

## SPIS TREŚCI

|                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>WSTĘP</b> .....                                                                                                                               | 11  |
| <b>1. BADANIA DOŚWIADCZALNE LEPKOSPĘŻYSTYCH BIOMATERIAŁÓW</b> .....                                                                              | 15  |
| 1.1. Lepkospężystość.....                                                                                                                        | 16  |
| 1.2. Pełzanie i relaksacja.....                                                                                                                  | 18  |
| 1.3. Zasady i metodyka badań.....                                                                                                                | 24  |
| 1.3.1. Badania podstawowych właściwości mechanicznych.....                                                                                       | 27  |
| 1.3.2. Badania właściwości mechanicznych w warunkach zmiennych obciążeń.....                                                                     | 41  |
| 1.4. Krzywe izochronowe.....                                                                                                                     | 49  |
| 1.5. Podsumowanie.....                                                                                                                           | 58  |
| <b>Bibliografia</b> .....                                                                                                                        | 59  |
| <b>2. IDENTYFIKACJA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH WYBRANYCH TKANEK</b> .....                                                                         | 65  |
| 2.1. Metody badań właściwości mechanicznych tkanek.....                                                                                          | 66  |
| 2.2. Doświadczalne badania właściwości mechanicznych tkanek.....                                                                                 | 75  |
| 2.2.1. Badania żeber.....                                                                                                                        | 76  |
| 2.2.2. Badania kręgów.....                                                                                                                       | 81  |
| 2.2.3. Badania krążków międzykręgowych.....                                                                                                      | 89  |
| 2.2.4. Badania więzadeł.....                                                                                                                     | 91  |
| <b>Bibliografia</b> .....                                                                                                                        | 96  |
| <b>3. METODY WSKAŹNIKOWE W OCENIE FUNKCJI LOKOMOCYJNYCH</b> .....                                                                                | 103 |
| 3.1. Metody oceny funkcji lokomocyjnych.....                                                                                                     | 103 |
| 3.1.1. Jakościowa analiza chodu oparta na obserwacji.....                                                                                        | 104 |
| 3.1.2. Jakościowa analiza chodu.....                                                                                                             | 106 |
| 3.2. Przykładowe zastosowanie diagnostyczne wskaźników GGI i GDI.....                                                                            | 117 |
| 3.2.1. Ocena funkcji lokomocyjnych dzieci po operacji usunięcia guza mózgu lub guza czwartej komory mózgu.....                                   | 123 |
| 3.2.2. Ocena funkcji lokomocyjnych pacjentów z mózgowym porażeniem dziecięcym kwalifikowanych do leczenia różnymi metodami.....                  | 126 |
| 3.2.3. Ocena postępów leczenia pacjentów z mózgowym porażeniem dziecięcym na podstawie wskaźników Gilette Gait Index i Gait Deviation Index..... | 129 |
| 3.3. Podsumowanie.....                                                                                                                           | 132 |
| <b>Bibliografia</b> .....                                                                                                                        | 132 |

