

ASPEKTY EKSPLOATACJI SIŁOWNI OKRĘTOWYCH JAKO SYSTEMÓW ANTROPOTECHNICZNYCH

ZBIGNIEW MATUSZAK, GRZEGORZ NICEWICZ

Streszczenie

W pracy przedstawiono warunki pracy załóg maszynowych statków podczas eksploatacji złożonych systemów antropotechnicznych, jakimi są siłownie okrętowe. Omówiono czynniki materialne wpływające niekorzystnie na stan psychiczny i fizyczny zespołu operatorów siłowni okrętowej. Wskazano czynniki, jakie powinno się obecnie uwzględniać przy projektowaniu współczesnych siłowni okrętowych w celu zwiększenia komfortu eksploatacji siłowni okrętowych przez kilkusobowy zespół operatorów.

Słowa kluczowe: antropotechnika, system antropotechniczny, siłownia okrętowa

1. Wprowadzenie

Pojęcie *antropotechnika* według Internetowej Encyklopedii PWN [4] utożsamiane jest z *ergonomią*. Zgodnie z wiedzą encyklopedyczną, *ergonomia* [gr. *érgon* ‘dzieło’, ‘praca’, *nómos* ‘prawo’], inaczej *antropotechnika*, jest dyscypliną wiedzy zajmującą się zasadami i metodami optymalnego dostosowywania warunków pracy do właściwości fizycznych i psychicznych człowieka, zgodnie z wymaganiami fizjologii i psychologii pracy, aby chronić jego życie i zdrowie i dać mu również możliwość jak najlepszego rozwoju osobowości. Z informacji dostępnych na stronach Polskiego Towarzystwa Ergonomicznego czy Państwowej Inspekcji Pracy [6] można dowiedzieć się, że termin *ergonomia* wprowadził w 1857 roku wybitny polski przyrodnik, profesor Wojciech Bogumił Jastrzębowski, w swojej pracy „Rys ergonomii, czyli nauki o Pracy opartej na prawach zaczerpniętych z Nauki Przyrody”, która została opublikowana w czasopiśmie „Przyroda i Przemysł”. Współcześnie ergonomia ma charakter interdyscyplinarny i korzysta z dorobku wielu dyscyplin naukowych [3]. Szersze omówienie modelu struktury nauki ergonomii i zadań przed nią stawianych wykracza jednak poza ramy niniejszego artykułu.

Celem autorów jest wskazanie pewnych problemów wiążących się z dostosowaniem konstrukcji maszyn i urządzeń do człowieka oraz ich późniejszym przestrzennym rozmieszczeniem w złożonych systemach antropotechnicznych, jakimi są siłownie okrętowe. Sama siłownia okrętowa jest oczywiście jednym z podsystemów megasystemów antropotechnicznych, jakimi są statki morskie, największe przemieszczające się obiekty techniczne na świecie. Stanowią one jednocześnie miejsce pracy, zamieszkania oraz odpoczynku osób zatrudnionych na okres wielu miesięcy do ich codziennej eksploatacji. W przypadku transportu ludzi (statki pasażerskie, wycieczkowce, promy samochodowe lub samochodowo-kolejowe) traktować je wręcz można jako pływające obiekty mieszkalno-rekreacyjne. Obsługiwane są one przez zespoły operatorów, najczęściej trzy podstawowe: załogę maszynową, załogę pokładową

i załogę hotelową. W przypadku statków o funkcji nietransportowej (statki rybackie, statki wiertnicze, statki hydrograficzne, okręty wojenne, itp.) pojawia się jeszcze jeden dodatkowy zespół operatorów, odpowiedzialny za realizację zasadniczej funkcji, do jakiej statek został przeznaczony.

