

**Sławomir Kuźmicki**  
**Akademia Marynarki Wojennej**

## **EWOLUCJA NAPĘDU OKRĘTÓW PODWODNYCH OD POŁOWY XX WIEKU**

### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono rozwiązania uniezależniające napęd okrętów podwodnych od wykorzystania powietrza atmosferycznego. Opisano poszczególne rozwiązania układów siłowni okrętów podwodnych stosowane wspólnie. Opisano również wykorzystanie baterii akumulatorów na konwencjonalnych okrętach podwodnych.

### **WSTĘP**

Od skonstruowania pierwszych pojazdów podwodnych następował ich rozwój zarówno pod względem napędu, uzbrojenia, jak i wykorzystania w walce.

Do poruszania się jednostek podwodnych wykorzystywano napęd różnego rodzaju. Początkowo były to wiosła, silniki pneumatyczne, maszyny parowe, żagle (w położeniu nawodnym), a nawet napęd chemiczny.

Od końca XIX wieku modyfikacjom ulegał praktycznie tylko napęd wykorzystywany przez okręty podwodne do poruszania się na powierzchni morza. Początkowo używane do tego były silniki naftowe, następnie benzynowe, aż w końcu zaczęto montować powszechnie dziś stosowane silniki wysokoprężne (tzw. Diesle).

Układ Diesle – motory elektryczne pozwolił na możliwość ładowania baterii akumulatorów na morzu, co w znacznym stopniu przyczyniło się do zwiększenia ich możliwości działania, a przede wszystkim autonomiczności. Oczywiście jest, że ze względu na potrzebę dostarczania dużych ilości powietrza do Diesli ładowanie akumulatorów mogło odbywać się tylko na powierzchni, a po skonstruowaniu chrap<sup>1</sup> na głębokości peryskopowej.

---

<sup>1</sup> Urządzenie pozwalające na dostarczenie do zanurzonego okrętu podwodnego powietrza potrzebnego do pracy silników spalinowych oraz wentylacji okrętu.

Pod koniec II wojny światowej Niemcy podjęły próbę jeszcze jednej modyfikacji napędu okrętów podwodnych, montując na nich tzw. turbinę Waltera. Poprawiono w ten sposób znacznie osiągnięte przez okręty prędkości oraz uniezależniono prawie całkowicie działalność bojową okrętu podwodnego od powietrza atmosferycznego. Jednak duża wadliwość tego urządzenia spowodowała rezygnację z szerszego wykorzystania rozwiązania w budownictwie okrętowym.

W świetle powyższych rozważań autor niniejszego artykułu postanawia prześledzić rozwój napędu okrętów podwodnych po zakończeniu II wojny światowej.

## BATERIE AKUMULATORÓW

Od czasu, gdy w 1883 roku inżynier Stefan Drzewiecki zainstalował na okręcie podwodnym silnik elektryczny, a także baterie akumulatorów do jego zasilania, układ ów stał się na bardzo długi czas kanonem na jednostkach tej klasy. Praktycznie stosowany jest po dzień dzisiejszy jako jeden z głównych rodzajów napędu okrętów podwodnych, pomimo dość kłopotliwej eksploatacji. Zastosowanie napędu elektrycznego wiąże się z koniecznością okresowego wynurzenia okrętu podwodnego na powierzchnię lub na głębokość peryskopową i stanięcia na chrapy<sup>2</sup> w celu uzupełnienia zapasów energetycznych. Zastosowanie napędu elektrycznego znacznie ogranicza również podwodną prędkość okrętu, a zasięg zmniejsza się wraz ze zwiększaniem prędkości. Nawet obecnie przy prędkości „cała naprzód” pobór prądu z baterii jest tak duży, że ogranicza poruszanie się okrętu jedynie do czasu niewiele dłuższego od 1 godziny, a w niektórych typach okrętów znacznie poniżej tej wartości.

Od końca XIX wieku baterie akumulatorów przeszły wiele udoskonaleń, ale w dalszym ciągu podstawowym typem ogniwi elektrycznych na okrętach podwodnych jest w zasadzie kwasowa bateria ołowiowa. Charakteryzuje się ona dużą trwałością oraz stosunkowo niewielkimi kosztami produkcji i eksploatacji w porównaniu z innymi typami akumulatorów. Tego typu baterie mają również szereg wad. Przede wszystkim charakteryzują się dużą masą oraz są kłopotliwe w eksploatacji. Podczas ich ładowania wydziela się duża ilość ciepła oraz wodoru, co wymusza konieczność ciągłej i efektywnej wentylacji jam bateryjnych oraz przedziałów, w których bateria jest zamontowana. Bardzo niebezpieczne jest również zalanie baterii wodą morską, gdyż powoduje to powstawanie trującego chloru. Ponadto zwiększenie stężenia

---

<sup>2</sup> Określenie to oznacza takie wyważenie okrętu podwodnego na głębokości peryskopowej, aby przez wysunięty ponad powierzchnię morza szyb ssania chrap dostarczyć do wnętrza okrętu powietrze atmosferyczne.

zawartości wodoru powyżej 3,8%<sup>3</sup> w powietrzu może skończyć się samozapłonem i wybuchem, co niejednokrotnie miało już miejsce na okrętach podwodnych, w tym również polskich<sup>4</sup>.

Obecnie prowadzone są badania w celu przygotowania dla okrętów podwodnych innych typów baterii niż ołowiowa. Większą sprawność od ołowiowych mają wysokotemperaturowe baterie sodowo-siarkowe, sodowo-niklowo-siarkowe oraz litowo-jonowe. Planowano nawet montaż baterii sodowo-siarkowych na niemieckich okrętach podwodnych typu 212A, jednak ostatecznie zrezygnowano z tego projektu na rzecz dotychczas stosowanych. Niebagatelne znaczenie w podjęciu tej decyzji miały zagadnienia finansowe, a także udoskonalenia poczynione w bateriach ołowiowych. Między innymi firma „Varta AG” (jeden z ważniejszych producentów ogniw akumulatorów dla okrętów podwodnych) rozpoczęła produkcję ogniw dwupoziomowych<sup>5</sup>, poprawiając tym nie tylko sprawność baterii akumulatorów, ale również bezpieczeństwo eksploatacji, gdyż w tym układzie rzadziej występują zwarcia między płytami, zwłaszcza po dłuższym czasie eksploatacji baterii. Przekrój takiego typu ogniwa przedstawiono na poniższym rysunku.



