

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Symulacja FEM oddziaływania niekontaktowego bliskiego wybuchu podwodnego na fundament armaty zamontowanej na pokładzie okrętu

Bogdan Szturomski¹, Radosław Kiciński¹, Stanisław Milewski²

¹Katedra Podstaw Budowy Maszyn Okrętowych, Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni

²Katedra Uzbrojenia Okrętowego, Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni

email: bsztur@gmail.com, radio1407@gmail.com, s.milewski@amw.gdynia.pl

STRESZCZENIE: W pracy analizowano oddziaływanie niekontaktowego bliskiego wybuchu podwodnego na fundament armaty morskiej kal. 35 mm zamontowanej na pokładzie niszczyciela min proj. 258 ORP Kormoran 2. Celem pracy jest wyznaczenia wartości przyspieszeń indykowanych na fundamencie wywołanych wybuchem podwodnym ładunku TNT o zadanych parametrach (masa TNT, głębokość zanurzenia ładunku, odległość do kadłuba, kierunek padania fali ciśnienia). Do realizacji zadania wykorzystano metodę elementów skończonych FEM. Do opisu dystrybucji fali ciśnienia od wybuchu ładunku TNT w wodzie w funkcji odległości i czasu oraz masy wykorzystano wzory Cole'a. Geometrię kadłuba odzwierciedlono na podstawie dokumentacji technicznej jako konstrukcję powłokową wzmocnioną elementami belkowo-prętowymi. Urządzenia o dużych masach odzwierciedlono jako bryły sztywne. Zastosowano uproszczenia minimalizujące liczbę stopni swobody. Konstrukcja kadłuba okrętu jest wykonana z amagnetycznej stali austenicznej DIN 1.3964 w technologii spawanej. Charakterystyki dynamiczne tej stali wyznaczono na podstawie statycznych i dynamicznych prób rozciągania wykonanych w akredytowanym laboratorium LPT-AMW. Do opisu właściwości materiałowych stali zastosowano model konstytutywny Johnsona-Cooka.

SŁOWA KLUCZOWE: stal austeniczna DIN 1.3964, Kormoran 2, model materiału Johnson-Cook, wzory Cole'a, eksplozja podwodna, armata morska

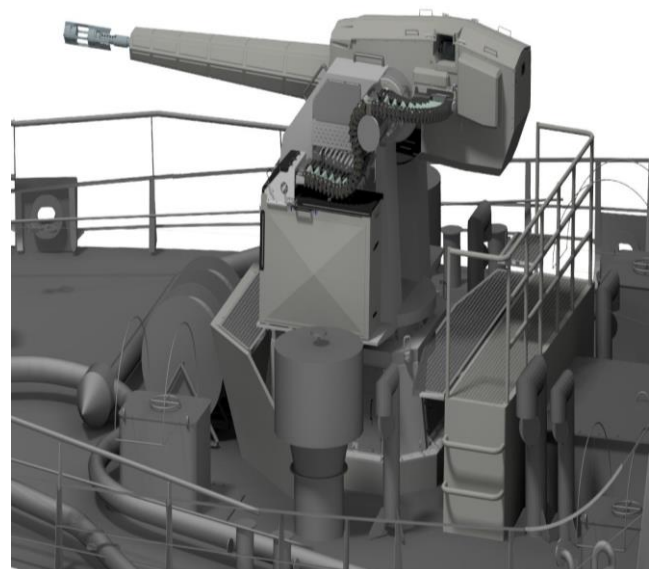
1. Wprowadzenie

Urządzenia zamontowane na okręcie wojennym muszą spełnić szereg wymagań. Od ich działania zależy dzielność okrętu podczas wykonywania zadań bojowych. Urządzenia te, poza szeregiem wymagań eksploatacyjnych w warunkach morskim, muszą być odporne na wstrząsy i udary o zadanych parametrach. Okręt w trakcie działań wojennych narażony jest na szereg oddziaływań o charakterze udarowym takich jak ostrzał z broni pancernej, wybuch kontaktowy, fala ciśnienia od wybuchu w powietrzu i w wodzie. Oddziaływanie te mogą generować w konstrukcji okrętu przyspieszenia o wartościach rzędu kilku tysięcy G. Projektując okręt zakłada się wartości graniczne jakie muszą spełnić wszystkie zamontowane na nim urządzenia, zapewniając w ten sposób zdolność manewrową i bojową okrętu dla zadanych warunków. Znajomość wartości przyspieszeń w węzłach konstrukcji okrętu jest konieczna do zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości urządzeń okrętowych, sposobu ich posadowienia, amortyzacji i lokalizacji.

