

Trójmiejska Szkoła Doktorska Polskiej Akademii Nauk (TSD PAN), prowadzona wspólnie przez Instytut Maszyn Przepływowych PAN (IMP PAN), Instytut Budownictwa Wodnego PAN (IBW PAN) oraz Instytut Oceanologii PAN (IO PAN), została utworzona w 2019. Szkoła Doktorska oferuje kształcenie w ramach trzech dyscyplin: inżynierii mechanicznej, inżynierii lądowej i transportu oraz nauki o Ziemi i środowisku.

Monografia jest podsumowaniem aktywności naukowej TSD PAN w dyscyplinie inżynieria mechaniczna w 2021 r. i zawiera zbiór prac naukowych przygotowanych przez doktorantów Szkoły Doktorskiej.

The Tricity Doctoral School of the Polish Academy of Sciences (TSD PAN), run jointly by the Institute of Fluid-Flow Machinery of the Polish Academy of Sciences (IMP PAN), the Institute of Hydro-Engineering of the Polish Academy of Sciences (IBW PAN) and the Institute of Oceanology of the Polish Academy of Sciences (IO PAN), was established in 2019. The Doctoral School offers education in three disciplines: Mechanical Engineering, Civil Engineering and Transportation as well as Earth and Environmental Science.

The monograph is a summary of the TSD PAN scientific activity from the discipline of mechanical engineering and contains a collection of scientific papers prepared by PhD students of the Doctoral School in 2021.



ISBN: 978-83-66928-00-8



Instytut Maszyn Przepływowych PAN
Instytut Budownictwa Wodnego PAN
Instytut Oceanologii PAN

Selected problems in mechanical engineering 2021
Edited by: Magdalena Mieloszyk, Tomasz Ochrymiuk

tad pan

Trójmiejska Szkoła Doktorska
Polskiej Akademii Nauk

Selected problems in mechanical engineering 2021

Edited by:

Magdalena Mieloszyk
Tomasz Ochrymiuk



**Selected problems
in mechanical engineering
2021**

Editors:

**Magdalena Mieloszyk
Tomasz Ochrymiuk**

Gdańsk 2021

Pod redakcją/ Editors:

dr hab. inż. Magdalena Mieloszyk, prof. IMP PAN

dr hab. inż. Tomasz Ochrymiuk, prof. IMP PAN

Projekt okładki:

Mirosław Sawczak

Skład komputerowy LaTeX, łamanie, adjustacja:

Paweł Kudela, Magdalena Mieloszyk

© Copyright by Instytut Maszyn Przepływowych
im. Roberta Szwalskiego PAN, Gdańsk 2021, Wydanie I

All Rights Reserved. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Żadna część niniejszej publikacji nie może być reprodukowana ani rozpowszechniana bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

ISBN 978-83-66928-00-8



WYDAWNICTWO INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH PAN

Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szwalskiego

Polskiej Akademii Nauk

ul. Fiszera 14, 80-231 Gdańsk

tel. (+48) 58-52-25-141; fax (+48) 58-341-61-44

e-mail: redakcja@imp.gda.pl <https://www.imp.gda.pl/wydawnictwo>

Druk i oprawa:

Drukarnia Normex, ul. Wyspiańskiego 2, 80-432 Gdańsk

Recenzenci monografii/Reviewers of the monograph:

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie/
AGH University of Science and Technology