|                                                                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4. MODELOWANIE KRĘGOSŁUPA CZŁOWIEKA.....</b>                                                                             | <b>137</b> |
| 4.1. Metody modelowania kręgosłupa człowieka (MES, Multibody).....                                                          | 138        |
| 4.2. Dyskretny model kręgosłupa szyjnego.....                                                                               | 148        |
| 4.3. Dynamiczny model kręgosłupa lędźwiowego.....                                                                           | 163        |
| <b>Bibliografia.....</b>                                                                                                    | <b>174</b> |
| <b>5. MODELOWANIE I ANALIZA BIOMECHANICZNA KLATKI<br/>PIERSIOWEJ CZŁOWIEKA.....</b>                                         | <b>179</b> |
| 5.1. Modele statyczne klatki piersiowej.....                                                                                | 179        |
| 5.2. Modele dynamiczne klatki piersiowej.....                                                                               | 183        |
| 5.3. Modelowanie klatki piersiowej człowieka z wykorzystaniem metody<br>elementów skończonych.....                          | 187        |
| 5.3.1. Opracowanie modelu geometrycznego klatki piersiowej.....                                                             | 187        |
| 5.3.2. Opracowanie modelu numerycznego.....                                                                                 | 193        |
| 5.3.3. Weryfikacja modelu.....                                                                                              | 196        |
| 5.4. Analiza numeryczna stanu naprężeń podczas resuscytacji krążeniowo-<br>oddechowej.....                                  | 199        |
| <b>Bibliografia.....</b>                                                                                                    | <b>202</b> |
| <b>6. MODELOWANIE I IDENTYFIKACJA OBCIĄŻEŃ UKŁADU<br/>SZKIELETOWO-MIĘŚNIOWEGO.....</b>                                      | <b>207</b> |
| 6.1. Metody identyfikacji obciążeń układu szkieletowo-mięśniowego.....                                                      | 208        |
| 6.2. Model układu szkieletowo-mięśniowego kończyn dolnych.....                                                              | 218        |
| 6.3. Badania wrażliwości modelu.....                                                                                        | 227        |
| 6.4. Podsumowanie.....                                                                                                      | 240        |
| <b>Bibliografia.....</b>                                                                                                    | <b>242</b> |
| <b>7. MODELOWANIE OBCIĄŻEŃ UKŁADU MIĘŚNIOWO-<br/>SZKIELETOWEGO KOŃCZYNY GÓRNEJ NA PRZYKŁADZIE<br/>MODELU PŁASKIEGO.....</b> | <b>251</b> |
| 7.1. Model kończyny górnej.....                                                                                             | 252        |
| 7.1.1. Założenia upraszczające.....                                                                                         | 253        |
| 7.1.2. Model fizyczny.....                                                                                                  | 254        |
| 7.1.3. Dynamiczne równania równowagi.....                                                                                   | 260        |
| 7.1.4. Parametry antropometryczne.....                                                                                      | 264        |
| 7.1.5. Identyfikacja sił mięśniowych.....                                                                                   | 268        |
| 7.2. Obliczenia komputerowe.....                                                                                            | 272        |
| 7.3. Kontrola poprawności opracowanego modelu i metody pomiarowej.....                                                      | 276        |
| 7.4. Pomiar doświadczalny.....                                                                                              | 278        |
| 7.5. Analiza obciążeń kończyny górnej.....                                                                                  | 281        |
| 7.6. Zastosowanie opracowanej metody w procesie rehabilitacji.....                                                          | 285        |
| 7.6.1. Przykład oceny postępu rehabilitacji.....                                                                            | 285        |
| <b>Bibliografia.....</b>                                                                                                    | <b>289</b> |
| <b>8. MODELOWANIE WYPADKÓW KOMUNIKACYJNYCH<br/>W ASPEKcie BEZPIECZEŃSTWA CZŁOWIEKA.....</b>                                 | <b>293</b> |
| 8.1. Metody i kryteria oceny bezpieczeństwa uczestników wypadków<br>komunikacyjnych.....                                    | 293        |
| 8.1.1. Kryteria urazowości głowy.....                                                                                       | 295        |
| 8.1.2. Kryteria urazowości szyi.....                                                                                        | 297        |

