

Bogdan Szturomski
Akademia Marynarki Wojennej

**ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE
AUTONOMICZNEGO BEZZAŁOGOWEGO
POJAZDU PODWODNEGO
NA BAZIE TORPEDY SET 53**

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono koncepcję budowy podwodnego pojazdu bezzałogowego wykonanego na bazie torpedy SET 53 wyposażonej w elektryczny napęd zasilany z baterii akumulatorów. W pierwszym etapie pracy odwzorowano rzeczywistą zewnętrzną geometrię (z uproszczeniami) torpedy w programie Autodesk Inventor, na bazie której wykonano wstępne projekty niezbędnych zmian, obejmujących układ sterów zanurzenia i głębokości, głowę torpedy, obniżenie środka ciężkości, układ balastowy i inne. Zmiany projektowe wynikają głównie z konieczności zmniejszenia prędkości pojazdu z 23 w do 4–5 w.

Słowa kluczowe:

torpeda SET 53, bezzałogowy pojazd podwodny, ratownictwo morskie, MES, CAD, CAE, Autodesk Inventor.

WSTĘP

Polska MW posiadała na swoim wyposażeniu torpedy SET 53 przeznaczone do zwalczania okrętów podwodnych (OP). Wartości bojowe tych torped są obecnie przestarzałe przede wszystkim ze względu na niską prędkość (ok. 23 w), wobec czego zostały wycofane z uzbrojenia i 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, w Instytucie Uzbrojenia Okrętowego AMW 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. Koszt autonomicznego bezzałogowego pojazdu podwodnego to rząd co najmniej miliona złotych, dlatego powstała koncepcja zagospodarowania istniejących torped.

Pracownicy Instytutu Uzbrojenia Okrętowego zwrócili się do Instytutu Podstaw Konstrukcji Maszyn AMW o wykonanie założeń projektowych i wstępnych obliczeń, w wyniku czego nawiązała się współpraca między instytutami, która po pozyskaniu odpowiednich środków finansowych przewiduje wykonanie prototypu pojazdu.

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. Istotne jest utrzymanie cylindrycznego 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 4–5 w. Prędkość taką można uzyskać wskutek zmniejszenia prędkości obrotowej elektrycznego silnika napędowego, sterując jego obroty napięciem. Zmniejszenie prędkości torpedy spowoduje ograniczenie lub całkowitą utratę sterowności. Układy napędowe oraz sterowania torpedy były zaprojektowane na stałą prędkość 23 w. Zmniejszenie prędkości spowoduje konieczność zwiększenia powierzchni sterów, szczególnie kierunku, których obecna powierzchnia jest minimalna. Konieczna może się okazać wymiana szybkoobrotowych napędowych śrub nadkawitacyjnych, których sprawność wskutek zmniejszenia prędkości obniży się. Do oceny sprawności obecnego układu śrub napędowych w warunkach obniżonych prędkości pływania konieczne będzie wykonanie eksperymentów — prób morskich lub badań modelowych. Zmniejszenie prędkości spowoduje również zmniejszenie wyporności dynamicznej, co będzie wymagało precyzyjnego wyważenia torpedy, tj. zrównoważenia siły wyporu i ciężaru torpedy. W tym celu pojazd należy wyposażać w dwa zbiorniki balastowe. Wskazana jest również wymiana zasilania. Stare kwasowe baterie akumulatorów można zastąpić lżejszymi akumulatorami żelowymi, zwiększając w ten sposób zasięg pływania.

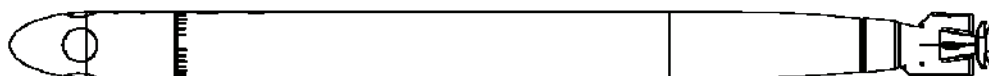
BUDOWA I DANE TECHNICZNE TORPEDY SET 53

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

kaliber	534,4 mm
długość	7800 mm
masa (z głowicą bojową)	1472 kg
objętość	1,485 m ³
pływalność	powyżej 10 kg
maksymalne ciśnienie zewnętrzne	2,1 MPa
odległość środka wyporu do tylnego ścięcia	4215 mm (od dziobu 3585 mm)
odległość środka ciężkości do tylnego ścięcia	4160 mm
obniżenie środka ciężkości	11 mm

Napęd torpedy składa się z dwóch przeciwbieżnych dwupłatowych śrub o prędkości wałów po 1300 obr/min. Średnica przedniej śruby wynosi 438 mm, masa 2,8 kg. Średnica tylnej śruby wynosi 422 mm, masa 2,6 kg. Elektryczny silnik, w którym obraca się wirnik i stojan zasilany jest napięciem stałym o wartości 82,5 V z baterii 46 akumulatorów kwasowych. Średni prąd rozładowania wynosi 540 A, co daje moc pozorną około 44,5 kW. Masa baterii akumulatorów wraz z armaturą wynosi 462,5 kg. Jej pojemność pozwala torpedzie przebyć drogę około 7500 m na głębokości od 20 do 200 m.

