

## Roman ŚMIERZCHALSKI

AKADEMIA MORSKA W GDYNI WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY  
KATEDRA AUTOMATYKI OKRĘTOWEJ

# Symulacja pracy systemów okrętowych na przykładzie układu sterowania i kontroli silnika głównego

dr hab. inż. Roman ŚMIERZCHALSKI

Profesor Akademii Morskiej. W roku 1979 uzyskał dyplom mgr inż. na Wydziale Elektryczny Politechniki Gdańskiej, w 1988 tytuł doktora nauk technicznych w Instytucie Okrętowym, Politechniki Gdańskiej a w roku 1999 doktora habilitowanego na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej w dziedzinie automatyka i robotyka. Od roku 1980 pracuje w Akademii Morskiej w Gdyni obecnie na stanowisku profesora nadzwyczajnego. Jest autorem ponad 100 publikacji krajowych i zagranicznych. Zainteresowania naukowe skupiają się na zastosowaniu metod sztucznej inteligencji w okrętowych systemach sterowania i symulacji procesów rzeczywistych.



w układzie rzeczywistego systemu sterowania i kontroli, znacznie rozszerzyło zakres możliwych do realizacji zadań badawczych jak i dydaktycznych.

### Abstract

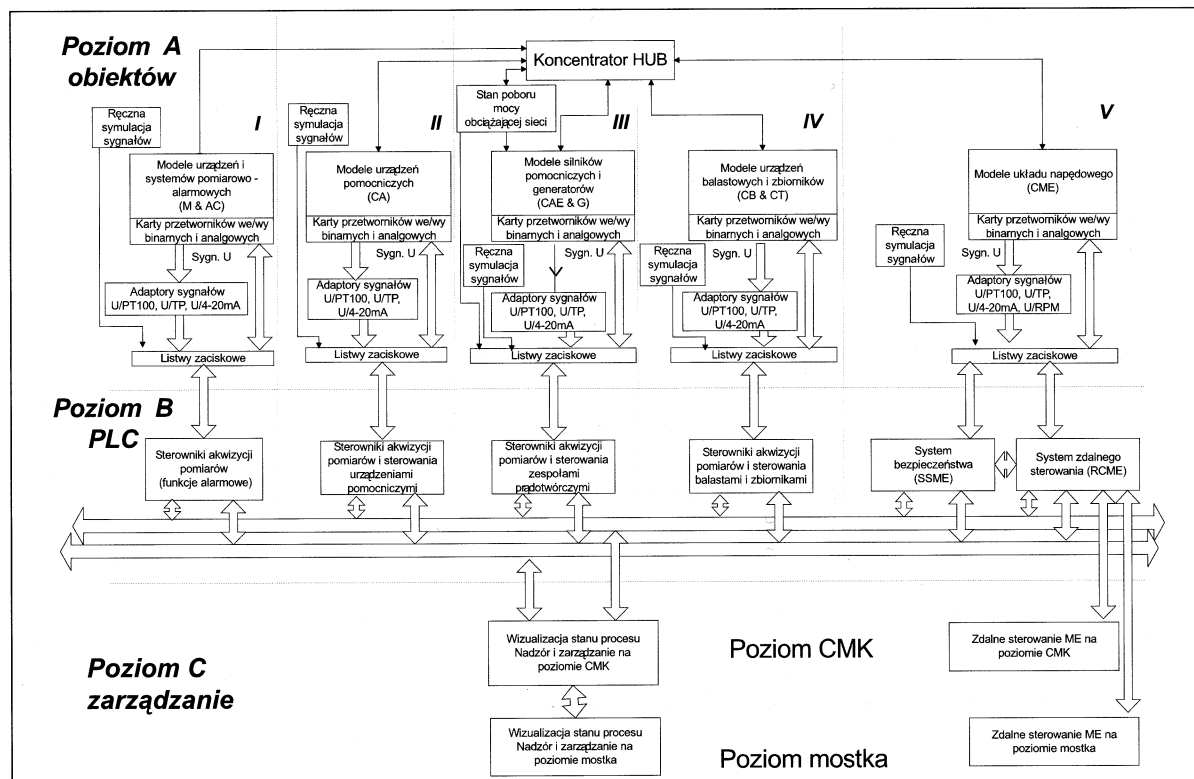
The concept and realisation of the system for simulated work ships' systems were presented. The concept of simulation system was leaned on the connection PLC controllers, which was modelled the objects of control, with real control and monitoring systems. Practically the system was realised by connection real monitoring and control of ship main propulsion AutoChief 4 of Kongsberg Maritime Ship Systems with model of main engine RTA Sulzer. Taking into account experiences and research the present devices have proved that realisation of the assumed didactic task is possible, preserving the conditions close to those observed in real training in automatics system maintenance. A new element introduced to the presented simulation system is the use of controlling, and measuring systems being in operation on real ships. Use of real systems will assure broader range of research and training.