Rys. 1. Przekrój dwupoziomowego ogniwa baterii akumulatorów dla okrętów podwodnych

Źródło: <http://www.naval-technology.com/contractors/electrical/enersys/>, 23.03.2005.

---

<sup>3</sup> Opis techniczny baterii akumulatorów dla ORP „Dzik”, Varta AG, 1994, s. 2.

<sup>4</sup> 2 grudnia 1964 roku na ORP „Sęp” wydzielający się wodór spowodował eksplozję baterii akumulatorów, powodując śmierć 7 członków załogi.

<sup>5</sup> Bateria akumulatorów składająca się z ogniw dwupoziomowych zastosowana została między innymi na polskim okręcie podwodnym ORP „Orzeł” w połowie lat 90.

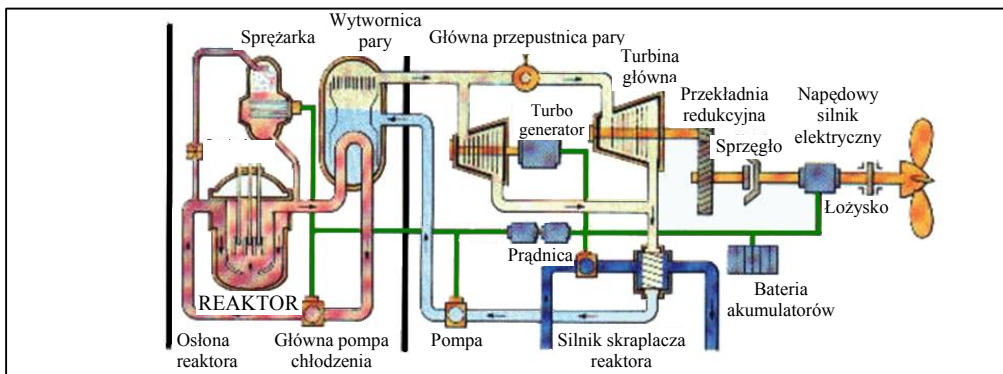
## ERA NAPĘDU JĄDROWEGO

Prawdziwa rewolucja związana z napędem okrętów podwodnych nastąpiła po II wojnie światowej, gdy Stany Zjednoczone Ameryki Północnej (USA) zwodowały i wprowadziły do służby w 1954 roku okręt podwodny USS „Nautilus”. Okręt ten 17 stycznia 1955 roku rozpoczął swój pierwszy rejs, wykorzystując po raz pierwszy w historii reakcję rozszczepienia atomu do napędu<sup>6</sup>.

Pojawienie się napędu atomowego (określanego także jako jądrowy lub nuklearny) stworzyło niewyobrażalne do tej pory dla konstruktorów oraz użytkowników możliwości wykorzystania okrętów podwodnych. Wyeliminowano całkowicie konieczność okresowego wynurzenia się na powierzchnię lub stawania okrętu na chrapy celem ładowania baterii akumulatorów. Umożliwiło to osiąganie prędkości podwodnej rzędu 35 – 40 węzłów. Zasięg pływania stał się teoretycznie nieograniczony, uzależniony tylko od kondycji psychicznej załogi oraz zapasów żywności.

Co jakiś czas odkrywano kolejne zalety tego rodzaju napędu. USS „Nautilus” płynąc w położeniu podwodnym pod lodami Arktyki, 3 sierpnia 1958 roku osiągnął Biegun Północny. Z kolei USS „Triton” odbył w położeniu podwodnym bez wynurzenia rejs dookoła świata trasą przebytą wcześniej przez Magellana. Rejs trwał 60 dni i 21 godzin, a wynurzenie nastąpiło dopiero po 83 dniach i 10 godzinach<sup>7</sup>.

Podstawowym urządzeniem układu napędowego okrętu podwodnego z napędem jądrowym (SSN) jest reaktor atomowy. Większość jednostek z takim napędem wykorzystuje reaktory ciśnieniowo-wodne, które są stosunkowo najmniej kłopotliwe w eksploatacji.



Rys. 2. Schemat systemu ciśnieniowo-wodnego napędu jądrowego

Źródło: Federation of American Scientists,  
<http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ship/eng/reactor.html>, 21.03.2005

<sup>6</sup> S. Sutowski, *Okręty podwodne wczoraj i dziś*, cz. II, AMW, Gdynia 1997/2000, s. 235.

<sup>7</sup> Tamże, s. 108.

Podczas reakcji jądrowej zachodzącej w takim reaktorze wyzwolana jest bardzo duża ilość energii cieplnej, która poprzez wodę pierwotnego obiegu chłodzącą reaktor przekazywana jest do wytwornicy pary. W obiegu pierwotnym woda chłodząca utrzymywana jest pod wysokim ciśnieniem, co nie dopuszcza do jej wrzenia oraz przemiany w parę. Ciśnienie jest uzyskiwane, utrzymywane i regulowane elektrycznie przez spirale grzewcze regulatora ciśnienia obiegu pierwotnego. Para powstaje z wody wtórnego obiegu dopiero w wytwornicy pary i przewodami przedostaje się do turbiny parowej, powodując jej pracę, a ta poprzez przekładnię i linie wałów obraca śrubę okrętową. Para z turbiny po kondensacji w skraplaczu powraca do wytwornicy pary w postaci płynnej.

O popularności tego rodzaju napędu niech świadczy fakt, że państwa takie jak USA, Wielka Brytania i Francja całkowicie zrezygnowały z eksploatacji jednostek z napędem klasycznym, pozostawiając na wyposażeniu flot jedynie atomowe okręty podwodne.

