Instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu

Siłownie okrętowe

Kierunek: Mechatronika
Specjalność: Mechatronika systemów energetycznych
Studia I stopnia, semestr V

Opracował: dr inż. Leszek Chybowski

Szczecin, 2012

Zagadnienia do zrealizowania na semestrze V
Studiów I stopnia na kierunku mechatronika
na zajęciach laboratoryjnych z przedmiotu
„Siłownie okrętowe"

Temat 1 (2 h)**:** *Typy okrętowych układów napędowych*
Temat 2 (2 h)**:** *Techniki i metody pomiarowe w zastosowaniach silnikowych*
Temat 3 (2 h)**:** *Charakterystyki silników okrętowych*
Temat 4 (2 h)**:** *Bilans cieplny – zewnętrzny silnika tłokowego*
Temat 5 (2 h)**:** *Wybrane zagadnienia regulacji prędkości obrotowej silników okrętowych*
Temat 6 (3 h)**:** *Toksyczność spalin wylotowych*
Temat 5 (2 h)**:** *Eksploatacja współczesnych układów automatycznego nadzoru i starowania silników okrętowych*

Forma i warunki zaliczenia ćwiczeń laboratoryjnych

- znajomość regulaminu pracy oraz BHP stwierdzona na specjalnym formularzu własnoręcznym podpisem studenta;
- zaliczenie tzw. „wejściówek" oraz wykonanie wg harmonogramu zestawu programowych ćwiczeń laboratoryjnych;
- złożenie poprawnych sprawozdań pisemnych z wykonanych ćwiczeń laboratoryjnych;
- zaliczenie z oceną.

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu *siłownie okrętowe*
Opracował: dr inż. Leszek Chybowski

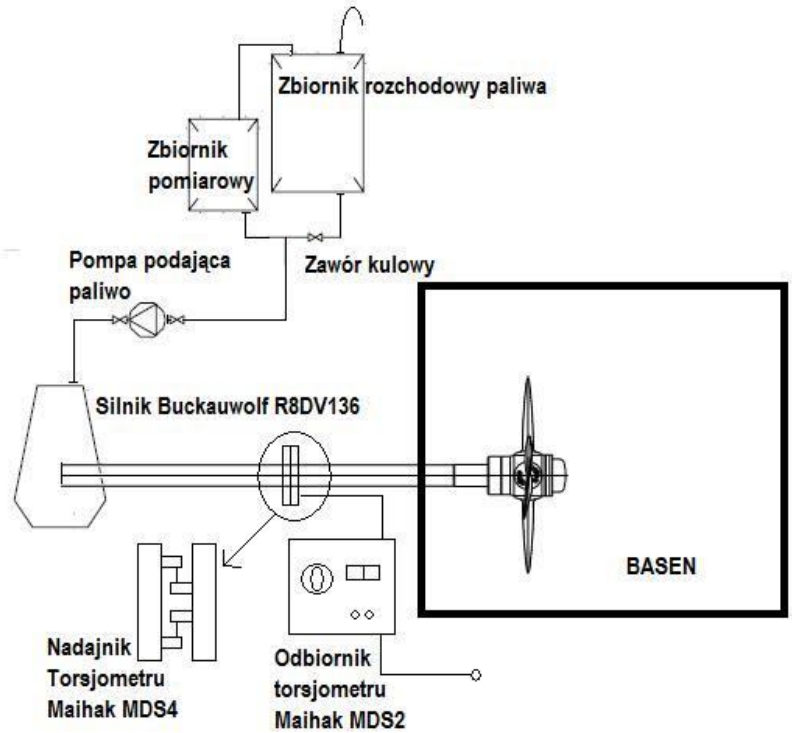
Temat 1 (2 h)**:** *Typy okrętowych układów napędowych*

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z metodami określania podstawowych wskaźników pracy silnika, w tym prędkości obrotowej silnika, momentu obrotowego silnika, średniego ciśnienia indykowanego i użytecznego, mocy indykowanej i użytecznej, jednostkowego zużycia paliwa i sprawności ogólnej. W części praktycznej ćwiczenia studenci mają za zadanie dokonanie pomiarów, a następnie obliczeń wybranych parametrów pracy silnika okrętowego pracującego na stanowisku laboratoryjnym (silnik *Buckauwolf R8DV136* napędzający śrubę okrętową).

