

**TECHNICAL
TRANSACTIONS**
CIVIL ENGINEERING

**CZASOPISMO
TECHNICZNE**
BUDOWNICTWO

ISSUE 4-B (28)
YEAR 2015 (112)

ZESZYT 4-B (28)
ROK 2015 (112)

Chairman of the Cracow
University of Technology Press
Editorial Board

Jan Kazior

Przewodniczący Kolegium
Redakcyjnego Wydawnictwa
Politechniki Krakowskiej

Przewodniczący Kolegium
Redakcyjnego Wydawnictwa
Naukowych

Chairman of the Editorial Board

Józef Gawlik

Scientific Council

Jan Błachut
Tadeusz Burczyński
Leszek Demkowicz
Joseph El Hayek
Zbigniew Florjańczyk
Józef Gawlik
Marian Giżejowski
Sławomir Gzell
Allan N. Hayhurst
Maria Kušnierova
Krzysztof Magnucki
Herbert Mang
Arthur E. McGarity
Antonio Monestiroli
Günter Wozny
Roman Zarzycki

Rada Naukowa

Civil Engineering Series Editor
Editor of Issue

Marek Piekarczyk
Jolanta Gintowt

Redaktor Serii Budownictwo
Redaktor wydania

Section Editor
Native Speaker
Typesetting
Cover Design
Cover Photo

Dorota Sapek
Tim Churcher
Adam Bania
Michał Graffstein
Jan Zych

Sekretarz Sekcji
Weryfikacja językowa
Skład i łamanie
Projekt okładki
Zdjęcie na okładce

Basic version of each Technical Transactions magazine is its online version
Pierwotną wersją każdego zeszytu Czasopisma Technicznego jest jego wersja online
www.ejournals.eu/Czasopismo-Techniczne www.technicaltransactions.com www.czasopismotechniczne.pl

**Civil Engineering Series
4-B/2015**

Editor-in-Chief:

Marek Piekarczyk, Cracow University of Technology, Poland

Editorial Board:

Marek Cała, AGH University of Science and Technology, Poland
Andrzej Cholewicki, Building Research Institute, Poland
Wit Derkowski, Cracow University of Technology, Poland
Jean-François Destrebecq, French Institute for Advanced Mechanics, France
Grzegorz Dzierżanowski, Warsaw University of Technology, Poland
Andrzej Flaga, Cracow University of Technology, Poland
Dariusz Gawin, Lodz University of Technology, Poland
Jacek Gołaszewski, Silesian University of Technology, Poland
Kocsán Lajos György, University of Miskolc, Hungary
Bożena Hoła, Wrocław University of Technology, Poland
Maria E. Kamińska, Lodz University of Technology, Poland
Oleg Kapliński, Poznan University of Technology, Poland
Tadeusz Kasprowicz, Military University of Technology, Poland
Renata Kotynia, Lodz University of Technology, Poland
Robert Kowalski, Warsaw University of Technology, Poland
Mária Kozlovská, Technical University of Košice, Slovakia
Andrzej Łapko, Białystok University of Technology, Poland
Marco Menegotto, Sapienza University of Rome, Italy
Peter Mesároš, Technical University of Košice, Slovakia
Piotr Noakowski, TU Dortmund University, Germany
Andrzej Nowak, University of Michigan, United States
Zygmunt Orłowski, AGH University of Science and Technology, Poland
Hartmut Pasternak, Brandenburg University of Technology Cottbus–Senftenberg, Germany
Edyta Plebankiewicz, Cracow University of Technology, Poland
Maria Polak, University of Waterloo, Canada
Elżbieta Radziszewska-Zielina, Cracow University of Technology, Poland
Charles Rodrigues, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Tomasz Siwowski, Rzeszow University of Technology, Poland
Marcela Spišáková, Technical University of Košice, Slovakia
Zuzana Struková, Technical University of Košice, Slovakia
Maria Szerszeń, University of Nebraska – Lincoln, United States
Jolanta Tamošaitienė, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania
Alena Tažiková, Technical University of Košice, Slovakia
Balázs Tóth, University of Miskolc, Hungary
Martins Vilnitis, Riga Technical University, Latvia
Szczepan Woliński, Rzeszow University of Technology, Poland