### Streszczenie

Przedstawiono w artykule koncepcję i realizację układu symulacji pracy systemów okrętowych. Koncepcję układu symulacji oparto na połączeniu sterowników PLC, na których modelowane są obiekty sterowania, z rzeczywistymi systemami sterowania i kontroli. Praktycznie układ zrealizowano łącząc rzeczywisty system sterowania i kontroli okrętowego silnika głównego AutoChief 4 firmy Kongsberg Maritime Ship Systems z modelem silnika głównego typu RTA Sulzer. Uzyskane doświadczenia oraz badania potwierdziły, że jest możliwe zachowując warunki bliskie do rzeczywistych, realizować zadania diagnozowania, podejmowania decyzji oraz obsługi systemów sterowania i kontroli. Zastosowanie

### Wprowadzenie

Przyjęte standardy w zakresie wymogów szkolenia załóg i sposobu certyfikacji stopni morskich (Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers Convention – STCW'95) [1] opracowane przez Międzynarodową Organizację Morską (International Maritime Organization – IMO) otworzyło drogę umożliwiającą włączanie symulatorów systemów morskich do pro-

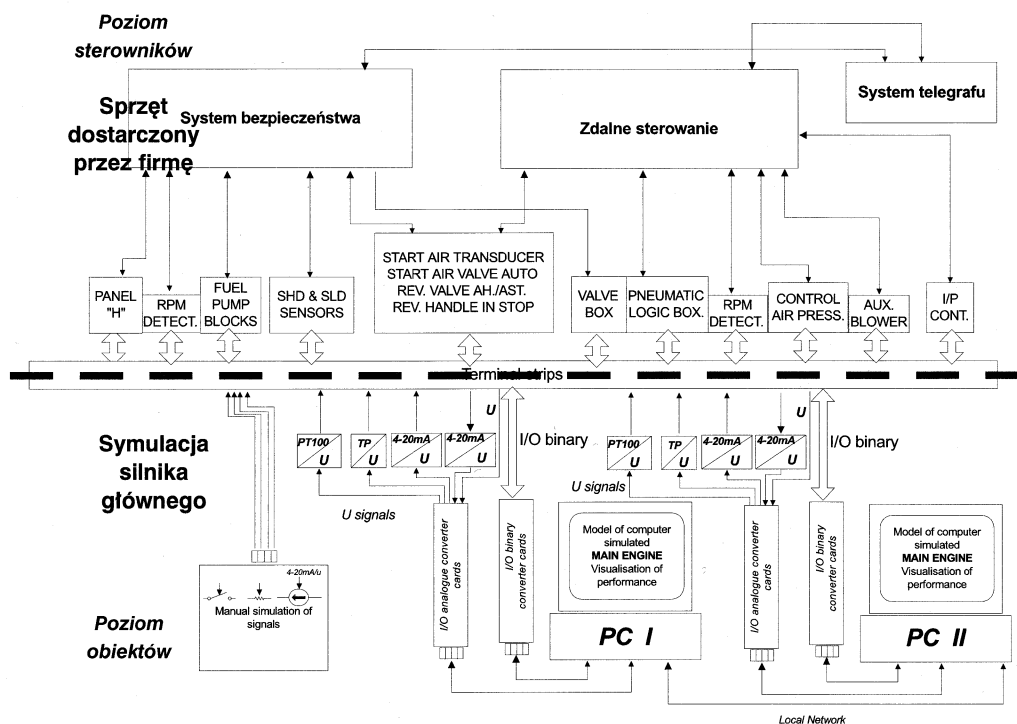


Rys. 1. Struktura systemu sterowania i nadzoru siłowni okrętowej z symulacją rzeczywistych procesów