2. Krótki opis stanowiska laboratoryjnego

Główne elementy stanowiska laboratoryjnego pokazano na rys. 1.1. Układ składa się z silnika *Buckauwolf R8DV136* napędzającego śrubę okrętową o stałym skoku zanurzoną w basenie. Na wale napędowym znajduje się nadajnik torsjometru strunowego firmy *Maihak* typ *MDS4* wyposażony w dwie struny pomiarowe współpracujący z umieszczonym poza wałem odbiornikiem torsjometru *Maihak* typ *MDS2*.



Rys. 1.1. Schemat stanowiska laboratoryjnego do ćwiczenia „wskaźniki pracy silnika”
(źródło: opracowanie Leszek Chybowski)

Prędkość obrotowa jest wyznaczana jako wartość średnia w oparciu o zliczoną liczbę obrotów wału w czasie 60 sekund. Licznik obrotów i stoper stanowią elementy odbiornika torsjometru. Wskaźnik obciążenia odczytywany jest z cięgna nastawy pomp wtryskowych paliwa.

Czasowe zużycie paliwa wyznaczane jest w oparciu o zmierzoną objętość paliwa skonsumowanego przez silnik w czasie zmierzonym stoperem. Objętość odczytywana jest jako różnica wskazań poziomów w szklanym zbiorniku pomiarowym. Poziomy w zbiorniku wyskalowane są w dm^3 objętości zbiornika. Na czas pomiaru zużycia paliwa zamykany jest zawór kulowy poboru paliwa ze zbiornika rozchodowego, tak aby silnik pobierał paliwo ze zbiornika pomiarowego.

3. Uwagi BHP dotyczące stanowiska

Z uwagi na to, że podczas zajęć studenci wykonują ćwiczenie przy pracującym silniku niezbędne jest ścisłe przestrzeganie zasad BHP. W czasie wykonywania ćwiczenia występuje zagrożenie ze strony wirujących elementów silnika, gorących części, substancji szkodliwych dla zdrowia, hałasu oraz urządzeń pracujących pod ciśnieniem i pod napięciem elektrycznym.

Studenci zobowiązani są do używania fartuchów ochronnych oraz ochronników słuchu. Niezbędne jest wykonywanie wszystkich czynności tylko pod nadzorem i za zgodą prowadzącego ćwiczenie stosując się do szczegółowej instrukcji BHP dla Laboratorium Siłowni Okrętowych zatwierdzonej przez odpowiednie organy uczelni.

Z treścią instrukcji BHP studenci zapoznają się na pierwszych zajęciach laboratoryjnych, co potwierdzają podpisując oświadczenie o zaznajomieniu z wymaganiami BHP.

Ze względów bezpieczeństwa wskazane jest aby grupa laboratoryjna nie była większa niż 10 osób. Podczas zajęć studenci pracują pod nadzorem nauczyciela prowadzącego zajęcia oraz min. jednego pracownika technicznego laboratorium.

4. Wykaz czynności, które student ma wykonać na stanowisku

W trakcie ćwiczenia student ma za zadanie:

1. Zapoznać się z rozmieszczeniem przyrządów kontrolno-pomiarowych silnika laboratoryjnego *Buckau-Wolf R8DV136*.
2. Zapoznać się z instalacją do pomiaru zużycia paliwa oraz z budową i zasadą działania torsjometru strunowego *Maihak MDS4/MDS2*.
3. Dokonać kalibracji torsjometru *Maihak MDS4/MDS2* podczas, gdy silnik jest zatrzymany.
4. Przygotować silnik do pracy i uruchomić go.
5. Na silniku *Buckau-Wolf R8DV136* wykonać praktyczny pomiar prędkości obrotowej (stoperem i licznikiem obrotów), momentu obrotowego (torsjometrem strunowym *Maihak*), nastawy pomp paliwowych (wskaźnik obciążenia z cięgna pomp wtryskowych) i czasowego (godzinowego) zużycia paliwa (zbiornikiem pomiarowym i stoperem). Po czym zmniejszyć obciążenie i zatrzymać silnik.
6. Dokonać przeliczenia gęstości paliwa dla warunków pomiaru oraz wyznaczyć wartość opałową paliwa w oparciu o jego gęstość i skład chemiczny paliwa. Obliczyć moc silnika, jednostkowe zużycie paliwa oraz sprawność ogólną silnika.

