemysłowych i nawierzchni drogowych.

Zespół wykonał kilkadziesiąt prac w ramach projektów badawczych finansowanych przez agencje rządowe oraz prac zleconych.

Partnerami Zespołu są jednostki badawcze oraz firmy z branży infrastruktury drogowej w kraju i za granicą, w tym: ITB, University of Liege, University of Brno, TPA Sp. z o.o., a także GPR24.COM.PL. W badaniach wykorzystywane są nowoczesne metody badań nieniszczących, w szczególności metoda georadarowa, impact-echo i ultradźwiękowa, wspomagane zaawansowaną analizą sygnału oraz analizą mikrostruktury.

### KONTAKT

prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz  
andrzej.garbacz@pw.edu.pl  
(+48) 22 234 64 89  
dr Anna Lejzerowicz  
anna.lejzerowicz@pw.edu.pl  
(+48) 22 234 64 56  
www.il.pw.edu.pl

### INFRASTRUKTURA BADAWCZA

- zestawy do badań metodą impact-echo DOCTER prod. GERMANN INSTRUMENTS
  - mobilny system do badań metodą georadarową (GPR) prod. IDS, wraz z oprogramowaniem
  - ultradźwiękowy defektoskop EPOCH4 prod. Panametrics z oprogramowaniem wspomagającym cyfrową rejestrację sygnału
  - autorskie programy w środowisku MATLAB do analizy sygnałów zarejestrowanych metodami NDT
  - stanowisko do wyznaczania charakterystyki mikrostruktury kompozytów betonopodobnych obejmujące m.in. szlifierko-polerkę STRUERS, mikroskop optyczny z aparatem cyfrowym, skaner wysokiej rozdzielczości
  - przecinarka STRUERS LABOTOM 5 z układem chłodzącym, do przygotowywania (cięcia) próbek materiałów budowlanych, w tym betonu, stali itp.
  - przecinarka LOGITECH do przygotowywania cienkich szlifów
  - autorskie programy w środowisku MATLAB do automatycznej analizy obrazu mikrostruktury
- W ramach podpisanych porozumień ramowych o współpracy z firmami TPA Sp. z o.o. oraz GPR24.COM.PL Zespół ma możliwość rozszerzenia dostępnej oferty sprzętowej o najnowocześniejszą aparaturę badawczą.

### WYBRANE OSIĄGNIĘCIE

- UIR-skaner wytypowany przez NCBR do akcji „Success story”