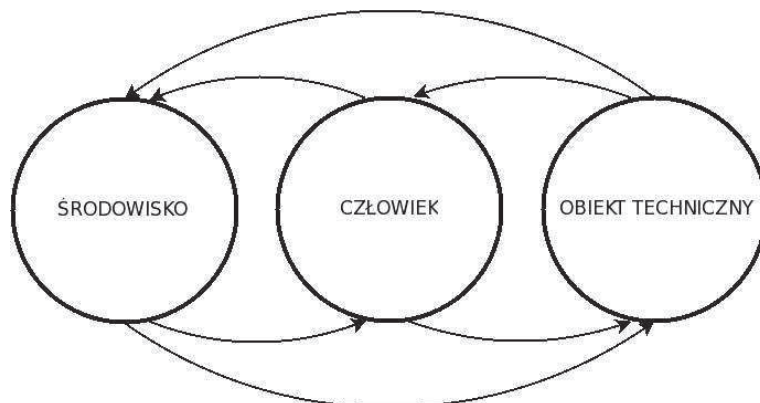
Na działania wymienionych wyżej zespołów operatorów mają wpływ niekorzystne czynniki związane ze specyfiką pracy członków załóg statków morskich, pogarszające sprawność fizyczną i umysłową, wywołujące stres psychologiczny oraz kumulację znużenia i zmęczenia, wśród których należy wymienić:

- organizację pracy związaną z wypełnianiem obowiązków w różnych porach dnia (system wachtowy lub często w przypadku załóg maszynowych system tzw. pogotowia – ang. *stand-by*);
- izolację od rodziny;
- ograniczone możliwości sposobów spędzania czasu poza pracą i wypoczynku;
- brak szerokiego kontaktu środowiskowego, co wpływa na zubożenie form stosunków międzyludzkich i kontaktów towarzyskich;
- zmiany stref czasowych i przestawianie zegara okrętowego;
- kołysanie oraz hałas i drgania.

Ponadto warunki wykonywania samej pracy i wywiązywania się z powierzonych obowiązków w odniesieniu do załogi maszynowej podczas eksploatacji (użytkowania i obsługiwanego) siłowni okrętowej są wyjątkowo trudne, o czym będzie mowa szerzej w dalszej części pracy.

2. Siłownia okrętowa jako system antropotechniczny

Siłownię okrętową (podobnie jak system nadrzędny – statek) traktować należy jako złożony system antropotechniczny typu *człowiek – obiekt techniczny – środowisko*, w którym model współzależności przedstawiono schematycznie na rys. 1. Człowiek, jako operator w takim systemie, jest odpowiedzialny za utrzymanie gotowości siłowni do realizacji zadań [2]. Niezawodność człowieka ma przy tym kluczowe znaczenie. Jak do tej pory nie ma badań, które podejmowałyby problematykę warunków pracy załóg maszynowych na dotychczas eksploatowanych statkach morskich.



Rysunek 1. Model systemu współzależności człowiek – obiekt techniczny – środowisko [2]

W praktyce większa część prac wykonywanych w siłowniach okrętowych odbywa się w warunkach odbiegających od tych, jakie panują na tzw. stanowiskach pracy. Normy PN-75/N-08000, PN-80/N-08001, PN-81/N-08002 określają, że stanowisko pracy powinno charakteryzować się możliwością swobodnego wykonywania czynności ruchowych, zwłaszcza roboczych i sterowniczych w wygodnej pozycji w optymalnym zasięgu kończyn. Ponadto drogą indywidualnej regulacji powinna istnieć możliwość dopasowania niektórych parametrów przestrzennych stanowiska do zmiennych wymiarów ciała użytkownika. Na stanowisku pracy zapewnić należy dobre warunki widoczności, oraz eliminować powstawanie sytuacji grożących wypadkiem. Tymczasem w warunkach okrętowych prace bardzo często wykonuje się w pozycjach wymuszonych, gdzie zasięg kończyn i ich siła ulegają znacznemu ograniczeniu. Dodatkową trudność stanowi niewielka przestrzeń do wykonania zadania (np. prace wykonywane w zęzach, skrzyniach korbowych silników głównych i pomocniczych, zbiornikach, itp.) oraz ruchy wykonywane przez kadłub statku podczas podróży. Ruchy te mogą być szczególnie gwałtowne przy złych warunkach pogodowych i silnym falowaniu morza, co powoduje powstawanie sił bezwładności oddziałujących na pracujących ludzi oraz narzędzia, którymi się posługują i grozi utratą równowagi. Ruchy kadłuba statku występują również podczas postoju statku w porcie w czasie załadunku i wyładunku. Fragment systemu antropotechnicznego spotykanego w siłowniach okrętowych, ilustrującego wspomniane warunki, pokazano na rys. 2.