7. Wykreślić przebiegi wyznaczonych i zmierzonych wskaźników pracy silnika w funkcji prędkości obrotowej.
8. Wyciągnąć wnioski dotyczące wyników uzyskanych pomiarów (wartości wskaźników pracy silnika, charakter zmian, dokładność pomiaru i czynniki zakłócające).

5. Sprawozdanie z ćwiczenia

Warunkiem zaliczenia ćwiczenia jest sprawozdanie z części praktycznej. Sprawozdanie (nie przekraczające 4 stron formatu A4) powinno zawierać:

1. Prezentację celu ćwiczenia oraz wykorzystanej metodyki.
2. Schemat układu pomiarowego z opisem (przedstawić podstawowe elementy funkcjonalne, punkty pomiarowe, wielkości mierzone oraz jednostki miar)
3. Zestawienie dokonanych pomiarów (przedstawić w formie tabelarycznej).

Tab. 1.1. Kalibracja torsjometru (źródło: opracowanie Leszek Chybowski)

Nr pomiaru i	Długość struny pomiarowej nr 1	Długość struny pomiarowej nr 2
	z_{o1i}	z_{o2i}
	[działki]	[działki]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
Średnia:	z_{o1} = ……	z_{o2} = ……..

Tab. 1.2. Pomiary podstawowych wskaźników pracy silnika dla czterech stanów obciążenia Silnika (źródło: opracowanie Leszek Chybowski)

Nr pomiaru	Prędkość obrotowa	Długość struny 1	Długość struny 2	Wskaźnik obciążenia	Objętość zużytego paliwa	Czas zużycia objętości V
	n	z_1	z_2	WO	V	t
	[obr/min]	[działki]	[działki]	[działki]	[dm^3]	[s]
1						
2						
3						
4						

4. Obliczenia (przedstawić algorytm obliczeń momentu obrotowego, mocy użytecznej, godzinowego i jednostkowego zużycia paliwa oraz sprawności ogólnej silnika.

Wartości stałych do obliczeń momentu obrotowego:

nadajnik torsjometru: MDS 4, odbiornik torsjometru: MDS 2;

moduł Kirchoffa: $G = 8{,}14 \cdot 10^{10}$ M/m^2 = $8{,}14 \cdot 10^{7}$ kN/m^2;

średnica wału: $D = 0{,}145$ m;

odległość pomiarowa $l = 0{,}08$ m;

odległość od osi wału do czujników strunowych: $R = 0{,}1081$ m;

Struny pomiarowe (stałe dobrane z tabeli):

rozciągana - nr 29632 – stała struny $C_1 = 4{,}16 \cdot 10^{-5}$cm/dz = $4{,}16 \cdot 10^{-7}$ m/dz

ściskana - nr 23381 – stała struny $C_2 = 4{,}02 \cdot 10^{-5}$cm/dz = $4{,}02 \cdot 10^{-7}$ m/dz

Obliczenie momentu obrotowego i mocy użytecznej

Obliczenie momentu obrotowego

Wzory podstawowe:

$$M_0 = s\varphi \; ; \; \varphi = \frac{\hat{\Delta} l}{R} \cong \frac{\Delta l}{R} \; ; \; s = \frac{GJ_0}{l} = \frac{G\pi D^4}{32l}$$