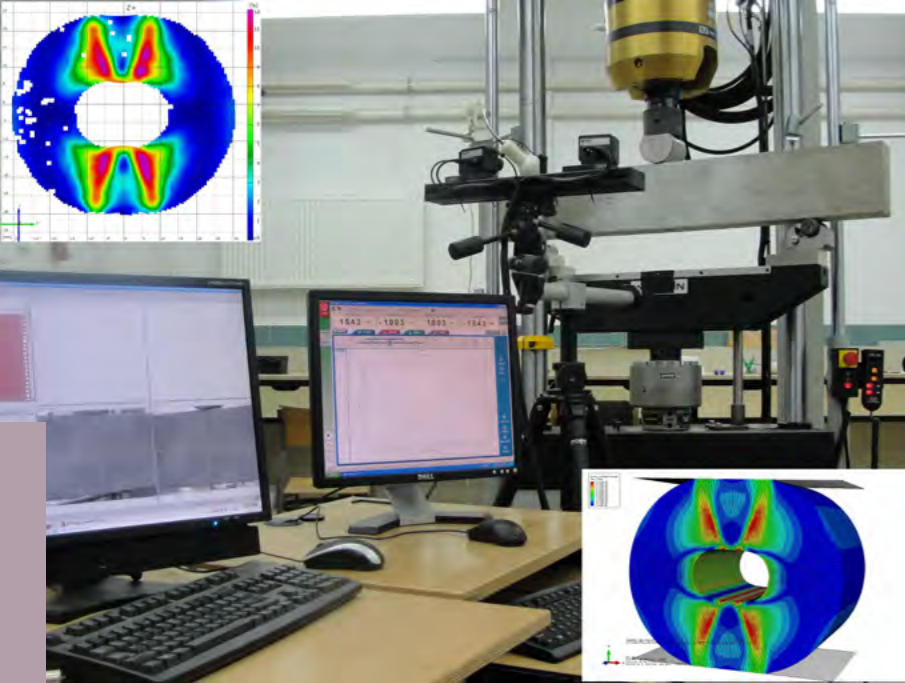
### OFEROWANE USŁUGI

- nieniszcząca ocena grubości elementów budowlanych, np. posadzki, nawierzchnie drogowe przy dostępie z jednej strony
- wykrywanie i lokalizacja wad wewnętrznych w elementach budowlanych
- lokalizacja zbrojenia w elementach betonowych
- analiza wpływu mikrostruktury na właściwości techniczne i trwałość materiałów budowlanych
- nieniszcząca ocena stanu technicznego materiału w konstrukcji
- nieniszczące badania podłoża budowlanego z wykorzystaniem metody georadarowej m.in. inwentaryzacja infrastruktury podziemnej

### WYBRANE PROJEKTY

- UIR-skaner – mobilny, zintegrowany skaner do diagnostyki elementów betonowych za pomocą metod nieniszczących (NCBR, projekt badawczy PW, 2010–2014)
- Wykorzystanie analizy falkowej do oceny przyczepności w układach naprawczych (MNiSW, projekt badawczy PW, 2004–2006)
- Improvement of signal interpretation for an adhesion evaluation in repair system investigated with impact-echo and geo-radar (University of Liege i PW, projekt badawczy w ramach Umowy międzyrządowej między Polską a Belgią, Region Walonia-Bruksela, 2008–2009)
- Ultrasonic Evaluation Methods Applicable to Concrete Polymer Composites, Maria Skłodowska-Curie Poland-US Joint Fund II (MEN/NIST 97-299, wspólnie z: National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA, 1998–2001)
- Lokalizacja zbrojenia stalowego i ocena jednorodności betonu w wybranych miejscach elementów prowadnic betonowych tunelu aerodynamicznego (dla Instytutu Lotnictwa, 2014)
- Synergia i wykorzystanie dużych zbiorów danych z zintegrowanej mobilnej platformy mapowania wyposażonej w LIDAR i GPR (Inicjatywa Doskonałości-Uczelnia Badawcza –IDUB, konkurs CyberiAda-2 –Junior); projekt realizowany we współpracy pomiędzy Wydziałem Geodezji i Kartografii PW oraz Wydziałem Inżynierii Lądowej PW, 2021–2022)

39



# ZESPÓŁ MECHANIKI MATERIAŁÓW, ANALIZY DOŚWIADCZALNEJ I NUMERYCZNEJ KONSTRUKCJI

POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA LĄDOWA I TRANSPORT

#BADANIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE #BADANIA MATERIAŁOWE  
#BADANIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE STALI #OBLICZENIA MES  
#BADANIA ELEMENTÓW KONSTRUKCJI #MECHANIKA LINIOWA  
#MECHANIKA NIELINIOWA #NIESTANDARDOWE BADANIA ELEMENTÓW  
#EKSPERTYZY KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH #REOLOGIA  
#HIPERSPRĘŻYSTOŚĆ #MECHANIKA MATERIAŁÓW ELASTOMEROWYCH  
#NOŚNOŚĆ GRANICZNA KONSTRUKCJI #MECHANIKA KONSTRUKCJI MUROWYCH

Zespół Mechaniki Materiałów, Analizy Doświadczalnej i Numerycznej Konstrukcji działa w ramach Zakładu Wytrzymałości Materiałów, Teorii Sprężystości i Plastyczności będącego jednostką organizacyjną w Instytucie Inżynierii Budowlanej na Wydziale Inżynierii Lądowej PW.