Pomimo bezsprzecznych zalet istnieje również szereg wad napędu atomowego. Jedną z nich są niezmiernie wysokie koszty związane zarówno z budową, jak i eksploatacją atomowych okrętów podwodnych. Stwarza to sytuację, w której tylko nieliczne państwa stać na utrzymanie tej klasy okrętów. Na dzień dzisiejszy spośród czterdziestu sześciu krajów mających okręty podwodne okręty atomowe znajdują się na uzbrojeniu takich państw, jak: Chiny, Francja, Rosja, USA, Wielka Brytania, co stanowi około jedną trzecią ogólnej liczby okrętów podwodnych. Marynarka wojenna Indii przewiduje zwodowanie okrętu podwodnego z napędem atomowym na przełomie lat 2006/2007<sup>8</sup>.

Kolejne istotne znaczenie ma ochrona załogi przed promieniowaniem reaktora. Ochrona taka wykonana jest najczęściej w postaci płaszcza z ołowiu lub betonu otaczającego ze wszystkich stron reaktor, który nie pozwala na przedostanie się szkodliwych czynników poza chronione pomieszczenie. Materiały, z jakich wykonuje się taką osłonę, powodują znaczne zwiększenie masy okrętu, co ogranicza możliwość zamontowania tego rodzaju napędu na jednostkach o mniejszej wyporności.

Istotną wadą takiego napędu jest konieczność chłodzenia reaktora. Wymusza to pracę pomp układu chłodzenia, które są stosunkowo hałaśliwe, co powoduje, że taki okręt w porównaniu z okrętem podwodnym wykorzystującym napęd elektryczny jest głośniejszy.

Niebagatelne znaczenie mają też problemy związane z ochroną środowiska naturalnego. Utylizacja zużytych materiałów rozszczepialnych z reaktorów jądrowych wymaga specjalnych technologii i urządzeń, a co za tym idzie, jest bardzo kosztowna.

---

<sup>8</sup> *Jane's Underwater Warfare Systems 2004 – 2005*, Jane's Information Group UK, p. 16.

## NAPĘD HYBRYDOWY OKRĘTÓW PODWODNYCH

Pewną alternatywą do nuklearnego, dostępnego na razie tylko dla nielicznych i bogatych państw, jest napęd hybrydowy. Polega on na tym, że okręt z klasycznym napędem wyposaża się w dodatkowy system niezależny od powietrza atmosferycznego – Air Independent Propulsion (AIP).

Analiza materiałów źródłowych wskazuje, że na przestrzeni kilkudziesięciu ostatnich lat prace nad tym rodzajem napędu prowadzone były w kierunku systemów termicznych oraz elektrochemicznych.

Do systemów kategorii termicznej wdrożonych do realizacji można zaliczyć:

- silnik spalinowy tłokowy o spalaniu wewnętrznym (Diesla) pracujący w obiegu zamkniętym – Closed-Cycle Diesel (CCD);
- silnik spalinowy tłokowy o spalaniu zewnętrznym pracujący w obiegu zamkniętym (Stirlinga);
- turbina spalinowa zasilana metanolem w obiegu zamkniętym oraz obieg parowy Rankine’a – Module d’Energie Sous-Marine (MESMA).

W zakresie systemów elektrochemicznych badania skupiły się właściwie tylko na jednym rodzaju napędu, którym były ogniwa paliwowe (komórki paliwowe).

Ze wszystkimi wymienionymi powyżej systemami przeprowadzone zostały długotrwałe próby i doświadczenia, które pozwoliły zamontować je na jednostkach bojowych będących w linii lub też na okrętach doświadczalnych z ofertą złożoną zainteresowanym państwom na budowę lub modernizację okrętów bojowych.

### CLOSED-CYCLE DIESEL

System CCD (ARGO Diesel) proponuje stocznia Thyssen Nordseewerke GmbH. Eksperymentalny okręt podwodny „U 12” typu 205 (ex „U 1”) przeszedł cykl badań morskich z zamontowanym tego rodzaju napędem. Próby ukończono w pierwszym kwartale 1993 roku. Silnik Diesla (MTU V8 183TE52) zamontowany na tej jednostce miał możliwość pracy w obiegu otwartym na chrapach, jak również w obiegu zamkniętym w położeniu podwodnym, korzystając z mieszanki gazowej (argon i tlen), której komponenty magazynowe były w specjalnych zbiornikach.

W czasie testów laboratoryjnych zestaw o mocy 150 kW pracował bez przerwy 250 godzin na głębokości 430 m<sup>9</sup>. Przeprowadzone doświadczenia okazały się na tyle obiecujące, że stocznia zaproponowała w ramach modernizacji okrętów typu 209 wstawienie dodatkowej sekcji w kadłubie o długości 4,5 m z ARGO Dieslem wraz z urządzeniami peryferyjnymi. Wiązałoby się to z dużym zwiększeniem potencjału bojowego floty podwodnej państw zdecydowanych na taką modernizację swoich okrętów.

Zasada pracy tego silnika polega na wytwarzaniu spalin o temperaturze około 450 °C, składających się głównie z dwutlenku węgla, argonu, pary wodnej i małej ilości tlenu, które ochładzane zostają za pomocą rozpylonej wody morskiej do temperatury około 80 °C<sup>10</sup>, a następnie dostarczone do absorbera, gdzie rozkładają się na dwutlenek węgla i skroploną parę wodną. Absorber wykorzystuje duże zdolności wody do rozkładu dwutlenku węgla, a także do łączenia tlenu i argonu. Obieg zamknięty gazu jest utrzymywany pod dużym ciśnieniem, po to by osiągnąć potrzebne właściwości absorpcyjne dwutlenku węgla. Pozostała mieszanina gazu jest wzbogacana w tlen, po czym dostarczana do silnika w celu powtórnego spalania z niewielkim dodatkiem argonu. Woda zaburtowa dostarczana jest do systemu przez specjalny system wodny – Water Management System (WMS), który umożliwia działanie silnikom Diesla niezależnie od głębokości zanurzenia okrętu.

