

II Międzynarodowa Konferencja Naukowa

INLAND SHIPPING 2006

Edward Szmit, Daniel Czarkowski

Niezawodność wyposażenia statków a ich bezpieczeństwo

Słowa kluczowe: klasyfikacja statków, narażenia, próby środowiskowe, wymagania dla elektrycznych urządzeń okrętowych, komputery, maszyny elektryczne, kable

Niezawodność urządzeń elektrycznych instalowanych na statkach śródlądowych wpływa na bezpieczeństwo całej jednostki. Instytucjami odpowiedzialnymi za bezpieczeństwo statków są towarzystwa klasyfikacyjne, które opracowują wymagania stawiane urządzeniom. Referat ten przedstawia przegląd prób, którym są poddawane elektryczne urządzenia okrętowe oraz pokazuje różnice w nadzorze urządzeń instalowanych na statkach śródlądowych i morskich. Dodatkowo został omówiony nowy program wspomagający dobór przekroju żyły kabla do wyposażenia okrętowego.

Reliability of marine equipment and ships' safety

Key words: classification of ships, hazards, environmental tests, requirements for electrical marine equipment, personal computers, electric machines, cables cross-section

Reliability of electrical equipment, installed on inland waterways vessels affect safety of the whole ship. Classification societies take the responsibility for ships' safety, develop rules and also impose requirements. The paper presents review of tests, which are applied to electrical devices and shows differences between survey of devices installed on inland and sea-going ships. In addition, a new program for cable cross-section selection was elaborated.

Wstęp

Postęp technologiczny oraz wzrastająca dbałość o środowisko naturalne zbliżają do siebie konstrukcje i wyposażenie statków morskich i śródlądowych. Gdy w średniowieczu po Wiśle pływały proste tratwy flisaków, po morzach żeglowały zaawansowane jak na ówczesne czasy statki żaglowe. Kiedy po drugiej wojnie światowej na morzach całego świata dominowały tzw. motorowce, to na rzekach i jeziorach wciąż jeszcze można było spotkać parowce i żaglowce.

Dziś śmiało można zakładać, że w ciągu najbliższych kilkunastu lat ilość tzw. *statków całkowicie zelektryfikowanych (all electric ships)*, obecnie coraz bardziej popularnych na morzach, oraz elektronicznie sterowanych żaglowców pływających po wodach śródlądowych przerosnie ilość takich statków morskich. Stanie się tak dzięki dbałości o czystość środowiska naturalnego, inicjowanej przede wszystkim przez bogate kraje Unii Europejskiej. Ilość już opracowanych i aktualnie przygotowywanych projektów ogniów paliwowych pozwala założyć, iż w ciągu najbliższego ćwierćwiecza nastąpi rozwój technologiczny okrętowych źródeł energetycznych w kierunku źródeł nie wiadomo, czy tańszych, ale na pewno bardziej przyjaznych dla środowiska.

Obecnie, mimo że niewiele mamy *statków całkowicie zelektryfikowanych*, odsetek wyposażenia elektrycznego obejmuje przeciętnie ok. 30-70% mechanizmów i urządzeń statku. To wszystko powoduje konieczność sprawowania nadzoru nad produkcją takiego wyposażenia przez instytucje klasyfikacyjne, a więc także przez Polski Rejestr Statków S.A. Nadzór nad produkcją ma zapewnić, że wyposażenie odpowiedzialne za sterowanie, zasilanie i napęd statku nie stanie się przyczyną usterki, awarii czy też w ostateczności katastrofy morskiej.

1. Od zakłóceń do katastrof

Zakłócenia w pracy urządzeń elektrycznych powstałe z różnych przyczyn prowadzą do usterek poszczególnych elementów układów sterowania, zasilania i napędowych. Usterki te wywołują najczęściej stosunkowo niewielkie straty finansowe, jednak nierzadko doprowadzają też do awarii całych systemów. Awarie często powodują poważne szkody ekonomiczne, stanowią ryzyko katastrofy okrętowej, a w konsekwencji mogą być przyczyną zagrożenia życia i środowiska naturalnego. By ograniczyć wszystkie wymienione ujemne skutki zakłóceń, konieczna jest ocena zagrożeń w trakcie projektowania i produkcji wyposażenia oraz jego monitorowanie podczas eksploatacji. Temu służą między innymi przepisy towarzystw klasyfikacyjnych. W przypadku Polskiego Rejestru Statków S.A. takie narzędzia oceny zagrożeń obok Przepisów [6,7] stanowią przede wszystkim Publikacje dotyczące wyposażenia, takie jak „Wymagania dla

