Bartłomiej Bastian
Bolesław Dudojć
Akademia Morska w Gdyni

ADAPTACJA LABORATORIUM ELEKTROENERGETYKI OKRĘTOWEJ DO WYMAGAŃ KONWENCJI STCW

W artykule przedstawiono propozycję modernizacji istniejącego laboratorium elektrowni okrętowej w Katedrze Elektroenergetyki Okrętowe Akademii Morskiej w Gdyni. Planowane zmiany wynikają z nowych wyzwań stojących przed oficerem elektrykiem okrętowym, zawartych w znowelizowanej konwencji STCW 78/10.

WPROWADZENIE

W pracy [1], dotyczącej zagadnień związanych z nauczaniem eksploatacji i projektowania siłowni okrętowych, autorzy podzielili uczelnie wyższe zajmujące się okrętownictwem na dwa typy: na takie, w których główny nacisk kładzie się na eksploatację (akademie morskie w Gdyni i w Szczecinie oraz Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni) oraz na takie, w których główna uwaga poświęcona jest zagadnieniom projektowym (Politechnika Gdańska oraz Politechnika Szczecińska – obecnie Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny). Należy jednak podkreślić, że wiedza praktyczna potrzebna jest w szerokim zakresie zarówno osobom, które w przyszłości będą zajmowały się eksploatacją systemów czy urządzeń, jak i przyszłym projektantom.

Dla Akademii Morskiej w Gdyni – uczelni będącej ośrodkiem kształcącym załogi statków morskich zgodnie z wymaganiami konwencji STCW, kwestia zdobywania poza wiedzą teoretyczną praktycznych umiejętności jest priorytetowa. Absolwenci AM mają w przyszłości zajmować różne, odpowiedzialne, samodzielne stanowiska. W odniesieniu do przyszłych oficerów kwestie praktyk zawodowych mają specyficzny charakter. Okres i zakres takich praktyk jest określony przez krajowe przepisy [5]. W Polsce obecnie wymagana praktyka zawodowa dla specjalności elektroautomatyka okrętowa wynosi 12 miesięcy. Po ukończeniu studiów na kierunku elektrotechnika i odbyciu praktyki absolwent praktycznie staje się odpowiedzialny za elektrownie o mocy sięgającej od kilku do kilkudziesięciu megawatów, o napięciach do kilkunastu kilowoltów, automatykę silników głównych o mocy do kilkudziesięciu megawatów, za wiele innych urządzeń technicznych, systemów alarmowych, sterujących, a na niektórych typach statków jest narażony na pracę w strefach zagrożonych wybuchem.

Biorąc pod uwagę m.in. ciągły wzrost złożoności okrętowych systemów elektroenergetycznych i automatyki okrętowej, w 2010 roku pod auspicjami IMO znowelizowano konwencję STCW 78/95, która od tej nowelizacji określana jest jako STCW 78/10 [8]. W odniesieniu do działu maszynowego wprowadzono minimalne wymagania na stanowisko oficera elektryka okrętowego i dodatkowo znacząco rozszerzono odpowiednie wymagania kompetencyjne z elektrotechniki dla mechaników. Podążając za zmianami prawnymi, należy dostosowywać odnośną bazę dydaktyczną do wymagań konwencyjnych.

1. CHARAKTERYSTYKA PRACY OFICERA ELEKTROAUTOMATYKA

Praca na statkach morskich ma swoją specyfikę, którą należy uwzględnić w procesie dydaktycznym. Spośród wielu elementów charakterystycznych dla pracy na morzu można przykładowo wyróżnić m.in. te, które stanowią dodatkowe wyzwanie w przygotowaniu specjalistycznym przyszłych okrętowych oficerów elektrotechnicznych:

