

## TRENDS OF INCREASING DEMAND FOR ELECTRIC ENERGY ON SHIPS

Jerzy Herdzik

Gdynia Maritime University  
Maritime Power Plant Department  
81/87 Morska str.; 81-226 Gdynia, Poland  
tel. +48 58 6901430, fax +48 58 6901399  
georgher@am.gdynia.pl

### Abstract

The paper presents parameters of chosen ship types like tankers, ferries and cruise liners. It was shown trends of increasing demand for electric energy in total ship energy demand. The reason is using more and more equipment needing electricity supply (because of automation), universality of electric energy which easy to transform to mechanical energy or heat. Engines of gensets work on heavy fuels, their power is increasing, so the efficiency coefficient is nearly the main engines (especially for medium speed engines – the same types which driven the gensets). The ship propeller may be driven by an electric motor (without a reduction gear needed between medium speed engine and propeller). It is a cause why the ship power plants are more often designed as a diesel-electric or gas-electric plant. The paper presents the reasons of this situation and some speculations for the future. The article underlines arriving trends of changes and gives their faults and advantages.

**Keywords:** marine electric power plant, genset, electric energy demand, type of ship, electric power load

## TENDENCJE WZROSTU ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ NA STATKACH

### Streszczenie

W artykule przedstawiono przykłady coraz większego zapotrzebowania na energię elektryczną na współczesnych statkach. Uwagę skupiono na statkach pasażerskich i specjalistycznych. Jest to trend wynikający postępującej automatyzacji statku, uniwersalności energii elektrycznej, którą łatwo transformuje się do postaci energii mechanicznej czy cieplnej. W wyniku szerszego stosowania, w tej grupie statków, prądnic wałowych (podwieszonych) wzrasta udział energii elektrycznej w bilansie sumarycznej energii wytwarzanej na statku. W związku z tym coraz mniejsze znaczenie ma zapotrzebowanie na energię mechaniczną do napędu śrub okrętowych w napędach bezpośrednich i przekładniowych. Coraz częściej stosowane są napędy typu diesel-electric lub gas-electric (w których do napędu prądnic stosuje się silniki średnioobrotowe o mocy porównywalnej z tradycyjnym silnikiem napędu głównego), a śruba okrętowa napędzana jest silnikiem elektrycznym. Mimo mniejszej sprawności napędowej jest to układ przynoszący szereg dodatkowych korzyści. Jeszcze bardziej uzasadnione jest, stosowanie tylko układów z głównymi zespołami prądotwórczymi, do napędu głównego statków pędnikami aktywnymi. Artykuł podkreśla zachodzące trendy zmian oraz podaje ich wady i zalety.

**Słowa kluczowe:** elektrownia okrętowa, zespół prądotwórczy, zapotrzebowanie, typ statku, obciążenie mocą elektryczną

### 1. Wstęp

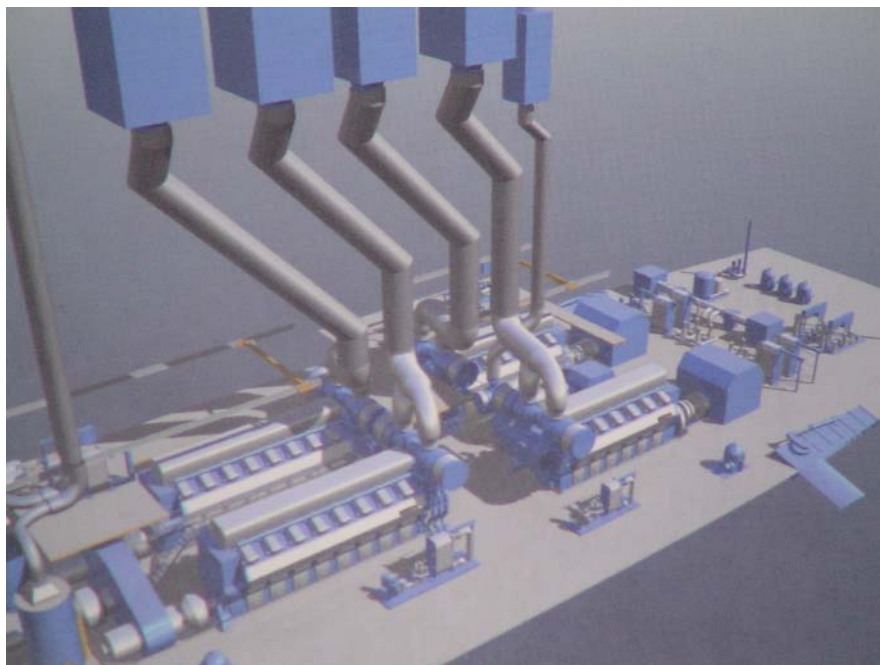
Od roku 1990 w światowej flocie handlowej średnia ilość nowo zbudowanych jednostek pływających o nośności powyżej 1000 DWT przekracza 1 tysiąc rocznie.

