

INNOWACJE TECHNOLOGICZNE NA STATKACH MORSKICH W CELU REDUKCJI ZUŻYCIA ENERGII I EMISJI CO₂

Celem pracy jest przegląd aktualnie realizowanych innowacji na statkach morskich w celu obniżania oporów kadłuba, co powoduje zmniejszenie zużycia paliwa przy jednoczesnym obniżaniu emisji gazów do atmosfery.

WSTĘP

Od kilku lat na nowobudowanych statkach morskich wprowadzane są technologie służące zmniejszeniu zużycia energii oraz emisji gazów do atmosfery [5]. Na jednostkach starszych, będących już w eksploatacji, zmiany te wprowadza się przy okazji planowych remontów i przeglądów, co wpływa na polepszenie procesów eksploatacyjnych i ekologicznych (ochronę środowiska), a także realizowane jest jedno z głównych zaleceń IMO.

Optymalizacja kosztów eksploatacji zależy od rodzaju usług żeglugowych, stanu technologicznego statków, procesów zarządzania, konserwacji, ładunku oraz planowania nawigacji. W opracowaniu położono nacisk na kluczowe elementy związane z wprowadzaniem innowacji technologicznych na nowobudowanych statkach, zgodnie z zaleceniami Międzynarodowej Organizacji Morskiej w zakresie spełnienia opracowanych indeksów EEDI oraz wskaźników EEOI.

1. ZMIANY KOSZTÓW ZUŻYCIA ENERGII

W ostatniej dekadzie obserwuje się na światowych rynkach paliw płynnych drastyczny wzrost cen, zwłaszcza materiałów ropopochodnych. Obecnie paliwa stanowią najwyższy procentowo składnik kosztów eksploatacyjnych statku [3, 13]:

- paliwo – 50–80%,
- oleje, smary – od 6%,
- koszty załogi – od 2%,
- urządzenia pomocnicze – od 2%,
- opłaty różne – od 2%.

Coraz silniejsza konkurencja na światowym rynku frachtowym wymusza na armatorach i operatorach obniżanie kosztów eksploatacyjnych, m.in. poprzez:

- optymalizację projektowania systemów okrętowych;
- monitorowanie służb i załóg statków;
- inspekcje zużycia energii na statkach;
- ulepszanie praktyk procesu zarządzania eksploatacją statku.

Najważniejszym elementem tego procesu jest monitorowanie na bieżąco stanu eksploatacji statku. Poprzez monitoring można śledzić aktualny stan techniczny i ekonomiczny statku, m.in.:

- stan i pracę siłowni;
- zużycie paliwa – możliwość ciągłej kontroli;
- moc silnika głównego on-line;
- zanurzenie statku, przegłębienie;
- realizację planu podróży;
- rejestrację danych on-line [12],

co prowadzi do zwiększenia efektywności eksploatacyjnej statku.

Kompleksowy plan podwyższania efektywności eksploatacyjnej statku obejmuje szereg procesów eksploatacyjnych, jakie można uzyskać poprzez optymalizację głównych składników kosztów:

- technologicznych (T);
- eksploatacyjnych (E);
- logistycznych (L).

Wprowadzenie innowacji technicznych w grupach (T) i (E) przyczyni się do zmniejszenia zużycia paliwa oraz do obniżenia wielkości emisji gazów do atmosfery. Niżej przedstawiono elementy składowe trzech grup (T), (E), (L) [19], które znajdują już zastosowanie na statkach nowobudowanych, jak i na aktualnie eksploatowanych.

1. Grupa kosztów elementów technologicznych (T) obejmuje:

- projektowanie kadłuba statku;
- zmniejszanie oporów kadłuba;
- osiągi napędu statku, dobór śruby, sterów;
- efektywność zużycia paliwa (wykorzystanie energii odnawialnej);
- efektywny system ładunkowy;
- wykorzystanie energii wiatru (żagle).