Kadłub torpedy wykonany jest z blachy stalowej grubości 2,4 mm, wzmocniony wręgami. Składa się z czterech zasadniczych części (rys. 1.), głowy torpedowej, przedziału akumulatorów, przedziału rufowego i ogona ze śrubami. Poszczególne części połączone są ze sobą śrubami, stanowiąc całość o opływowym kształcie stwarzającym minimalne opory ruchu w wodzie. Głowa bojowa ma długość 1305 mm i masę 287 kg. Przedział akumulatorów ma długość 4877 mm. Bez akumulatorów masa kadłuba wynosi 418 kg. Oprócz tego znajduje się w nim pięć butli sprężonego powietrza o pojemności 23,4 litrów i ciśnieniu roboczym 19 MPa. Butle zasilają system hydrauliczny sterów.



Rys. 1. Torpeda SET 53

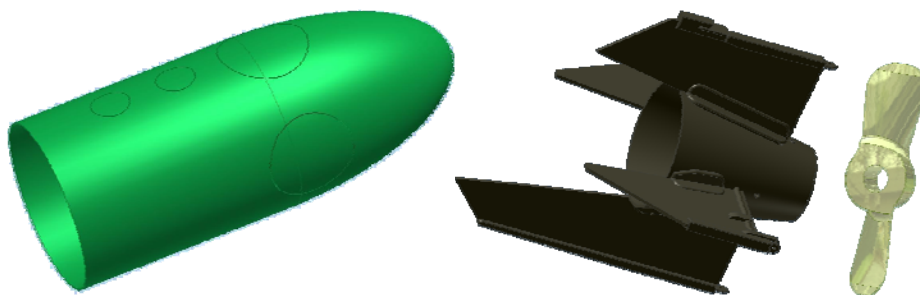
ODWZOROWANIE ZEWNĘTRZNEJ GEOMETRII TORPEDY SET 53

Odwzorowanie geometrii przestrzennej torpedy SET 53 jest niezbędne do celów projektowych. Wykonuje się je w programach CAD kompatybilnych z programami do obliczeń inżynierskich CAE. W pracy wykorzystano oprogramowanie Autodesk Inventor 2010 Professional. Wstępnie na potrzeby koncepcji budowy bezzałogowego pojazdu odwzorowano tylko zewnętrzną (mokrą) geometrię torpedy. Odwzorowanie wszystkich urządzeń wymaga pracy większego zespołu i będzie niezbędne przy wykonywaniu docelowego projektu, symulacji wytrzymałościowych itp. Zapewne konieczne będzie wykonanie wielu modeli geometrycznych docelowego pojazdu o różnych stopniach uproszczenia. 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 znajdujące się w Instytucie Uzbrojenia Okrętowego AMW (fot. 1.).