prof. dr hab. inż. Tomasz Barszcz

dr hab. inż. Paweł Madejski, prof. AGH

Goethe University of Frankfurt am Main, Germany

Dr.-Ing. Jochen Moll

Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego PAN/

Institute of Fluid Flow Machinery Polish Academy of Sciences

prof. dr hab. inż. Janusz Badur

dr hab. inż. Mariusz Banaszekiewicz

dr hab. inż. Paweł Flaszynski, prof. IMP PAN

dr hab. inż. Alicja Krella, prof. IMP PAN

dr hab. inż. Paweł Kudela, prof. IMP PAN

dr hab. Katarzyna Majewska

dr hab. Paweł Malinowski, prof. IMP PAN

dr hab. inż. Maciej Radzieński

dr hab. inż. Ryszard Szwaba, prof. IMP PAN

dr hab. inż. Mirosław Sawczak, prof. IMP PAN

dr hab. inż. Tomasz Wandowski, prof. IMP PAN

dr inż. Jarosław Karwacki

dr inż. Roman Kwidziński

dr inż. Tomasz Przybyliński

Kaunas University of Technology, Lithuania

dr. Rūta Rimasauskienė

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China

dr. Ganggang Sha

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie/

University of Warmia and Mazury in Olsztyn

dr inż. Waldemar Dudda

Universiteit Gent, Belgium

dr. Shirsendu Sikdar

Contents

Przedmowa	1
Preface	1
1 Towards an efficient and accurate treatment of particle-scale interactions in a turbulent flow	3
MICHAŁ RAJEK	
1.1 Introduction	4
1.2 Particle-scale interactions	5
1.3 Improved Superposition Method	11
1.4 Decomposition of the velocity vector	12
1.5 Extension of the center-point formulation	13
1.6 Determining the correction	16
1.7 Results and discussion	21
1.7.1 Elementary motions	21
1.7.2 Arbitrary motion	22
1.7.3 Many-body interactions	28
1.7.4 Polydispersed systems	29
1.8 Conclusion and outlook	33
2 Data-driven based approach for damage detection	41
ABDALRAHEEM A. IJJEH	
2.1 Introduction	42
2.2 Machine learning approach	43
2.2.1 Feature extraction techniques	44
2.2.2 Classification models	47
2.3 Deep learning approach	50

2.3.1	Convolutional neural networks	51
2.3.2	Recurrent neural networks	53
2.4	Guided waves Based SHM through DL	56
2.5	Vibration based SHM though DL	58
2.6	Summary	62
3	Analysis of non-contact elastic waves generation using air-coupled transducer	73
	DAMIAN MINDYKOWSKI	
3.1	Introduction	74
3.2	Elastic waves propagation in plates	74
3.3	Air-coupled transducer-based elastic waves generation	75
3.4	The measurement setup	77
3.5	The measurement results	81
3.5.1	Point-wise measurements	81
3.5.2	Measurements along line	86
3.5.3	Areal measurements (2D full wavefield) . . .	93
3.6	Optimal ACT slope angles	101
3.7	Summary	107
4	Study of insulation criterion assessment of EN 1363-1 and EN 1634-1	113
	DANIEL DARNIKOWSKI	
4.1	Introduction	114
4.1.1	Procedure rules evaluation	116
4.2	Comparison Results	122
4.3	Real-life sample results	126
4.4	Conclusion	130
5	Introduction to Thermal Degradation on Additive Manufactured Polymeric Composites	135
	ISYNA IZZAL MUNA	
5.1	Additive manufacturing (AM)	136
5.1.1	AM overview	136
5.1.2	AM technology	138
5.2	Composite overview	142
5.3	Numerical models of AM composites	145

5.4	FDM based of polymeric composites	147
5.4.1	Short carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) composites	151
5.4.2	Continous CFRP composites	152
5.4.3	Nanocomposites	154
5.5	Thermal degradation of AM materials	155
5.5.1	Definition of thermal degradation	155
5.5.2	Thermal degradation of polymer composites	158
5.5.3	Thermal damage assessment on of polymer composites	161
5.6	Damage detection for AM materials	164
5.6.1	Nondestructive testing (NDT)	164
5.6.2	Structural health monitoring (SHM)	166
5.6.3	Other detection techniques	169
5.7	Temperature effect on FDM based composite	169
5.7.1	Simulation of printing process of composites	169
5.7.2	Simulation of printed composite parts	171
5.8	Conclusion	172
6	Spectral Element Method for Structural Health Monitoring	187
	JITENDRA KUMAR SHARMA	
6.1	Introduction	188
6.2	Guided wave based SHM	189
6.2.1	Lamb waves	190
6.3	Guided wave propagation modelling	193
6.3.1	Spectral element method (SEM)	195
6.4	Damage detection	202
6.4.1	Using frequency domain SEM	203
6.4.2	Using time domain SEM	203
6.5	Conclusion	206
6.6	Acknowledgements	206
7	Additively Manufactured Composite structures with Fibre Bragg Grating Sensors	215