Najbardziej popularne typy budowanych jednostek to:

- kontenerowce i samochodowce;
- tankowce (zbiornikowce);

- promy i statki ro-ro, ro-pax itp.;
- duże statki pasażerskie – cruise liners;
- statki specjalistyczne jak: statki dostawcze (supliers), bunkierki, kablownce, statki wiertnicze itp.

W grupie tych statków spotyka się szereg rozwiązań głównych układów napędowych, w których zastosowano układy wielosilnikowe. W takich przypadkach tradycyjny napęd śrubą okrętową wymaga zastosowania przekładni redukcyjnych (dla silników średnio- i wysokoobrotowych) oraz dwóch linii wałów. Podnosi to znacząco koszty inwestycyjne tradycyjnego rozwiązania. Specjalizacja statków, wprowadzanie dodatkowych urządzeń i wyposażenia powoduje wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną przy znacznym spadku zapotrzebowania na energię mechaniczną potrzebną do ruchu statku. Sprzyja to rozwiązaniom, w których w układach energetycznych wytwarza się tylko energię elektryczną [3], którą zasila się wszystkie odbiory energii, w tym napęd jednostki – tradycyjnie śrubą okrętową, ale napędzaną silnikiem elektrycznym. Mówi się wtedy o napędzie spalinowo-elektrycznym (diesel-electric D-E gdy główne prądnice napędzane są spalinowymi silnikami z zapłonem samoczynnym najczęściej czterosuwowymi lub gas-electric G-E gdy prądnice napędzane są turbinami gazowymi [4,5]), niektórzy autorzy używają nazwy napęd z przekładnią elektryczną. Przykład takiego rozwiązania pokażano na rys.1.



Rys.1. Siłownia typu diesel-electric dla statku typu ro-pax [1].  
Fig.1. Diesel-electric power plant for ro-pax ship.

## 2. Wady i zalety okrętowych układów energetycznych z głównymi zespołami prądotwórczymi

Rozwiązaniem brany pierwotnie pod uwagę w głównych napędach okrętowych jest wykorzystanie do tego celu śruby okrętowej o stałym skoku z jej bezpośrednim napędem wolnoobrotowym dwusuwowym silnikiem z zapłonem samoczynnym zasilanym paliwem ciężkim. Rozwiązanie takie daje szereg korzyści:

- spalane jest najtańsze dostępne paliwo;
- dwusuwowy silnik wolnoobrotowy ma najwyższą sprawność ogólną dochodzącą do 55%, co przekłada się na mniejsze zużycie paliwa;
- napęd bezpośredni ogranicza straty momentu obrotowego w łożyskach linii wałów, sprzęgle i przekładni redukcyjnej;
- śruba o stałym skoku ma najwyższą sprawność w warunkach nominalnych ze wszystkich znanych pędników okrętowych.

Sumarycznie dzięki temu uzyskuje się tzw. najwyższą sprawność napędową, biorąc pod uwagę cały układ przenoszenia mocy. Dominacja tego rozwiązania dotyczy statków:

- poruszających się do prędkości około 30 węzłów (około 55 km/h);
- na których w długich okresach eksploatacji (powyżej 50% czasu eksploatacji) obciążenia silnika głównego znajdują się w granicach 60-100% obciążenia nominalnego;
- na których zapotrzebowanie na pierwotną energię mechaniczną do napędu głównego przekracza 70% sumarycznego tj. sumy energii mechanicznej, elektrycznej i cieplnej.