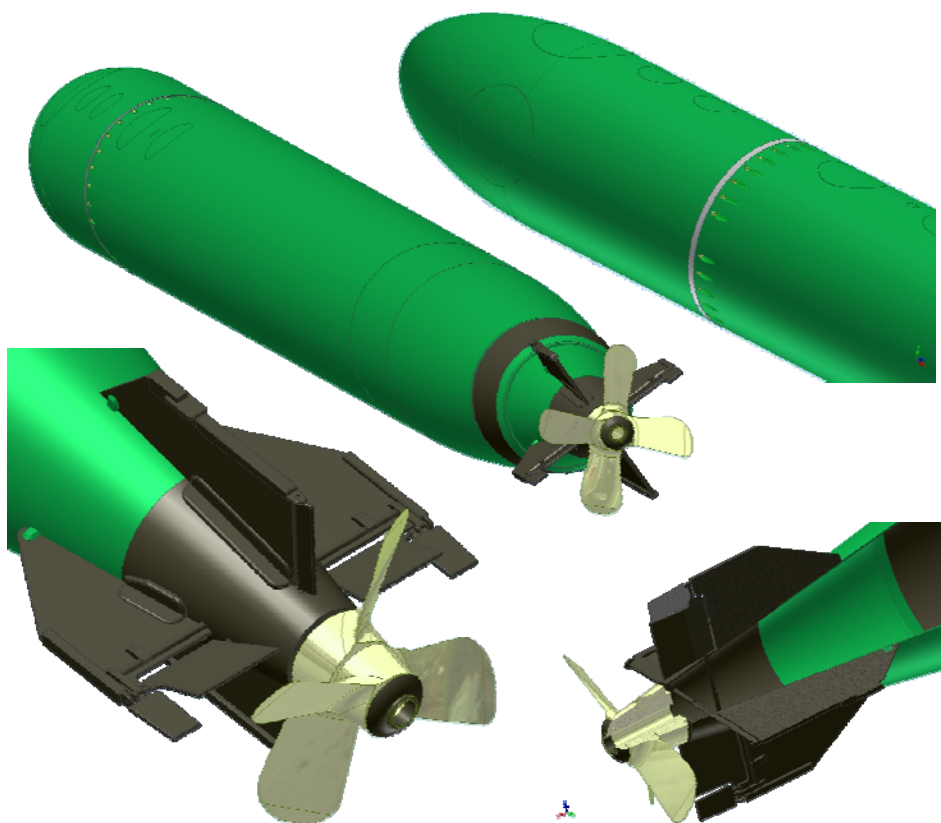


Fot. 1. Torpeda SET 53 z przekrojami w IUO AMW

Geometrię torpedy w programie Inventor odwzorowano jako złożenie (rys. 3.) z części (rys. 2.), w których pomijano nieistotne szczegóły, niemające wpływu na ruch torpedy w wodzie. Przykładowo nie odwzorowywano wszystkich włazów w kadłobie torpedy ani wszystkich połączeń śrubowych poszczególnych części kadłuba.



Rys. 2. Geometria części składowych torpedy SET 53

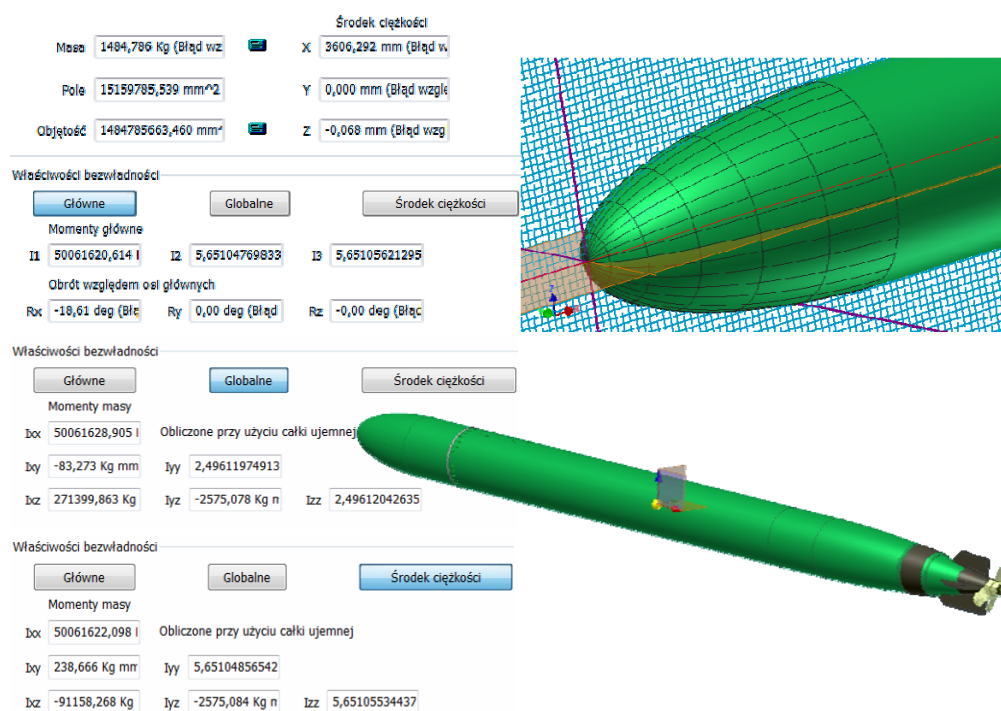


Rys. 3. Geometria „złożenia” torpedy SET 53

Programy CAD mają wbudowane różne procedury obliczeniowe, między innymi zwracające charakterystyki masowo-geometryczne. Wykonana geometria odwzorowuje tylko zewnętrzne kształty, nie można więc na jej podstawie wyznaczyć masy torpedy i współrzędnych środka ciężkości. Niemniej jednak umożliwia ona wyznaczenie masy wypartej wody, a tym samym siły wyporu, jej środka i masowych momentów bezwładności. W tym celu geometrię torpedy wykonano jako pełną bryłę i wszystkim jej elementom przypisano gęstość wody słodkiej, tj. 1000 kg/m^3 . Początek globalnego układu współrzędnych (rys. 4.) przyjęto na głowie 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. 4.), którego współrzędne wynoszą:

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

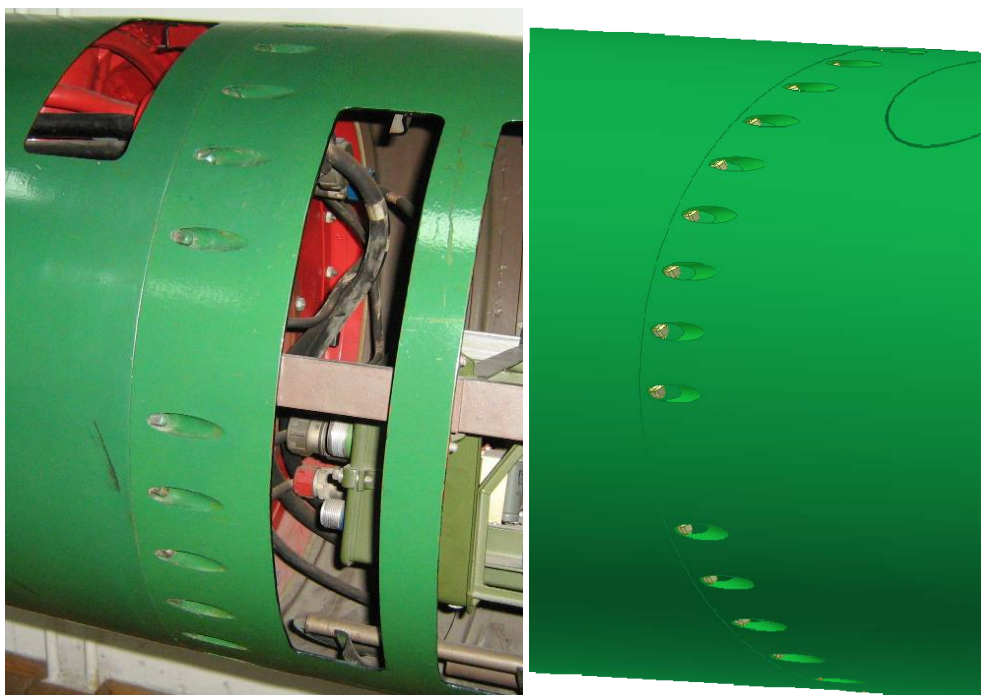
Objętość odwzorowanej geometrii wynosi $1,484786 \text{ m}^3$.



Rys. 4. Środek wyporu i charakterystyki masowo-geometryczne z CAD

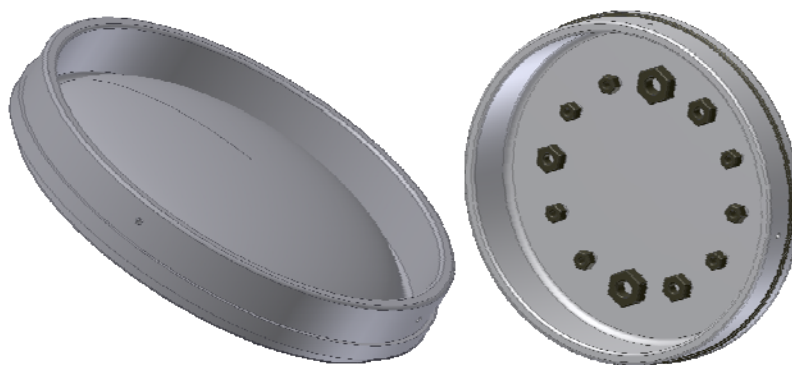
ZMIANY KONSTRUKCYJNE TORPEDY SET 53M

Zmiany konstrukcyjne torpedy obejmują przede wszystkim 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.). Ponieważ założono, że przedział pomiarowy będzie otwarty względem otoczenia, kadłub torpedy należy szczelnie zamknąć. W tym celu proponuje się wykonanie pierścienia redukcyjnego z dławicami na kable i przewody, który z jednej strony hermetycznie zamknie kadłub torpedy, a z drugiej umożliwi łatwy montaż głowy pomiarowej.



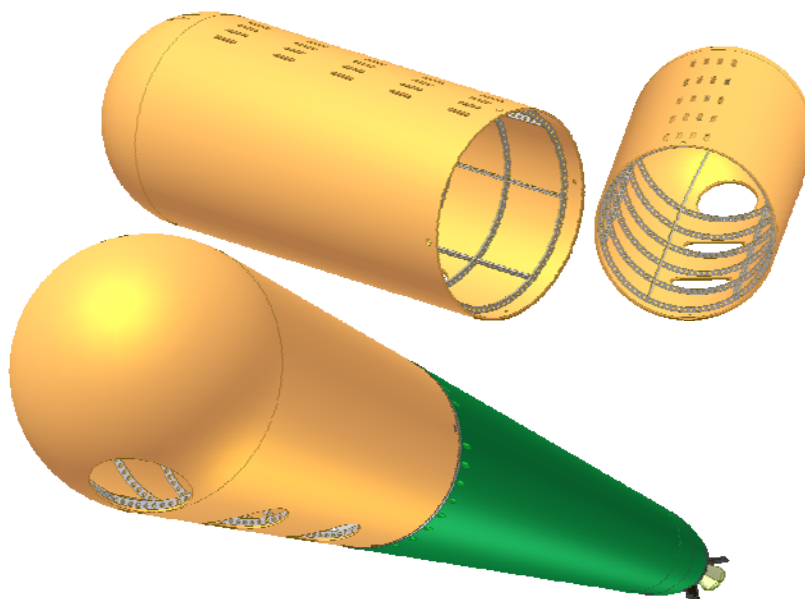
Fot. 2. Połączenie korpusu torpedy z głową bojową