cesu edukacji i treningu marynarzy różnych specjalności pracujących na różnych stanowiskach na statkach. W konstrukcji symulatora przewiduje się podział na stanowiska sterowania, wynikający z kompetencji i przydzielonych funkcji poszczególnym członkom załogi. Rozdział na stanowiska sterowania stosowany w symulatorze umożliwia szkolenie na różnych poziomach i indywidualną ocenę realizacji poleceń oraz działań trenującego. Rekomendowane jest realizowanie zadań na podzielonych tematycznie symulatorach (np. symulator sterowania i kontroli silnika głównego, symulator nawigacyjny) [2]. Takie podejście z podziałem na typy i klasy symulatorów może zapewnić, zgodnie z wymaganiami dotyczącymi poszczególnych stanowisk pracy, pełny zakres szkolenia marynarzy. Formalna klasyfikacja symulatorów, a także dokładne oszacowanie kompetencji na poszczególnych stanowiskach nie pozwala na ominięcie funkcji instruktora, który indywidualnie będzie ustalał zakres stosowanych zadań. Zgodnie z nowelizacją tekstu konwencji STCW'95, wprowadzono zalecenia, które należy brać pod uwagę przy włączeniu symulatorów do szkolenia.

towych w układzie sterowania ręcznego i automatycznego. W zakresie systemów kontroli i sterowania automatycznego analizowane, konfiguracji systemu i układów, obsługi eksploatacyjnej komputerowych systemów i układów automatyki, kalibracji, strojenia poszczególnych układów (ustawiania: zakresu alarmowego, opóźnień, doboru nastaw regulatora PID, itp.), diagnostyki za pomocą przenośnej aparatury pomiarowej i systemu diagnostycznego wbudowanego w firmowy system. W zakresie systemów nadzoru i zarządzania modelowanie i badanie, konfiguracji systemu nadzoru i zarządzania, metod obsługi systemu, zasad diagnozowania i podejmowania decyzji na podstawie informacji z systemu oraz działań w sytuacjach awaryjnych [6].

Na obecnym etapie budowy systemu, zrealizowany jest układ symulacji pracy, sterowania i kontroli silnika głównego wolnoobrotowego (Rysunek 2), gdzie połączono model pracy silnika z rzeczywistym układem sterowania AutoChief® 4 firmy Kongsberg Maritime Ship Systems (dawniej Norcontrol) [7][5].