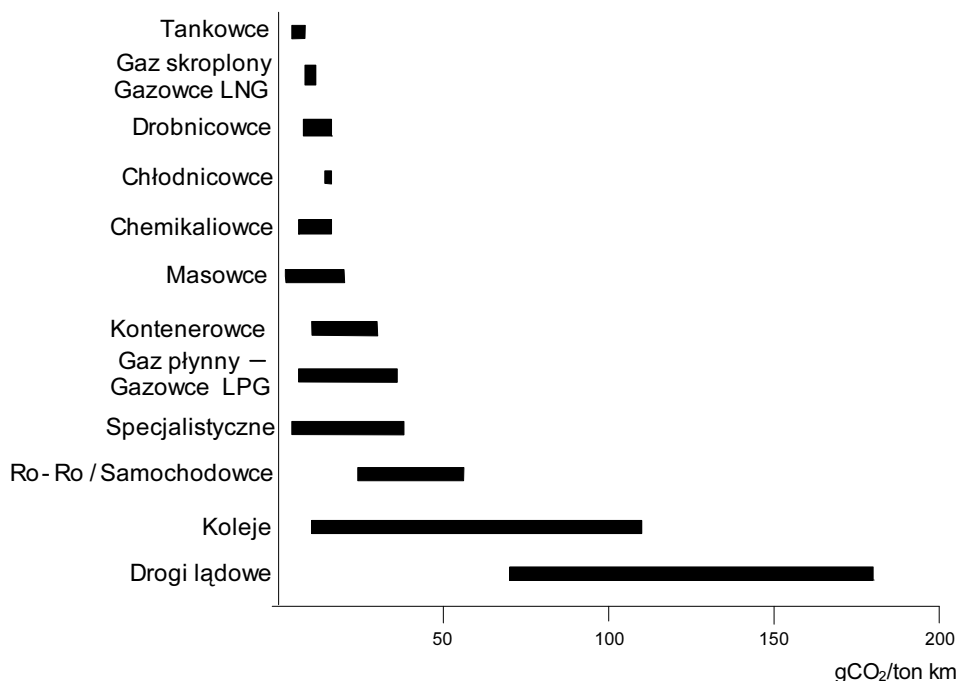
2. Grupa kosztów eksploatacyjnych (E) obejmuje:

- elastyczne stosowanie prędkości statku (w zależności od zakłóceń);
- wykorzystanie ładowności statku (nośność);
- optymalizację projektowania rotacji portów;
- planowanie podróży statku (optymalizacja tras rejsu);
- optymalne balastowanie statku;
- wykorzystanie systemu nawigacji zintegrowanej (automatyzacja sterowania);
- optymalizację procesu przeglądów konserwacji systemów technicznych.

3. Grupa kosztów logistycznych (L) obejmuje:
- zarządzanie paliwem statku (rodzaj, metody ulepszania);
 - wybór portów zaopatrzenia;
 - dobór i skład załogi (kwalifikacje, wyszkolenie);
 - monitoring zużycia zapasów paliwa w czasie rzeczywistym, w tym obliczenie wskaźnika EEOL.

2. KIERUNKI INNOWACJI TECHNOLOGICZNYCH NA STATKACH MORSKICH

W lipcu 2011 roku do konwencji MARPOL zostały wprowadzone poprawki zawarte w aneksie VI. Dodano tam dodatkowy rozdział 4 pt. *Regulation on energy efficiency for ships*. W rozdziale tym określono obowiązujące stosowania indeksu EEDI na nowych statkach, zaś SEEMP dla wszystkich statków morskich.



Rys. 1. Masy wydzielania CO₂ przez różne rodzaje transportu [6]

Fig. 1. Mass of CO₂ emissions by different means of transport [6]

Wprowadzenie poprawek do konwencji o zapobieganiu zanieczyszczeniom przez statki przyczyni się do dalszego zmniejszania emisji CO₂ do atmosfery, jak również zwiększenia efektywności energetycznej statku.

W stosunku do masy transportowej świata żegluga morska jest najbardziej przyjazna dla środowiska ze względu na ilość emisji gazów do atmosfery.

Obowiązek stosowania indeksów dotyczy statków powyżej 400 GT i będzie obowiązywał od 1 stycznia 2013 roku.