- tendencja armatorów do zmniejszania liczebności członków załóg przy zwiększającej się liczebności urządzeń technicznych (coraz mniej osób odpowiada za coraz więcej urządzeń);
- redukcja członków załóg, odpowiedzialnych jedynie za sprawy elektryczne, do jednej osoby bądź stosuje się rozwiązanie polegające na obsłudze kilku statków przez jedną osobę;
- w przypadku obsady jednoosobowej (jest to najczęstsze rozwiązanie) elektroautomatyk musi stawić czoła wyzwaniom eksploatacyjnym bez możliwości bezpośredniego, merytorycznego konsultowania swoich decyzji;
- przerost biurokratyczny wyrażający się absurdalną ilością raportów i dokumentów sprawozdawczych;
- wielojęzykowa dokumentacja;
- z natury rzeczy bardzo częste zmiany załóg statków, częstsze niż w przypadku rotacji pracowników w przemyśle lądowym;
- pełna dyspozycyjność merytoryczna z chwilą zamustrowania, pomimo że bardzo często dany członek załogi jest pierwszy raz na statku;
- oddziaływanie stresu wynikającego z długotrwałej rozłąki z rodziną i konieczności przebywania w obecności przypadkowych osób;
- wielonarodowość załóg;
- trudne warunki środowiskowe (przechyły, wibracje, zmiana temperatur, wilgotności);
- wymagana duża niezawodność urządzeń (bezpieczeństwo załogi, środowiska, ładunku);
- samodzielność statku (na morzu brak możliwości wezwania serwisu z zewnątrz);
- potrzeba szybkiej diagnozy i szybkiego podejmowania decyzji, wynikająca z niebezpieczeństwa i zmienności sytuacji na morzu;

- generalna polityka armatorów skierowana na zysk, a przez to na szukanie oszczędności w procesie eksploatacji na kosztach części zamiennych, konserwacjach i remontach.

Jak już wcześniej wspomniano, nieodzowną częścią kształcenia kadr morskich, przygotowującą przyszłych członków załóg do sprostowania wyżej wymienionym wymogom, są praktyki okrętowe. Należy jednak pamiętać, że w trakcie praktyki armator nie zezwoli na celowe przećwiczenie różnych stanów awaryjnych instalacji okrętowych. Poza tym na program praktyki morskiej i jej przebieg ma wpływ wiele czynników niezdeterminowanych, trudnych do przewidzenia, takich jak: awarie lub ich brak, polityka kompanii, życzliwa atmosfera na statku lub jej brak, rejon pływania, pogoda, typ statku, rodzaj wykonywanych przez niego prac. Dlatego uczelnia, chcąc zagwarantować ujednolicony proces kształcenia swoim studentom, nie może w kwestii eksploatacji opierać się wyłącznie na praktykach na statkach.

Istotnym uzupełnieniem praktyk są komputerowe symulatory fizycznych obiektów czy systemów. Wiele uczelni jest wyposażonych w odpowiedniego typu symulatory. Szczególnie dużą ich liczbę mają uczelnie kładące nacisk na eksploatację, takie jak AM w Gdyni. Symulatory okazują się być pomocne w zrozumieniu procesów zachodzących w całych obiektach, instalacjach oraz w wyrabianiu nawyku szybkiego i prawidłowego podejmowania decyzji, dotyczących użytkowanego obiektu. Jednak metody symulacyjne, choć potrzebne i obecnie nieodzowne w procesie kształcenia, nie mogą zastąpić kontaktu z rzeczywistymi urządzeniami. Istnieje ryzyko, że absolwent kierunku eksploatacyjnego przygotowany wyłącznie na symulatorach, w przypadku gdy otworzy szafę rozdzielnicy głównej, a w niej zamiast myszki i klawiatury znajdzie przekształtniki, aparaturę łączeniową, sterującą, pomiarową, nie będzie w stanie rozwiązać problemu samodzielnie. W niektórych sytuacjach może on także stanowić zagrożenie dla siebie i innych. Ponadto absolwent oprócz konserwacji urządzeń elektrycznych czy automatyki w warunkach normalnej pracy musi być w stanie wykryć i usunąć awarie, zmodyfikować nastawy regulatorów, skalibrować układ pomiarowy itp. W tym momencie wiedza teoretyczna i znajomość symulatora w połączeniu z negatywnymi oddziaływaniami środowiskowymi może okazać się niewystarczająca, tym bardziej że elektroautomatyk okrętowy powinien być gotowy do samodzielnego działania z chwilą zamustrowania.