2. Obiekt badań

Obiektem badań jest morska armata 35 mm (rys. 2) zamontowana na pokładzie okrętu Marynarki Wojennej, którego zadaniem jest poszukiwanie i zwalczanie min morskich. Całkowita masa armaty wynosi 4500 kg. Nosicielem armaty jest Okręt Marynarki Wojennej RP, niszczyciel min ORP Kormoran 2. Konstrukcja kadłuba tego okrętu jest wykonana z amagnetycznej stali austenicznej DIN

1,3964 o granicy plastyczności wynoszącej 560 MPa. Kadłub okrętu podzielony jest na dziewięć przedziałów. W pionie okręt podzielony jest na cztery przestrzenie wyznaczone przez dno wewnętrzne, pokład główny, pokład nadbudówki, pokład nawigacyjny i pokład namiarowy. Okręt napędzany jest przez dwa silniki spalinowe zasilające pędniki cykloidalne, charakteryzujące się niskim poziomem hałasu oraz dużą manewrowością.



Rys. 1. Armata 35 mm



Rys. 2. Okręt ORP Kormoran II

3. Obciążenie kadłuba falą ciśnienia

Po wybuchu oprócz ciśnienia hydrostatycznego konstrukcja kadłuba okrętu obciążona jest impulsem ciśnienia od wybuchu ładunku, który jest skutkiem detonacji miny o zadanej masie TNT zakotwiczonej na głębokości 30 m i w odległości 50 m od burty okrętu. Do opisu dystrybucji fali ciśnienia od wybuchu ładunku TNT w wodzie w funkcji odległości i czasu oraz masy wykorzystano wzory Cole'a [2, 10].

$$p_{\max} = K_1 \left(\frac{\sqrt[3]{m}}{R} \right)^{A_1} \quad p(t) = p_{\max} e^{-\frac{t}{C}}$$

$$C = K_2 \sqrt[3]{m} \left(\frac{\sqrt[3]{m}}{R} \right)^{A_2} \quad (1)$$

4. Równanie ruchu okrętu w ujęciu MES

Zagadnienia uwzględnione w analizowanej konstrukcji w ujęciu MES opisano równaniem ruchu w postaci [2]:

$$M(U)\ddot{U} + C\dot{U} + K(U, \dot{\varepsilon}, \varepsilon_{\text{failure}})U = F(t, R, m_{\text{TNT}}, v_c, \alpha, C_{\text{int}}) \quad (4)$$

$$U(t_0) = U_0 \quad \dot{U}(t_0) = \dot{U}_0 \quad (2)$$

gdzie: K – macierz sztywności struktury, M – macierz bezwładności, $C = \alpha M + \beta K$ – macierz tłumienia, gdzie α i β są stałymi współczynnikami [15], U, \dot{U}, \ddot{U} – wektor przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia, U_0, \dot{U}_0 – warunki początkowe, przemieszczenia i prędkości, F – wektor obciążeń, $\dot{\varepsilon}$ – wektor prędkości odkształcenia, $\varepsilon_{\text{failure}}$ – wektor odkształceń zniszczenia, t – czas.

5. Podsumowanie

W pracy przedstawiono serie symulacji MES wytrzymałości kadłuba niszczyciela min KORMORAN II obciążonego oddziaływaniem fali ciśnienia od niekontaktowego ładunku TNT dla wybuchu ładunku umieszczonego na głębokości 30 m w odległości 50 m od burty okrętu na trawersie posadowienia armaty, dla masy ładunków 100 ÷ 1000 kg z krokiem, co 100 kg do osiągnięcia poziomu zniszczeń L według skali znaczenia NATO [3]. Do realizacji zadania wykorzystano metodę elementów skończonych FEM, która ze względu na nieliniowości

materiałowe, geometryczne, interakcje współpracujących elementów, zmienne w czasie obciążenie wymaga kontroli poprawności modelu na każdym etapie realizacji. Otrzymane rozkłady naprężeń oraz przyspieszeń są logiczne a ich wartości zgodne z wiedzą literaturową. W wyniku przeprowadzonych symulacji wyznaczono wartości przyspieszeń w miejscu posadowienia fundamentu armaty morskiej kal. 35 mm zamontowanej na pokładzie niszczyciela min w funkcji masy detonowanego ładunku dla parametrów jak wyżej oraz ich przebiegi w czasie. Posłużą one jako dane wejściowe do obliczeń wytrzymałościowych elementów konstrukcyjnych armaty.