Dla pozostałych statków alternatywne są inne rozwiązania. W przypadku, gdy nowozbudowane statki wymagają zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną sięgającą 50% sumarycznego, a szczególnie gdy występują znaczne wahania zapotrzebowania na energię – coraz częściej sięga się po rozwiązania układów energetycznych z głównymi zespołami prądotwórczymi.

Do ich wad można zaliczyć:

- mniejszą sprawność silników ją napędzających (rzędu wielkości o 2-4%);
- większe nakłady inwestycyjne (koszt prądnic dużej mocy, ich zabezpieczeń, rozsyłu energii, stosowania energetycznych sieci okrętowych na dwa napięcia: średniego napięcia (3-6 kV) do zasilania dużych odbiorników mocy (w tym silnika elektrycznego napędzającego śrubę okrętową) i niskiego napięcia (380-440 V) do zasilania pozostałych urządzeń;
- większy hałas w siłowni (stosowane są najczęściej silniki średnioobrotowe);
- większe koszty remontów (więcej silników), mniejsza niezawodność.

Natomiast uzyskuje się szereg zalet, które niwelują ww. wady:

- okrętowe zespoły prądotwórcze mają z reguły co najmniej 4 główne zespoły prądotwórcze (porównaj Tab.3) – pozwala to na dostosowanie liczby pracujących zespołów prądotwórczych do aktualnego zapotrzebowania na energię, co podnosi sprawność wytwarzania energii;
- istnieje możliwość daleko idącej automatyzacji siłowni (w tym załączania i odstawiania silników) co pozwala ograniczyć liczebność załogi maszynowej;
- układy wielosilnikowe mimo mniejszej niezawodności poszczególnych silników podnoszą gotowość i możliwość napędu głównego statku;
- dzięki wytworzonej energii elektrycznej istnieje możliwość rozdzielenia obciążenia i zasilania np. urządzeń ważnych dla bezpieczeństwa statku i ludzi – w sytuacjach awaryjnych można ograniczyć lub nie zasilać tzw. odbiorów mniej ważnych;
- dochodzi do ograniczenia (a zasadniczo one już nie występują) liczby zaników napięcia w sieci okrętowej (tzw. blackoutów) co podnosi bezpieczeństwo statku, ludzi i przewożonego ładunku.

Wielu armatorów docenia korzyści wypływające ze stosowania na statkach głównych zespołów prądotwórczych i preferuje tego typu rozwiązania. Ma to wpływ również na załogę statku, która jest w stanie (mimo często mniejszej liczebności) zaplanować czas przeglądów lub remontów (nie kolidujących z warunkami bieżącej eksploatacji statku) i skutecznie reagować na stany awaryjne zagrażające bezpieczeństwu statku, ludzi i ładunku.

### 3. Udział wytwarzanej energii elektrycznej w bilansie sumarycznego zapotrzebowania na energię na wybranych typach statków

Udział wytwarzanej energii elektrycznej w bilansie sumarycznego zapotrzebowania na energię zależy od wielu czynników, przede wszystkim od:

- typu statku;
- wyposażenia statku w urządzenia (odbiorniki energii elektrycznej);
- rejonu pływania (w tym strefy klimatycznej).

Parametr ten zmienia się w dość szerokich granicach, nawet dla statków tego samego typu. Minimalne zapotrzebowanie na energię elektryczną winno występować na dużych masowcach uprawiających żeglugę na długich trasach (oceanicznych). Przykładem mogą być duże tankowce, szczególnie supertankowce (VLCC), na których udział mocy elektrycznej w sumarycznej wytwarzanej sięga tylko 10-15% (Tab.1), bowiem energochłonne pompy ładunkowe napędzane są bezpośrednio pomocniczymi turbinami parowymi, choć i w tej grupie są wyjątki (poz. 6 w tab.1).