2. WYKORZYSTANIE LABORATORIUM

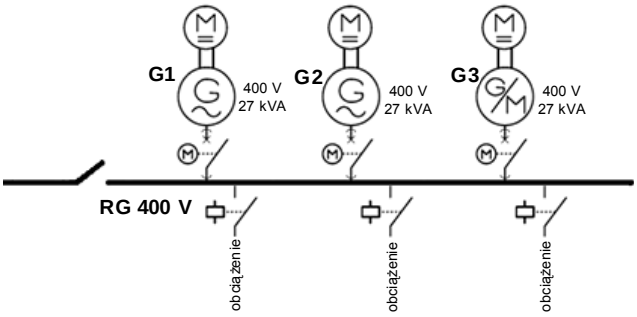
Dopełnieniem wiedzy teoretycznej oraz umiejętności zdobytych na symulatorze są zajęcia odbywane na rzeczywistym obiekcie fizycznym wzorowanym na rozwiązaniach istniejących w przemyśle. Akademia Morska w Gdyni ma kilka takich obiektów. Wydział Mechaniczny posiada na przykład całą siłownię wraz z niezbędnymi mechanizmami pomocniczymi. Wydział Elektryczny dysponuje elektrownią okrętową z rozdzielnicą główną i odbiornikami wytwarzanej energii.

Potrzeba wszechstronnego kształcenia zawodowego studentów mających w przyszłości samodzielnie pełnić odpowiedzialne funkcje na stanowiskach pracy związanych z przemysłem okrętowym i eksploatacją statków była główną przyczyną budowy na uczelni w latach 80. typowej elektrowni okrętowej [2, 3] – elektrowni istniejącej do dziś i wielokrotnie modyfikowanej. Elektrownia ta jest wykorzystywana nie tylko do procesu dydaktycznego; dzięki niej możliwe było przeprowadzenie wielu prac badawczych z zakresu elektroenergetyki okrętowej, jakości energii elektrycznej, automatyzacji procesów sterowania elektrownią, a także realizacja wielu praktycznych prac dyplomowych. Fizyczny model elektrowni umożliwił również przeprowadzenie licznych badań dla podmiotów zewnętrznych. Wykonywano m.in. prace takie jak badanie prądnic, urządzeń grzewczych, badanie UPS-ów. Wśród zleceniodawców badań znalazły się wiodące firmy z branży elektrotechniki okrętowej, ale także towarzystwa klasyfikacyjne.

Obecnie w elektrowni odbywają się:

- zajęcia laboratoryjne dla studentów,
- zajęcia dla słuchaczy kursów podwyższających kwalifikacje,
- zajęcia pokazowe, promujące elektrotechnikę jako naukę oraz Akademię Morską w Gdyni wśród młodzieży szkół średnich,
- prace naukowo-badawcze,
- testy i próby urządzeń dla zewnętrznych podmiotów gospodarczych.

Schemat elektrowni przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat istniejącej elektrowni (schemat ideowy – bez wyszczególnienia aparatury sterującej, pomiarowej, pomocniczej)

3. ADAPTACJA LABORATORIUM

Aby laboratorium, które jest wszechstronnie wykorzystywane, nadążało za zmianami w technice okrętowej, należy nieustannie je unowocześniać. Zakres zmian, które zaszły w elektrotechnice okrętowej na przełomie ostatnich 20 lat, jest znaczący, a obecnie panujące tendencje zostały scharakteryzowane przez uczestników I Kongresu Elektryki Polskiej w Warszawie [6]. Wśród nich znalazły się m.in.:

- wzrost całkowitej mocy zainstalowanej w elektrowniach okrętowych do poziomu kilkudziesięciu MW oraz napięć do kilkunastu kV;