|                                                                                                                        |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.1.3. Kryteria urazowości klatki piersiowej.....                                                                      | 298        |
| 8.1.4. Kryteria urazowości kończyn dolnych.....                                                                        | 300        |
| 8.2. Ocena bezpieczeństwa kierowcy i pasażerów samochodu osobowego<br>podczas zderzenia czołowego.....                 | 300        |
| 8.2.1. Model numeryczny pojazdu.....                                                                                   | 302        |
| 8.2.2. Weryfikacja modelu numerycznego.....                                                                            | 304        |
| 8.2.3. Różne warianty obliczeniowe.....                                                                                | 308        |
| 8.2.4. Wyniki przeprowadzonych symulacji numerycznych<br>i wnioski.....                                                | 309        |
| <b>Bibliografia.....</b>                                                                                               | <b>315</b> |
| <b>9. INŻYNIERSKIE METODY WSPOMAGANIA DIAGNOZOWANIA<br/>I LECZENIA WAD KSZTAŁTU CZASZKI U DZIECI.....</b>              | <b>319</b> |
| 9.1. Etiologia wad budowy czaszki.....                                                                                 | 320        |
| 9.2. Metody diagnozowania i oceny wad kształtu czaszek u dzieci.....                                                   | 324        |
| 9.2.1. Ocena kształtu czaszki u pacjentów z kraniosynostozą.....                                                       | 324        |
| 9.2.2. Ocena kształtu czaszki u pacjentów z deformacjami ułożeniowymi.....                                             | 326        |
| 9.3. Metoda inżynierskiego wspomagania zabiegu korygującego kształt<br>czaszki.....                                    | 328        |
| 9.4. Wybrane symulacje numeryczne zaplanowanych zabiegów korekcji<br>kształtu czaszki pacjentów z kraniosynostozą..... | 333        |
| 9.4.1. Korekcja trójkątnogłowia metodą klasyczną.....                                                                  | 333        |
| 9.4.2. Korekcja łódkogłowia metodą endoskopową.....                                                                    | 337        |
| 9.5. Podsumowanie.....                                                                                                 | 339        |
| <b>Bibliografia.....</b>                                                                                               | <b>341</b> |
| <b>10. MODELOWANIE ZJAWISK KINEMATYCZNYCH W UKŁADZIE<br/>ROBOTÓW KARDIOCHIRURGICZNYCH.....</b>                         | <b>345</b> |
| 10.1. Obiekt badań i sposób jego modelowania.....                                                                      | 345        |
| 10.1.1. Obiekt badań i jego model fizyczny.....                                                                        | 345        |
| 10.1.2. Podstawowe założenia modelu.....                                                                               | 347        |
| 10.1.3. Modelowanie zjawisk nieliniowych.....                                                                          | 350        |
| 10.1.4. Ogólna metodyka rozwiązywania układu równań modelowych.....                                                    | 353        |
| 10.2. Zasady opisu kinematyki robota.....                                                                              | 355        |
| 10.2.1. Stosowane układy współrzędnych.....                                                                            | 355        |
| 10.2.2. Równania przejścia w lokalnym układzie odniesienia.....                                                        | 355        |
| 10.2.3. Równania przejścia w globalnym układzie współrzędnych.....                                                     | 358        |
| 10.2.4. Zastosowanie kątów Eulera do opisu zależności geometrycznych.....                                              | 359        |
| 10.3. Modelowanie luzów połączeń prętów robota.....                                                                    | 360        |
| 10.4. Podatność prętów konstrukcyjnych robota.....                                                                     | 363        |
| 10.5. Model układu ciągnowego.....                                                                                     | 368        |
| 10.6. Analiza wyników i wnioski.....                                                                                   | 369        |
| 10.7. Podsumowanie.....                                                                                                | 372        |
| <b>Bibliografia.....</b>                                                                                               | <b>374</b> |

|                                                                                                                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>11. MODELOWANIE Z WYKORZYSTANIEM TECHNOLOGII WIRTUALNEJ RZECZYWISTOŚCI W SYSTEMACH INŻYNIERSKIEGO WSPARCIA MEDYCYNY.....</b>                                     | <b>375</b> |
| 11.1. Zastosowanie technologii wirtualnej rzeczywistości w systemach medycznych.....                                                                                | 375        |
| 11.2. Zalety i wady zastosowania technologii wirtualnej rzeczywistości na przykładzie systemów terapeutycznych.....                                                 | 381        |
| 11.3. Wykorzystanie metod modelowych w technologii wirtualnej rzeczywistości w opracowaniu systemów terapeutycznych i systemów wspomagania planowania operacji..... | 383        |
| 11.4. Przegląd systemów wykorzystujących zamodelowany wirtualny świat w zastosowaniach medycznych.....                                                              | 385        |
| 11.4.1. Modelowanie środowisk wspomagania diagnostyki na przykładzie aplikacji wspomagającej diagnostykę kończyn górnych w systemie Wirtualnej Jaskini 3D.....      | 387        |
| 11.4.2. Przykład wykorzystania zamodelowanej aplikacji do oceny możliwości ruchowych kończyn górnych.....                                                           | 390        |
| <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>                                                                                                                                            | <b>396</b> |
| <b>Streszczenie.....</b>                                                                                                                                            | <b>399</b> |