

SZULC Dariusz¹

MOŻLIWOŚĆ ADAPTACJI WYCOFANYCH TORPED DO BEZZAŁOGOWEGO POJAZDU PODWODNEGO

W artykule przedstawiono koncepcję budowy podwodnego pojazdu bezzałogowego na bazie torpedy SET 53 wyposażonej w elektryczny napęd zasilany z baterii akumulatorów. W pierwszym etapie pracy odwzorowano rzeczywistą zewnętrzną geometrię torpedy w programie Autodesk Inventor, na bazie której wykonano wstępne projekty niezbędnych zmian, obejmujących układ sterów zanurzenia i głębokości, głowicę torpedy, obniżenie środka ciężkości, układ balastowy i inne.

THE POSSIBILITY OF ADAPTATION TORPEDO AN UNMANNED UNDERWATER VEHICLE

The article presents the concept of building an unmanned underwater vehicle made based on SET 53 torpedoes equipped with an electric drive powered by batteries. In the first stage of work mapped the actual external geometry torpedoes in Autodesk Inventor, based on preliminary designs which are made necessary changes, including the rudder system and the depth of immersion, head torpedoes, lower center of gravity, ballast system, and others.

1. WSTĘP

Polska Marynarka Wojenna wycofała z uzbrojenia torpedy SET 53 przeznaczone do zwalczania okrętów podwodnych, które obecnie zalegają w magazynach, czekając na utylizację. Są one zakonserwowane, sprawne technicznie, w bardzo dobrym stanie. Ponieważ torpeda ze względu na swoje przeznaczenie stanowi pewnego rodzaju bezzałogowy pojazd podwodny, powstała koncepcja wykonania na jej bazie podwodnego pojazdu przeznaczonego do monitoringu zadanego akwenu. W dzisiejszej gospodarce morskiej monitoring podwodny jest niezbędny, budujemy instalacje podwodne, układamy rurociągi i kable na dnie mórz, poszukujemy zatopionej techniki, eksploatujemy porty i nabrzeża.

W koncepcji przyjęto założenia jak najmniejszej ingerencji w zewnętrzną pierwotną konstrukcję oraz zastąpienia głowicy bojowej przedziałem monitoringu wyposażonym w kamery, stacje hydrolokacyjne i sprzęt pomiarowo-rejestrujący. Głowę pojazdu jako nośnik sprzętu monitorującego należy w całości zaprojektować od nowa. Możliwych jest kilka wariantów w zależności od przenoszonego sprzętu. Istotnym jest utrzymanie

¹ Akademia Marynarki Wojennej, d.szulc@amw.gdynia.pl

cyldrycznego kształtu i kołowego przekroju ze względu na małe opory ruchu. Niemniej jednak, ingerencja w konstrukcję torpedy jest konieczna. Ze względu na docelowe przeznaczenie pojazdu podwodnego, prędkość torpedy należy zmniejszyć do co najwyżej $2 \div 2,5$ m/s. Zmniejszenie prędkości torpedy (pojazdu podwodnego) spowoduje ograniczenie lub całkowitą utratę sterowności. Układ napędowy oraz sterowania torpedy był zaprojektowany na stałą prędkość 14 m/s. Zmniejszenie prędkości spowoduje konieczność zwiększenia powierzchni sterów, szczególnie kierunku, których obecna powierzchnia jest minimalna. Koniecznym może się okazać zmiana szybkoobrotowych nadkawitacyjnych śrub napędowych których sprawność wskutek zmniejszenia prędkości obniży się. Do oceny sprawności obecnego układu śrub w warunkach obniżonych prędkości pływania konieczne będzie przeprowadzenie eksperymentów – prób morskich. Zmiany te wymagają ingerencji w konstrukcję torpedy. Ponadto zmniejszenie prędkości spowoduje zmniejszenie wyporności dynamicznej co będzie wymagało precyzyjnego wyważenia torpedy tj. zrównoważenia siły wyporu i ciężaru torpedy. W tym celu pojazd należy wyposażyć w zbiornik balastowy. Wskazany jest również wymiana zasilania. Stare kwasowe baterie akumulatorów można zastąpić lżejszymi akumulatorami żelowymi zwiększając w ten sposób zasięg pływania.