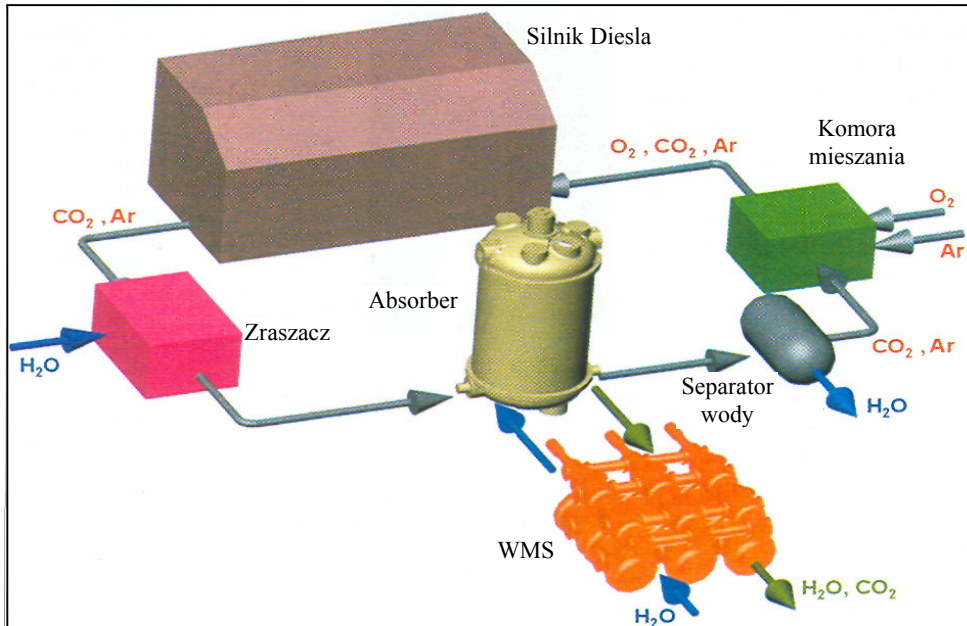
Schemat obiegu czynników energetycznych systemu AIP silnika typu CCD przedstawiono na rysunku 3.

Pomimo bezsprzecznej zalety, jaką jest uniezależnienie napędu od powietrza atmosferycznego, żadne państwo nie zdecydowało się na modernizację swojej floty podwodnej i wyposażenie jej w silniki tego typu. Wynikało to z faktu istnienia całego szeregu wad związanych z eksploatacją tak wyposażonego okrętu oraz korzystniejszych rozwiązań z innymi typami napędu niezależnego od powietrza. Głównymi wadami okazały się niska sprawność silników dochodząca jedynie do około 30 – 35%, spowodowana zakłóceniami w spalaniu mieszanki paliwowej w mieszaninie tlenu i argonu, a także zwiększenie poziomu emitowanego szumu spowodowanego pracą silnika spalinowego.

---

<sup>9</sup> K. Kubiak, A. Mironiuk, *Okręt podwodny na Bałtyk*, „Raport”, 1998, nr 6, s. 37.

<sup>10</sup> E. Lehmann, *AIP systems for submarines compared and assessed*, „Naval Forces”, 2004, No 3, p. 58.



Rys. 3. Schemat obiegu czynników energetycznych systemu AIP typu CCD

Źródło: *AIP systems for submarines compared and assessed*, „*Naval Forces*”, 2004, No 3, p. 58.

## SILNIK STIRLINGA

Szersze zastosowanie w budownictwie okrętów podwodnych znalazło opatentowane już prawie 200 lat temu rozwiązanie szkockiego pastora Roberta Stirlinga, który oparł zasady działania silnika na termodynamice, czyli przekształceniu energii cieplnej w mechaniczną, przy czym sprawność takiego silnika była dużo większa od używanych powszechnie silników spalinowych o spalaniu wewnętrznym. Dodatkowo ze względu na zewnętrzną komorę spalania taki silnik, po dostarczeniu mu ciepła, mógł być zasilany dowolnym paliwem.

W silnikach Stirlinga w wyniku procesu spalania oleju napędowego, do którego wykorzystywany jest ciekły tlen, powstaje energia cieplna. Jest ona zamieniana na energię mechaniczną w wyniku procesów termodynamicznych, a następnie na prąd elektryczny poprzez generator prądu stałego. Ciekły tlen, niezbędny do działania tego typu silnika, jest przechowywany w specjalnych zbiornikach, schładzanych



do około  $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>11</sup>, które znajdują się w dolnej części przedziału silnikowego. Sprawność silnika wynosi blisko 40%. Mieszanka złożona w 20% z oleju napędowego oraz w 80% z ciekłego tlenu spalana jest w specjalnej komorze, a powstałe w ten sposób ciepło jest następnie dostarczane do wymiennika ciepła znajdującego się wewnątrz dużej komory przypominającej kształtem dzwon. Odzyskana po spalaniu mieszanki energia cieplna przywracana jest do obiegu czynników energetycznych. Rolę gazu roboczego spełnia hel, który po ogrzaniu rozpręża się po jednej stronie tłoka, a schłodzony spręża po drugiej, powodując jego ruch w górę i w dół, a tym samym obrót wału korbowego. Specjalny aparat absorbujący, mieszając gazy wydechowe z wodą chłodzącą, schładza je z temperatury około  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  do około  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dzięki temu schłodzone spaliny wydalone są za burtę bez wytwarzania demaskujących okręt pęcherzyków. Do minimum zmniejszono również możliwość wykrycia okrętu czujnikami termicznymi.