systemów komputerowych” [8], „Próby środowiskowe wyposażenia statków” [9] lub „Wymagania techniczne dla okrętowych układów energoelektronicznych” [11]. Większość z powyższych Publikacji ma zastosowanie do wszystkich jednostek pływających nadzorowanych przez Polski Rejestr Statków S.A., w tym statków śródlądowych. Równie ważne są Publikacje dotyczące wykonania instalacji. Na przykład w zakresie instalacji elektrycznych istotną dla bezpieczeństwa przeciwpożarowego statku Publikacją są „Tablice obciążalności prądowej kabli, przewodów i szyn dla wyposażenia okrętowego” [10]. Obecnie, by ułatwić pracę projektantom, tablice zostały opracowane w wersji elektronicznej i są dostępne w Internecie. Szczegóły podano w podrozdziale 2.8.

2. Przyczyny usterek i awarii

Obok tzw. czynnika ludzkiego jedną z zasadniczych przyczyn usterek i awarii na jednostkach pływających są warunki, w jakich one pływają. Większość tych warunków jest wspólna dla środowiska morskiego i wód śródlądowych. Pewne różnice dotyczą narażeń klimatycznych z uwagi na fakt, iż statki morskie nieograniczonego rejonu pływania mogą pływać w krańcowo różnych strefach klimatycznych, np. tropikalnych i arktycznych, podczas gdy statki śródlądowe najczęściej pływają w obrębie jednej strefy klimatycznej, np. statki polskie w strefie umiarkowanej. Szczególne różnice mogą dotyczyć temperatur dodatnich, wilgotności, występowania mgły solnej i pleśni. Niewielkie różnice dotyczą narażeń mechanicznych i występują jedynie w zakresie przechyłów i przegłębień. Brak natomiast zasadniczych różnic w zakresie parametrów energii zasilającej i kompatybilności elektromagnetycznej.

2.1 Narażenia klimatyczne

W przypadku narażeń klimatycznych coraz częściej odstępuje się od rozpatrywania narażeń związanych z pleśniami z uwagi na coraz lepsze lakiery i pokrycia zabezpieczające izolacje oraz inne materiały występujące w elektrotechnice okrętowej. Dotyczy to zarówno wyrobów przeznaczonych na rynek morski, jak i tych na wody śródlądowe. Wyposażenie statków, które pływają po zamkniętych wodach śródlądowych, nie musi być odporne na oddziaływanie mgły solnej. Jednakże w przypadku statków śródlądowych, których symbol klasy uprawnia do żeglugi po wodach zatok Gdańskiej i Pomorskiej, inspektor rozpatrujący dokumentację może każdorazowo określić potrzebę poddania wyposażenia takich statków próbom narażenia w mgle solnej. Abstrahując od żeglugi nieograniczonej, nie ma większych różnic w zakresie wilgotności i znamionowych temperatur roboczych powietrza otaczającego urządzenia elektryczne.

Tabela 1

Porównanie parametrów narażeń klimatycznych pozostających bez wpływu na poprawną pracę wyposażenia na statkach morskich i śródlądowych

Przedmiot	Temperatura	Żegluga morska	Żegluga śródlądowa
Wilgotność względna	+40±2°C	80±3%	80±3%
	+25±2°C	95±3%	95±3%
Przedmiot	Miejsce na statku	Żegluga morska	Żegluga śródlądowa
Temperatura znamionowa	Maszynownia, pomieszczenia zamknięte ruchu elektrycznego, pomieszczenia kuchenne	Od 0 do 40°C	Od 0 do 40°C
	Otwarte pokłady i przestrzenie	Od – 25 do 40°C	Od – 20 do 40°C
	Inne pomieszczenia	Od 0 do 40°C	Od 0 do 30°C

Tabela 1 przedstawia porównanie wilgotności względnej i temperatur znamionowych powietrza otaczającego, w jakich powinny poprawnie pracować urządzenia elektryczne w warunkach żeglugi morskiej i śródlądowej w umiarkowanej strefie klimatycznej.