2. BUDOWA I DANE TECHNICZNE TORPEDY SET 53

Torpeda SET 53 jest torpedą typu aktywnego, samonaprowadzającą z napędem elektrycznym o standardowym kalibrze 534 mm, przeznaczona do zwalczania OP w położeniu podwodnym. Podstawowe dane taktyczno techniczne są następujące:

- kaliber 534,4 mm
- długość 7800 mm
- masa (z gł. bojową) 1472 kg
- objętość 1,485 m³
- pływalność pow. 10 kg
- max. ciśnienie zew. 2,1 MPa
- odl. śr. wyp. do tylnego ścięcia 4215 mm (od dziobu 3585 mm)
- odl. śr. cięż. do tylnego ścięcia 4160 mm
- obniżenie śr. ciężkości 11 mm

Napęd torpedy składa się z dwóch przeciwbieżnych dwupłatowych śrub o prędkości wałów po 1300 obr/min. Elektryczny silnik, w którym obraca się zarówno wirnik jak i stojan, zasilany jest napięciem stałym 82,5 V z baterii 46 akumulatorów kwasowych. Średni prąd rozładowania wynosi 540 A co daje moc pozorną ok 44,5 kW. Pozwala to torpedzie przebyć drogę ok. 7500 m na głębokości od 20 do 200 m. Masa baterii akumulatorów wraz z armaturą wynosi 462,5 kg.

Kadłub torpedy wykonany jest z blachy stalowej grubości 2,4 mm i wzmocniony węgami. Składa się z czterech zasadniczych części: głowicy torpedowej, przedziału akumulatorów, przedziału rufowego i ogona ze śrubami. Poszczególne części połączone są ze sobą śrubami i stanowią całość o opływowym kształcie stwarzającym minimalne opory dla ruchu torpedy w wodzie.

3. ODWZOROWANIE ZEWNĘTRZNEJ GEOMETRII TORPEDY SET 53

Odzworowanie geometrii przestrzennej torpedy SET 53 jest niezbędne do celów projektowych. W pracy wykorzystano oprogramowanie AutoDesk Inventor 2010

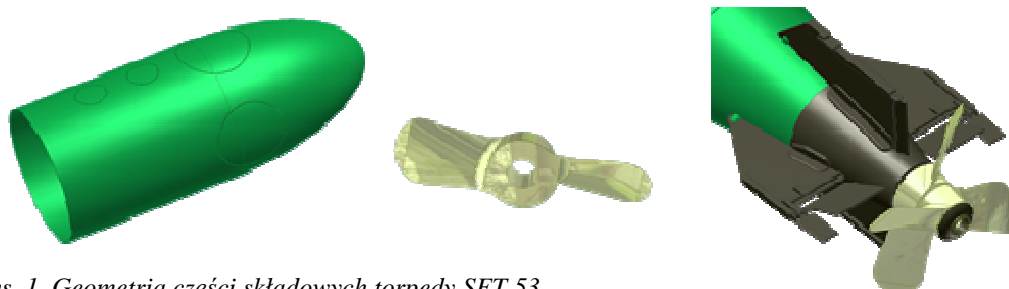
Profesjonal. Wstępnie, na potrzeby koncepcji budowy bezzałogowego pojazdu odwzorowano tylko zewnętrzną geometrię torpedy.

Odwzorowanie geometrii rozpoczęto od zapoznania się z dokumentacją taktyczno techniczną torpedy [1, 2], sporządzenia szkiców pomocniczych i wykonania dokumentacji fotograficznej rzeczywistego obiektu – torpedy szkoleniowej z przekrojami znajdującej się w Instytucie Uzbrojenia Okrętowego Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni (fot. 1).



Fot. 1. Torpeda SET 53 z przekrojami w IUO AMW

Geometrię torpedy w programie Inventor odwzorowano jako złożenie (rys. 3) z części (rys. 2) w których pomijano nieistotne szczegóły nie mające wpływu na ruch torpedy w wodzie. Przykładowo nie odwzorowywano wszystkich włączów w kadłubie torpedy jak również wszystkich połączeń śrubowych poszczególnych części kadłuba.