Zespół prowadzi badania teoretyczne i doświadczalne w dziedzinie mechaniki konstrukcji i materiałów inżynierskich ze szczególnym uwzględnieniem teorii relacji konstytutywnych i modelowania MES. Wśród realizowanych badań na szczególną uwagę zasługują zagadnienia:

- badania doświadczalne i wyznaczanie parametrów materiałowych różnych materiałów, zwłaszcza metali budowlanych,
- badania i analiza relacji konstytutywnych hipersprężystości (elastomery, materiały zbrojone włóknami) i nieliniowej sprężystości małych odkształceń (materiały kompozytowe, beton),
- badania i analiza materiałów lepko-sprężystych, pełzanie i relaksacja (polimery, materiały drogowe),
- zastosowanie programów metody elementów skończonych (np. ABAQUS) do rozwiązywania zagadnień brzegowo-początkowych mechaniki konstrukcji i materiałów inżynierskich,
- mechanika konstrukcji cienkościennych.

## KONTAKT

dr hab. inż. Marcin Gajewski, prof. uczelni  
marcin.gajewski@pw.edu.pl  
(+48) 22 234 51 64  
www.marcingajewski.il.pw.edu.pl

Zespół wykonał szereg badań materiałowych dla firm budujących autostrady i metro warszawskie (Polaqua, Astaldi, Soletanche, ArcelorMittal, C9 Group, Marbud) oraz wykonał wiele niestandardowych badań elementów cienkościennych, m.in. aluminiowych elementów konsoli do mocowania elewacji (dla firmy BSP System). Zespół współpracuje z innymi jednostkami organizacyjnymi Wydziału i Uczelni, ostatnio m.in. przy badaniach elementów tłumiących hałas i drgania w konstrukcjach kolejowych realizowanych w ramach inicjatywy BRIK.

## INFRASTRUKTURA BADAWCZA

- w pełni wyposażone laboratorium wytrzymałościowe
- maszyny wytrzymałościowe do badań statycznych, dynamicznych i zmęczeniowych (Instron 3382 i Instron 8802)
- system optycznej korelacji obrazu GOM Aramis wraz z firmowym oprogramowaniem
- aparatura uzupełniająca w postaci licznych czujników do pomiaru przemieszczeń i odkształceń, współpracująca z systemem akwizycji danych firmy National Instruments i środowiskiem LabView
- oprogramowanie metody elementów skończonych ABAQUS wraz z autorskimi implementacjami własnych modeli materiałów

## OFEROWANE USŁUGI

- standardowe i niestandardowe badania doświadczalne metali i wykonanych z nich elementów konstrukcji
- standardowe i niestandardowe badania materiałów elastomero-wych, w tym tłumiących drgania
- niestandardowe badania materiałów kruchych (beton, beton ze zbrojeniem rozproszonym)
- badania przy wykorzystaniu metod standardowych oraz optycznej korelacji obrazu
- wyznaczanie parametrów materiałowych różnych materiałów, zwłaszcza metali budowlanych
- analiza materiałów nieliniowo sprężystych (materiały kompozytowe, beton) i hipersprężystych (elastomery, materiały zbrojone włóknami) przy użyciu metod analitycznych i numerycznych
- analiza materiałów lepko-sprężystych (polimery, materiały drogowe) przy użyciu metod analitycznych i numerycznych
- modelowanie numeryczne nietypowych elementów konstrukcyjnych
- ekspertyzy budowlane

## WYBRANE PROJEKTY

- Wykonanie badań wytrzymałościowych dostarczonych elementów systemu zamocowań elewacji (BSP Bracket Poland, 2016–2020)
- Wykonanie badań wytrzymałościowych stali na potrzeby budowy metra w Warszawie (Soletanche, Marbud, 2017–2018)
- Wykonanie badań wytrzymałościowych stali na potrzeby budowy węzła Autostrady A-2 (Polaqua, 2019–2020)
- Badania w projektach POIR BRIK – Badania i Rozwój w Infrastrukturze Kolejowej realizowanych na WIL (w realizacji)