Rozważenia wymaga temperatura obniżona w przypadku „otwartych pokładów i przestrzeni”, a podwyższona w przypadku „innych pomieszczeń” dla żeglugi morskiej. Wieloletnie doświadczenia wskazują, iż morze w strefie umiarkowanej, jako olbrzymi wymiennik ciepła, raczej powinno być bardziej „umiarkowane” od ekstremalnych temperatur na lądzie, a więc również w żegludze śródlądowej.

2.2 Narażenia mechaniczne

W przypadku narażeń mechanicznych, tak charakterystycznych dla jednostek pływających, różnice między żegluga morską a śródlądową są minimalne. Porównanie w tym zakresie przedstawia tabela 2. Odporność na narażenia mechaniczne okrętowego wyposażenia elektrycznego szczególnie różni je od podobnego wyposażenia lądowego, które, pracując w warunkach domowych, biurowych, a nawet przemysłowych, nie jest narażane na oddziaływanie mechaniczne. Zasada ta dotyczy przede wszystkim wyposażenia o napięciu roboczym wyższym niż napięcie bezpieczne. W zakresie napięć bezpiecznych na statkach, szczególnie śródlądowych, można stosować urządzenia przeznaczone do lądowych środków transportowych.

Tabela 2

Porównanie parametrów narażeń mechanicznych pozostających bez wpływu na poprawną pracę wyposażenia elektrycznego na statkach morskich i śródlądowych

Narażenie	Żegluga morska		Żegluga śródlądowa	
	Częstotliwość	Amplituda	Częstotliwość	Amplituda
Wibracje w obrębie maszynowni	2 do 13,2 Hz	± 1,0 mm	2 do 13,2 Hz	± 1,0 mm
	13,2 do 100 Hz	± 7 m/s ²	13,2 do 100 Hz	± 7 m/s ²
Wibracje na silnikach, sprzężarkach	2 do 25 Hz	± 1,6 mm	2 do 25 Hz	± 1,6 mm
	25 do 100 Hz	± 40 m/s ²	25 do 100 Hz	± 40 m/s ²
Długostrwały przechył	15°		15°	
Długostrwałe przegłębienie	5°		5°	
Kołysania na burtę	22,5°		nie wymaga się	
Kołysanie wzdłużne	10°		nie wymaga się	
Długostrwałe przechyły urządzeń awaryjnych	22,5°		22,5°	
Długostrwałe przegłębienia urządzeń awaryjnych	10°		10°	

2.3 Parametry energii zasilającej

Parametry energii zasilającej wyposażenia statków morskich i śródlądowych nie różnią się dla obu rodzajów statków i zostały przedstawione w tabeli 3. Podatne (miękkie) systemy elektroenergetyczne, jakimi są sieci okrętowe, wymagają aby urządzenia pracowały poprawnie w szerokim zakresie napięć i częstotliwości. Dlatego też na jednostkach pływających nie powinny pracować wyroby elektrotechniczne przeznaczone na ląd, gdzie występują jedynie sztywne sieci elektroenergetyczne. Praca takich wyrobów w warunkach okrętowych może być krótkotrwała i zawodna.

Polski Rejestr Statków we współpracy z Akademią Morską w Gdyni badał jakość energii elektrycznej na wybranych statkach. W ramach przeprowadzonych prac [5] zweryfikowano rzeczywiste pomiary z wymaganiami norm i Przepisów, wnioski z prac zostały uwzględnione w Publikacji 25/P [11].