Tabela 1. Parametry statków typu tankowiec [2]  
Table 1 Parameters of tankers

L.p.	Nazwa statku rok budowy	typ statku prędkość eksploat.	nośność [DWT]	moc napędu głównego [kW]	moc elektrowni okrętowej [kW]	udział mocy elektrycznej w wytwarzanej energii [%]	typ siłowni
1.	GRIFFIN VENTURE 1993	tankowiec FPSO 8,5 w	97 962	5 000	31 600	100	gas- electric
2.	POLAR EAGLE 1993	tankowiec LNG 18,5 w	42 031	15 456	6 000	27,8	turboparo wy
3.	SIAM 1993	supertankowiec VLCC 15,8 w	302 377	23 493	2 820	10,7	dwusuw
4.	TORDIS KNUTSEN 1993	tankowiec offshore shuttle 14,7 w	116 596	14 728	5 700	29,2	dwusuw
5.	GHASHA 1995	tankowiec LNG 20,7 w	68 351	25 848	8 100	23,9	turboparo wy
6.	HEIDRUN 1995	tankowiec 15,0 w	123 000	19 100	32 600	100	diesel- electric
7.	STOLT INNOVATION 1996	chemikaliowiec	37 015	10 000	13 365	100	diesel- electric
8.	ASTRO SIRIUS 1996	tankowiec afamax 13,5 w	98 805	14 058	2 250	13,8	dwusuw
9.	ELISABETH KNUTSEN 1997	tankowiec shuttle 15,4 w	117 916	20 020	17 200	81,1	2*dwusuw
10.	NAVION BRITANNIA 1997	tankowiec shuttle 15,40w	118 138	22 500	11 480	33,8	2*dwusuw
11.	LOCH RANNOCH 1997	tankowiec shuttle 14,3 w	127 260	27 160	11 200	29,4	2*dwusuw

W przypadku statków tzw. dowozowców (shuttle tankers) udział procentowy energii elektrycznej sięga już 30-80%, w których powszechnie stosuje się, oprócz pomocniczych zespołów prądotwórczych, prądnice wałowe o mocy często przewyższającej moce tradycyjnych agregatów. W rezultacie znacząca część energii elektrycznej może być wytworzona w prądnicach wałowych napędzanych przez silniki napędu głównego. W tab.1 zaprezentowano możliwości typów siłowni na tych statkach. Łatwo dostrzec można różnorodność spotykanych rozwiązań. Wynika z tego, że inne czynniki niż wcześniej wymienione mogły mieć istotny wpływ na rodzaj zastosowanego rozwiązania układu energetycznego.

W tab.2 przedstawiono zapotrzebowanie na energię elektryczną na statkach typu prom (w tym statki typu ro-ro, ro-pax itp.). Wyraźnie widać dominację napędu śruby okrętowej średnioobrotowymi silnikami czterosuwowymi (mają mniejsze gabaryty, szczególnie mniejszą wysokość silnika w stosunku do dwusuwowych). Pomijając poz.8 w tab.2 (wyjątek superszybki prom napędzany pędnikami strugowodnymi) udział energii elektrycznej wynosi 10-35% dla tradycyjnych napędów. Choć i w tej grupie statków spotyka się coraz częściej siłownie z głównymi zespołami prądotwórczymi (D-E).

Tabela 2. Parametry statków typu: prom [2]  
Table 2. Parameters of ferries

L.p.	nazwa statku rok budowy	typ statku prędkość eksploat.	wyporność [GRT]	moc napędu głównego [kW]	moc elektrowni okrętowej [kW]	udział mocy elektrycznej w wytwarzanej energii [%]	typ siłowni
1.	ARETOUSA 1995	ro-ro 23,8 w	28 417	31 200	6 795	10,8	4*czterosuw
2.	BANG CHUI DAO 1995	ro-ro 20,0 w	15 560	11 520	4 640	33,5	4*czterosuw
3.	ISLE OF INNISFERE 1995	prom 22,0 w	22 365	23 040	6 700	26,2	4*czterosuw
4.	ROBIN HOOD 1995	prom 18,5 w	22 800	13 000	18 000	100	4*diesel-electric
5.	SUPERFAST 1995	23 633 26,8 w	23 633	31 680	5 840	16,6	4*czterosuw
6.	SUZURAN 1996	prom 29,4 w	17 345	42 900	6 500	14,0	2*czterosuw
7.	STENA JUTLANDICA 1996	ro-pax 21,5 w	29 691	25 920	6 680	18,3	4*czterosuw
8.	STENA EXPLORER 1996	szybki prom 40 w	20 000	76 540	3 640	4,5	turbogazowy waterjets
9.	DAWN MERCHANT 1998	ro-pax 23,3 w	16 800	23 840	4 840	18,9	4*czterosuw
10.	ARATERE 1998	prom 20,0 w	bd	12 000	14 720	100	4*diesel-electric