# ZESPÓŁ PROJEKTOWANIA I BADANIA KOMPOZYTÓW FOTOKATALITYCZNYCH POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

INŻYNIERIA LĄDOWA I TRANSPORT

#BETONY FOTOKATALITYCZNE #FOTOKATALIZA  
 #REDUKCJA ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA #REDUKCJA NO<sub>x</sub>  
 #NANOMODYFIKACJA KOMPOZYTÓW CEMENTOWYCH  
 #KOMPOZYTY FOTOKATALITYCZNE #PREFABRYKATY FOTOKATALITYCZNE  
 #NANOMODYFIKACJE KOMPOZYTÓW FOTOKATALIZATORAMI  
 #OCZYSZCZANIE POWIETRZA #SAMOCZYSZCZANIE #SAMOCZYSZCZENIE  
 #SMART MATERIALS #MATERIAŁY MULTIFUNKCJONALNE

Zespół badawczy tworzą pracownicy Wydziału Inżynierii Lądowej PW z Zakładu Inżynierii Materiałów Budowlanych Instytutu Inżynierii Budowlanej. Rozpoczął swoją działalność w zakresie projektowania i badania kompozytów fotokatalitycznych w 2018 roku. Wtedy to uczestniczył we wdrożeniu w Warszawie pierwszego chodnika z nawierzchnią fotokatalityczną – w zakresie zarówno przygotowania wdrożenia popartego szeregiem badań materiałowych, jak i oceną skuteczności oczyszczania powietrza z tlenków azotu w warunkach laboratoryjnych oraz podczas dwóch kampanii pomiarowych przy tej realizacji.

Obecnie prowadzi we współpracy z Instytutem Geofizyki PAN oraz partnerem przemysłowym F.B.I. Tasbud S.A dwa projekty o walorach poznawczych, jak i praktycznych. Celem realizowanych prac jest kompleksowe opracowanie rozwiązań materiałowo-technologicznych innowacyjnych multifunkcyjnych prefabrykatów z fotokatalitycznego betonu porowatego do wykonywania wodoprzepuszczalnych nawierzchni drogowych i pieszych oraz innowacyjnych kompozytów cementowych do wykonywania samoczyszczących się prefabrykowanych elementów elewacyjnych i nawierzchniowych poprawiających jakość powietrza. Unikalne właściwości funkcjonalne powierzchni elementów budynków i nawierzchni komunikacyjnych mają być uzyskane dzięki wykorzystaniu zjawiska fotokatalizy w wyniku nanomodyfikacji składu kompozytów fotokatalizatorami.

Istotą innowacji produktowej będzie opracowanie kompozytów cementowych znacząco udoskonalonych pod względem ich właściwości fotokatalitycznych, m.in. przez zwiększenie zakresu aktywności fotokatalitycznej o pasmo promieniowania widzialnego przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej aktywności w paśmie promieniowania UV.

## KONTAKT

dr inż. Wioletta Jackiewicz-Rek  
 mgr inż. Karol Chilton  
 w.jackiewicz-rek@il.pw.edu.pl, k.chilton@il.pw.edu.pl  
 (+48) 22 234 56 91, (+48) 22 234 56 73  
 www.il.pw.edu.pl