Proponowane są dwa rozwiązania zamknięcia korpusu torpedy w postaci pierścienia ze ścianą płaską (rys. 5.) lub eliptyczną (rys. 6.). Obliczenie wytrzymałości pierścieni zamykających korpus torpedy przedstawione będzie w kolejnym artykule pt. *Analiza wytrzymałościowa zamknięcia korpusu bezzałogowego pojazdu podwodnego na bazie torpedy SET 53.*

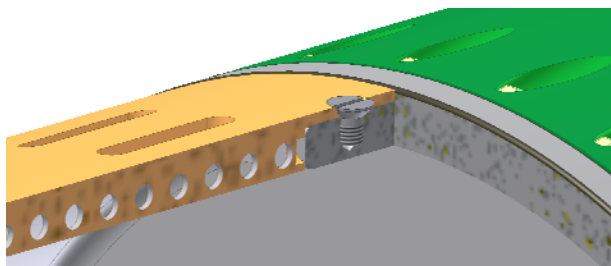


Rys. 5. Pierścienie redukcyjne zamykające korpus torpedy

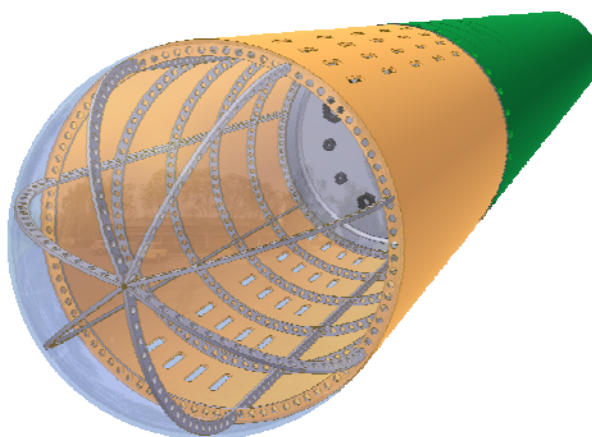
Poniżej przedstawiono propozycje projektów głowy pojazdu podwodnego. Są one typu otwartego do otoczenia, w związku z czym są to konstrukcje lekkie i mogą być wykonane z materiałów o mniejszej wytrzymałości. Proponowana konstrukcja wykonana jest z laminatu epoksydowo-żywicznego. W jej wnętrzu znajduje się stalowy lub aluminiowy stelaż montażowy, do którego montowana będzie aparatura pomiarowa, kamery i urządzenia rejestrujące (rys. 7–9). Montaż głowy do pierścienia redukcyjnego na tzw. lekki wcisk i cztery śruby zabezpieczające (rys. 8.) umożliwia łatwą i szybką wymianę głowy.



