

**Politechnika Śląska**  
**Wydział Mechaniczny Technologiczny**  
**Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn**

**Małgorzata JOHN**

**MODELOWANIE,  
SYMULACJE NUMERYCZNE  
I BADANIA DOŚWIADCZALNE  
STRUKTUR ELEMENTÓW  
EGZOSZKIELETU**

**Gliwice 2020**

### *Recenzenci*

Prof. dr hab. inż. Jerzy Pokojski, Politechnika Warszawska

Dr hab. inż. Jolanta Pauk, prof. PB, Politechnika Białostocka

### *Redaktor zeszytów*

Marek Wyleżoł

### *Redaktor techniczny*

Marek Wyleżoł

### *Projekt okładki*

Wojciech Cholewa, Marek Wyleżoł

Zeszyt Naukowy Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn

### *BibTeX*

```
@BOOK{, title = {Modelowanie, symulacje numeryczne i badania  
doświadczalne struktur elementów egzoszkieletu}, publisher =  
{Politechnika Śląska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn}, year = {2020,  
author = {John, M.}, volume = {152}, series = {Zeszyty Naukowe}, address  
= {Gliwice}}
```

ISBN 978-83-60759-27-1

### *Wydawca*

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Politechnika Śląska  
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice  
Tel. (32) 237-14-67  
<https://kpkp.polsl.pl>

---

Druk i oprawa (z dostarczonych materiałów)

Repromedia ul. Łużycka 6, 44-100 Gliwice

## SPIS TREŚCI

STRESZCZENIE	5
1 WPROWADZENIE	7
1.1 GENEZA PRACY	7
1.2 CEL I ZAKRES PRACY	9
2 EGZOSZKIELETY I SZYBKIE PROTOTYPOWANIE	11
2.1 EGZOSZKIELETY	11
2.2 SZYBKIE PROTOTYPOWANIE	14
3 STRUKTURA NAŚLADUJĄCA TKANKĘ KOSTNĄ	19
3.1 PODSTAWY TEORETYCZNE	19
3.2 SYMULACJA NUMERYCZNA	20
3.3 BADANIA DOŚWIADCZALNE	22
4 SPIENIONE METALE	27
4.1 PODSTAWY TEORETYCZNE	27
4.2 HOMOGENIZACJA NUMERYCZNA	31
4.3 WYZNACZENIE ZASTĘPCZYCH STAŁYCH MATERIAŁOWYCH Z WYKORZYSTANIEM HOMOGENIZACJI NUMERYCZNEJ	35
4.4 SYMULACJA NUMERYCZNA	41
4.5 PODSUMOWANIE	60
5 KLASYCZNA STRUKTURA TYPU PLASTER MIODU	61
5.1 PODSTAWY TEORETYCZNE	61
5.2 MODEL PARAMETRYCZNY	63
5.3 SYMULACJE NUMERYCZNE	65
5.4 PODSUMOWANIE	82
6 ZMODYFIKOWANA STRUKTURA TYPU PLASTER MIODU	83
6.1 OPRACOWANIE MODELU	83
6.2 SYMULACJE NUMERYCZNE	86
6.3 BADANIA DOŚWIADCZALNE	95
7 ANALIZA WYNIKÓW	103
8 POTENCJALNE ZASTOSOWANIA	115
9 PODSUMOWANIE I DYSKUSJA	135
LITERATURA	137