

# SPIS TREŚCI

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>OD AUTORA .....</b>                                                  | <b>9</b>  |
| <b>WYKAZ OZNACZEŃ I SKRÓTÓW .....</b>                                   | <b>11</b> |
| <b>1. WPROWADZENIE .....</b>                                            | <b>13</b> |
| 1.1. Patologia obiektów mostowych i geriatryka techniczna .....         | 13        |
| 1.2. Obiekty mostowe jako elementy infrastruktury transportowej .....   | 15        |
| 1.2.1. Klasyfikacja obiektów mostowych .....                            | 15        |
| 1.2.2. Infrastruktura mostowa w Europie .....                           | 18        |
| 1.2.3. Infrastruktura mostowa w Polsce .....                            | 21        |
| <b>2. KLASYFIKACJA USZKODZEŃ OBIEKTÓW MOSTOWYCH ...</b>                 | <b>25</b> |
| 2.1. Uszkodzenia, awarie i katastrofy obiektów mostowych .....          | 25        |
| 2.2. Uszkodzenia a strategie gospodarowania infrastrukturą mostową..... | 27        |
| 2.3. Jakościowa klasyfikacja uszkodzeń .....                            | 30        |
| 2.3.1. Kryteria i zasady klasyfikacji uszkodzeń .....                   | 30        |
| 2.3.2. Deformacje .....                                                 | 33        |
| 2.3.3. Destrukcja materiału.....                                        | 36        |
| 2.3.4. Ubytki materiału.....                                            | 37        |
| 2.3.5. Utrata ciągłości materiału.....                                  | 38        |
| 2.3.6. Zanieczyszczenia.....                                            | 39        |
| 2.3.7. Zmiany położenia .....                                           | 40        |
| 2.4. Uszkodzenia jako efekty procesów degradacji.....                   | 41        |
| 2.4.1. Procesy degradacji.....                                          | 41        |
| 2.4.2. Stymulatory degradacji.....                                      | 43        |
| 2.4.3. Mechanizmy degradacji .....                                      | 50        |
| 2.4.4. Mechanizmy degradacji a materiały konstrukcyjne .....            | 63        |
| <b>3. DIAGNOSTYKA OBIEKTÓW MOSTOWYCH .....</b>                          | <b>64</b> |
| 3.1. Źródła informacji o stanie obiektów .....                          | 64        |
| 3.2. Klasyfikacja metod badań diagnostycznych .....                     | 71        |
| 3.3. Technologie fizyczne w diagnostyce obiektów mostowych .....        | 74        |

|           |                                                                                                 |            |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.3.1.    | Metody optyczne i termograficzne.....                                                           | 74         |
| 3.3.2.    | Metody radiologiczne.....                                                                       | 85         |
| 3.3.3.    | Metody akustyczne.....                                                                          | 89         |
| 3.3.4.    | Metody elektromagnetyczne .....                                                                 | 99         |
| 3.3.5.    | Bezpośrednie metody badań cech fizycznych.....                                                  | 110        |
| 3.4.      | Technologie chemiczne w diagnostyce obiektów mostowych .....                                    | 123        |
| 3.4.1.    | Klasyfikacja metod badań chemicznych .....                                                      | 123        |
| 3.4.2.    | Metody jakościowej analizy chemicznej.....                                                      | 124        |
| 3.4.3.    | Metody ilościowej analizy chemicznej .....                                                      | 126        |
| 3.5.      | Technologie biologiczne w diagnostyce obiektów mostowych .....                                  | 128        |
| 3.5.1.    | Klasyfikacja metod badań biologicznych.....                                                     | 128        |
| 3.5.2.    | Metody makroskopowe .....                                                                       | 129        |
| 3.5.3.    | Metody mikroskopowe .....                                                                       | 129        |
| 3.5.4.    | Metody hodowlane .....                                                                          | 130        |
| 3.6.      | Badania obiektów mostowych pod obciążeniami .....                                               | 130        |
| 3.6.1.    | Klasyfikacja rodzajów badań .....                                                               | 130        |
| 3.6.2.    | Techniki pomiarowe .....                                                                        | 133        |
| 3.6.3.    | Badania pod obciążeniami statycznymi .....                                                      | 144        |
| 3.6.4.    | Badania pod obciążeniami dynamicznymi.....                                                      | 148        |
| 3.6.5.    | Monitorowanie stanu obiektów mostowych.....                                                     | 163        |
| <b>4.</b> | <b>USZKODZENIA BETONOWYCH KONSTRUKCJI MOSTOWYCH.....</b>                                        | <b>170</b> |
| 4.1.      | Mechanizmy i procesy degradacji betonowych konstrukcji mostowych.....                           | 170        |
| 4.1.1.    | Podstawowe mechanizmy i procesy degradacji a uszkodzenia betonowych konstrukcji mostowych ..... | 170        |
| 4.1.2.    | Procesy korozyjnej degradacji materiału.....                                                    | 172        |
| 4.1.3.    | Procesy destrukcyjnej degradacji materiału .....                                                | 178        |
| 4.1.4.    | Procesy przeciążeniowej degradacji konstrukcji.....                                             | 184        |
| 4.1.5.    | Procesy degradacji posadowienia.....                                                            | 187        |
| 4.2.      | Typowe uszkodzenia betonowych konstrukcji mostowych .....                                       | 190        |
| 4.2.1.    | Klasyfikacja uszkodzeń betonowych konstrukcji mostowych .....                                   | 190        |
| 4.2.2.    | Deformacje .....                                                                                | 191        |
| 4.2.3.    | Destrukcja materiału.....                                                                       | 192        |
| 4.2.4.    | Ubytki materiału .....                                                                          | 195        |
| 4.2.5.    | Utrata ciągłości materiału.....                                                                 | 199        |
| 4.2.6.    | Zanieczyszczenia .....                                                                          | 203        |
| 4.2.7.    | Zmiany położenia .....                                                                          | 205        |
| 4.3.      | Diagnostyka betonowych konstrukcji mostowych.....                                               | 206        |
| <b>5.</b> | <b>USZKODZENIA STALOWYCH KONSTRUKCJI MOSTOWYCH.....</b>                                         | <b>209</b> |
| 5.1.      | Mechanizmy i procesy degradacji stalowych konstrukcji mostowych .....                           | 209        |
| 5.1.1.    | Podstawowe mechanizmy i procesy degradacji a uszkodzenia stalowych konstrukcji mostowych.....   | 209        |
| 5.1.2.    | Procesy korozyjnej degradacji materiału.....                                                    | 211        |
| 5.1.3.    | Procesy destrukcyjnej degradacji materiału .....                                                | 220        |