Literatura

- [1] MON, *Metodyka nr 12, sprawdzenie wymagań w zakresie odporności na narażenia mechaniczne*.
- [2] Szturomski B. *The impact of non-contact underwater explosions on the ship's hull in FEM approach*. Publishing House of the Naval Academy, Gdynia, 2021.
- [3] Szturomski B. *Modelowanie oddziaływania wybuchu podwodnego na kadłub okrętu w ujęciu metody elementów skończonych*. Wydanie 2 – uzupełnione. Wydawnictwo Akademickie AMW, Gdynia, 2022.
- [4] Szturomski B., Świątek K., Kiciński R., Jurczak W. *Raport Techniczny Sprawozdanie Nr: 23/KORMORANII/LPT/2016*. AMW – Gdynia 2016.
- [5] Szturomski B. *Inżynierskie zastosowanie MES w problemach mechaniki ciała stałego na przykładzie programu ABAQUS*. Wydawnictwo Akademickie AMW, Gdynia 2013.
- [6] Szturomski B. *Dynamic characteristics of high quality steel in Johnson-Cook's model for fast processes simulation in CAE programs*. Solid State Phenomena, Vol. 236, ISSN 1012-0394, str. 31÷38, 2015.
- [7] Johnson G. R., Cook W. H. *Fracture Characteristics of Three Metals Subjected to Various Strain, Strain Rates, Temperatures and Pressures*. Engineering Fracture Mechanics, Vol. 21, No 1, pp. 31-48, 1985.
- [8] Johnson G. R., Cook W. H. *A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rate, and temperatures*. International Symposium on Ballistics, The Hague, The Netherlands, pp. 1-7, 1983.
- [9] Szturomski B., Kiciński R. *Material Properties of HY 80 Steel after 55 Years of Operation for FEM Applications*. Materials 2021, 14, 4213. <https://doi.org/10.3390/ma14154213>.
- [10] Cole R. H. *Underwater explosions*. Princeton University Press, Princeton 1948.
- [11] Geers T. L., Hunter K. S. *An integrated wave-effects model for an underwater explosion bubble*. Boulder 2002.
- [12] Powierża Z., Świątek J. *Zagadnienie odbicia fali uderzeniowej w zakresie regularnym*. Zesz. Nauk. AMW nr 4/107/90, Gdynia 1990.
- [13] Dobrociński S., Kolenda J., Powierża Z., Świątek J., Szturomski B., Flis L. *Sprawozdanie z pracy statutowej DYNAP. Wytrzymałość dynamiczna okrętu z uwzględnieniem oddziaływania środowiska morskiego*. Instytut Podstaw Budowy Maszyn Okrętowych, AMW Gdynia 1998.
- [14] Abaqus 6.14, PDF Documentation, Theory manual, Simulia, Dassault Systems 2014.
- [15] Bathe K.-J., Wilson E. L. *Numerical methods in finite element analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1976.
- [16] Cudny K., Powierża Z. *Wybrane zagadnienia odporności udarowej okrętów*. WSMW Gdynia 1978.
- [17] Klatka N. *Zagrożenia okrętu przy wybuchu niekontaktowym i wstępne wytyczne do programów prób odporności udarowej okrętów przy niekontaktowym wybuchu podwodnym*. Archiwum AMW w Gdyni 8259/A, Gdynia WSMW 1975.
- [18] Zakłady Mechaniczne Tarnów. *Wymagania do opracowania modelu 35mm Armaty Morskiej będącej integralną częścią Okrętowego Systemu Uzbrojenia OSU, projekt rozwojowy nr o rob 0046 03 001 pod tytułem „35 mm automatyczna armata morska KDA zabudowywanym na okręcie systemem kierowania ogniem wykorzystującym zintegrowaną głowicę śledzącą ZGS-158 wykonaną w wersji morskiej wraz ze stanowiskiem kierowania ogniem”* (umowa nr DOBR/0046/R/ID1/2012/03 z dnia 19.12.2012 r. – Projekt dofinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju ze środków na naukę w latach 2012-2018, Tarnów 2017 r.).