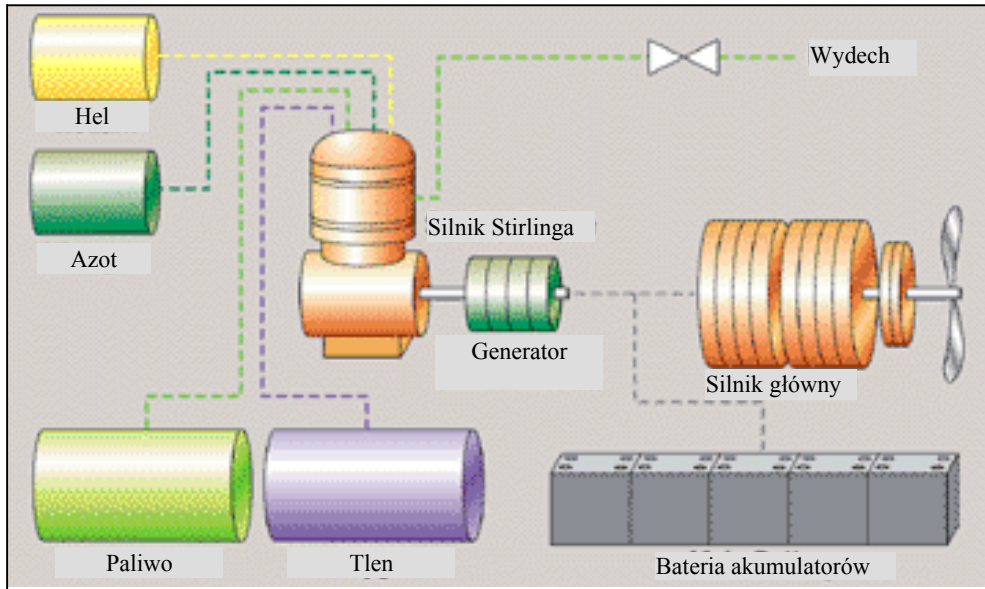
Schemat szwedzkiego systemu AIP opartego na silniku Stirlinga przedstawia rysunek 4.

Niezaprzeczalną zaletą takiego rozwiązania napędu niezależnego od powietrza jest możliwość pracy silnika Stirlinga przez okres około 2 tygodni (czas przebywania okrętu pod wodą uzależniony jest od pojemności zbiorników z tlenem), na głębokości, która jest ograniczona w zasadzie tylko wytrzymałością kadłuba mocnego. Utrzymywane w komorze spalania ciśnienia gazu na poziomie od 2 do 3 MPa umożliwia bezpośrednio odprowadzanie spalin za burtę w zakresie głębokości do 300 metrów, a za pomocą specjalnej sprężarki nawet do 600 metrów. Dodatkowo w czasie pracy silniki te nie emitują większego hałasu niż pracujący sprzęt gospodarstwa domowego<sup>12</sup>, a więc są stosunkowo ciche.

---

<sup>11</sup> O. Ivarsson, H. Pommer, *Air-Independent Propulsion systems for submarines*, „Naval Forces Special Issue”, 2003, p. 57.

<sup>12</sup> M. Chała, *Szwedzkie okręty podwodne typu A-19 Gotland*, „Morza, Statki i Okręty”, 2002, nr 4, s. 28.



Rys. 4. Schemat systemu AIP opartego na silniku Stirlinga

Źródło: Oficjalna strona internetowa stoczni Kockums, <http://www.kockums.se/>, 31.03.2005.

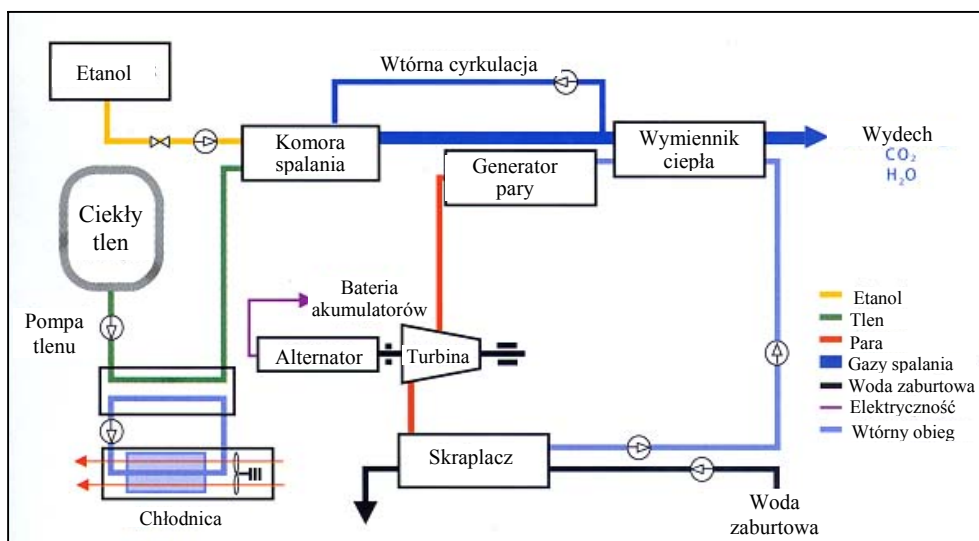
Niestety, istotną wadą tego systemu jest możliwość pracy jedynie przy prędkości do 6 węzłów, a więc stosunkowo niewielkiej. Uzyskanie większych prędkości powoduje konieczność przejścia na pracę silników elektrycznych i oczywiście pobór prądu z baterii akumulatorów.

W 1988 roku marynarka wojenna Szwecji przebudowała okręt podwodny „Näcken”, wstawiając w kadłub dodatkową sekcję z dwoma silnikami Stirlinga. Doświadczenia badań przeprowadzonych na tej jednostce zaowocowały wybudowaniem serii trzech okrętów typu A-19 „Gotland”, na których od podstaw przewidziano oraz zrealizowano napęd hybrydowy oparty na silnikach Stirlinga.

## MESMA

Francja również prowadziła zwieńczone sukcesem badania związane z napędem niezależnym od powietrza. Konsorcjum stoczniowe DCN (Direction des Construcions Navales) wykorzystując doświadczenie związane z siłowniami jądrowymi w połączeniu z opartym na zasadzie działania tzw. turbiny Waltera obiegiem Rankine’a (generator pary, turbina, skraplacz), skonstruowało układ napędowy okrętów podwodnych MESMA.