Stąd po podstawieniu stałych:

$$s = \frac{8{,}14 \cdot 10^7 \cdot \pi \cdot 0{,}145^4}{32 \cdot 0{,}08} = 4{,}41353 \cdot 10^4 \text{ [kNm/rad]}$$

$$\varphi = \frac{C_1(z_1 - z_{01}) + C_2(z_{02} - z_2)}{2R} = \frac{4{,}16 \cdot \Delta z_1 + 4{,}02 \cdot \Delta z_2}{2 \cdot 0{,}1081} \cdot 10^{-7} \text{ [rad]}$$

$$M_0 = 20{,}4 \cdot 10^4 (4{,}16 \cdot \Delta z_1 + 4{,}02 \cdot \Delta z_2) \cdot 10^{-7} \text{ [kNm]}$$

$$M_0 = 0{,}0204 \cdot (4{,}16 \cdot \Delta z_1 + 4{,}02 \cdot \Delta z_2) \text{ [kNm]}$$

Obliczenie mocy

$$N_e = M_0 \cdot \omega = M_0 \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{0{,}0204 \cdot \pi}{30} \cdot n \cdot (4{,}16 \cdot \Delta z_1 + 4{,}02 \cdot \Delta z_2) \text{ [kW]}$$

$$N_e = 0{,}002135 \cdot n \cdot (4{,}16 \cdot \Delta z_1 + 4{,}02 \cdot \Delta z_2) \text{ [kW]}$$

lub

$$N_e = 0{,}1047 \cdot M_0 \cdot n \text{ [kW]}$$

5. Zestawienie wyników pomiaru dla poszczególnych obciążeń (przedstawić w formie tabelarycznej).

6. Wizualizacja wyników (narysować wykresy w funkcji prędkości obrotowej *n*: dla momentu obrotowego $M_o(n)$, mocy użytecznej $N_e(n)$, wskaźnika obciążenia $WO(n)$, godzinowego zużycia paliwa $G_e(n)$, jednostkowego zużycia paliwa $g_e(n)$, sprawności ogólnej silnika $\eta_e(n)$).
7. Wnioski (dokonać analizy wyników uzyskanych w czasie pomiaru i obliczeń, ocenić uzyskane wartości wskaźników pracy silnika i charakter ich przebiegów, odnieść się do wiadomości literaturowych).

6. Wiedza egzekwowana na zaliczenie w formie pisemnej

Student powinien:

1. Znać definicje podstawowych wskaźników pracy silnika oraz interpretację i podstawowe zależności pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami pracy silników spalinowych.
2. Znać metody pomiaru godzinowego zużycia paliwa oraz analogowe i cyfrowe metody pomiaru prędkości obrotowej i wyznaczanie średniej prędkości obrotowej silnika.
3. Znać metody pomiaru momentu obrotowego oraz wyznaczania mocy użytecznej z wykorzystaniem torsjometrów tensometrycznych, strunowych i tarczowych.
4. Potrafić oszacować moc użyteczną silnika w oparciu o znajomość średniego ciśnienia indykowanego (po indykowaniu silnika) oraz znajomość innych wskaźników pracy i wykorzystanie nonogramów zbudowanych w oparciu o dane z prób silnika na hamowni (wskaźnika obciążenia i prędkości obrotowej lub obrotów turbosprężarki, warunków otoczenia i parametrów doładowania)

7. Literatura

1. *Instrukcja silnika Buckau-Wolf R8DV136.*
2. *Instrukcja torsjometru strunowego Maihak (nadajnik MDS4, odbiornik MDS2).*
3. Marcinkowski, Grudziński J., *Ćwiczenia laboratoryjne z okrętowych silników spalinowych tłokowych*. Skrypt WSM, Szczecin 1983.
4. Niewiarowski K., *Tłokowe silniki spalinowe*. Tom I i II. WKiŁ. Warszawa 1983.
5. Piotrowski I., Witkowski K., *Okrętowe silniki spalinowe*. Trademar, Gdynia 2002.
6. Piotrowski I., Witkowski K, *Eksploatacja okrętowych silników spalinowych*. WSM Gdynia, Gdynia 2002.
7. *Pomiary cieplne*. Część I i II. Praca zbiorowa. WNT, Warszawa 1995.
8. Wajand J. A., Wajand J. T., *Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe*. WNT, Warszawa 1993.
9. Wimmer A., Glaser J., *Indykowanie silnika*. AVL, Warszawa 2004.