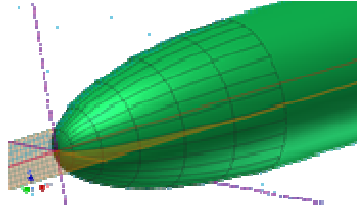


Rys. 1. Geometria części składowych torpedy SET 53

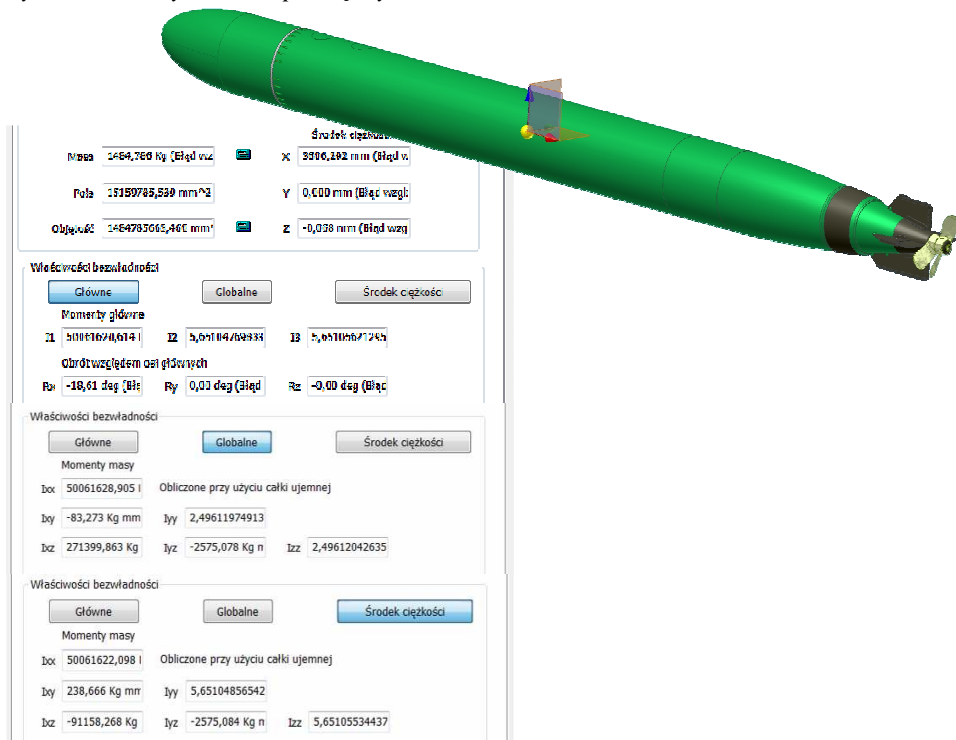
Programy CAD posiadają wbudowane różne procedury obliczeniowe, między innymi zwracające charakterystyki masowo - geometryczne. Wykonana geometria odwzorowuje tylko zewnętrzne kształty, więc nie można na jej podstawie wyznaczyć masy torpedy i współrzędnych środka ciężkości. Niemniej jednak umożliwia ona wyznaczenie masy wypartej wody, a tym samym siły wyporu i punktu jej przyłożenia oraz masowe momenty bezwładności. Początek lokalnego układu współrzędnych (rys. 5) przyjęto na głowicy torpedy tak, że oś x leży w osi konstrukcyjnej torpedy, oś y leży w płaszczyźnie poziomej, a pionowa oś z wyznacza wysokość obiektu. Płaszczyzna xz jest płaszczyzną symetrii. W układzie tym wyznaczono charakterystyki masowo geometryczne i środek wyporu (rys. 6) którego współrzędne wynoszą:

$$x_c = 3606,29 \quad y_c = 0,00 \quad z_c = 0,07 \quad \text{mm}$$

Objętość odwzorowanej geometrii wynosi $1,484786 \text{ m}^3$.



Rys. 2. Globalny układ współrzędnych



Rys. 3. Środek wyporu i charakterystyki masowo geometryczne z CAD

4. SZACUNKOWA WYTRZYMAŁOŚĆ KADŁUBA TORPEDY

Cylindryczny kształt kadłuba torpedy zapewnia stosunkowo niewielkie wartości naprężeń w jej poszyciu. Jest on wykonany z blachy o grubości 2,4 mm. Gatunek stali jest nieznan. Przyjmując najniższe własności materiałowe dla stali zwykłej jakości $\sigma_{dop} = 300$ MPa możemy określić maksymalne bezpieczne ciśnienie robocze i dopuszczalną głębokość zanurzenia.

$$p = \frac{2 \cdot g \cdot \sigma_{dop}}{D} \quad (1)$$

gdzie: σ_{dop} - naprężenia dopuszczalne w MPa;
 p - ciśnienie na głębokości napierające na czaszę, MPa;