Dominację napędu głównymi zespołami prądotwórczymi obserwuje się od kilkunastu lat na dużych statkach pasażerskich typu wycieczkowiec (cruise liner) (Tab.3). Wpływ na to ma zdecydowanie typ statku, na którym zapotrzebowanie na energię elektryczną wynika głównie z potrzeb hotelowych, czyli potrzebami związanymi z obsługą pasażerów. Występują przy tym znaczące wahania zapotrzebowania na energię, w tym na energię elektryczną związane z liczbą pasażerów na statku, strefą klimatyczną (porą roku) czy np. postojem w porcie, w którym

pasażerowie są poza statkiem. Powszechnie statki tego typu samodzielnie wchodzą i wychodzą z portu (by ograniczyć koszty, często codziennych zawinięć do portów), w rezultacie są doposażone w kilka sterów strumieniowych, a w związku z tym mają zwiększone zapotrzebowanie na energię elektryczną sięgającą wartości 50-70% sumarycznej. Rozsądnym wyjściem jest stosowanie uniwersalnych układów energetycznych związanych z głównymi zespołami prądowórczymi, czyli D-E lub G-E. Układ diesel-electric (D-E) staje się popularny, w związku z możliwościami zmniejszenia hałasu i drgań na statku (generowanych przez silniki z zapłonem samoczynnym) oraz ochroną atmosfery wymaganą na wielu akwenach, na które wpływają tego typu statki. W przypadku konieczności spalania paliw odsiarczonych (w tym paliw lekkich) możliwe będzie pod względem ekonomicznym stosowanie turbin gazowych, które rzadko bywają stosowane na tradycyjnych statkach handlowych.

Tabela 3. Parametry statków typu: statek pasażerski [2]

Table 3. Parameters of passenger ships (cruise liners)

L.p.	Nazwa statku rok budowy	typ statku prędkość eksploat.	wyporność [GRT]	moc napędu głównego [kW]	moc elektrowni okrętowej [kW]	udział mocy elektrycznej w wytwarzanej energii [%]	typ siłowni
1.	STATENDAM 1992	wycieczkowiec 20,0 w	55 500	24 000	34 560	100	5*diesel- electric
2.	GRANDEUR OF THE SEAS 1996	wycieczkowiec 22,0 w	74 140	34 000	50 400	100	4*diesel- electric
3.	COSTA VICTORIA 1996	wycieczkowiec 23,0 w	37 577	30 000	50 700	100	6*diesel- electric
4.	CARNIVAL DESTINY 1996	wycieczkowiec 22,5 w	101 353	40 000	63 360	100	6*diesel- electric
5.	AIDA 1996	wycieczkowiec 21,0 w	38 531	21 720	15 600	51,8	4*czteros uw
6.	GRAND PRINCESS 1998	wycieczkowiec 23,0 w	109 000	42 000	69 120	100	6*diesel- electric
7.	SUPERSTAR LEO 1998	wycieczkowiec 24,0 w	76 800	40 000	58 400	100	4*diesel- electric
8.	R-ONE 1998	wycieczkowiec 20,2 w	30 277	13 500	19 460	100	4*diesel- electric
9.	ELATION 1998	wycieczkowiec bd.	70 390	28 000	47 520	100	6*diesel- electric
10.	DISNEY MAGIC 1998	wycieczkowiec 22,3 w	85 000	38 000	57 600	100	5*diesel- electric
11.	CRYSTAL SYMPHONY 1995	wycieczkowiec 22,0 w	50 200	33 000	36 880	100	6*diesel- electric
12.	LEGEND OF THE SEAS	wycieczkowiec 24,1 w	69 490	40 200	58 500	100	5*diesel- electric

#### 4. Sposoby określania zapotrzebowania na energię elektryczną na statkach

Statek musi posiadać odpowiednią autonomiczność pływania. Oznacza to, że posiada on odpowiednie zapasy paliwa, olejów smarowych, wody, żywności itd. Musi być również wyposażony w odpowiednie urządzenia do wytwarzania energii elektrycznej, zapewniającej jej

dostawy w każdym stanie eksploatacyjnym statku. Rozwiązania takie wymuszają m.in. odpowiednie przepisy towarzystw klasyfikacyjnych (w tym PRS-u).