TORKAN SHAFIGHFARD

7.1	Additive Manufacturing	216
7.2	Composite Materials	218
7.2.1	Manufacturing of Composite Materials	218
7.3	Fibre Bragg Grating sensor	219
7.3.1	3D printing of composites including FBG sensors	220
7.3.2	Fused Deposition Modelling	222
7.4	Conclusions	226

8 Semitransparent layer of aligned titania nanotubes formed out of thin Ti film 245

KOUAO DUJEARIC-STEPHANE

8.1	Introduction	246
8.2	Electrochemical anodization synthesis of TNTs	248
8.2.1	First generation of titania nanotubes	249
8.2.2	Second generation of titania nanotubes	250
8.2.3	Third generation of titania nanotubes	250
8.3	Morphology of TiO ₂ nanotubes	254
8.3.1	Aligned TNTs	254
8.3.2	Spaced TNTs	255
8.4	The mechanism of the titania nanotubes formation	257
8.5	Experimental section	259
8.6	Results and discussion	259
8.6.1	Morphological analysis for aligned TNT	260
8.7	Conclusion	266

9 A study of jet impingement cooling enhancement by concave and convex heat sink shape modifications 273

MARCIN FROISSART

9.1	Introduction	274
9.2	Experiment	277
9.2.1	Jet device	278
9.2.2	Criteria number	279
9.3	Analysis	280
9.3.1	Governing equations	281
9.3.2	Analysed geometries	284
9.3.3	Model summary	285

9.4	Results	285
9.4.1	Field of velocity	285
9.4.2	Cooling efficiency	286
9.5	Conclusions	287
10	Obliczenia zmęczenia niskocyklowego wirnika tur-	
	biny parowej metodą elementów skończonych pod	
	kątem optymalizacji rozruchów	295
	JAN PRZYTUŁSKI	
10.1	Wstęp	296
10.2	Główne założenia	297
10.3	Model obliczeniowy	299
10.3.1	Model geometryczny	300
10.3.2	Obciążenia termiczne	302
10.3.3	Obciążenia mechaniczne	304
10.3.4	Dyskretyzacja modelu	306
10.3.5	Utwierdzenie modelu. Własności materiałowe	307
10.4	Wyniki obliczeń dla krzywej rozruchowej producenta	308
10.4.1	Stan początkowy	308
10.4.2	Obliczenia rozruchu	309
10.5	Wyniki obliczeń bazujących na rzeczywistych danych	
	pomiarowych	312
10.6	Wnioski	315
11	Pomiar pojemności elektrycznej przetwornikiem CDC	
	319	
	REMIGIUSZ ORNOWSKI	
11.1	Wstęp	320
11.2	Metody pomiaru pojemności	
	elektrycznej	320
11.3	Przetwornik analogowo-cyfrowy Delta-Sigma	323
11.4	Filtry decymujące	327
11.5	Przetwornik CDC	335
11.6	Implementacja miernika pojemności	337
11.6.1	NEXYS A7	338
11.6.2	MTDS	342
11.6.3	Interfejs LVDS	342

11.6.4	Modulator Delta-Sigma	343
11.6.5	Zasilacz symetryczny	347
11.6.6	Konfiguracja układu FPGA	347
11.6.7	Oprogramowanie procesora MicroBlaze	352
11.7	Symulacje i pomiary	352
11.7.1	Symulacja układu modulatora Delta-Sigma	352
11.7.2	Pomiary skonstruowanego modulatora Delta-Sigma	355
11.8	Podsumowanie	360
12	Badania i określenie możliwości przekształcenia istniejącej sieci ciepłowniczej w nowoczesny i wysoce efektywny energetycznie niskotemperaturowy system ciepłowniczy 4 generacji	363
	BARTOSZ PIETRZYKOWSKI	
12.1	Dedykowany układ ciągłego monitoringu parametrów lokalnej sieci ciepłowniczej	364
12.1.1	Wstęp	364
12.2	Zaprojektowanie, budowa i montaż autorskiej instalacji do ciągłego pomiaru zapotrzebowania na energię ciepłą zespołu budynków Spółdzielni Mieszkańców Lubianianka	366
12.2.1	Projekt instalacji ciągłego pomiaru zapotrzebowania na energię ciepłą	366
12.2.2	Wnioski	371
13	Wykorzystanie sieci neuronowych w układach regulacji turbin parowych	375
	MACIEJ LESZCZYŃSKI	
13.1	Wstęp	376
13.2	Regulacja i zabezpieczenia turbin parowych	376
13.2.1	Układy regulacji, układ zabezpieczeń i układ pomiarów	376
13.2.2	Dlaczego zagadnienie regulacji turbin parowych jest tak ważne	377
13.3	Układy elektronicznej regulacji i zabezpieczeń turbin parowych	379