Porównanie parametrów energii zasilającej zapewniających poprawną pracę wyposażenia na statkach morskich i śródlądowych

Parametr	Żegluga morska	Żegluga śródlądowa		
Dopuszczalne długotrwałe odchylenia od wartości znamionowych w systemach zasilanych prądem przemiennym				
Napięcie	+6%, -10%	+6%, -10%		
Częstotliwość	±5%	±5%		
Dopuszczalne krótkotrwałe odchylenia od wartości znamionowych w systemach zasilanych prądem przemiennym				
	Wartość	Czas	Wartość	Czas
Napięcie	±20%	1,5 s	±20%	1,5 s
Częstotliwość	±10%	5 s	±10%	5 s
Dopuszczalne odchylenia od wartości znamionowych w systemach zasilanych prądem stałym				
Ciągłe napięcia	±10%	nie wymaga się		
Cykliczne zmienne napięcia	5%	nie wymaga się		
Falistość napięcia wyprostowanego	10%	nie wymaga się		
Dopuszczalne odchylenia od wartości znamionowych w systemach zasilanych z baterii akumulatorów				
Rodzaj systemu				
Odbiorniki połączone z baterią podczas jej ładowania	+30%, -25%	+30%, -25%		
Odbiorniki nie połączone z baterią podczas jej ładowania	+20%, -25%	+20%, -25%		

2.4 Zakłócenia elektromagnetyczne

Chociaż Przepisy [7] w podrozdziale 2.1.4 *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC)* informują jedynie: „Tam, gdzie PRS uzna za stosowne, instalacje i urządzenia elektryczne powinny być poddane próbom kompatybilności elektromagnetycznej wykonanym zgodnie z Publikacją PRS nr 11/P [9], w zakresie uzgodnionym z PRS”, to przy obecnym nasyceniu statku elektroniką i energoelektroniką trudno sobie wyobrazić możliwość instalowania na statku urządzeń zupełnie nie badanych w zakresie EMC. W praktyce takie badania mogą się ograniczyć do rozpatrzenia protokołów z badań w tym zakresie, na przykład dla celów oceny zgodności CE (z dyrektywami Wspólnoty Europejskiej). Jednakże warunkiem takiego rozpatrzenia musi być dostępność dowodów, iż urządzenie spełnia inne wcześniej wymienione wymagania.

2.5 Próby środowiskowe wyposażenia statków

Publikacja 11/P [9] określa niezbędne próby do stwierdzenia, że obiekt im poddany spełnia wymagania Przepisów Polskiego Rejestru Statków i może być stosowany na wszystkich jednostkach pływających pod nadzorem PRS oprócz okrętów wojennych, których dotyczy Publikacja nr 75/P [13]. Publikacje te mają zastosowanie przede wszystkim w stosunku do wyrobów takich jak:

- układy sterowania i bezpieczeństwa,
- systemy zabezpieczeń,
- systemy komunikacji wewnętrznej, przeznaczone do zainstalowania na statkach,
- lub wyroby wchodzące w skład ww. układów.

Zgodnie z postanowieniami Publikacji 11/P [9] prototyp wyrobu poddaje się następującym próbom:

- Oględziny;
- Próby funkcjonalne;
- Zanik energii zasilającej;
- Wahania parametrów energii zasilającej;
- Suche gorąco (*Próba B wg Publ. IEC 60068-2-2*);
- Wilgotne gorąco cykliczne (*Próba Db wg Publ. IEC 60068-2-30*);
- Zimno (*Próba A wg Publ. IEC 60068-2-1*);
- Wibracje sinusoidalne (*Próba Fc wg Publ. IEC 60068-2-6*);
- Przechyły (*wg Publ. IEC 60092-504*);
- Stopnie ochrony obudowy;
- Mgła solna (*Próba Kb wg Publ. IEC 60068-2-52*);
- Próba przeciwwybuchowości;
- Pleśnie (*Próba J wg Publ. IEC 60068-2-10*);
- Wyładowania elektrostatyczne (*wg Publ. IEC 61000-4-2*);
- Pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej (*wg Publ. IEC 61000-4-3*);
- Zaburzenia impulsowe nanosekundowe (*wg Publ. IEC 61000-4-4*);
- Zaburzenia przewodzone wysokiej częstotliwości (*wg Publ. IEC 61000-4-6 i IEC 60945*);
- Zaburzenia impulsowe dużej energii (*wg Publ. IEC 61000-4-5*);
- Zaburzenia przewodzone niskiej częstotliwości (*wg Publ. IEC 60533*);
- Emisja zaburzeń promieniowanych (*wg Publ. CISPR 16-1, 16-2*);
- Emisja zaburzeń przewodzonych (*wg Publ. CISPR 16-1, 16-2*);
- Pomiar rezystancji izolacji;
- Próba wytrzymałości elektrycznej izolacji;
- Badanie odporności na rozprzestrzenianie płomienia;
- Badanie zapalności materiałów elektroizolacyjnych.