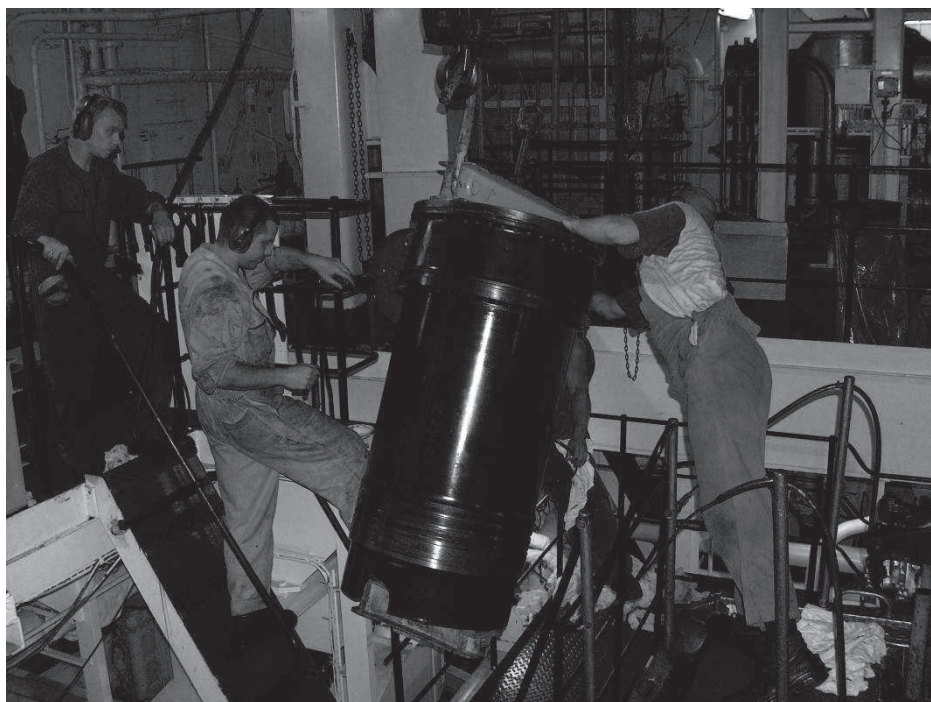


Rysunek 2. System antropotechniczny w siłowni okrętowej

Źródło: Archiwum foto autorów.

Na rys. 2 pokazano wymianę fragmentu uszkodzonego rurociągu systemu wody zaburtowej, umieszczonego w zębach przedziału elektrowni okrętowej. Uszkodzenia rurociągów wody zaburtowej należą do najbardziej typowych uszkodzeń w siłowniach okrętowych i prace związane z ich usuwaniem są rutynowym zajęciem załóg maszynowych statków.

Należy przy tym pamiętać, że w siłowni okrętowych znaczna część prac wykonywana jest wspólnymi siłami, ograniczonej pod względem liczby osób, załogi maszynowej. Dlatego na miejscu prowadzenia prac znajdują się prawie wszyscy pracownicy, bez względu na rangę stanowiska, na jakim ich zatrudniono. Przykład takiej sytuacji pokazano na rys. 3. W transport tulei cylindrowej silnika głównego i przygotowanie jej do montażu zaangażowanych było czterech z ośmiu członków załogi maszynowej statku: drugi oficer mechanik, trzeci oficer mechanik, magazynier oraz motorzysta – widoczni na rys. 3. Był to jeden z etapów prac związanych z planowanym przeglądem układu cylindra B1 silnika głównego.