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu *siłownie okrętowe*
Opracował: dr inż. Leszek Chybowski

Temat 2 (2 h)**:** *Techniki i metody pomiarowe w zastosowaniach silnikowych*

1. Cel ćwiczenia

Ćwiczenie ma na celu teoretyczne i praktyczne zaznajomienie z pomiarami przebiegu procesów wtrysku i spalania, w tym z działaniem oraz sposobem wykorzystania mechanicznych i elektronicznych indykatorów ciśnienia. Studenci poznają zasady eksploatacji indykatorów (przygotowanie do pracy, montaż, pomiar, demontaż, konserwacja). Studenci zapoznawani są z diagnozowaniem stanu technicznego silnika w oparciu o przebiegi ciśnienia spalania i ciśnienia wtrysku paliwa.

2. Krótki opis stanowiska laboratoryjnego

Ćwiczenie wykonywane jest na stanowisku silnikowym (praktyczne pomiary ciśnień spalania na pracującym silniku z wykorzystaniem maksymetrów zegarowych oraz indykatorów mechanicznych). Układ ten składa się z silnika *Sulzer 5BAH22* napędzającego prądnicę. Po wykonaniu pomiarów studenci wykonują poznają diagnostykę silnika w oparciu o przebieg ciśnienia spalania i ciśnienia wtrysku paliwa. Ta część ćwiczenia wykonywana jest na symulatorze *Norcontrol 90 MC III* (analiza zmian parametrów procesu spalania w zależności od zasymulowanych zakłóceń w pracy silnika).

3. Uwagi BHP dotyczące stanowiska

Z uwagi na to, że podczas zajęć studenci wykonują ćwiczenie przy pracującym silniku niezbędne jest ścisłe przestrzeganie zasad BHP. W czasie wykonywania ćwiczenia występuje zagrożenie ze strony wirujących elementów silnika, gorących części, substancji szkodliwych dla zdrowia, hałasu oraz urządzeń pracujących pod ciśnieniem i pod napięciem elektrycznym.

Studenci podczas zajęć „ruchowych" zobowiązani są do używania fartuchów ochronnych oraz ochronników słuchu. Niezbędne jest wykonywanie wszystkich czynności tylko pod nadzorem i za zgodą prowadzącego ćwiczenie stosując się do szczegółowej instrukcji BHP dla Laboratorium Siłowni Okrętowych zatwierdzonej przez odpowiednie organy uczelni.

W drugiej części ćwiczenia podczas pracy z symulatorem siłowni okrętowej studenci zobowiązani są do przestrzegania zasad BHP obowiązujących podczas pracy z urządzeniami elektrycznymi (sprzętem komputerowym).

