

# SPIS TREŚCI

|   |     |
|---|-----|
| SPIS SYMBOLI I OZNACZEŃ .....   | 5   |
| 1. WPROWADZENIE .....   | 9   |
| 2. ODDZIAŁYWANIE WYBUCHU PODWODNEGO NA OKRĘT .....                                | 17  |
| 2.1. Klasyfikacja oddziaływań wybuchów podwodnych na okręt .....                  | 19  |
| 2.1.1. Wybuchy kontaktowe .....   | 19  |
| 2.1.2. Bliskie wybuchy niekontaktowe .....  | 22  |
| 2.1.3. Dalekie wybuchy niekontaktowe .....  | 25  |
| 2.1.4. Eksplozja miny pod drobnicowcem PLO – m/s Józef Wybicki .....              | 26  |
| 2.2. Testy morskie oddziaływania wybuchów podwodnych na okręt .....               | 30  |
| 2.3. Zagrożenia minowe na akwenach świata .....                                   | 38  |
| 2.4. Bomby głębinowe .....  | 41  |
| 3. OPIS WYBUCHU PODWODNEGO .....  | 43  |
| 3.1. Opis fali ciśnienia od wybuchu TNT w wodzie wg R. H. Cole'a .....            | 43  |
| 3.2. Wzory R. H. Cole'a z poprawkami W. Stiepanowa i J. S. Nawagina .....         | 47  |
| 3.3. Opis fali ciśnienia od wybuchu wg W. D. Reida .....                          | 48  |
| 3.4. Opis fali ciśnienia od wybuchu wg T. L. Geersa, K. S. Huntera .....          | 51  |
| 3.5. Zestawienie i porównanie modeli fali ciśnienia wg różnych autorów .....      | 53  |
| 3.6. Czas oddziaływania fali ciśnienia na okręt .....                             | 58  |
| 3.7. Kąt padania fali ciśnienia na okręt .....                                    | 59  |
| 3.8. Wartość ciśnienia padającego na kadłub okrętu .....                          | 62  |
| 3.8.1. Wartość ciśnienia za frontem fali odbitej – regularnej .....               | 63  |
| 3.8.2. Wartość ciśnienia za frontem fali odbitej nieregularnej – fala Macha ..... | 67  |
| 3.8.3. Fala odbita od przegrody .....   | 69  |
| 3.8.4. Fala ciśnienia odbita od powierzchni wody i kawitacja powierzchniowa ..... | 70  |
| 3.8.5. Fala ciśnienia odbita od dna .....   | 74  |
| 3.9. Wyznaczanie ciśnienia obciążającego obiekt w wodzie .....                    | 77  |
| 3.10. Równanie stanu JWL dla TNT .....  | 79  |
| 3.11. Procedura UNDEX .....   | 82  |
| 3.12. Współczynniki <i>HSF</i> i <i>KSF</i> .....                                 | 83  |
| 3.13. Klasyfikacja uszkodzeń wg norm NATO .....                                   | 84  |
| 4. OPIS WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW W UJĘCIU NUMERYCZNYM .....                         | 87  |
| 4.1. Charakterystyka sprężysta materiału .....                                    | 88  |
| 4.2. Rzeczywista charakterystyka plastyczna materiału .....                       | 91  |
| 4.3. Plastyczna charakterystyka materiału w funkcji prędkości odkształcenia ..... | 94  |
| 4.4. Plastyczna charakterystyka materiału w modelu Johnsona–Cooka .....           | 96  |
| 4.5. Inne modele materiałów .....   | 104 |
| 4.6. Współczynnik <i>triaxiality</i> .....  | 106 |
| 4.7. Współczynnik <i>triaxiality</i> według Bridgmana .....                       | 109 |
| 4.8. Modelowanie zniszczenia materiału .....                                      | 110 |
| 4.9. Model zniszczenia Johnsona–Cooka .....                                       | 114 |
| 4.10. Stale HY80, HY100, HY130, HY200 .....                                       | 116 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.11. Wyznaczanie charakterystyki stali HY80 po 55 latach eksploatacji.....  | 117 |
| 4.11.1. Statyczne i dynamiczne próby rozciągania stali HY80 .....  | 118 |
| 4.11.2. Statyczne charakterystyki stali HY80 .....   | 121 |
| 4.11.3. Model Johnsona–Cooka dla stali HY80 .....  | 122 |
| 4.11.4. Model zniszczenia dla stali HY80 .....   | 124 |
| 4.12. Własności stopu aluminium Al7,5Mg po hydroekstruzji .....  | 126 |
| 4.12.1. Statyczna charakterystyka stopu Al7,5Mg .....  | 127 |
| 4.12.2. Własności dynamiczne stopu Al7,5Mg .....   | 128 |
| 4.12.3. Model Johnsona–Cooka stopu Al7,5Mg .....   | 129 |
| 4.12.4. Model zniszczenia stopu Al7,5Mg.....   | 130 |
| 5. CAŁKOWANIE NUMERYCZNE RÓWNAŃ RUCHU W UJĘCIU MES .....   | 133 |
| 5.1. Metoda różnic centralnych (skończonych) .....   | 134 |
| 5.2. Metoda Houbolta .....   | 136 |
| 5.3. Metoda Newmarka i Eulera .....  | 137 |
| 5.4. Metoda Wilsona.....   | 139 |
| 6. GEOMETRIA KADŁUBA OKRĘTU I DYSKRETYZACJA .....  | 141 |
| 6.1. Elementy skończone stosowane do dyskretyzacji kadłuba okrętu .....  | 143 |
| 6.2. Łączenie elementów skończonych różnych typów za pomocą konektorów .....   | 146 |
| 6.3. Modelowanie urządzeń i wyposażenia .....  | 149 |
| 6.4. Weryfikacja ciągłości struktury kadłuba okrętu .....  | 154 |
| 7. OŚRODEK AKUSTYCZNY .....  | 159 |
| 7.1. Równania równowagi ośrodka akustycznego .....   | 159 |
| 7.2. Warunki brzegowe.....   | 161 |
| 7.3. Modelowanie ośrodka akustycznego w programie CAE .....  | 163 |
| 7.4. Definiowanie fali uderzeniowej (sił akustycznych) w ośrodku akustycznym .....   | 166 |
| 7.5. Dyskretyzacja ośrodka akustycznego .....  | 167 |
| 8. ZADANIA I PRZYKŁADY OBLICZENIOWE.....   | 171 |
| 8.1. Analiza wytrzymałości płaskiego dna okrętu .....  | 171 |
| 8.2. Analiza wytrzymałości konstrukcji kadłuba okrętu podwodnego klasy Kilo .....  | 178 |
| 8.3. Oddziaływanie fali ciśnienia z odbiciem od dna na kadłub okrętu .....   | 197 |
| 8.4. Analiza oddziaływania niekontaktowych wybuchów na kadłub niszczyciela min<br>Kormoran bis .....                           | 210 |
| 8.5. Wyznaczanie stref bezpieczeństwa dla niszczyciela min Kormoran bis.....   | 238 |
| 8.6. Oddziaływanie fali ciśnienia na posadowienie silników głównych okrętu podwodnego<br>wzorowanego na klasie Zwaardvis ..... | 248 |
| 9. PODSUMOWANIE .....  | 261 |
| BIBLIOGRAFIA .....   | 263 |