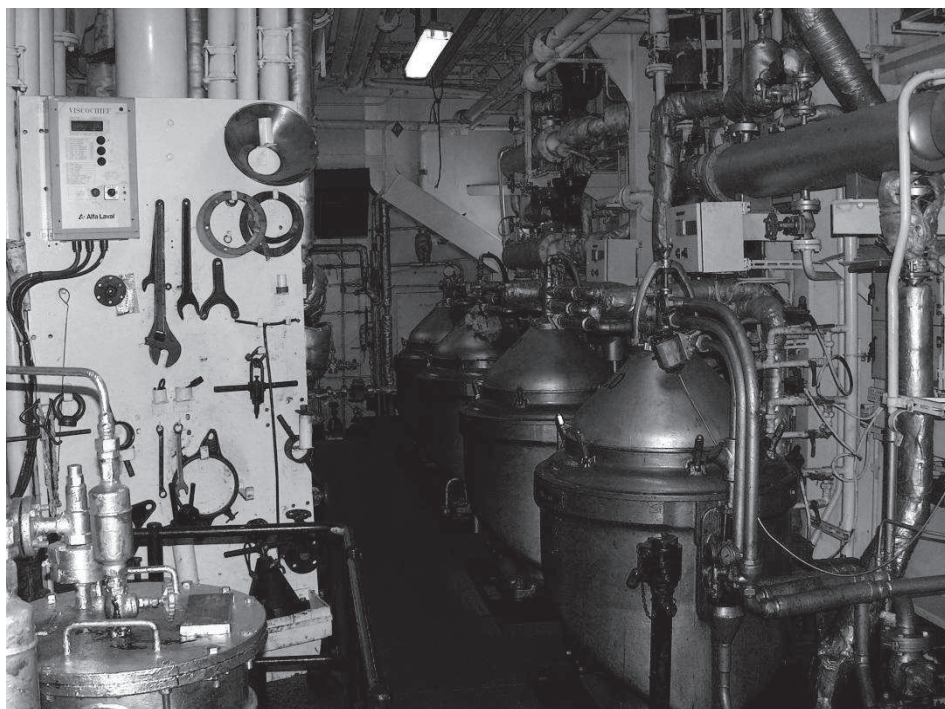
Rysunek 3. Współpraca załogi maszynowej w procesie eksploatacji siłowni okrętowej

Źródło: Archiwum foto autorów.

W toku wykonywania prac w siłowniach okrętowych załogi maszynowe poddane są działaniu szeregu niekorzystnych czynników fizycznych takich jak: mikroklimat (wysoka temperatura powietrza i jego wilgotność, ograniczony ruch powietrza, wysoka temperatura otaczających płaszczyzn), nadmierny hałas, sztuczne oświetlenie, drgania oraz zanieczyszczenie powietrza.

W przypadku, gdy rejon pływania statku obejmuje obszary tropikalne, temperatura na pokładach maszynowych osiąga w tych rejonach klimatycznych 50°C – było to wielokrotnie rejestrowane przez autorów w trakcie pracy zawodowej na statkach armatorów krajowych i zagranicznych. W niektórych przedziałach maszynowych temperatura powietrza może być jeszcze wyższa. Są to na przykład przedziały, gdzie znajdują się wirówki paliwowe i olejowe, podgrzewacze wirówek, podgrzewacze paliwa silników głównych i pomocniczych. Temperatura paliwa pozostałościowego oczyszczonego w wirówkach wynosi 98°C , a temperatura paliwa zasilającego silniki jest w przedziale $120\text{--}130^{\circ}\text{C}$. Najczęściej ściany tych przedziałów są jednocześnie ścianami zbiorników paliwowych (osadowych i rozchodowych), gdzie paliwo podgrzewane jest na współczesnych statkach do temperatury $60\text{--}90^{\circ}\text{C}$. Taki przedział maszynowy, nazywany w żargonie mechaników okrętowych wirówkarnią (ang. *purifier room*), pokazano na rys. 4. Stan psychofizyczny człowieka zmienia się w zależności od temperatury powietrza tak, jak to pokazano w tabeli 1 (niestety wyniki badań przedstawione w pracy, z której zaczerpnięto treść tabeli 1, nie obejmowały temperatur powyżej 35°C). Mimo tak niekorzystnej temperatury powietrza w przedziałach

siłownianych, a zatem i stanu psychofizycznego, załoga maszynowa musi wykonywać wszystkie prace związane z bieżącą obsługą i koniecznymi naprawami maszyn i urządzeń.



Rysunek 4. Pomieszczenie wirówek statku towarowego

Źródło: Archiwum foto autorów.

Oprócz wysokiej temperatury załogi maszynowe narażone są na długotrwałe oddziaływanie hałasu o poziomie przekraczającym nawet 100 dB (A) [9] oraz pracę przy sztucznym oświetleniu. Do tego dochodzą jeszcze drgania mechaniczne przenoszone na organizm człowieka w kontakcie z obsługiwanymi urządzeniami jak i przy przebywaniu na drgających pokładach maszynowych, wykonanych ze stali, materiału o właściwościach sprężystych dobrze przenoszącego drgania. Źródłem drgań są maszyny i urządzenia siłowniane oraz kadłub statku [10].