Rys. 2. Warstwa sterowania systemem napędowym statku

## 1. Koncepcja układu do symulacji procesów rzeczywistych na statku

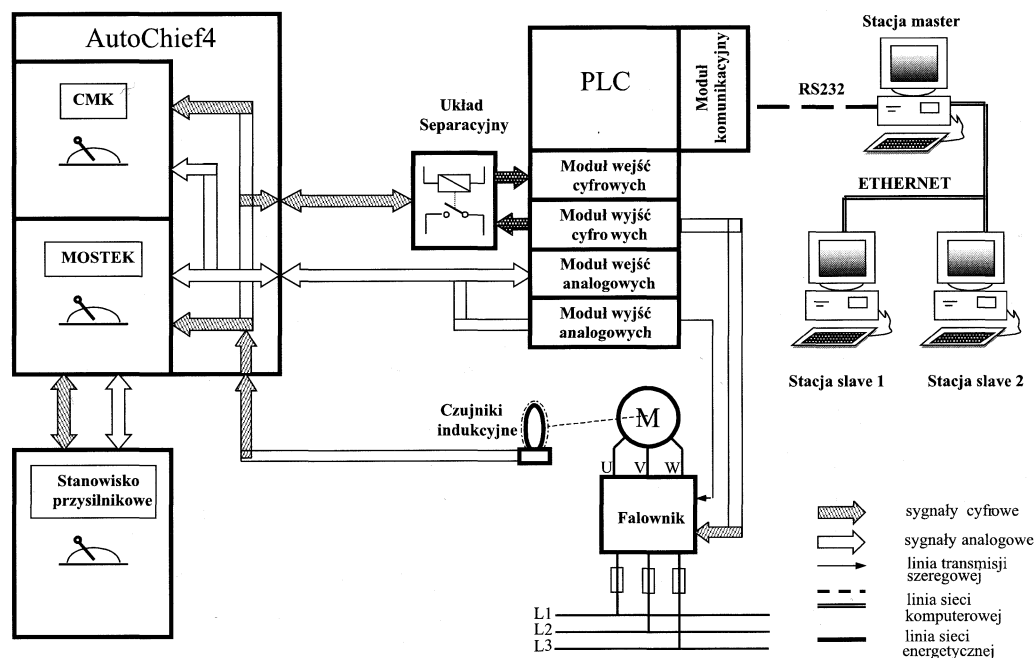
Uwzględniając powyższe i wychodząc na przeciw wymogom konwencji STCW'95 w zakresie szkolenia marynarzy na statki handlowe jak i diagnozowania urządzeń i układów automatyki podjęto próbę zrealizowania w laboratorium Automatyk Systemów Energetycznych Statku, Akademii Morskiej w Gdyni, układu do symulacji pracy rzeczywistych systemów statku (Rysunek 1) [3][4].

System ten podzielono na poziomy: obiektów sterowników PLC i zarządzania. Dzięki takiej strukturze możliwe jest realizowanie szeregu celów w zakresie badania działania i symulacji układów automatyki okrętowej jak i dydaktycznych. Do celów tych należy zaliczyć: w zakresie systemów i obiektów okrętowych, modelowanie i badanie funkcji rzeczywistych systemów oraz układów okrętowych sterowanych, a także kontrolowanych automatycznie, badanie algorytmów, funkcji działania systemów i układów okrę-

## 2. Założenia techniczne i projekt systemu

Uwzględniając że współczesny rozwój techniki, a w szczególności technik komputerowych, umożliwia przedstawienie logiki działania silnika oraz jego układu automatyki, wirtualny model tego obiektu został zrealizowany za pomocą sterowników programowalnych PLC. W celu analizy procesów zachodzących w czasie sterowania pracą silnika, stworzono wizualizację ważniejszych procesów zachodzących w obiekcie rzeczywistym.

Fizycznym odpowiednikiem silnika w systemie jest silnik 7RTA62U produkowany przez firmę H. Cegielski – Poznań SA na podstawie licencji Wärtsilä NSD Corporation (New Sulzer Diesel) [7]. Motywacją ujęcia tego typu silnika w pracach nad systemem był fakt jego pełnej kompatybilności z układem AC4. Dwusuwowy silnik wysokoprężny Sulzer RTA przystosowany jest do spalania różnego rodzaju paliw, pochodnych ropy naftowej, od oleju napędowego do paliw ciężkich. Posiada zwartą konstrukcję