W nawiasach obok nazw niektórych prób podano numery publikacji (norm) IEC, które stanowią uzupełnienie wymagań szczegółowych Publikacji 11/P [9]. Zgodnie z postanowieniami PRS, to producent przedstawia do zatwierdzenia program prób wraz z dokumentacją techniczną wyrobu i to on wybiera stosowne próby spośród wymienionych w Publikacji. Instytucje klasyfikacyjne zalecają przeprowadzenie prób w kolejności przedstawionej powyżej. Nadto warto zaznaczyć, iż zmianą z zeszłego roku wprowadzono wymaganie, by próby typu wyposażenia nawigacyjnego i radiowego, którego przybywa także na statkach śródlądowych, przeprowadzać zgodnie z wymaganiami określonymi w Publikacji IEC 60945. Również próby w zakresie EMC innego wyposażenia zainstalowanego na mostku nawigacyjnym, mogącego zakłócać działanie urządzeń nawigacyjno-radiowych (np. komputery), należy przeprowadzać zgodnie z wymaganiami Publikacji/normy IEC 60945.

2.6 Komputery

Komputery coraz częściej znajdują zastosowanie także na statkach śródlądowych. Jeżeli służą do sterowania instalacjami odpowiedzialnymi za bezpieczeństwo statku, podlegają wymaganiom Publikacji 9/P [8]. Publikacja przepisowa PRS opracowana wg Publikacji normalizacyjnej IEC 60092-504 [3] jest podstawą nadzoru PRS nad produkcją komputerów i określa wymagania w zakresie sprzętu komputerowego oraz jego konfiguracji, prób, sieci informatycznych, oprogramowania i coraz popularniejszych systemów zintegrowanych. Publikacja ta określa m.in. wytyczne dla programistów odpowiedzialnych za wizualizację. Oczywiście nie podaje np. ściśle określonych kolorów mimik, przedstawia raczej ogólne wytyczne dotyczące sposobu prezentowania informacji.

2.7 Maszyny elektryczne

Podczas gdy do niedawna aparatura była produkowana zarówno w wykonaniu lądowym jak i morskim, coraz częściej wyroby przeznaczone na ląd (norma IEC 60034 *Rotating electrical machines*) spełniają bardziej rygorystyczne wymagania morskie (IEC 60092-301 *Electrical installations in ships. Part 301: Equipment - Generators and motors*). Również w zakresie maszyn elektrycznych różnice te wraz z rozwojem techniki zacierają się. Na statkach śródlądowych i morskich maszyny przed zainstalowaniem na jednostce oraz w eksploatacji po każdym remoncie powinny zostać poddane próbom określonym w Publikacji nr 42/P [12].

2.8 Kable elektroenergetyczne

W przeciwieństwie do łodzi motorowych i jachtów na statkach śródlądowych oraz morskich wymaga się, aby stosować kable typu okrętowego ognioodporne lub wykonane z materiałów samogasnących, odpornych na działanie wody i oleju. Kable powinny spełniać wymagania rozdziału 14 Przepisów [7]. W doborze kabli okrętowych istotny jest ich typ (rodzaj izolacji, powłoki, ilość żył), sposób układania (do 6 kabli w wiązce lub powyżej) oraz przekrój żyły. W zależności od typu kabla dobiera się długotrwałą obciążalność zgodnie z normą IEC 60092-352 [2]. Norma ta powstała w oparciu o badania empiryczne przeprowadzone w 1958 r. i na przestrzeni lat jest wciąż rozwijana. Również norma dotycząca instalacji elektrycznej IEC 60092-351 [1] ulega zmianom, dla przykładu trzecia edycja normy z 2004 roku przyjmuje maksymalną temperaturę wytrzymałości izolacji z polichlorku winylu 65°C, podczas gdy norma będąca aktualnie w trakcie opracowania podwyższa ją do 70°C.