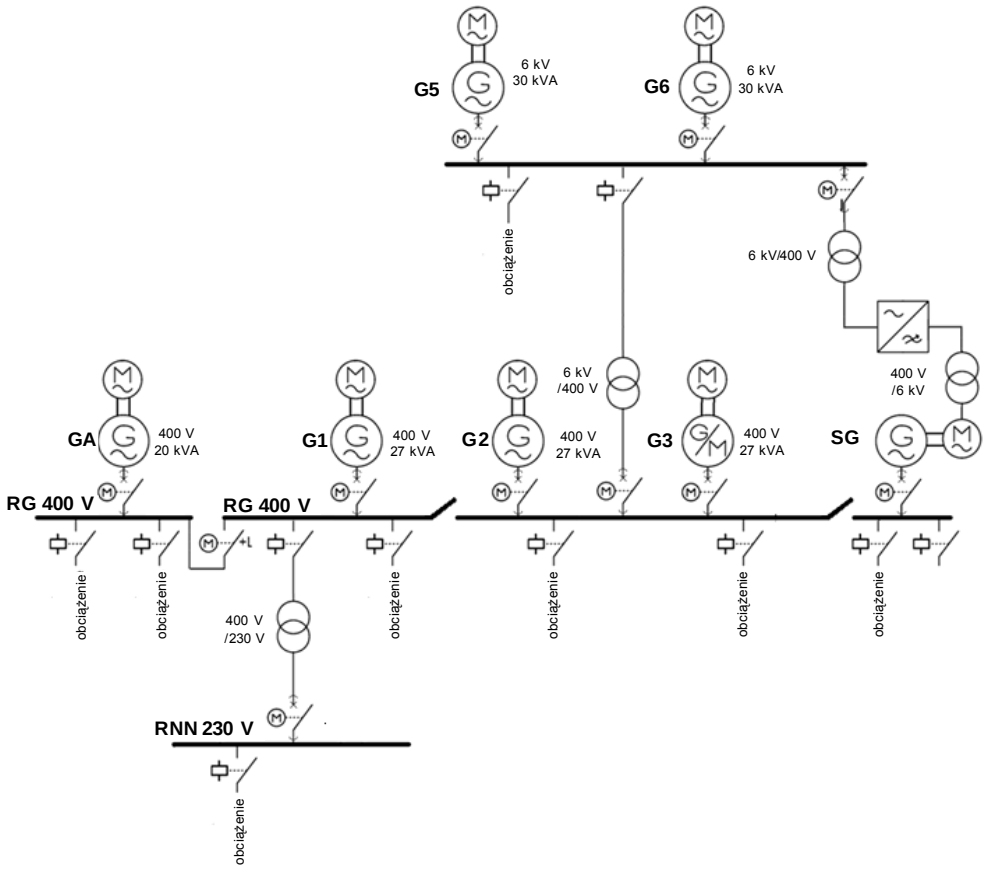
- coraz szersze zastosowanie elektrycznych napędów głównych statków o mocach powyżej 20 MW (silniki synchroniczne instalowane w pędnikach gondolowych, zasilane z przekształtników energoelektronicznych);
- wprowadzenie sieci elektroenergetycznych o podwyższonej niezawodności, uzyskanej na drodze systemowej redundancji i systemu grodzi ochronnych, na statkach klasy DPC (dynamicznego pozycjonowania);
- konieczność dogłębnej analizy systemów elektroenergetycznych nowobudowanych statków pod kątem jakości energii elektrycznej na etapie projektowania jednostki ciągłego monitoringu parametrów jakości energii w czasie eksploatacji statku, jako czynnika zwiększającego ryzyko awarii wielu systemów okrętowych.

Obecny model elektrowni okrętowej składa się z rozdzielnicy głównej typu RG 103A, w której skład wchodzą pola poszczególnych prądnic, pole synchronizacji, pola odbiorów, oraz z trzech prądnic synchronicznych o mocach znamionowych 27 kVA każda, napędzanych silnikami prądu stałego o mocach 35 kW. Układ sterowania prędkością kątową silników prądu stałego jest zbudowany tak, że symuluje napęd 4-suwowego silnika Diesla (tyrystorowy model silnika spalinowego). Prądem wzbudzenia prądnic sterują 3 tyrystorowe regulatory napięcia typu TUR oraz zamiennie cyfrowy regulator napięcia typu DECS200. Dodatkowo prądnica synchroniczna nr 3 posiada układ pozwalający na użycie jej w charakterze obciążenia indukcyjnego jako silnik obcowzbudny. Główne obciążenie stanowią rezystory mocy znajdujące się w specjalnym budynku. W elektrowni istnieje także system monitoringu parametrów sieci Power TRAC oraz system automatycznego i zdalnego sterowania pracą elektrowni opracowany na podstawie technologii PLC.

Koncepcja modernizacji i rozbudowy elektrowni opiera się głównie na doposażeniu w dwie prądnice ŚN, prądnicę wałową oraz prądnicę awaryjną wraz z odpowiednim oprzyrządowaniem (rys. 2) [4].