Tabela 1. Zależność stanu psychofizycznego człowieka od temperatury powietrza

Temperatura przy 50% wilgotności względnej	Określenie stanu psychofizycznego pracującego człowieka	Skutki wpływu temperatury na człowieka obserwowane w organizacji pracy	Uwagi
15	pełna zdolność	temperatura optymalna	dla pracy bardzo ciężkiej
16			dla pracy ciężkiej w pozycji stojącej
17			dla pracy lekkiej w pozycji stojącej
18			dla pracy lekkiej w pozycji siedzącej
19			
20			
21			granica komfortu cieplnego
22	dostrzegane zaburzenia psychiczne	uciążliwość	
23		podniecenie	
24		trudności utrzymania równowagi	
25		spadek wydajności pracy umysłowej	granica pojawiania się zaburzeń psychofizjologicznych
26			
27	zaburzenia psychofizjologiczne	wzrost liczby błędów	
28		spadek wydajności prac zręcznościowych	skutki obserwowane w pracy „fizycznej” i „umysłowej”
29		wzrost liczby wypadków	
30	zaburzenia fizjologiczne		granica pojawiania się zaburzeń fizjologicznych
31			
32	zaburzenia fizjologiczne	spadek wydajności pracy ciężkiej	
33			
34		organizacyjna konieczność regulowania skutków zaburzeń fizjologicznych (np. dostarczenie płynów i pokarmów)	silne obciążenie układu krążenia
35		spadek wydajności pracy ciężkiej jak przy temp. 33°C, ale w większym stopniu obserwowane jest zmęczenie	groźba bardzo szybkiego wyczerpania sił pracownika

Źródło: [12].

Zanieczyszczenie powietrza w siłowniach okrętowych pojawia się na skutek nieszczelności układów wylotowych spalin silników spalinowych i kotłów, używaniu sprężonego powietrza i różnego rodzaju środków chemicznych przy czyszczeniu części maszyn, filtrów, przedostawaniu się zanieczyszczeń do siłowni z zewnątrz przez system wentylacyjny.

Przeciętny okres zatrudnienia oficera mechanika na statku wynosi obecnie od kilku tygodni do 4–6 miesięcy, a szeregowej załogi maszynowej do 9 miesięcy. W tym czasie codziennie narażeni są na przebywanie w niekorzystnych warunkach i wykonywanie bardzo często uciążliwych prac.

Oficerowie mechanicy w czasie wachty morskiej muszą nadzorować pracę całości systemu,

jaki stanowi siłownia okrętowa. Centrale manewrowo-kontrolne (CMK) są miejscem, w którym monitorują pracę wszystkich urządzeń i gdzie na podstawie setek parametrów dostępnych na ekranach stacji roboczych i na innych wskaźnikach podejmują decyzje dotyczące działań, mających utrzymać pracę wszystkich niezbędnych urządzeń (rys. 5). Niezawodność operatora – mechanika okrętowego, ma istotne znaczenie w eliminowaniu sytuacji niebezpiecznych w eksploatacji statku [2]. W ocenie ich działania istotny jest nie tylko jego wynik, ale także sposób, w jaki został osiągnięty, gdyż jest to ważne z uwagi na procesy zachodzące w siłowniach okrętowych oraz ekonomię ich eksploatacji. Istotny też jest często czas realizacji czynności operatorskiej. Ma to miejsce w sytuacjach szybkich zmian stanów siłowni okrętowej, zachodzących podczas manewrów statkiem oraz w sytuacjach awaryjnych, w których ważny jest czas reakcji na wymuszenia pochodzące z otoczenia lub powstające wewnątrz siłowni okrętowej. Dlatego w dalszej części pracy omówione zostaną pewne problemy, które powinny być uwzględniane przez projektantów maszyn i urządzeń okrętowych oraz stoczniove biura konstrukcyjne na etapie projektowania współczesnych statków morskich, w celu poprawy komfortu pracy załóg maszynowych.



Rysunek 5. Centrala manewrowo-kontrolna współczesnego kontenerowca

Źródło: Archiwum foto autorów.