Uaktualnienia norm obligują do weryfikacji Przepisów, a w efekcie mogą być przyczyną ich zmian. Dlatego też Publikacja 15/P [10] została zrewidowana i jej obecna wersja jest opublikowana w wersji elektronicznej. Darmowy dostęp do programu znajduje się pod adresem <http://www.prs.pl/page585.html>. Program ułatwia dobór przekroju żyły kabli w zależności od ich izolacji, temperatury otoczenia, rodzaju pracy (ciągła, przerywana 40% oraz dorywcza 30- i 15-minutowa), ilości żył w kablu oraz ilości kabli w wiązce.

3. Zakończenie

Wyposażenie elektryczne m.in. statków śródlądowych, by spełniać określone powyżej wymagania, musi być objęte nadzorem towarzystwa klasyfikacyjnego zarówno w czasie produkcji, jak i instalowania na pokładzie jednostki. W wyniku nadzoru nad produkcją PRS wystawia Świadectwo uznania typu wyrobu (*Type Approval Certificate*) lub Metrykę (*Test Certificate*). Wytwórnia, która uzyskała od PRS Świadectwo uznania typu wyrobu, jest uwzględniona w katalogu uznanych wyrobów na stronie <http://www.prs.pl/dir74.html> (Volume TE).

Wyposażenie elektryczne, objęte certyfikacją, stanowią wszystkie maszyny i urządzenia instalowane w układach okrętowych ważnych dla bezpieczeństwa jednostki oraz ludzi i ładunku przewożonego przez nią. Warto zaznaczyć, iż nadzór instytucji klasyfikacyjnej nie obejmuje urządzeń o charakterze gospodarczym, bytowym i technologicznym, a ogranicza się do sprawdzenia ich wpływu na parametry energii w sieci statku oraz bezpieczeństwo przeciwpożarowe i przeciwporażeniowe.

4. Literatura

1. IEC 60092-351:2004 *Electrical installations in ships - Part 351: Insulating materials for shipboard and offshore units, power, control, instrumentation, telecommunication and data cables.*
2. IEC 60092-352:2005 *Electrical installations in ships - Part 352: Choice and installation of electrical cables.*
3. IEC 60092-504:2001 *Electrical installations on ships - Part 504: Control and instrumentation.*
4. Lowe D., *Intermodal Freight Transport*, Elsevier 2005
5. Mindykowski J., Tarasiuk T., Szweda M., Szmit E., *Badania jakości energii elektrycznej na wybranym statku, Raport Techniczny nr 48*, Polski Rejestr Statków, Gdańsk 2004.
6. Przepisy klasyfikacji i budowy statków morskich, *część VIII Urządzenia elektryczne i automatyka*, Polski Rejestr Statków, Gdańsk 2004.
7. Przepisy klasyfikacji i budowy statków śródlądowych, *część VII Urządzenia elektryczne i automatyka*, Polski Rejestr Statków, Gdańsk 2004.
8. Publikacja 9/P *Wymagania dla systemów komputerowych*, Polski Rejestr Statków, Gdańsk 2002.
9. Publikacja 11/P *Próby środowiskowe wyposażenia statków*, Polski Rejestr Statków, Gdańsk 2002.
10. Publikacja 15/P *Tablice obciążalności prądowej kabli, przewodów i szyn dla wyposażenia okrętowego*, Polski Rejestr Statków, Gdańsk 1993.
11. Publikacja 25/P *Wymagania techniczne dla okrętowych układów energoelektronicznych*, Polski Rejestr Statków, Gdańsk 2006.
12. Publikacja 42/P *Próby maszyn elektrycznych*, Polski Rejestr Statków, Gdańsk 1999.
13. Publikacja 75/P *Próby środowiskowe wyposażenia okrętów wojennych*, Polski Rejestr Statków, Gdańsk 2006.

Wpłynęło do redakcji w marcu 2006 r.

Adres:

Edward Szmit, Daniel Czarkowski
Polski Rejestr Statków S.A.
Inspektorat Elektryczny i Automatyki
al. gen. Józefa Hallera 126
80-416 Gdańsk, Polska
te@prs.pl