D - średnica podziałowa czaszy, mm;
 g - grubość poszycia, mm;

stal zwykłej jakości $\sigma_{dop} = 300$ MPa
 grubość poszycia $g = 2,4$ mm;
 średnica torpedy $D = 533$ mm

$$p = \frac{2 \cdot 2,4 \cdot 300}{1,5 \cdot 533} = 2,7 \text{ MPa} \Rightarrow \text{ok. } 270 \text{ m}$$

Dla powyższych danych dopuszczalna głębokość zanurzenia kadłuba torpedy wynosi 270 m. Należy jednak spodziewać się, że kadłub torpedy wykonany jest ze stali wyższej jakości

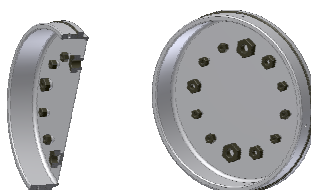
5. ZMIANY KONSTRUKCYJNE TORPEDY SET 53M

Zmiany konstrukcyjne torpedy przede wszystkim obejmują zastąpienie głowy bojowej torpedy głową – przedziałem pomiarowym. Przewiduje się wykonanie kilku głów pomiarowych za względu na różne przeznaczenie. Z tego powodu należy zmienić mocowanie głowy do kadłuba torpedy, umożliwiając łatwą wymianę. Głowa bojowa uszczelnia swą konstrukcją kadłub torpedy (fot. 2).



Fot. 2. Połączenie korpusu torpedy z głową bojową

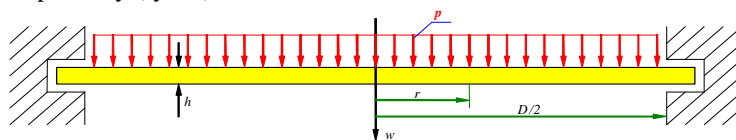
Ponieważ założono że przedział pomiarowy będzie otwarty względem otoczenia kadłub torpedy należy szczelnie zamknąć. W tym celu proponuję się wykonanie pierścienia redukcyjnego z dławicami na przewody który z jednej strony hermetycznie zamknie kadłub torpedy, a z drugiej umożliwi łatwy montaż głowy pomiarowej (rys.4).



Rys. 4. Pierścień redukcyjny z dławicami (płaskie dno)

Ponieważ pierścień redukcyjny będzie szczelnie zamykał kadłub torpedy będzie on narażony na działanie ciśnienia wody i jego wytrzymałość musi być zbliżona do wytrzymałości kadłuba tj. spełniać warunki wytrzymałościowe do głębokości zanurzenia co

najmniej 270 m. Jako dopuszczalne ciśnienie robocze przyjęto 3,0 MPa. Najprostszym do wykonania zamknięciem kadłuba byłby pierścień z płaską ścianą (rys. 4). Jest to przykład płyty kołosymetrycznej utwierdzonej na obwodzie, obciążonej na całej powierzchni ciśnieniem słupa wody (rys. 5).



Rys. 5. Utwierdzona płyta kołosymetryczna

Rozwiązanie dla tego przypadku obciążenia jest następujące:

$$\sigma_r = \frac{6M_r}{g^2} \quad M_r = \frac{p}{16} \left[(1+\nu)\frac{D^2}{4} - (3+\nu)r^2 \right] \quad (2)$$

$$\sigma_t = \frac{6M_t}{g^2} \quad M_t = \frac{p}{16} \left[(1+\nu)\frac{D^2}{4} - (1+3\nu)r^2 \right] \quad (3)$$

gdzie: σ_r, σ_t - naprężenia promieniowe i obwodowe w MPa;

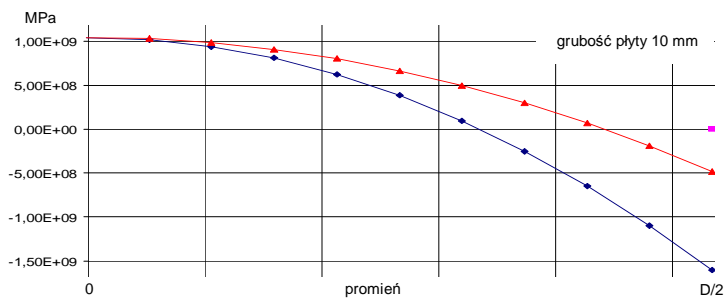
p - ciśnienie na głębokości napierające na płytę, MPa;