Rys. 6. Głowa do montażu aparatury rejestrującej



Rys. 7. Połączenie głowy z pierścieniem redukcyjnym



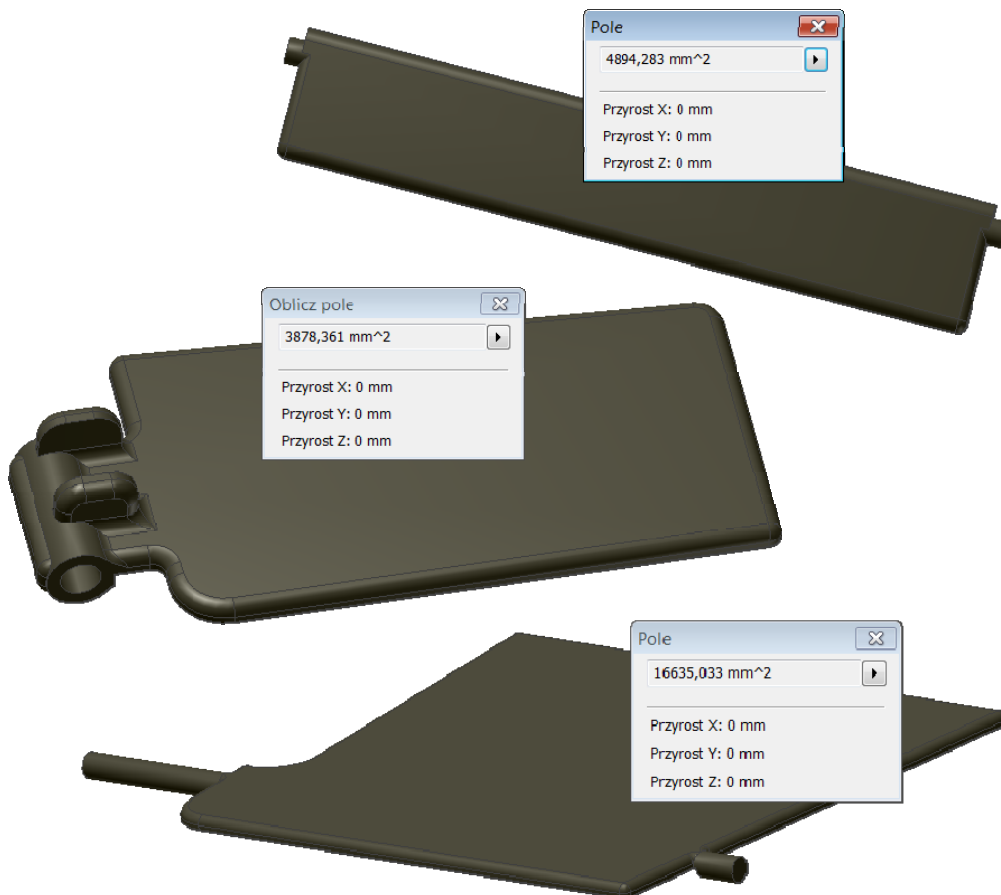
Rys. 8. Głowa ze szklaną czaszą

Zmniejszenie prędkości pojazdu wymusza przeprojektowanie ogona ze sterami i zwiększenie powierzchni sterów. Założono jak najmniejszą ingerencję w konstrukcję torpedy, a więc zmiany dostosowano do istniejących ciągów sterów. Zmiana powierzchni sterów spowodowana jest zmniejszeniem prędkości pojazdu. Zauważmy, że opór hydrodynamiczny zależy od kwadratu prędkości, w takiej postaci występuje w równaniu ciśnienia spiętrzenia lub siły oporu hydrodynamicznego, co wynika z równania Bernoulego:

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

gdzie:

- p — ciśnienie;
- ρ — gęstość cieczy;
- v — prędkość przepływu;
- C_D — współczynnik oporu kształtu;
- A — pole powierzchni.