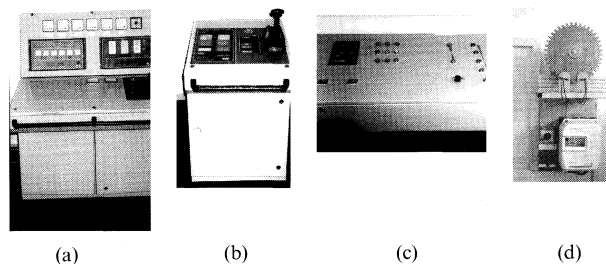


Rys. 3. Schemat blokowy systemu sterowania i kontroli

o niskim poziomie naprężeń i odkształceń. Zoptymalizowany rozkład temperatur zapewnia relatywnie niski poziom obciążeń cieplnych i mechanicznych. Wśród zalet należy wymienić: niskie obciążenie łożysk, zoptymalizowana konstrukcja zaworu wydechowego o długotrwałej i niezawodnej eksploatacji, zależny od obciążenia silnika system smarowania tulei cylindrowej, umożliwiający optymalne, dostosowanie ilości oleju smarującego tuleje cylindrowe do warunków eksploatacji, wysokowydajne oddzielacze wody w systemie powietrza doładowującego, niskie zapotrzebowanie mocy dla urządzeń pomocniczych obsługujących silnik w zakresie systemów chłodzenia i zasilania paliwem, możliwość przystosowania do dodatkowego odbioru mocy bezpośrednio z wału korbowego silnika, bardzo wysoka sprawność cieplna, przystosowanie do pracy w silowniach zautomatyzowanych i bezzałogowych.

Uwzględniając aspekty funkcjonalne systemu odzwierciedlano procesy logiczno-sekwencyjne zachodzące w obiekcie sterowania jakim jest silnik, ograniczając się do symulacji procesów dynamicznych jedynie w sytuacjach zachowań, gdzie uzależnione były od nich sekwencje działań logicznych. W systemie uwzględniono przybliżone zachowania dynamiki silnika oraz ograniczony zakres symulacji dynamiki gazu i cieczy (zmiany ciśnienia, itp.). Całościowe podejście do zagadnienia procesów zachodzących w silniku nie było przedmiotem prezentowanego systemu, co wymagałoby uwzględnienia skomplikowanych korelacji pomiędzy poszczególnymi elementami oraz mediami występującymi w obiekcie. Struktura projektu oparta jest o system sterowania i kontroli silnika głównego statku – AC4 firmy Kongsberg MSS. Do systemu tego należało odpowiednio podłączyć zewnętrzne elementy tak aby w prawidłowy sposób symulowały one działanie elementów rzeczywistego systemu sterowania i głównym problemem było określenie metody zastąpienia elementów zewnętrznych dla systemu AC4 ich wirtualnymi odpowiednikami. Polegało to na dostarczeniu systemowi sygnałów i informacji zwrotnych o stanie aktualnym silnika, tak aby mógł bez przeszkód wykonywać swoje funkcje sterowania. Analiza normy DENIS oraz schematów układów pneumatyki, układów olejowych i paliwowych dała możliwość wyszczególnienia zestawu, najistotniejszych, wynikających z określonego zakresu pracy, sygnałów sterujących i kontrolnych. Częścią przedstawianego systemu, w którym strumień sygnałów sterujących ulega

przetwarzaniu na odpowiednią sekwencję działań, jest sterownik programowalny o odpowiedniej konfiguracji i programie. Sterownik PLC dokonuje obróbki większości sygnałów z AC4 wysyłając sygnały informacji zwrotnej. Dodatkowo system uzupełnia człon wykonawczy w postaci falownika sterującego silnikiem trójfazowym asynchronicznym, który w sposób fizyczny prezentuje prędkość obrotową wału symulowanego silnika głównego statku. Na schemacie blokowym systemu (Rysunek 3) przedstawiono elementy składowe, jak również kierunki i rodzaje przepływu informacji. Po lewej stronie rysunku, zaznaczono symbolicznie system AC4, w którego zakres kontroli wchodzi stanowiska na mostku (MOSTEK) oraz centrali manewrowo-kontrolnej (CMK). Poniżej umieszczono stanowisko lokalne (przysilnikowe lub awaryjne). W centralnej części przedstawiony został sterownik programowalny wraz z modułami I/O i modułem komunikacyjnym umożliwiającym wymianę danych pomiędzy sterownikiem, a komputerami na stacjach operatorskich. Falownik dołączony do sieci energetycznej trójfazowej, pełni funkcję sterującą prędkością obrotową silnika asynchronicznego, modelując ruch silnika z zadana prędkością obrotową i kierunkiem. Na jego wale silnika umieszczono tarczę zębatą współpracującą z czujnikami indukcyjnymi przekazującymi do systemu AC4 informację o prędkości tego silnika w postaci cyfrowej. System wyposażono również w układy separacyjne.