W systemie tym energia cieplna wytwarzana jest w komorze spalania poprzez proces spalania mieszanki gazowej złożonej z tlenu i etanolu. Ciekły tlen, magazynowany w specjalnych zbiornikach w bardzo niskiej temperaturze, dostarczany jest za pomocą specjalnych pomp kriogenicznych do wyparownika, a następnie odparowany w postaci gazu do komory spalania. W wyniku spalania mieszanki powstają spaliny używane do podgrzania obiegu wtórnego, a część pary dostarczana jest do skraplacza, gdzie ulega schłodzeniu i pod postacią wody dostarczana jest powtórnie do wymiennika ciepła. Produkt spalania, czyli dwutlenek węgla wydalany jest za burtę. Para wtórnego obiegu poprzez generator pary napędza turbinę do pracy na śrubę, a także alternator do ładowania baterii akumulatorów.



Rys. 5. Schemat obiegu czynników energetycznych systemu AIP typu MESMA

Źródło: *Zone Sous-marins*, <http://zone.sousmarins.free.fr/Sous-marins%20anaerobies.htm>, 31.03.2005.

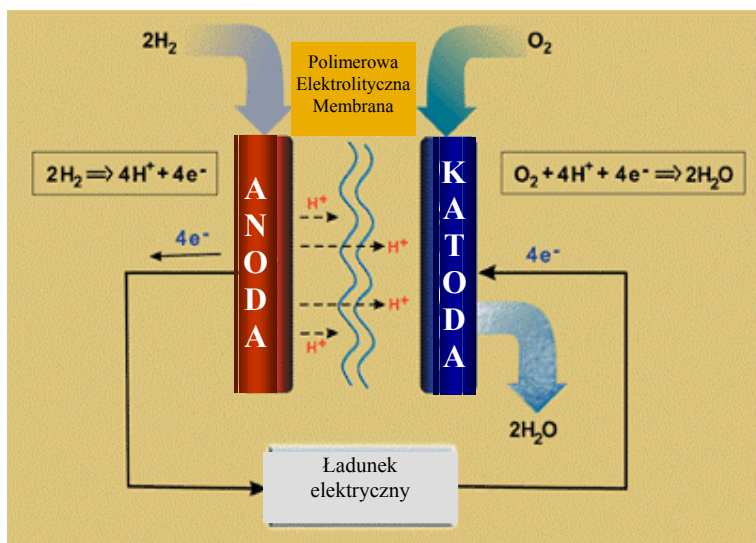
Układ ten charakteryzuje się bardzo dużym podobieństwem do siłowni atomowej, przy czym temperatura w pierwotnym obiegu jest wytwarzana przy spalaniu mieszanki tlenu i etanolu, a nie za pomocą reaktora atomowego.

Długotrwałość przebywania pod wodą bez konieczności wynurzenia się jednostki wyposażonej w tego rodzaju napęd przekracza dwa tygodnie. Niestety prędkość przy wykorzystaniu tego systemu jest ograniczona i wynosi tylko około 4 węzłów. Konieczność szybszego poruszania się wymaga od okrętu użycia tradycyjnego silnika elektrycznego, co jest związane z poborem prądu z baterii akumulatorów. Niezbyt imponująca jest też sprawność systemu, która wynosi jedynie nieco ponad 20%.

Konsorcjum CDN wyposażyło w moduł z napędem MESMA okręt podwodny „Hamza” typu „Agosta” 90B marynarki wojennej Pakistanu oraz proponuje budowę okrętów typu „Scorpene” z tego rodzaju modułem.

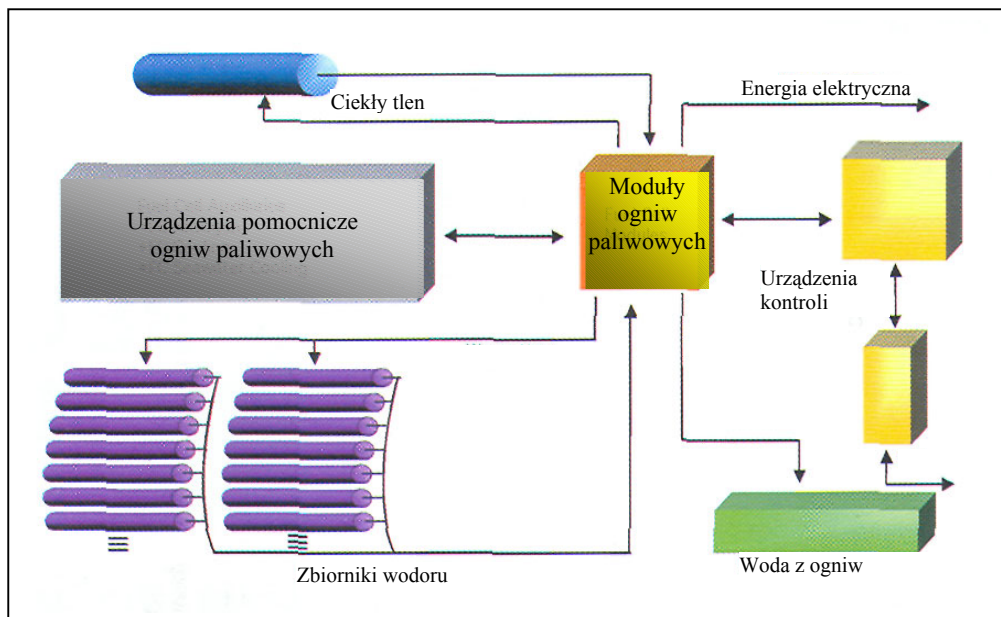
## OGNIWA PALIWOWE

Rozpoczęte w Niemczech jeszcze przed II wojną światową prace nad napędem niezależnym od powietrza na długi czas zostały zaniechane. Obok napędu typu CCD stocznie niemieckie od lat 70. prowadziły prace związane z wykorzystaniem reakcji chemicznej do wytworzenia energii elektrycznej w bateriach elektrochemicznych. Ten rodzaj napędu bazuje na połączonych w moduły ogniwach paliwowych, skonstruowanych przez firmę Siemens. Są to polimerowe elektrolityczne membrany – Polymer Electrolyte Membrane (PEM) pracujące w temperaturze poniżej 80 °C, do których dostarczane są wodór jako paliwo oraz tlen jako utleniacz. W wyniku zachodzącej reakcji chemicznej powstaje gaz przetwarzany w energię elektryczną oraz wodę, która jest produktem ubocznym. Woda magazynowana jest w specjalnych zbiornikach i może zostać usunięta za burtę w dowolnie wybranym przez dowódcę okrętu momencie. Wytworzony prąd może służyć do ładowania baterii akumulatorów lub być wykorzystany bezpośrednio do napędu silnika elektrycznego.