13.3.1	Układ regulacji	379
13.3.2	Parametry regulacji	387
13.3.3	Metody oceny jakości regulacji	391
13.4	Problemy techniczne związane z regulacją turbin pa- rowych	392
13.4.1	Problemy regulacji	392
13.4.2	Problemy techniczne w cyklu życia turbiny .	392
13.5	Sieci neuronowe i ich potencjalne zastosowanie w ukła- dach regulacji turbin parowych	395
13.6	Podsumowanie i wnioski	396
14	Artificial Neural Networks and its applications in Guided Wave-based Damage Detection	399
	SAEED ULLAH	
14.1	Artificial Neural Networks	400
14.2	Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning	402
14.3	Types of Learning	405
14.4	Learning Process of Neural Networks	407
14.4.1	Training a Neural Network	409
14.4.2	Parameters and Hyperparameters of Neural Networks	410
14.5	Convolutional Neural Networks	416
14.5.1	Convolutional Layers	416
14.5.2	Pooling Layers	418
14.5.3	Fully Connected Layers	420
14.6	Recurrent Neural Networks	420
14.7	Applications of ANN in Guided Wave-based Damage Detection	425
14.8	Conclusion	427

Przedmowa

W 2019 roku została utworzona Trójmiejska Szkoła Doktorska Polskiej Akademii Nauk (TSD PAN) prowadzona wspólnie przez Instytut Maszyn Przepływowych PAN (IMP PAN), Instytut Budownictwa Wodnego PAN (IBW PAN) oraz Instytut Oceanologii PAN (IO PAN). Szkoła Doktorska oferuje kształcenie w ramach trzech dyscyplin: inżynierii mechanicznej, inżynierii lądowej i transportu oraz nauki o Ziemi i środowisku.

Mam ogromną przyjemność przedstawić Państwu monografię będącą podsumowaniem aktywności naukowej kolejnego roku działalności TSD PAN zawierającą prace naukowe zaproponowane przez doktorantów Szkoły Doktorskiej. Niniejsza monografia zawiera zbiór prac z dyscypliny inżynieria mechaniczna. Ich krótkie podsumowanie doktoranci TSD PAN zaprezentowali w ramach II Seminarium Naukowego TSD PAN, które odbyło się w dniach 16-17 czerwca 2021 r. Wydarzenie to jest kontynuacją cyklu corocznych otwartych seminariów naukowych, na których doktoranci Szkoły Doktorskiej prezentują swoje osiągnięcia naukowe.

dr hab. inż. Magdalena Mieloszyk, profesor IMP PAN
Dyrektor Trójmiejskiej Szkoły Doktorskiej
Polskiej Akademii Nauk

Preface

In 2019 the Tricity Doctoral School of the Polish Academy of Sciences (TSD PAN) was established, which is run jointly by the Institute of Fluid-Flow Machinery of the Polish Academy of Sciences (IMP PAN), the Institute of Hydro-Engineering of the Polish Academy of Sciences (IBW PAN) and the Institute of Oceanology of the Polish Academy of Sciences (IO PAN). The Doctoral School offers education in three disciplines: Mechanical Engineering, Civil Engineering and Transportation and Earth and Environmental Science.

It is my great pleasure to present you a monograph which is a summary of the consecutive year of TSD PAN scientific activity, including scientific papers proposed by PhD students of the Doctoral School. This monograph contains a collection of papers from the discipline of mechanical engineering. Their short summary was presented by PhD students of TSD PAN during the 2nd Scientific Seminar of TSD PAN, which took place on June 16th-17th, 2021. This event is a continuation of a series of annual open scientific seminars where PhD students of the Doctoral School present their scientific achievements.

dr hab. inż. Magdalena Mieloszyk, profesor IMP PAN
Director of the Tricity Doctoral School,
Polish Academy of Sciences