Rys. 4. Stanowisko rzeczywiste w centrali manewrowo-kontrolnej zdalnego sterowania (Remote Control AC-4) i bezpieczeństwa SSU-8810 układu napędowego (a), stanowisko zdalnego sterowania BCU w sterowni (b), stanowisko lokalnego zdalnego sterowania układu napędowego (c), układ indukcyjny do pomiaru prędkości obrotowej (d)

### 3. Stanowiska i realizacja techniczna systemu

Zgodnie z przyjętą koncepcją w laboratorium Automatykacji Systemów Energetycznych Statku Akademii Morskiej w Gdyni budowane są stanowiska realizujące założone cele.

#### 3.1. Stanowisko w centrali manewrowo-kontrolnej zdalnego sterowania i bezpieczeństwa układu napędowego.

Do funkcji układu zdalnego sterowania w CMK należy: przesterowanie i rozruch silnika w żądanym kierunku NAPRZÓD lub WSTECZ, sprowadzenie ustawienia w krańcowych położeniach rozdzielacza powietrza rozruchowego oraz przestawiacza wału rozrządu, kontrola przesterowania silnika, podanie powietrza rozruchowego do cylindrów, ustalenie dawki rozruchowej paliwa, kontrola czasu trwania pojedynczego rozruchu i obrotów zapłonowych, powtórzenie rozruchu w przypadku nieudanego poprzedniego, zablokowanie możliwości dalszych rozruchów po przekroczeniu ustalonej liczby rozruchów nieudanych, sygnalizacja i funkcjonowanie nieudanego rozruchu, przerwanie podawania powietrza po udanym rozruchu, obciążanie silnika (sterowanie programowe), wytwarzanie sygnału analogowego proporcjonalnego do położenia dźwigni sterującej. Proporcjonalnie do wychylenia dźwigni sterującej prędkością obrotową silnika (telegraf maszynowy) układ wypracowuje sygnał dla regulatora prędkości obrotowej. Każdemu położeniu dźwigni przyporządkowana jest określona prędkość obrotowa silnika (śruby napędowej), którą regulator realizuje przez dostarczenie do silnika odpowiedniej dawki paliwa. Układ prowadzi czasową regulację szybkości wzrostu (bądź spadku) sygnału sterującego obrotami silnika stosownie do ustalonego dla danego silnika programu przyrostu obrotów.

#### 3.2. Stanowisko w sterówce zdalnego sterowania i bezpieczeństwa układu napędowego

Stanowisko sterowania zdalnego na mostku przeznaczone jest do sterowania pracą silnika głównego przy czym rozruch, przesterowanie i zadawanie prędkości obrotowej odbywa się w sposób automatyczny po ustawieniu dźwigni telegrafu maszynowego w pole ruchowe NAPRZÓD lub WSTECZ. Główną dźwignią sterującą pozostaje dźwignia telegrafu maszynowego. Wychylenie dźwigni inicjuje automatycznie sekwencję działań układu mającą na celu uzyskanie zadanej nastawy. Pulpit mostkowy wyposażony jest w podstawowe przyrządy kontrolno-pomiarowe (wskaźniki prędkości obrotowej, kierunku obrotów, obciążenia silnika, ciśnienia powietrza rozruchowego).