Rys. 6. Schemat reakcji chemicznej ogniw paliwowych zastosowanego na okrętach typu 212A

Źródło: Strona internetowa marynarki wojennej USA Office of US Navy Information, [http://www.chinfo.navy.mil/navpalib/cno/n87/usw/issue\\_13/propulsion.htm](http://www.chinfo.navy.mil/navpalib/cno/n87/usw/issue_13/propulsion.htm), 17.03.2005.



Rys. 7. Schemat systemu AIP opartego na ogniwach paliwowych

Źródło: *Naval Forces Special Issue, 2003, p. 59.*

Do zalet tego typu napędu zaliczyć można bardzo dużą sprawność przy stosunkowo niskiej szumności pracy, a także brak konieczności usuwania za burtę spalin. Długość pracy tego systemu bez konieczności wynurzenia się wynosi nieco ponad 2 tygodnie<sup>13</sup>. Do wad zaliczyć trzeba konieczność chłodzenia elektrolitu oraz konieczność bezpiecznego magazynowania wybuchowej mieszanki, tlenu i wodoru.

Ten rodzaj system napędu niezależnego od powietrza znalazł zastosowanie na okrętach typu 212A budowanych dla marynarki wojennej Niemiec oraz Włoch, a także na okrętach typu 214 przeznaczonych dla Grecji. Tymi ostatnimi zainteresowana jest również Korea Południowa.

Zestawienie okrętów podwodnych wraz z podstawowymi danymi taktyczno-technicznymi, na których zainstalowano systemy niezależne od powietrza, przedstawiono w tabeli 1.

<sup>13</sup> W. Łuczak, *Nowa era konwencjonalnych okrętów podwodnych*, „Raport”, 2002, nr 9, s. 77.

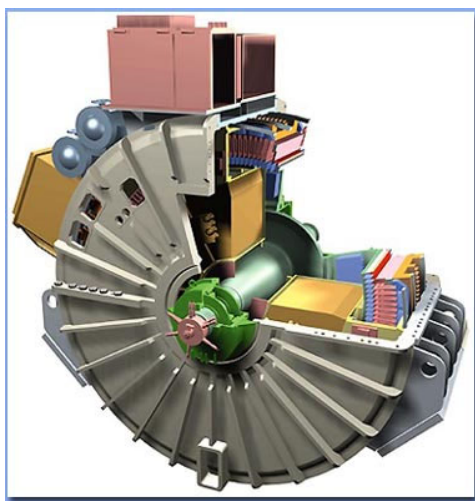
Tabela 1. Podstawowe dane taktyczno-techniczne okrętów podwodnych z napędem niezależnym od powietrza (AIP)

Typ okrętu	Wyporność nawodna / podwodna [t]	Wymiary L / B / T [m]	Prędkość nawodna / podwodna / max AIP [w] (czas pracy AIP)	Napęd		
				Spalinowy (moc [MW])	Elektryczny (moc [MW])	AIP (moc [MW])
212	1450 / 1830	55,9 / 7 / 6	12 / 20 / 8 (ok. 500 h)	1 x MTU 16V 396 (3,12)	1 x Siemens Permasyn (2,85)	9 x Siemens/ HWD PEM fuel cell (0,306)
214	1700 / 1800	65 / 6,3 / 6,6	11 / 20 / 8 (ok. 500 h)	2 x MTU 16V 396 (4,17)	1 x Siemens Permasyn (2,85)	2 x HWD PEM fuel cell (0,24)
Näcken	1015 / 1085	57,5 / 5,7 / 5,5	10 / 20 / 5 (kilka tygodni z v < 5 w)	1 x MTU 16V 652 MBO (1,27)	1 x Jeumont Schneider (1,32)	2 x Stirling V4-275R (0,15)
Gotland	1494 / 1599	60,4 / 6,2 / 5,6	10 / 20 / 5 (kilka tygodni z v < 5 w)	2 x MTU Hegemona (1,94)	1 x Jeumont Schneider (1,32)	2 x Stirling V4-275R (0,15)
Agosta 90B	1510 / 1960	77 / 6,8 / 5,4	12 / 20 / 4 (230 – 300 h, v = 2 w; 195 – 235 h, v = 4 w)	2 x SEMT Pielstick 16PA4V 185VG (2,65)	1 x Jeumont Schneider (2,2) 1 x cruising (0,023)	MESMA AIP system (0,2)

Źródło. *Jane's Fighting Ships 2004 – 2005*, *Jane's Information Group UK 2004*, *Weyers Flotten Taschenbuch 1999/2001, Bonn 2000*; K. Kubiak, A. Mironiuk, *Okręt podwodny na Bałtyk*, „Raport”, 1998, nr 6, s. 37.

Na okrętach typu 212A oraz 214 zamontowany został również nowej konstrukcji silnik elektryczny. Jest to zaprojektowany przez zakłady Siemens silnik o nazwie Permasyn ze stałym magnetycznym wzbudzeniem i sterowaną przekształt-

nikiem odwróconą synchronizacją (rys. 8.). Jest on o około połowę mniejszy oraz lżejszy od dotychczas stosowanych silników z podobną mocą, a także ma podwyższoną odporność na wstrząsy. Umożliwia on obracanie wału napędowego wraz ze śrubą w zakresie bardzo małych prędkości obrotowych. Pominięcie głośno pracujących styczników przy jednoczesnej możliwości płynnego sterowania obrotami powoduje znaczne wyciszenie okrętu w porównaniu z dotychczas stosowanymi silnikami.