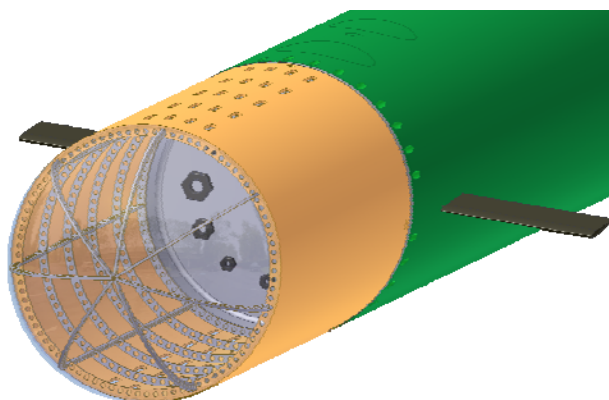


Rys. 9. Powierzchnie sterów kierunku, przechyłu i głębokości z CAD

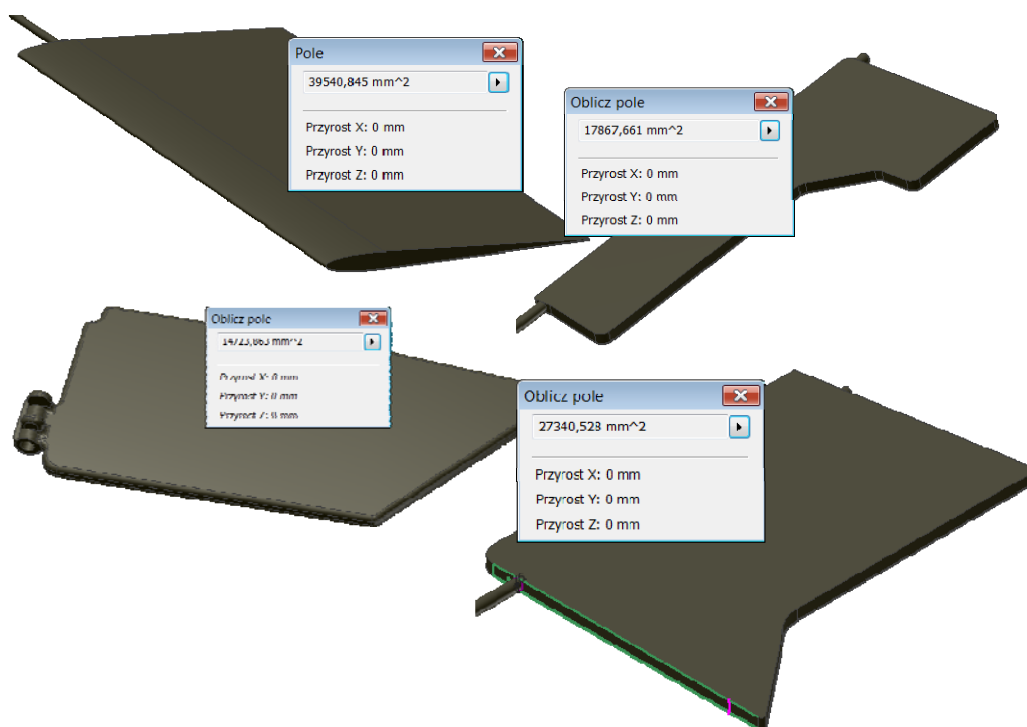
Stery torpedy były projektowane dla prędkości $v_1 = 23$ w , a prędkość pojazdu wynosić będzie $v_2 = 5$ w . Stosunek kwadratów prędkości wynosi:

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

Oznacza to, że siła nośna na sterach spadnie 21-krotnie. Tak więc, może być ona niewystarczająca do zmiany kierunku lub głębokości pojazdu pomimo mniejszej jego prędkości. Z tego powodu konieczne jest powiększenie płetw sterowych do maksymalnych rozmiarów, na które pozwala konstrukcja, jak również doposażenie w dodatkowe dziobowe stery zanurzenia na dziobie (rys. 11. i 12.).