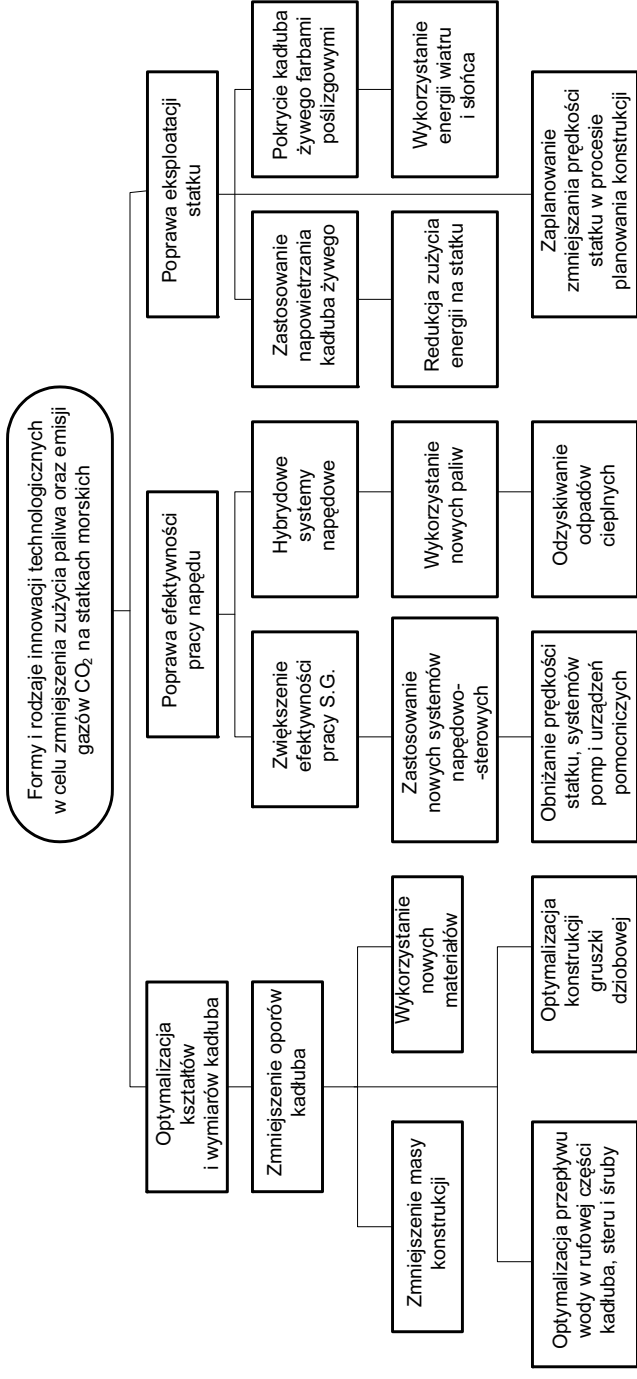
Badania przeprowadzone przez IMO [5] wykazały znaczące zmniejszenia emisji gazów do atmosfery, co wskazuje na konieczność stosowania działań prewencyjnych zarówno w eksploatacji, jak i metodami innowacji technologicznych, bez których do roku 2050 emisja gazów może zwiększyć się od 200 do 300% obecnego poziomu.

Wprowadzenie i realizacja SEEMP może zwiększyć efektywność energetyczną floty handlowej i zmniejszyć emisję gazów o 25–75% poziomu z 2009 roku. W raporcie [12] zamieszczono informacje o znaczeniu prognostycznym w zakresie redukcji emisji CO₂ na statkach morskich poprzez łączenie innowacji technologicznych na jednostkach nowobudowanych z eksploatacją na statkach już eksploatowanych.