D - średnica płyty, mm;

r - współrzędna promieniowa płyty, mm;

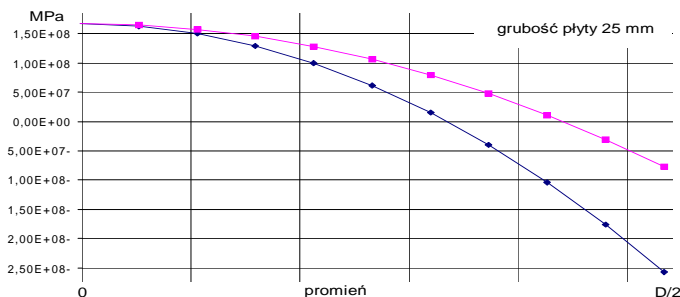
g - grubość płyty, mm;

Przy grubości płyty $g = 10$ mm i średnicy $D = 533$ mm i ciśnieniu $p = 3$ MPa naprężenia promieniowe σ_r w środku płyty przekracza wartość 1000 MPa, a w utwierdzeniu 1600 MPa (rys. 6).



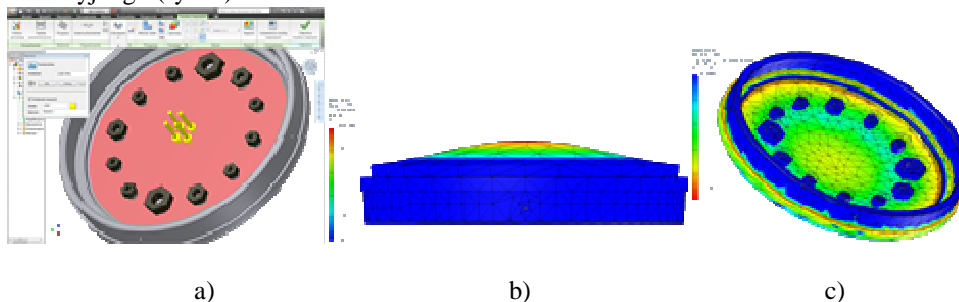
Rys. 6. Rozwiązanie analityczne dla płyty grubości 10 mm

Aby spełnić warunki wytrzymałościowe dla stali średniej jakości $\sigma_{dop} = 300$ MPa, przy średnicy płyty $D = 533$ mm grubość poszycia musi wynosić co najmniej 25 mm. Wówczas naprężenia promieniowe σ_r w środku płyty osiągną wartość 167 MPa, a w utwierdzeniu 257 MPa (rys. 7)



Rys. 7. Rozwiązanie analityczne dla płyty grubości 10 mm

Po analitycznym wyznaczeniu grubości płyty wykonano symulacje numeryczne (metoda elementów skończonych – MES) stanu naprężenia i deformacji pierścienia redukcyjnego (rys. 8).



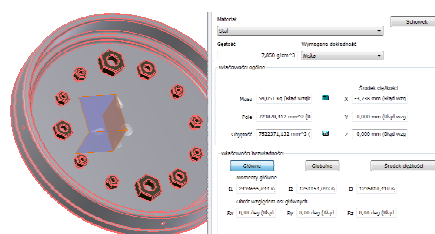
Rys. 8. Symulacja MES pierścienia redukcyjnego a) obciążenie płyty b) deformacja c) współ. bezpieczeństwa

Z przeprowadzonej symulacji wytrzymałościowej MES otrzymano następujące wyniki:

$$\begin{aligned} \sigma_{red} &= 287 \text{ MPa} - \text{naprężenia zredukowane hipoteza Von Mises} \\ w &= 0,5 \text{ mm} - \text{przemieszczenie środka płyty} \\ n_{min} &= 1,1 - \text{minimalna wartość współczynnika bezpieczeństwa} \end{aligned}$$

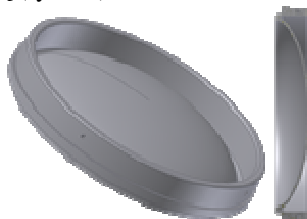
Proponowane rozwiązanie pierścienia redukcyjnego ze względu na zamknięciem płaską płytą jest łatwe w wykonaniu, niestety wadą tego rozwiązania jest stosunkowo duża masa w stosunku do masy wypartej cieczy.