W ramach modernizacji przewiduje się wykonanie rozdzielnicy ŚN, zasilanej z dwóch generatorów o mocy 30 kVA każdy, z możliwością sprzęgnięcia jej z rozdzielnią główną poprzez transformator. Jednym z obciążeń ma być silnik klatkowy, zasilany z wykorzystaniem regulowanego falownika. Z powodu trudności technicznych przy wykonaniu falownika na ŚN planuje się wykorzystanie dodatkowych transformatorów. Falownik powinien być zaprogramowany do symulacji zakłóceń napędu prądnicy wałowej. Na wspólnym wale z napędem znajdować się będzie prądnica.

Dodatkowo planuje się rozdzielenie rozdzielnicy głównej na 3 sekcje i wymianę napędów prądnic z silników prądu stałego na silniki asynchroniczne klatkowe oraz wymianę regulatorów napięcia typu TUR na nowoczesne regulatory cyfrowe. W sekcji zawierającej prądnicę wałową przewiduje się stanowisko do badania odporności zewnętrznych urządzeń na zmiany częstotliwości zasilania. Rozważa się także dodanie transformatora zasilającego pole niskiego napięcia oraz budowę rozdzielni awaryjnej zasilanej generatorem o mocy 20 kVA. Całość będzie nadzorowana przez nowoczesne systemy automatyki. W tym obszarze planuje się podwójne rozwiązanie: jeden system nadzoru nad elektrownią okrętową wzorowany na systemach obecnie instalowanych na statkach i drugi podobny, lecz z możliwością modyfikacji rozwoju w ramach zajęć oraz prac badawczych.



Rys. 2. Koncepcja modernizacji i rozbudowy istniejącej elektrowni (schemat ideowy – bez wyszczególnienia aparatury sterującej, pomiarowej, pomocniczej) [4]

Planowana modernizacja obejmuje sporządzenie projektu, dokumentacji technicznej oraz zakup, a następnie instalację następujących urządzeń i systemów: pola zasilania ŚN wraz z osprzętem, prądnic synchronicznych samowzbudnych ŚN, cyfrowych regulatorów napięcia, układów zabezpieczeń prądnic, wyłączników samoczynnych, synchronizatorów automatycznych, napędów prądnic ŚN (tj. silników klatkowych i przemienników częstotliwości z nastawą statyki), pola sygnalizacji i synchronizacji ŚN wraz z osprzętem, układu ręcznej synchronizacji, układów ciągłego pomiaru stanu izolacji, pól odbiorów ŚN z osprzętem, transformatora ŚN/NN z zabezpieczeniami, silnika klatkowego ŚN z osprzętem, pól dodatkowych RG z osprzętem, rozłączników szyn RG, prądnicy wałowej i awaryjnej, systemu sterowania automatycznego oraz aparatury laboratoryjnej, w tym m.in. oscyloskopu z sondami pomiarowymi ŚN, przenośnego miernika stanu izolacji na napięcie probiercze 20 kV, drążków izolacyjnych, uziemiaczy.

Przedsięwzięcie modernizacyjne ograniczone jest aktualnie dostępną kubaturą pomieszczeń, w których umieszczony jest obecny model elektrowni okrętowej.

Planowana modernizacja rozszerzy możliwości dydaktyczne o kolejne tematy, m.in.:

- zarządzanie rozbudowaną siecią,
- procedury bezpieczeństwa przy pracy ze średnimi napięciami,
- techniki pomiarów parametrów w sieci ŚN,
- współpraca prądnicy awaryjnej z siecią,
- współpraca prądnicy wałowej z siecią „miękką”,

oraz prace badawcze, m.in.:

- badanie wpływu zaniżonej jakości energii elektrycznej na pracę elementów okrętowego systemu elektroenergetycznego ŚN (np. badanie wpływu zakłóceń sieci ŚN na obciążenia cieplne silnika klatkowego, badanie wpływu zakłóceń sieci ŚN na poprawność działania przetworników pomiarowych);
- aplikacje przetworników pomiarów ogólnych: prądów, napięcia, częstotliwości, mocy przy zachowaniu bezpieczeństwa separacji;
- badanie jakości energii elektrycznej oraz jakości transferu energii w sieci ŚN, wdrożenie metod badań jakości energii elektrycznej w okrętowych systemach ŚN;
- eksperymentalna weryfikacja matematycznych modeli systemu elektroenergetycznego ŚN, modelowanie systemów na podstawie uzyskanych pomiarów.