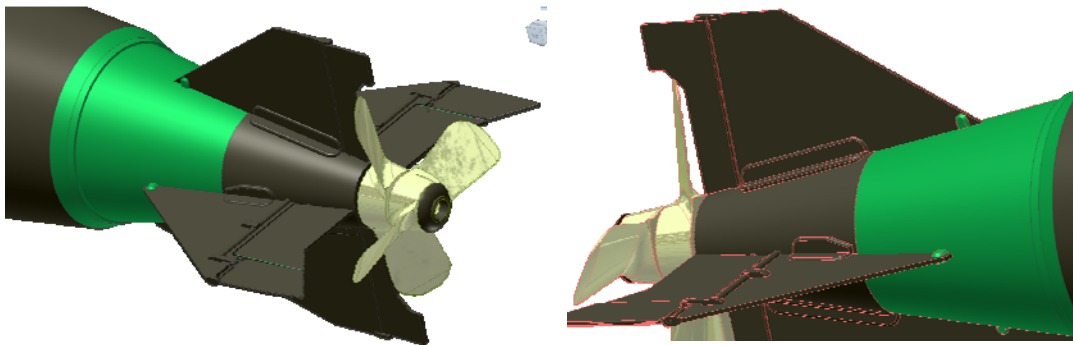


Rys. 10. Dziobowe stery głębokości

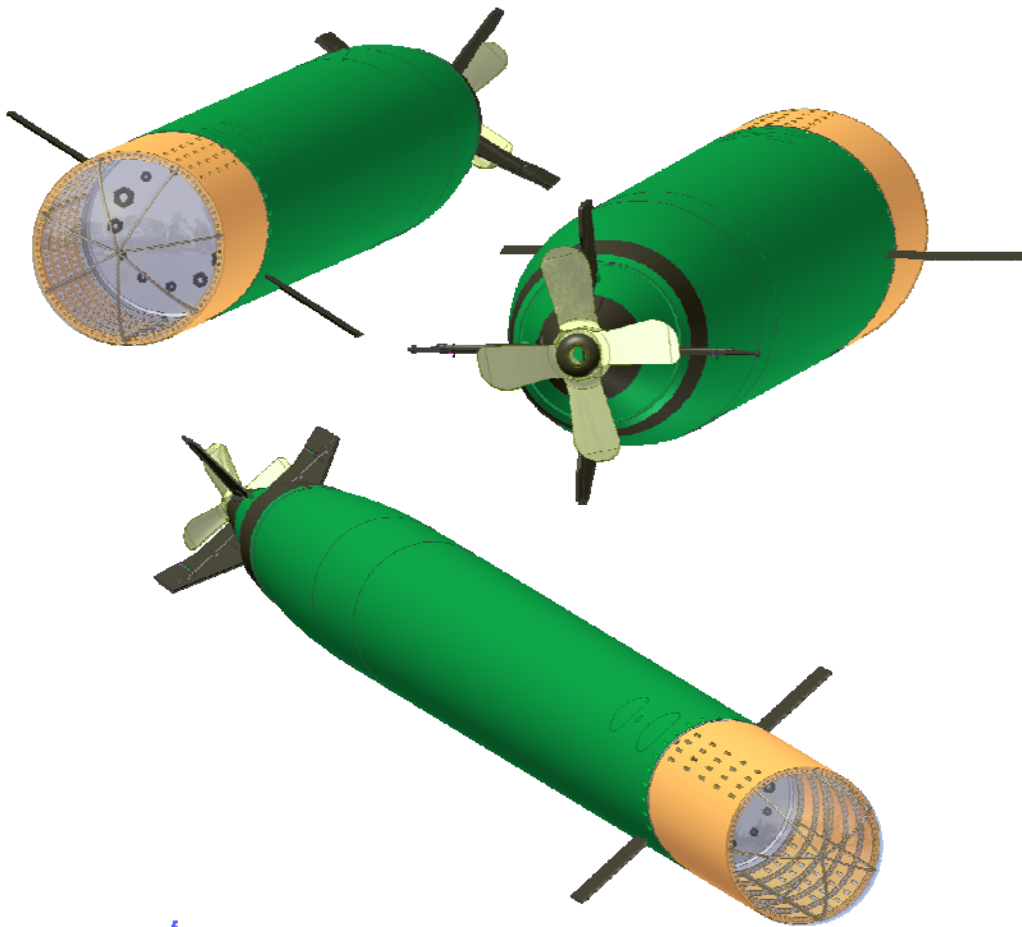


Rys. 11. Powierzchnie nowych sterów z CAD

Dla nowego układu sterowego (rys. 13.) należy przeprowadzić próby morskie lub wykonać badania modelowe w basenie hydrodynamicznym, co wymaga odpowiednich nakładów finansowych.



Rys. 12. Ogon ze sterami po modernizacji



Rys. 13. Koncepcja pojazdu podwodnego

WNIOSKI

Wstępne prace projektowe wykazały, że koncepcja wykorzystania torped SET 53 do budowy bezzałogowych pojazdów podwodnych z głowami monitorującymi jest bardzo trafna. Torpeda SET 53 stanowi gotowy pojazd podwodny. Konieczność zmniejszenia prędkości oczywiście wymusza zmiany konstrukcyjne zewnętrznych elementów układu sterowego, jednakże zmiany te w ogóle nie ingerują w istniejący układ napędowy sterów. W pracy nie rozpatrywano napędu proponowanych dziobowych sterów zanurzenia, jak i innych wymaganych zmian wewnątrz konstrukcji torpedy, na przykład zbiorników balastowych czy też wymiany baterii akumulatorów, co będzie tematem kolejnych prac.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Dudziak J., *Teoria okrętu*, FPPOiGM, Gdańsk 2008.
- [2] Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłoś Z., *Wytrzymałość materiałów*, t. 1, WNT, Warszawa 2007.
- [3] Gryboś R., *Podstawy mechaniki płynów*, PWN, Warszawa 1989.
- [4] Jaskulski A., *Autodesk Inventor 2010PL/2010*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
- [5] Rowiński L., *Technika Głębinowa. Pojazdy głębinowe budowa i wyposażenie*, PP WiB, Gdańsk 2008.
- [6] *Torpeda SET-53*, cz. 1, *Źródła zasilania, napęd i urządzenia sterujące torpedy. Opis ogólny*, MON — DMW, Marynarka Wojenna 459/70, Gdynia 1972.
- [7] *Torpeda SET-53. Album rysunków*, MON — DMW, Marynarka Wojenna 461/70, Gdynia 1972.
- [8] Niezgodziński M. E., Niezgodziński T., *Wytrzymałość materiałów*, PWN, Warszawa 2000.

**THE PROJECT FOUNDATIONS
OF AUTONOMIC UNMANNED UNDER-WATER
VEHICLE ON THE DATUM FEATURE
OF THE TORPEDO SET 53**

ABSTRACT

The conception of building under-water unmanned vehicle executes on the datum feature of the torpedo SET 53 equipped in electric drive supply from the batteries was introduced in the article. Real torpedo external geometry was imaged in the first stage of work in program Autodesk Inventor. Using real torpedo external geometry preliminary projects of necessary changes was made which includes structure of submersion wheel and depth, head of the torpedo, lowering the centre of gravity, ballast structure. Changes are the result of necessary speed reduction from 23 in to 4–5 knots.

Keywords:

torpedo SET 53, unmanned under-water vehicle, sea rescue MES, CAD, CAE, Autodesk Inventor.

Recenzent kmdr dr hab. inż. Andrzej Grządziela, prof. AMW