Elementy związane z wprowadzeniem innowacji technologicznych w budownictwie okrętowym, mające na celu optymalizację efektywności energetycznej statku, obejmują takie pozycje, jak [14]:

- projektowanie statków:
 - optymalizacja kształtów kadłuba w celu zmniejszenia oporów,
 - zmniejszenie oporów tarcia przez zastosowanie farb poślizgowych, stosowanie gruszek dziobowych,
 - polepszenie aerodynamiki kadłuba,
 - projektowanie nowych pędników – śrub napędowych,
 - projektowanie efektywnych systemów sterowych,
 - optymalizowanie wymiarów elementów kadłuba;
- projektowanie ulepszonych systemów napędowych:
 - polepszenie efektywności pracy SG, zużycia paliwa,
 - odzyskiwanie energii cieplnej;
- polepszenie efektów eksploatacyjnych statku:
 - planowanie podróży – optymalizacja wyboru tras żeglugowych,
 - ekonomiczne ustalanie prędkości,
 - optymalne ustalanie zanurzenia i przegłębienia statku,
 - wykorzystanie energii odnawialnej,
 - wykorzystywanie energii z lądu w portach do utrzymania procesu eksploatacji.

Wymienione elementy stanowią zaledwie ogólne założenia w perspektywnym procesie innowacji technologicznych w światowym transporcie morskim. Na rysunku 2 przedstawiono schemat opisujący różne formy i rodzaje innowacji technologicznych, związanych z budową kadłubów, pracą systemów napędowych oraz poprawą ogólnej efektywności eksploatacji statku.



Rys. 2. Formy i rodzaje innowacji technologicznych w celu obniżania zużycia paliwa i emisji CO₂ na statkach morskich
Fig. 2. Different forms of the technological innovations to reduce the fuel consumption and CO₂ emissions by ships

3. GŁÓWNE KIERUNKI INNOWACJI TECHNOLOGICZNYCH ZWIĄZANYCH Z PRAKTYKĄ ENERGETYCZNĄ NA STATKACH MORSKICH

Najwyższy składnik kosztów eksploatacyjnych statku stanowi paliwo. Dlatego armatorzy i operatorzy dążą do uzyskania maksymalnych oszczędności paliwa w procesie eksploatacji systemów energetycznych. Aby oszczędności zaistniały, a proces nawigacji przebiegał bezawaryjnie i był konkurencyjny, należy postawić na innowacje, modernizacje i nowe technologie już na etapie projektowania nowych statków, a na starszych wprowadzać zmiany w trakcie remontów i przeglądów. Główne kierunki tych zmian to między innymi:

- innowacje w budowie i montażu silników głównych:
 - wprowadzanie nowych rozwiązań,
 - modelowanie dysz paliwowych,
 - prace nad silnikami nisko- i małopaliwowymi,
 - stosowanie silników z turbodoładowaniem;
- optymalizacja zarządzania energią okrętową:
 - optymalizacja sterowania komputerowego pracą silników głównych,
 - integrowanie systemu napędowego łącznie z rozdziałem całkowitej energii na statku;
- zastosowanie silników adaptacyjnych do sterowania SG w ekstremalnych i niskich obciążeniach, w czasie gwałtownych zmian prędkości statku oraz dla bardzo niskich prędkości (sterowych);
- integrowanie sekwencji siłowni do pracy przy prawie zerowej emisji gazów;
- rozwój technologii w środkach do ciągłej konserwacji SG w całym okresie jego użytkowania.

W tabeli 1 przedstawiono prognozowane oszczędności paliwa wynikłe ze stosowania innowacji technologicznych na statkach nowobudowanych [12, 15].

Innowacje wprowadzane są sukcesywnie. Coraz powszechniej stosuje się redukcję prędkości o 10%, co przynosi znaczne spadki zużycia paliwa (od 15–25%). Wprowadzenie systemu napowietrzania (bąbelkami) kałłuba żywego może obniżyć zużycie o dalsze 7–15%.

Modelowanie otworów w kałłubie, przepływu wody w komorach sterów strumieniowych oraz odpowiednie mocowanie elektrod cynkowych do ochrony katodowej stanowią dalsze obniżanie oporów kałłuba.

Ograniczenie zużycia paliwa skutkuje spadkiem emisji gazów do atmosfery, co stanowi ważny element w ochronie środowiska morskiego.