PODSUMOWANIE

Kształcenie załóg na potrzeby przemysłu okrętowego w zakresie eksploatacji siłowni okrętowych, a w szczególności systemów wytwarzania i dystrybucji energii elektrycznej oraz całej automatyki i elektroniki morskiej nabiera coraz istotniejszego znaczenia w świetle nowelizacji konwencji STCW 78/95. Zgodnie z ostatnią nowelizacją w 2010 r. konwencja STCW 85/10 wprowadza minimalne wymagania na stanowisko oficera elektryka [8]. Dlatego istnieje potrzeba przystosowania procesu dydaktycznego do aktualnych wymagań z niej wynikających. W odniesieniu do zagadnień elektrycznych i automatyki w procesie dydaktycznym istotną rolę odgrywają różnego rodzaju symulatory, które w znaczącym stopniu obniżają koszty kształcenia. Znane są symulatory procesów technologicznych modelujące praktycznie każdy rodzaj instalacji przemysłowej. Przykładem mogą być opracowania firmy Flownex Simulation Environment [7]. Jednakże jest pewien rodzaj umiejętności, który można nabyć jedynie poprzez pracę na rzeczywistym obiekcie. Dotyczy to w szczególności diagnozowania i usuwania usterek w rzeczywistym obiekcie. Rozwój techniki powoduje coraz powszechniejsze stosowanie na statkach średnich napięć o wartościach od 3 do 11 kV. Stanowi to dodatkowe wyzwanie eksploatacyjne, z którym absolwent powinien być zapoznany. Stąd propozycja modernizacji istniejącego modelu o panel średnionapięciowy (6 kV). Również elektrownia wyposażona będzie w układ rozdzielnicy awaryjnej, która umożliwi realizację symulacji zaniku napięcia w rozdzielnicy głównej (*black-out*). Elektrownia

w zaproponowanym kształcie będzie stanowić minimalny, ale kompletny okrętowy system elektroenergetyczny, w którym dodatkowo będzie istniała możliwość współpracy z prądnicą wałową i panelem niskonapięciowym 230 V. Modernizacja elektrowni pozwoli na istotne poszerzenie prowadzonych badań naukowych w zakresie modelowania komputerowego okrętowego systemu elektroenergetycznego oraz badań odnoszących się do poprawy jakości energii elektrycznej na statkach.

LITERATURA

1. Balcerski A., Adamkiewicz A., *Uwagi o problemach w nauczaniu projektowania i eksploatacji siłowni okrętowych,* Zeszyty Naukowe AM w Szczecinie, Szczecin 2008.
2. Białek R., Nowak T., *Physical model of an automated ship electric power plant for didactic purposes*, Polish Maritime Research, 2003, nr 1, s. 10–13.
3. Mindykowski J., *Use of the ship Electrical Power Station Simulators for Improving Emergency* Preparedness *of Students and Engine Room Officers*, PADECC`99 Conference, Opatija 1999, s. 104–113.
4. Program operacyjny Innowacyjna gospodarka (PO IG 2009), koncepcja rozbudowy elektrowni w laboratorium KEO.
5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 13 lipca 2005 r. w sprawie programów szkoleń i wymagań egzaminacyjnych w zakresie kwalifikacji zawodowych marynarzy, DzU nr 173, poz. 1445.
6. Wnioski generalne z I Kongresu Elektryki Polskiej zorganizowanego w dniach od 2 do 4 września 2009 roku w Warszawie przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich, SEP 2009.
7. www.flownex.com.
8. Wyszkowski J., Mindykowski J., Wawruch R., *Novelties in the development of the qualification standards for electro-technical officers under STCW convention requirements*, [w:] *Marine Navigation and Safety of Sea Transportation,* ed. A. Weintrit, part 17.4, Taylor & Francis Group, 2009, s. 761–770.

ADAPTATION OF THE LABORATORY OF SHIP ELECTRICAL POWER ENGINEERING ACCORDING TO STCW REQUIREMENTS

Summary

In the article the range of the modernization of the laboratory existing in Ship Electrical Power Engineering Department of Gdynia Maritime Academy is presented. Changes are followed by new challenges facing with the ship electrician officer, and which reflect the amendments of the convention STCW 78/10.