|           |                                                                                                |            |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.1.4.    | Procesy przeciążeniowej degradacji konstrukcji.....                                            | 224        |
| 5.1.5.    | Procesy degradacji posadowienia.....                                                           | 228        |
| 5.2.      | Typowe uszkodzenia stalowych konstrukcji mostowych.....                                        | 230        |
| 5.2.1.    | Klasyfikacja uszkodzeń stalowych konstrukcji mostowych .....                                   | 230        |
| 5.2.2.    | Deformacje .....                                                                               | 231        |
| 5.2.3.    | Destrukcja materiału.....                                                                      | 234        |
| 5.2.4.    | Ubytki materiału.....                                                                          | 236        |
| 5.2.5.    | Utrata ciągłości materiału.....                                                                | 240        |
| 5.2.6.    | Zanieczyszczenia.....                                                                          | 243        |
| 5.2.7.    | Zmiany położenia .....                                                                         | 245        |
| 5.3.      | Diagnostyka stalowych konstrukcji mostowych .....                                              | 247        |
| <b>6.</b> | <b>USZKODZENIA MUROWANYCH KONSTRUKCJI MOSTOWYCH.....</b>                                       | <b>249</b> |
| 6.1.      | Mechanizmy i procesy degradacji murowanych konstrukcji mostowych.....                          | 249        |
| 6.1.1.    | Podstawowe mechanizmy i procesy degradacji a uszkodzenia murowanych konstrukcji mostowych..... | 249        |
| 6.1.2.    | Procesy destrukcyjnej degradacji materiału .....                                               | 250        |
| 6.1.3.    | Procesy przeciążeniowej degradacji konstrukcji.....                                            | 254        |
| 6.1.4.    | Procesy degradacji posadowienia.....                                                           | 258        |
| 6.2.      | Typowe uszkodzenia murowanych konstrukcji mostowych .....                                      | 260        |
| 6.2.1.    | Klasyfikacja uszkodzeń murowanych konstrukcji mostowych.....                                   | 260        |
| 6.2.2.    | Deformacje .....                                                                               | 262        |
| 6.2.3.    | Destrukcja materiału.....                                                                      | 263        |
| 6.2.4.    | Ubytki materiału.....                                                                          | 266        |
| 6.2.5.    | Utrata ciągłości materiału.....                                                                | 269        |
| 6.2.6.    | Zanieczyszczenia.....                                                                          | 274        |
| 6.2.7.    | Zmiany położenia .....                                                                         | 277        |
| 6.3.      | Diagnostyka murowanych konstrukcji mostowych .....                                             | 278        |
| <b>7.</b> | <b>USZKODZENIA ŁOŻYSK I WYPOSAŻENIA .....</b>                                                  | <b>281</b> |
| 7.1.      | Procesy degradacji i klasyfikacja uszkodzeń .....                                              | 281        |
| 7.2.      | Uszkodzenia łożysk .....                                                                       | 282        |
| 7.2.1.    | Podstawowe mechanizmy degradacji.....                                                          | 282        |
| 7.2.2.    | Deformacje .....                                                                               | 283        |
| 7.2.3.    | Destrukcja materiału.....                                                                      | 284        |
| 7.2.4.    | Ubytki materiału.....                                                                          | 285        |
| 7.2.5.    | Utrata ciągłości materiału.....                                                                | 285        |
| 7.2.6.    | Zanieczyszczenia.....                                                                          | 286        |
| 7.2.7.    | Zmiany położenia .....                                                                         | 287        |
| 7.3.      | Uszkodzenia nawierzchni.....                                                                   | 289        |
| 7.3.1.    | Podstawowe mechanizmy degradacji.....                                                          | 289        |
| 7.3.2.    | Nawierzchnie drogowe .....                                                                     | 290        |
| 7.3.3.    | Nawierzchnie tramwajowe .....                                                                  | 292        |
| 7.3.4.    | Nawierzchnie kolejowe .....                                                                    | 294        |
| 7.3.5.    | Nawierzchnie chodników .....                                                                   | 297        |
| 7.4.      | Uszkodzenia urządzeń dylatacyjnych.....                                                        | 298        |