3. Mechanik okrętowy jako operator systemu antropotechnicznego

W warunkach polskich jeszcze pod koniec ubiegłego wieku kadry oficerskie załóg maszynowych kształcone były na wydziałach mechanicznych Wyższych Szkół Morskich, gdzie na kierunku eksploatacja siłowni okrętowych przyjmowana była wyłącznie młodzież męska o określonych wymaganiach wiekowych i wzrostu. Kandydaci na studia przechodzili specjalistyczne badania lekarskie i psychologiczne oraz egzaminy. Polskie przedsiębiorstwa żeglugowe (np. Polska Żegluga Morska) zatrudniały polskie załogi, więc w przypadku statków budowanych polskich stoczniami dla polskich armatorów można było przy projektowaniu opierać się na danych antropometrycznych zebranych na populacji polskiej publikowanych w atlasach antropometrycznych. Niestety przedstawione tam wymiary liniowe i kątowe nie wystarczają do odwzorowania sylwetki człowieka i jego rzeczywistych postaw w czasie pracy, szczególnie przy czynnościach wymagających wymuszonej postawy ciała, jak ma to miejsce podczas eksploatacji siłowni okrętowych. Pamiętać też należy, że siła ludzkich kończyn zostaje ograniczona w pozycjach wymuszonych.

Obecnie w Polsce na kierunku eksploatacja siłowni okrętowych Akademii Morskich kształcone są również kobiety. Przeciętnie przyjmuje się, że siła mięśni u kobiet w młodym wieku wynosi 65% siły mężczyzn w tym samym wieku [8]. Zakładając, że zarówno kobiety jak i mężczyźni, zatrudnieni jako członkowie załogi maszynowej, pracować będą aż do osiągnięcia wieku emerytalnego, to przy projektowaniu siłowni okrętowej należy uwzględnić spadek siły mięśni, zmniejszoną wydolność układu krążenia i płuc, degradację układu kostnego, osłabienie zmysłu wzroku, słuchu i dotyku. Biorąc pod uwagę tylko siłę mięśni, to w 65 roku życia siła mięśni u mężczyzn wynosi około 80–90% siły mężczyzn w wieku 25 lat, a u kobiet 70–80% w stosunku do kobiet w 25 roku życia [8].

W przypadku armatorów zagranicznych standardem jest zatrudnianie załóg międzynarodowych, a nawet wielorasowych. Stoczniove biuro projektowe przy ergonomicznym projektowaniu siłowni okrętowych i doborze maszyn i urządzeń powinno uwzględniać dane antropometryczne dla szerokiej populacji użytkowników, biorąc pod uwagę [1]:

- zmiany rasowe (rasa biała, czarna i żółta);
- zmiany konstytucjonalne (budowa somatyczna);
- zmiany dymorficzne (różnice między mężczyznami i kobietami);
- zmiany rozwojowe (zmiany ontogenetyczne od urodzenia do starości).

4. Podsumowanie

Statki morskie mają okres eksploatacji trwający przeciętnie około 30 lat. W praktyce zawodowej autorów pracy zdarzyło się spotkać statki pływające po morzach od prawie półwiecza. W przeciągu tak długiego czasu następują zmiany w metodologii i koncepcjach projektowania tych obiektów technicznych, pojawiają się nowe udoskonalone generacje maszyn i urządzeń okrętowych oraz zmiany wymiarów ciała zachodzące w populacji ludzkiej. Dlatego przedsiębiorstwa armatorskie zachowują szczególną ostrożność i rozwagę w rekrutacji załóg statków. Biorą pod uwagę doświadczenie zawodowe, poziom kompetencji, stan zdrowia, wiek, bardzo rzadko zatrudniają kobiety, szczególnie na stanowiskach maszynowych.

Obsługa niektórych urządzeń na statkach wymaga szczególnych predyspozycji, które w znacznym stopniu zależą od rasy, płci czy możliwości fizycznych operatora. Umiejętność

uruchomienia wybranych urządzeń, szczególnie sprzętu awaryjnego (ang. *emergency equipment*), wymagana jest od każdego członka załogi statku, bez względu na stanowisko, jakie zajmuje. Z założenia sprzęt ten bardzo często uruchamiany jest siłą ludzkich mięśni, gdyż niezbędny jest w sytuacjach zagrożenia statku i załogi, kiedy brak jest zasilania w energię elektryczną i podstawowe urządzenia nie działają. W praktyce może się okazać, że część załogi nie ma odpowiednich warunków fizycznych do obsługi takich urządzeń. Z sytuacją taką spotkał się jeden z autorów, w trakcie pracy zawodowej w załodze maszynowej na statku o funkcji nietransportowej (statek hydrograficzny) – widok statku pokazano na rys. 6. Załoga statku była międzynarodowa i wielorazowa (rasa biała i rasa żółta, w tym kobiety). W czasie cotygodniowych alarmów ćwiczebnych ogłoszono alarm przeciwpożarowy, podczas którego załoga maszynowa udzielała reszcie załogi statku instruktażu i pokazu obsługi awaryjnej pompy przeciwpożarowej napędzanej silnikiem spalinywym uruchamianym siłą mięśni. Instruktażu udzielono w języku angielskim i języku ojczystym załogi azjatyckiej. Okazało się, że kilku mężczyzn i wszystkie kobiety nie miały odpowiednich warunków fizycznych do uruchomienia urządzenia nawet współpracując w parach.