## INFRASTRUKTURA BADAWCZA

- stanowisko badawcze do określania skuteczności oczyszczania powietrza z tlenków azotu, ozonu oraz benzenu z analizatorem NO<sub>x</sub> API T200, analizatorem O<sub>3</sub> API T400 oraz analizatorem BTX SYNOSPEC BVGC955-601
- stanowisko badawcze do oceny skuteczności samoczyszczania powierzchni
- stanowisko do wykonywania nanodispersji
- aparatura do zaawansowanych badań cech technologicznych, w tym reologicznych: żelometr GELNORM, reometr, aparatura do analizy skurczu, urządzenie AutoLab
- aparatura do kompleksowej oceny składników kompozytów, w tym materiałów pylastych, np. laserowy analizator uziarnienia Horiba
- aparatura do badania cech mechanicznych kompozytów: Instron 5667, Controls MC66
- aparatura do potwierdzania trwałości kompozytów m.in. komora karbonatyzacyjna, komory do badania mrozodporności, komora solna do badań materiałów w środowisku agresywnym, stanowisko do oceny wodoszczelności

## WYBRANE PROJEKTY

- Technologia wytwarzania innowacyjnych samoczyszczących się prefabrykowanych elementów elewacyjnych i nawierzchniowych poprawiających jakość powietrza (Strategiczny Program Badań Naukowych i Prac Rozwojowych „Nowoczesne technologie materiałowe” – TECHMATSTRATEG, 2021–2023)
- Multifunkcyjne fotokatalityczne prefabrykaty nawierzchniowe z betonu porowatego poprawiające warunki wodne i jakość powietrza (POIR 2014–2020, 2020–2023)
- Ocena możliwości wykorzystania betonowych wyrobów brukarskich o właściwościach fotokatalitycznych w kontekście oczyszczania powietrza z tlenków azotu w polskich miastach (2019)

## OFEROWANE USŁUGI

- Ocena skuteczności oczyszczania powietrza powłok i kompozytów o właściwościach fotokatalitycznych z tlenków azotu, benzenu oraz ozonu w warunkach laboratoryjnych oraz polowych według autorskiej procedury
- Ocena jakości powietrza w odniesieniu do tlenków azotu, benzenu oraz ozonu we wskazanych lokalizacjach
- Ocena skuteczności samoczyszczania powłok i kompozytów o właściwościach fotokatalitycznych w warunkach laboratoryjnych oraz polowych
- Opracowywanie składów oraz przygotowywanie nanodispersji w skali laboratoryjnej i półprzemysłowej z wykorzystaniem autorskiej instalacji
- Ocena innowacyjności oraz studia wykonalności w zakresie technologii powłok i kompozytów fotokatalitycznych
- Kompleksowa obsługa wdrożeń technologii betonu fotokatalitycznego w zakładach produkcji prefabrykatów betonowych

## WYBRANE OSIĄGNIĘCIA

- pierwsza Nagroda w konkursie inNOWacje – #kolej2023 za projekt: „Innowacyjne prefabrykaty betonowe dla polskiej kolei zmniejszające poziom zanieczyszczenia powietrza”, 2019
- wykonanie unikalnego w skali europejskiej stanowiska do kompleksowej oceny skuteczności oczyszczania powietrza przez powłoki i kompozyty fotokatalityczne z tlenków azotu, benzenu oraz ozonu





## Katalog zespołów badawczych Politechniki Warszawskiej.

### Oferta B+R Wydziału Inżynierii Lądowej PW

#### Projekt graficzny i skład:

Klaudyna Nowińska, Gabriela Hołdanowicz, Marcin Karolak, dr Aleksandra Wycisk  
Centrum Zarządzania Innowacjami i Transferem Technologii PW

#### Koordynacja:

Irena Janczewska (Wydział Inżynierii Lądowej PW)  
dr Katarzyna Modrzejewska (Centrum Zarządzania Innowacjami i Transferem Technologii PW)

#### ISBN:

978-83-964523-9-9

#### DOI:

10.32062/20211105

Wydanie 1

Warszawa, 2021



**Centrum  
Zarządzania Innowacjami  
i Transferem Technologii**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

ISBN: 978-83-964523-9-9



9 788396 452399



**Politechnika  
Warszawska**