Sposobów określania zapotrzebowania na energię elektryczną jest kilka. Nie ma niestety sposobu, który trafnie określiłby to zapotrzebowanie w fazie projektowania statku. Czynnikiem weryfikującym jest późniejsza eksploatacja. Jeśli przebiega bez zakłóceń oznacza to trafne decyzje projektanta. Tym niemniej jest to sytuacja dyskomfortu dla projektanta, który mimo stosowania kilku metod np.:

- wzorów aproksymacyjnych podawanych przez instytuty badawcze np. Centrum Techniki Okrętowej w Gdańsku;
- listy statków podobnych;
- bilansu energetycznego dla projektowanej jednostki

i próby ich weryfikacji – okazują się często, że elektrownia okrętowa jest przewymiarowana (co oznacza, że poniesiono zwiększone koszty inwestycyjne oraz ponosi się zwiększone koszty eksploatacyjne) lub jest za małej mocy, co jest sytuacją jeszcze gorszą – utrudniającą, a niekiedy uniemożliwiającą eksploatację statku.

Problem określenia zapotrzebowania na energię elektryczną nie został dotychczas poprawnie rozwiązany i być może nie będzie rozwiązany w najbliższej przyszłości. Problem ten zasadniczo nie wystąpi w przypadku okrętowych układów energetycznych z głównymi zespołami prądotwórczymi, w których ewentualne błędy określenia zapotrzebowania na energię elektryczną przez pozostałe urządzenia okrętowe, mogą być kompensowane zapasem mocy uwzględnianym przy obliczeniach napędu głównego statku.

## **5. Trendy przyszłościowe - uwagi końcowe**

W ostatnich trzydziestu latach obserwuje się zachodzenie znaczących zmian w projektowaniu statków, ich typów i przeznaczenia. Zmiany te dotyczą również układów energetycznych siłowni, w tym elektrowni okrętowych. Obserwuje się postępujący wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną. Dla niektórych typów statków staje się on dominujący tak, że zdecydowano się na rozwiązania typu diesel-electric lub gas-electric (wycieczkowce). Dla innych typów to rozwiązanie układu energetycznego staje się coraz bardziej popularne i uzasadnione ekonomicznie. Czy stanie się ono dominujące? Dla niektórych statków, głównie specjalistycznych układ diesel-electric stanie się normą, natomiast dla „starszych” typów statków będzie uzasadnione pozostawienie „starych”, ale sprawdzonych rozwiązań. Wpływ na to może mieć wiele czynników m.in.:

- cena paliw okrętowych (a zasadniczo ich zmiany),
- zaostrome wymagania ochrony środowiska (w tym atmosfery),
- wprowadzanie nowych rozwiązań napędu głównego (np. pędników aktywnych),
- wzrost prędkości statków powyżej 30 węzłów, kiedy stosowanie tradycyjnej śruby okrętowej jest nieuzasadnione.

Można przewidywać z dużym prawdopodobieństwem, że coraz więcej statków, szczególnie o specjalnym przeznaczeniu, będzie wyposażanych w układy z głównymi zespołami prądotwórczymi.

## **Literatura**

- [1] *Marine News* No. 3-2001, materiał firmy Wartsila.
- [2] *Significant Ships* of A Publication of Royal Institute of Naval Architects, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001.
- [3] *Simar Driver. Advanced Diesel-Electric Propulsion System*, – projekt, Siemens AG 2001.

- [4] Domachowski, Z., Dzida M., *An analysis of characteristics of ship gas turbine propulsion system*, Polish Maritime Research, special issue 2004.
- [5] *Gas Turbine World*, Handbook, vol. 22.2001-2002.