Rysunek 6. Widok statku hydrograficznego w trakcie operacji bunkrowania paliwa

Źródło: Archiwum foto autorów.

Jest to jeden z przykładów, jak wielkie znaczenie ma ergonomia przy projektowaniu siłowni okrętowych i doborze urządzeń, jeżeli załogi maszynowe, czy ogólnie załogi statków, mają być zdolne do wykonywania powierzonych im zadań przy zachowaniu komfortu pracy ludzi.

Zawodność człowieka (operatora) podczas pracy w warunkach środowiska morskiego, jest jedną z głównych przyczyn wypadków, awarii oraz zatonięć obiektów oceanotechnicznych – statków, platform wiertniczych. Są to bardzo często zdarzenia, które w sposób bezpośredni przyczyniły się do utraty zdrowia lub życia ludzi, skażenia środowiska morskiego oraz ogromnych strat finansowych. Zawodność ta wynika często ze złego przystosowania zarówno samych obiektów, jak i elementów ich wyposażenia do potrzeb i możliwości człowieka.

Bibliografia

- [1] Batogowska A., Malinowski A., *Ergonomia dla każdego*, Sorus, Poznań 1997.
- [2] Chybowski L., Matuszak Z., *Remarks on human reliability with reference to marine power plant operation*, Scientific Journals 2009 19(91), Maritime University of Szczecin, Szczecin 2009: s. 16–23.
- [3] Fraus E., *Struktura i ogólna metodologia nauki ergonomii*, Towarzystwo Autorów i Wydawców Prac Naukowych „Universitas”, Kraków 1992.
- [4] <http://encyklopedia.pwn.pl/haslo.php?id=3870027>.
- [5] <http://encyklopedia.pwn.pl/haslo.php?id=3898447>.
- [6] <http://www.ergonomia-polska.com/>
- [7] <http://www.pip.gov.pl/ergonomia/index.html>.
- [8] Jasiak A. E., *Ergonomiczne zasady kształtowania stanowiska pracy dla osób w wieku starszym*, Ergonomia 2000, nr 22, t. 1–2.
- [9] Kaczmarek J., *Podstawy teorii drgań i dynamiki maszyn*, Wyższa Szkoła Morska w Szczecinie, Szczecin 2000.
- [10] Matuszak Z., Nicewicz G., *Testing Noise on Selected Merchant Vessels*, Polish Journal of Environmental Studies Vol. 18, No. 2A (2009), HARD Publishing Company, Olsztyn 2009: s. 117–121.
- [11] Olszewski J., *Podstawy ergonomii i fizjologii pracy*, Akademia Ekonomiczna w Poznaniu, Poznań 1997.
- [12] Wojtowicz R., *Zarys ergonomii technicznej*, PWN, Warszawa 1978.

**ASPECTS OF MARINE POWER PLANTS OPERATION TREATED AS HUMAN –
TECHNICAL OBJECT – ENVIRONMENT SYSTEMS**

Summary

Working conditions of engine room crew during marine power plant operation are presented. Some environmental factors are described which have bad influence on mental and physical condition of marine power plant staff. Some factors are pointed which should be taken into consideration during design process of up-to-date marine power plants due to convenience of marine engine room crew.

Keywords: human engineering, human–technical object–environment system, marine power plant

Zbigniew Matuszak
Zakład Siłowni Okrętowych
Wydział Mechaniczny
Akademia Morska w Szczecinie
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, Polska
tel.: +4891 4809414
e-mail: z.matuszak@am.szczecin.pl

Grzegorz Nicewicz
Zakład Mechaniki Technicznej
Wydział Mechaniczny
Akademia Morska w Szczecinie
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, Polska
tel.: +4891 4809442
e-mail: g.nicewicz@am.szczecin.pl