Rys. 8. Przekrój silnika elektrycznego typu Permasyn

Źródło. *Analisi Difesa*, <http://www.analisdifesa.it/images8/perma.htm>, 01.04.2005.

## WNIOSKI

Wszystkie rodzaje napędu niezależnego od powietrza (z wyjątkiem napędu atomowego) mogą być stosowane tylko przy niewielkich prędkościach okrętu podwodnego (w zależności od typu napędu 4 – 8 węzłów). W celu zwiększenia prędkości pływania konieczne jest więc wykorzystanie tradycyjnego, konwencjonalnego napędu.

Na wszystkich okrętach podwodnych, które mają napęd niezależny od powietrza, systemy te nie są jedynym rodzajem napędu (z wyjątkiem atomowego), a służą tylko jako wspomaganie napędu klasycznego. Dalsze badania nad tego rodzaju napędem mogą zaowocować w przyszłości całkowitym zastąpieniem układu diesel-elektrycznego opisywanymi wyżej systemami.

Porównanie czasów pływania podwodnego z napędem hybrydowym i z wykorzystaniem wyłącznie baterii akumulatorów pozwala na stwierdzenie znacznej poprawy właściwości bojowych okrętów z AIP.

W dużym stopniu zmniejszy się prawdopodobieństwo wykrycia okrętów podwodnych przez siły i środki zwalczania okrętów podwodnych (ZOP) ze względu na brak konieczności uzupełniania zapasów energetycznych, a zatem nastąpi zdecydowana poprawa skrytości działań. Znacznie wydłuży się czas prowadzenia działań bojowych przez okręty podwodne.

Warte zastanowienia jest, w jaki sposób opisane tu modyfikacje napędu okrętów podwodnych przyczynią się do wykorzystania ich w działaniach sił morskich. Takiej analizy autor zamierza dokonać w kolejnym artykule.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] *Analisi Difesa*, <http://www.analisdifesa.it/images8/perma.htm>, 01.04.2005.
- [2] Angenendt H., *Submarine batteries since WW I*, „Naval Forces”, 2004, No 2.
- [3] Chała M., *Okręty podwodne typu 214*, „Morza, Statki i Okręty”, 2001, nr 5.
- [4] Chała M., *Szwedzkie okręty podwodne typu A-19 Gotland*, „Morza, Statki i Okręty”, 2002, nr 4.
- [5] Donaldson A. J., *Submarine Power Sources For the Mission*, „Naval Engineers Journal”, 1996, No 5.
- [6] *Federation of American Scientists*, <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ship/eng/reactor.html>, 21.03.2005.
- [7] Friedman N., *New Roles for Submarines*, „Naval Forces”, 2004, No 3.
- [8] Ivarsson O., Pommer H., *Air-independent propulsion systems for submarines*, „Naval Forces Special Issue”, 2003.
- [9] *Jane's Fighting Ships 2004 – 2005*, Jane's Information Group UK 2004.
- [10] *Jane's Underwater Warfare Systems 2004 – 2005*, Jane's Information Group UK 2004.
- [11] Jurek K., *Okręty podwodne z napędem niezależnym od powietrza (AIP)*, „Przegląd Morski”, 2005, nr 3.



- [12] Kiński A., *W poszukiwaniu nowego napędu*, cz. 1, „Morza, Statki i Okręty”, 2001, nr 2.
- [13] Kiński A., *W poszukiwaniu nowego napędu*, cz. 2, „Morza, Statki i Okręty”, 2001, nr 3.
- [14] *Kockums*, <http://www.kockums.se/>, 31.03.2005.
- [15] Kubiak K., *Wojna falklandzka 1982*, Gdańsk 2002.
- [16] Kubiak K., Mironiuk A., *Okręt podwodny na Bałtyk*, „Raport” 1998, nr 6.
- [17] Lehmann E. *AIP systems for submarines compared and assessed*, „Naval Forces”, 2004, No 3.
- [18] Łuczak W., *Nowa era konwencjonalnych okrętów podwodnych*, „Raport”, 2002, nr 9.
- [19] Makowski A., Kubiak K., *Convencional Submarines East and West*, „Naval Forces”, 2002, No 3.
- [20] Mironiuk A., *Klasyczne okręty podwodne – małoszumną naprzód*, „Przegląd Morski”, 1996, nr 6.
- [21] *Naval-technology*, <http://www.naval-technology.com/contractors/electrical/enersys/>, 23.03.2005.
- [22] *Office of US Navy Information* [http://www.chinfo.navy.mil/navpalib/cno/n87/usw/issue\\_13/propulsion.htm](http://www.chinfo.navy.mil/navpalib/cno/n87/usw/issue_13/propulsion.htm), 17.03.2005.
- [23] Stenberg P-A., Ohlund G., *Swedish Submarine Class „Gotland”*, „Naval Forces Special Issue”, 2003.
- [24] *Suń cicho, suń głęboko*, „Raport”, 1997, nr 12.
- [25] Sutowski S., *Okręty podwodne wczoraj i dziś*, cz. I, AMW, Gdynia 1997.
- [26] Sutowski S., *Okręty podwodne wczoraj i dziś*, cz. II, AMW, Gdynia 1997/2000.
- [27] Śmigielski A., Jaskuła A., *Prawda o chrapach*, „Morze”, 1989, nr 1.
- [28] *Weyers Flotten Taschenbuch 1999/2001*, Bonn 2000.
- [29] Wiedermann J., *Launching of second german U212A submarine*, „Naval Forces”, 2004, No 1.

- [30] Zawadzki W., *Okrety podwodne U212/S214*, „Nowa Technika Wojskowa”, 2002, nr 2.
- [31] *Zone Sous-marins*,  
<http://zone.sousmarins.free.fr/Sous-marins%20anaerobies.htm>, 31.03.2005.

### ABSTRACT

The paper presents new propulsion system solutions which are not dependent on the use of the atmospheric air. These solutions are currently used in the „real life” on board of submarines. Another problem considered in this paper is the use of batteries within the submarines propulsion system solutions.

Recenzent kmdr dr hab. inż. Zbigniew Korczewski, prof. nadzw. AMW