W tabeli 2 przedstawiono prognozy zmniejszenia emisji gazów powstających w procesie stosowania innowacji technologicznych.

Miarą efektywności na statkach będzie nadal indeks EEDI, który określa minimalizację poziomu efektywności energetycznej statku nowobudowanego. Istnieje potrzeba ciągłej weryfikacji indeksu EEDI oraz wskaźnika EEOI dla różnych statków i ich systemów napędowych oraz ich wielkości i przeznaczenia.

Tabela 1. Prognozowane oszczędności paliwa w wyniku zastosowania innowacji technologicznych na nowobudowanych statkach [12, 15]

Table 1. The fuel saving prognostic due to technological innovations on new ship building [12, 15]

Lp.	Rodzaj innowacji	Obniżenie zużycia paliwa [%]
1.	Efektywność pracy SG uzyskana dzięki nowym technologiom produkcji	2
2.	Optymalizacja konstrukcji SG okrętowych	2
3.	Odzyskiwanie odpadów cieplnych na dużych jednostkach	5–10
4.	Optymalizacja kształtów kadłubów, gruszki dziobowej i kształtów rufy, zmniejszenie współczynnika pełnotliwości	8–10
5.	Optymalizacja konstrukcji śruby i jej dopasowanie do kadłuba	3–6
6.	Konserwacja spawów na złączach blach poszycia, szlifowanie spawów i zmniejszanie otworów w kadłubie	2–5
7.	Zastosowanie ulepszonych farb silikonowych do kadłuba żywego	1–2
8.	Stosowanie dwóch śrub napędowych, budowa dwóch stew rufowych	5–8
9.	Optymalizacja przegłębienia statku w czasie podróży (duże kadłuby)	1–2
10.	Wykorzystywanie zmian w konstrukcji SG do uzyskania zmniejszenia zużycia paliwa	2–6

Tabela 2. Potencjalne zmniejszenie emisji CO₂ metodami technologicznymi oraz w procesie eksploatacji

Table 2. Most effective method of reduction the CO₂ emissions on ships by technological means during operational processes

Lp.	Rodzaje innowacji	Szacunkowe zmniejszenie emisji CO ₂ /tonomile [%]	Łączne zmniejszenie [%]	Całkowite zmniejszenie [%]
1.	Projektowanie (nowe statki)			
1.1.	Nowe koncepcje technologiczne Redukcja prędkości statków	2–50	10–50	25–75
1.2.	Konstrukcja kadłuba i nadbudówek	2–20		
1.3.	Moc SG i systemy napędowe	5–15		
1.4.	Paliwa o niskiej zawartości węgla [%]	5–15		
1.5.	Energie odnawialne	1–10		
1.6.	Redukcja spalin	0		
2.	Eksploatacja (wszystkie statki)			
2.1.	Zarządzanie, eksploatacja, logistyka itp.	5–50	10–50	
2.2.	Optymalizacja drogi statku	1–10		
2.3.	Zarządzanie energią	1–10		

4. ZALECENIA MIĘDZYNARODOWEJ ORGANIZACJI MORSKIEJ DO STOSOWANIA W PROCESIE PROJEKTOWANIA I KONSTRUKCJI NOWYCH STATKÓW W CELU ZMNIEJSZENIA ZUŻYCIA ENERGII [2]

Główne założenia zaleceń Międzynarodowej Organizacji Morskiej IMO to:

- przestrzeganie wymagania określania minimalnego poziomu zapotrzebowania energetycznego statku;
- oddzielanie technicznych zaleceń komercyjnych od wymagań armatora;
- możliwość porównania energetycznego indywidualnego statku z jednostkami wymiarowo równymi, realizującymi ten sam zakres transportowy.

Wprowadzony został system SEEMP [4] – proces, w którym ustalono dla armatorów mechanizm stosowania efektywności energetycznej statków w trakcie eksploatacji oraz w procesie planowania konstrukcji. W tym celu stworzono mierniki w postaci indeksów EEDI oraz EEOI. Dotyczą one redukcji zużycia poziomu energii oraz zmniejszenia emisji CO₂.