|           |                                                                                     |            |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.5.      | Uszkodzenia systemu odwodnienia.....                                                | 300        |
| 7.6.      | Uszkodzenia elementów zabezpieczenia ruchu.....                                     | 303        |
| 7.7.      | Uszkodzenia urządzeń rewizyjnych .....                                              | 306        |
| 7.8.      | Uszkodzenia nasypów .....                                                           | 308        |
| 7.9.      | Uszkodzenia urządzeń obcych .....                                                   | 309        |
| 7.10.     | Uszkodzenia innych elementów wyposażenia .....                                      | 311        |
| <b>8.</b> | <b>MODELOWANIE OBIEKTÓW W SYSTEMACH<br/>ZARZĄDZANIA INFRASTRUKTURĄ MOSTOWĄ.....</b> | <b>314</b> |
| 8.1.      | Metodyka numerycznego modelowania obiektów mostowych .....                          | 314        |
| 8.2.      | Modele geometrii obiektów mostowych .....                                           | 318        |
| 8.3.      | Modelowanie uszkodzeń .....                                                         | 320        |
| 8.3.1.    | Komponenty modelu uszkodzeń .....                                                   | 320        |
| 8.3.2.    | Numeryczna reprezentacja uszkodzeń .....                                            | 322        |
| 8.4.      | Strategie modelowania obiektów mostowych z uszkodzeniami .....                      | 325        |
| 8.4.1.    | Modele geometrii typu $E^0$ .....                                                   | 325        |
| 8.4.2.    | Modele geometrii typu $E^1$ .....                                                   | 333        |
| 8.4.3.    | Modele geometrii typu $E^2$ .....                                                   | 336        |
| 8.4.4.    | Modele geometrii typu $E^3$ .....                                                   | 338        |
| 8.4.5.    | Dobór modelu geometrii .....                                                        | 344        |
| <b>9.</b> | <b>OCENA KONDYCJI OBIEKTÓW MOSTOWYCH<br/>Z USZKODZENIAMI.....</b>                   | <b>346</b> |
| 9.1.      | Wpływ uszkodzeń na kondycję obiektów mostowych.....                                 | 346        |
| 9.2.      | Narzędzia ekspertowe w ocenie kondycji obiektów mostowych .....                     | 348        |
| 9.3.      | Ewolucja systemów wspomagających ocenę kondycji obiektów<br>mostowych.....          | 353        |
| 9.4.      | Ocena stanu technicznego obiektów mostowych .....                                   | 354        |
| 9.4.1.    | Kryteria i metody oceny stanu technicznego obiektów mostowych .....                 | 354        |
| 9.4.2.    | Procedury oceny stanu technicznego obiektów mostowych w Polsce.....                 | 358        |
| 9.4.3.    | Narzędzia ekspertowe w ocenie stanu technicznego obiektów mostowych .....           | 363        |
| 9.5.      | Ocena przydatności użytkowej obiektów mostowych .....                               | 365        |
| 9.5.1.    | Kryteria i metody oceny przydatności użytkowej obiektów mostowych.....              | 365        |
| 9.5.2.    | Narzędzia ekspertowe w ocenie przydatności użytkowej obiektów<br>mostowych.....     | 368        |
| 9.6.      | Wpływ uszkodzeń na estetykę obiektów mostowych .....                                | 374        |
| 9.7.      | Kompleksowa ocena kondycji obiektów mostowych .....                                 | 379        |
|           | <b>LITERATURA.....</b>                                                              | <b>384</b> |
|           | <b>PODSTAWOWE TERMINY I ICH DEFINICJE .....</b>                                     | <b>402</b> |
|           | <b>AUTORZY UDOSTĘPNIONYCH ZDJĘĆ .....</b>                                           | <b>412</b> |
|           | <b>SKOROWIDZ .....</b>                                                              | <b>414</b> |