#### 3.3. Stanowisko lokalne zdalnego sterowania układu napędowego.

Zlokalizowane po stronie wału rozrządu stanowisko przysilnikowe traktowane jest jako awaryjne. Umożliwia ono sterowanie silnikiem na drodze mechanicznej. Wyposażone jest w odbiornik telegrafu maszynowego i niezależne urządzenia (dźwignie, przełączniki, reduktor) do wykonywania funkcji przesterowania silnika, jego rozruch, sterowanie prędkością obrotową oraz przekazywanie sterowania do CMK. Sterowanie prędkością obrotową jest dwójakiego rodzaju: poprzez regulator prędkości obrotowej lub w przypadku awarii regulatora praca z odłączonym regulatorem – mechanik przy pomocy dźwigni bezpośrednio steruje listwą paliwową (ustala wydatek pomp paliwowych). W skład stanowiska wchodzi układ indukcyjny do pomiaru prędkości obrotowej – stanowisko do symulacji pracy silnika głównego ze zdalnym pomiarem prędkości obrotowej. Prędkość ta jest mierzona za pomocą rzeczywistych czujników indukcyjnych w tzw. układzie „pick up”, zliczających ilość zębów koła zamachowego i określających kierunek obrotów.

### 4. Wnioski

Eksploatując statek realizowane są przez załogę funkcje w zakresie nadzoru, diagnozowania, obsługi i zarządzania zautomatyzowanych systemów i urządzeń okrętowych. Jednym z najważniejszych wskaźników wpływających na bezpieczeństwo statku, jest to w jakim zakresie system jest w stanie wspomagać decyzje operatora oraz w jaki sposób przeszkolona jest załoga pełniąca powyższe funkcje. Przedstawiona koncepcja i realizacja pierwszej części systemu sterowania i nadzoru urządzeń okrętowych pokazuje, że jest możliwe szkolenie w zakresie diagnozowania, eksploatacji systemów automatyki zgodnie z STCW'95 w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Istotnym odmiennym elementem wprowadzonym do systemu symulacyjnego jest zastosowanie rzeczywistych układów sterowania i kontrolno-pomiarowych montowanych obecnie na statkach. Zastosowanie systemów rzeczywistych zapewni pełniejszą realizację celów: w zakresie badanie funkcji systemów, badanie algorytmów, funkcji działania systemów i układów okrętowych w układzie sterowania ręcznego i automatycznego, obsługi eksploatacyjnej komputerowych systemów i układów automatyki, kalibracji, strojenia poszczególnych układów, diagnostyki za pomocą przenośnej aparatury pomiarowej i systemu diagnostycznego wbudowanego w firmowy system, a także całościowe szkolenie włącznie z manualną obsługą urządzeń. W zakresie rozwoju naukowego system umożliwia przeprowadzenie badań i prac w zakresie: komputerowego wspomaganie procesu podejmowania decyzji do efektywnego i bezpiecznego eksploataowania oraz diagnozowania systemów okrętowych, optymalizacji eksploatacji systemu sterowania i nadzoru siłowni, komunikacji i oprogramowania specjalizowanych sterowników mikroprocesorowych do sterowania lokalnego urządzeniami siłowni, opracowania struktury zintegrowanego systemu okrętowego, zwiększenia niezawodności okrętowych systemów.

### Literatura

1. Branstad Per, Use of *Marine Simulators according to the STCW revision*, Neues in der Schiffsbetriebstechnik, Glückburg 30 May 97, 1-13.
2. S. Kluj *The model of engine room simulator*, 11<sup>th</sup> Ship Control Systems Symposium, Vol 2, Southampton, UK, 567- 576 (1997).
3. Śmierchalski R., *Recent development in marine control systems*, IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics MMAR 2001, Międzyzdroje 2001, Vol. 2, pp. 641-648.
4. Śmierchalski R., *A concept of the marine engine room monitoring and control system for simulating real processes on a ship*, Journal of Polish Maritime Research, No 2 Vol 8, 2001, pp. 25-29.
5. Śmierchalski R., *Marine engine room monitoring and control system for simulating real processes on a ship*, IFAC Conference Control Application in Marine Systems CAMS2001, Glasgow, UK 2001.
6. Śmierchalski R., *Automatyzacja sytemu elektroenergetycznego statku*, (w druku), Wydawnictwo Fundacja AM w Gdyni.
7. Dokumentacja firmowa: układu sterownia AutoChief® 4 firmy Kongsberg Maritime Ship Systems, silnika 7RTA62U – H. Cegielski – Poznań SA licencja Wärtsilä NSD Corporation (New Sulzer Diesel).