4.1. Metody technologiczne prowadzące do zmniejszenia indeksu EEDI na statkach nowobudowanych

Wprowadzenie przez IMO indeksacji w zakresie efektywności zużycia energii i emisji CO₂ na nowych statkach stanowi skuteczny środek prowadzący do zmniejszenia zanieczyszczenia atmosfery ziemskiej w procesie transportu morskiego.

Niżej przedstawiono kierunki działania armatorów, prace konstruktorów i producentów statków, mające wpłynąć na obniżanie wielkości emisji CO₂ w czasie eksploatacji statków. Działania te koncentrują się wokół dziedzin, których modernizacja, zastosowanie nowych technologii i myśli technicznych przyczynią się do znacznych ograniczeń emisji gazów i będą miały wpływ na obniżenie kosztów transportu morskiego oraz ochronę środowiska. Działania te dotyczą m.in. [1]:

- optymalizacji kształtów wymiarów kadłuba;
- zmniejszenia masy konstrukcji statków;
- gładkości poszycia kadłuba żywego (nowe farby);
- systemów napowietrzania kadłuba żywego;
- optymalizacji przepływu wody w obszarze rufy, śruby, steru;
- wykorzystania śrub przeciwbieżnych;
- zwiększenia efektywności pracy silnika głównego;
- odzyskiwania odpadów ciepłych;
- stosowania gazów jako paliwa do napędu silnika głównego;
- wykorzystania hybrydowych systemów napędowych (elektryczno-spalinowe);
- redukcji zużycia mocy na statku (ogólna oszczędność gospodarki energią);
- zmian prędkości pracy pomp;
- wykorzystania energii wiatru (żagle);

- wykorzystania energii słonecznej (baterie);
- planowania zmniejszenia prędkości eksploatacyjnej (już w procesie planowania konstrukcji).

Kluczowym elementem związanym z ogólnym ociepleniem klimatu na Ziemi jest ograniczanie emisji CO₂ do atmosfery.

Zgodnie z VI aneksem konwencji MARPOL – rozdział 4, zmniejszanie ilości wydzielania gazów przez statki morskie podzielono na fazy czasowe. W tabeli 3 pokazano prognozę obniżania emisji CO₂ w latach 2015–2050.

Tabela 3. Prognozowanie obniżenia emisji CO₂ w czasie wg IMO [17]

Table 3. Prediction of CO₂ emissions in function of time due to IMO publications [17]

Terminy	Obniżenie ilości emisji CO ₂ ze statków morskich
Do roku 2015	Wejście przepisów do stosowania przez około 90% statków we flocie światowej
Do roku 2015	Wymagania spełnienia warunków wskaźników EEDI przez nowe statki
Do roku 2020	Nowe statki muszą zmniejszyć emisję CO ₂ o 20%
Do roku 2025	Statki nowobudowane muszą wykazywać zmniejszoną emisję CO ₂ o dalsze 20%
Do roku 2030	Obowiązek zmniejszenia ilości emitowanych gazów o dalsze 20%
Do roku 2050	Redukcja emisji CO ₂ o 50% na tonę/kn

Podstawą działania Międzynarodowej Organizacji Morskiej w zakresie ochrony środowiska jest tworzenie norm prawnych dotyczących środowiska morskiego pod hasłem „czyste morza i oceany”. Ma to ścisły związek z eksploatacją floty handlowej. W tabeli 4 przedstawiono związki między parametrami eksploatacyjnymi a ochroną środowiska morskiego [18].