Masa pierścienia wynosi 59 kg a objętość zaledwie 7,5 litra (rys. 9).



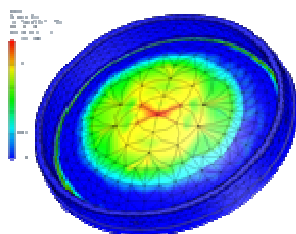
Rys. 9. Charakterystyki masowo - geometryczne pierścienia redukcyjnego

Masę pierścienia redukcyjnego można zmniejszyć poprzez zmianę kształtu zastępując płaską płytę powłoką eliptyczną (rys. 10).



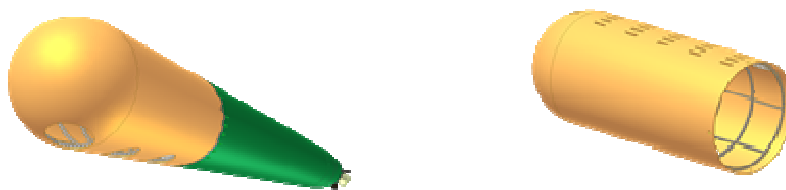
Rys. 10. Pierścień redukcyjny zamknięty eliptyczną powłoką

Poniżej przedstawiono symulację MES dla pierścienia redukcyjnego zamkniętego eliptyczną powłoką grubości 5 mm. Maksymalne naprężenia zredukowane Von Misesa występują na środku pokrywy osiągają wartość 230 MPa (rys. 11), natomiast masa pierścienia jest dwukrotnie mniejsza i wynosi 29 kg przy objętości 3,7 litra.



Rys. 11. Symulacja MES pierścienia redukcyjnego zamkniętego eliptyczną powłoką $gr = 5mm$. Naprężenia zredukowane Von Mises

Poniżej przedstawiono propozycję projektu głowy pojazdu podwodnego. Jest ona typu otwarte do otoczenia w związku z czym jest to konstrukcja lekka i może być wykonana z materiałów o mniejszej wytrzymałości. Proponowana konstrukcja wykonana jest z laminatu epoksydowo żywicznego wewnątrz której znajduje się stalowy lub aluminiowy stelaż montażowy, do którego montowana będzie aparatura pomiarowa, kamery i urządzenia rejestrujące (rys. 12).



Rys. 12. Głowa do montażu aparatury rejestrującej

Zmniejszenie prędkości pojazdu wymusza przeprojektowanie ogona ze sterami i zwiększenie powierzchni sterów. Założono jak najmniejszą ingerencję w konstrukcję torpedy, więc zmiany dostosowano do istniejących cięgien sterów. Zmiana powierzchni

sterów spowodowana jest zmniejszeniem prędkości pojazdu. Zauważmy, że opór hydrodynamiczny zależy od kwadratu prędkości, w takiej postaci występuję w równaniu ciśnienia spiętrzenia lub siły oporu hydrodynamicznego co wynika z równania Bernoulliego.

$$p = p_{\infty} + \frac{\rho v^2}{2} \quad R_D = C_D \frac{\rho v^2}{2} A \quad (4)$$