Tabela 4. Parametry eksploatacyjne statków morskich związanych z ochroną środowiska morskiego

Table 4. Operational data for ships destined to marine environmental protection

Parametry eksploatacyjne	Wymagania związane z ochroną środowiska
Projekt statku	Wydłużenie czasu żywotności eksploatacyjnej statku
Rodzaj konstrukcji	Wysokie standardy bezpieczeństwa ekologicznego, niskie zużycie energii
Emisja	Minimalne wydzielania CO ₂ i innych gazów
Złomowanie	Brak szkodliwych substancji w procesie złomowania
Dzielność morska	Dostateczne zdolności manewrowe dostosowane do warunków zakłóceń
Zużycie energii	Minimalne zużycie energii w procesie eksploatacji statku
Przeciwporostowa ochrona kadłuba	Zastosowanie środków nieszkodliwych dla wody morskiej
Wody balastowe	Systemy do usuwania szkodliwych substancji w procesie wymiany wód balastowych
Poziom niezawodności systemów	Duża odporność statku na rodzaje awarii w powiązaniu z łatwością kierowania statkiem

PODSUMOWANIE

1. Inicjatywa prawna Międzynarodowej Organizacji Morskiej stanowi podstawę do planowej redukcji zużycia paliwa na statkach floty handlowej całego świata.
2. Definiowanie norm (mierników) zużycia paliwa na różnych jednostkach eksploatowanych w różnych warunkach musi być nadal dopracowywane.
3. Planowane obniżanie emisji gazów ze statków obniży zniszczenie atmosfery morza o ponad 50% obecnego stanu.
4. Obowiązek przestrzegania zaleceń IMO obowiązuje wszystkie statki morskie od 1 stycznia 2013 roku.

Stosowane skróty:

- IMO – International Maritime Organization
EEDI – Energy Efficiency Design Index
EEOI – Energy Efficiency Operational Index
SEMP – Ship Energy Efficiency Management Plan
MEPC – Marine Environment Protections Plan

LITERATURA

1. *Design and Operate to Reduce Fuel Consumption* Petromin. January/February, 2011, p. 56–58, www.petromin.safan.com/mag/pianfab/t56.
2. *Effecting Fuel Consumption*, www.intecs.no/Factors.
3. IMO, *Ship Efficiency Management Plan (MEPC.58/INF7)* London, July 2008.
4. IMO, *Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)* MEPC1/Civc, 683, London 2009.
5. IMO, *Technical operational measures to improve the energy efficiency of the international shipping and Assessment of the their effect on future emissions*, <http://cc.bingj.com>.
6. IMO-MEPC 59/inf.10 *Prevention of Air Pollution Ships 9/4 2009 Annex*.
7. Konaverak M., *Energy Saving in Ships*, Delta Marine Ltd., Hanasari Espoo, 8–9.12.2005.
8. *Managing Risk CO₂ and Energy Efficiently*, Oslo, August 2011, www.dvn.com.
9. Martensen B., *Ship efficiency in the historical perspective*, Bulletin 2009, vol. 204.
10. MEPC 59 Report, *Lloyd's Register on the 59th session of IMO Marine Environment Protection Committee 24th July 2009*.
11. Mord Zaman Ahmet et al., *Environmental Risk and Compliance for Nature Graf Ship Design and Operation within Land Waterways*, Kuala Lumpur 2008, www.teknologimalaysia.academia.edu
12. Morten Hasas, *Form for Miljøverniling Shiffsart*, Konsberg Maritime, Oslo 2010.
13. Muller A.P., *Mersk Group*, Mersk Line Sustainability Department.
14. Seah A.K., *Reducing CO₂ Emissions in Shipping Sea Area – Technical Day*, Singapore 2009.
15. *Study Green Shipping*, UniCredit, Corporate Banking 02/2009.
16. www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention.
17. www.shippingandeo2.org/innoagreemeenttechnicalregu.jpg.
18. www.teknologimalaysia.academia.edu, Mohol Zamam Achmet et al., *Environmental Risk and Compliance for Nature Gas Ship Design and Operation within Inland Waterways*, Kuala Lumpur 2008.
19. www.dvn.com, *Managing Risk CO₂ and Energy Efficiency*, Oslo, August 2011.

TECHNOLOGICAL INNOVATIONS ON MARINE SHIPS TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION AND CO₂ EMISSIONS

Summary

The paper deals with innovations introduced on board the ships in the International Shipping due to reduce fuel consumption and GHG emissions. The International Maritime Organization Resolutions on the ship Efficiency Management Plan have been discussed.