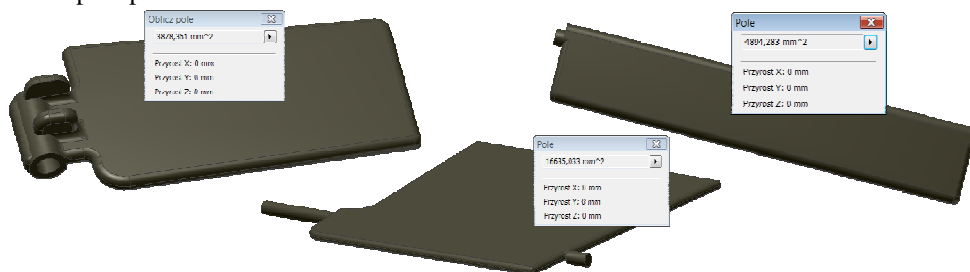
gdzie: p – ciśnienie

ρ – gęstość cieczy

v – prędkość przepływu

C_D – współczynnik oporu kształtu

A - pole powierzchni

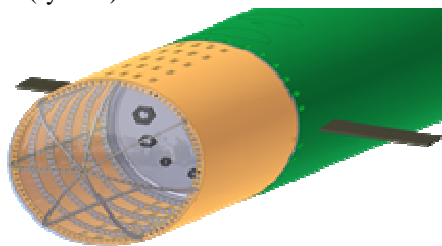


Rys.13. Powierzchnie sterów kierunku, przechyłu i głębokości z CAD

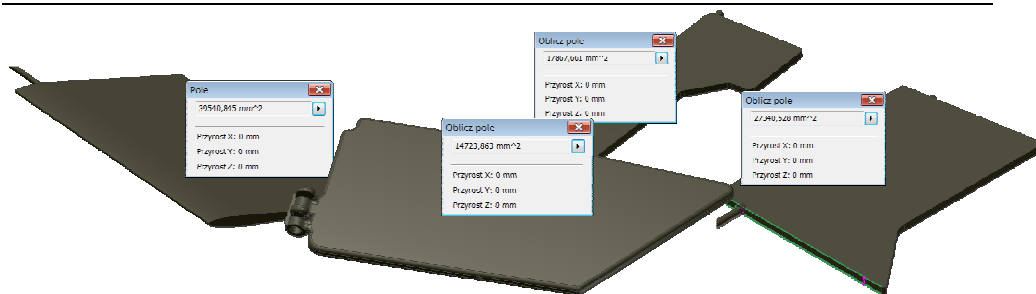
Stery torpedy były projektowane dla prędkości $v_1 = 23 w$, pojazdu $v_2 = 5 w$. Stosunek kwadratów prędkości wynosi:

$$\frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{529}{25} = 21,16$$

Oznacza to, że siła nośna na sterach spadnie 21 krotnie. Tak więc, może być ona niewystarczająca do zmiany kierunku lub głębokości pojazdu pomimo mniejszej prędkości pojazdu. Z tego powodu koniecznym jest powiększenie płetw sterowych do maksymalnych rozmiarów na które pozwala konstrukcja, jak również doposażenie w dodatkowe dziobowe stery zanurzenia na dziobie (rys. 14).

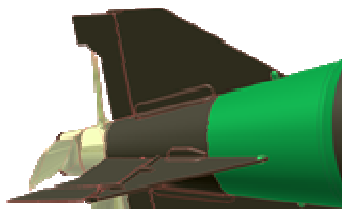


Rys.14. Dziobowe stery głębokości



Rys. 15. Powierzchnie nowych sterów z CAD

Układ sterowy po modernizacji (rys. 16) należy lub wykonać badania modelowe w basenie hydrodynamicznym co wymaga odpowiednich nakładów finansowych.



Rys.16. Ogon ze sterami po modernizacji

6. WNIOSKI

Proponowany zakres zmian konstrukcyjnych obejmuje elementy konieczne do realizacji celu jakim jest budowa autonomicznego pojazdu podwodnego na bazie torpedy SET 53. Koszt niezbędnych zmian jest niewspółmiernie mały do kosztów budowy nowego pojazdu co stwarza realne szanse na powodzenie takiego projektu.

W pracy wykorzystano obliczenia wykonane przez dr. inż. Bogdana Szturomskiego

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Dudziak J., Teoria okrętu, FPPOiGM Gdańsk 2008, ISBN: 978-83-605847-0-5
- [2] Dylağ Z., Jakubowicz A., Orłoś Z., Wytrzymałość materiałów, tom 1, WNT 2007
- [3] Gryboś R., Podstawy mechaniki płynów, PWN, Warszawa 1989
- [4] Jaskulski A., Autodesk Inventor 2010PL/2010, Wydawnictwo Naukowe PWN 2009, ISBN: 9788301160395
- [5] Rowiński L., Technika Głębinowa, Pojazdy głębinowe budowa i wyposażenie, PP WiB Gdańsk 2008, ISBN: 978-83-928007-0-5
- [6] Torpeda SET – 53, Cz. 1, Źródła zasilania, napęd i urządzenia sterujące torpedy, Opis ogólny, MON - DMW, Mar. Woj 459/70, Gdynia 1972.
- [7] Torpeda SET – 53, Album rysunków, MON - DMW, Marynarka Wojenna 461/70, Gdynia 1972.
- [8] Niezgodziński T., Wytrzymałość materiałów, PWN, ISBN: 978-83-01-15966-5