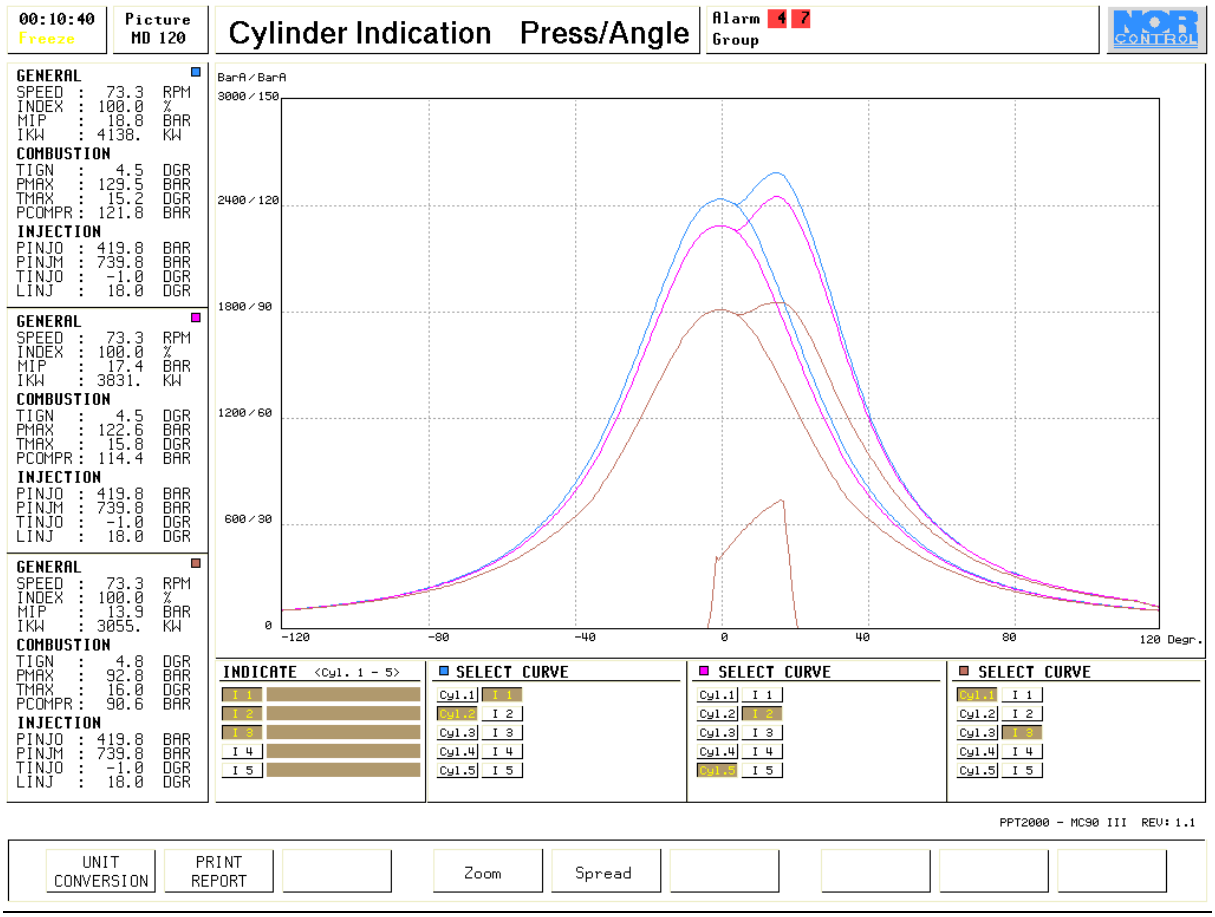
Z treścią instrukcji BHP studenci zapoznają się na pierwszych zajęciach laboratoryjnych, co potwierdzają podpisując oświadczenie o zaznajomieniu z wymaganiami BHP.

Podczas zajęć przy pracującym silniku studenci wykonują ćwiczenie pod nadzorem nauczyciela prowadzącego zajęcia oraz min. jednego pracownika technicznego laboratorium. Ze względów bezpieczeństwa wskazane jest aby grupa laboratoryjna nie była większa niż 10 osób.

4. Wykaz czynności, które student ma wykonać na stanowisku

Student ma za zadanie:

1. Zapoznać się z budową i sposobem eksploatacji maksymetru, indykatora mechanicznego mocy oraz elektronicznego systemu indykującego.
2. Przygotować indykator mechaniczny (dobrać sprężynę, określić wartość stałej indykatora).
3. Przygotować do pracy i uruchomić silnik w laboratorium.
4. Dokonać pomiarów ciśnienia indykowanego spalania i sprężania z poszczególnych cylindrów wybranymi urządzeniami.
5. Wyciągnąć wnioski dotyczące wyników uzyskanych pomiarów (wartości wskaźników pracy silnika, charakter zmian, dokładność pomiaru i czynniki zakłócające).
6. Zmniejszyć obciążenie i zatrzymać silnik. Przesmarować i zabezpieczyć indykator.
7. Na symulatorze siłowni NORCONTROL 90MC-III dokonać analizy zmian przebiegu ciśnienia spalania i ciśnienia wtrysku paliwa oraz charakterystycznych wskaźników przebiegu procesu spalania w zależności od obciążenia i zasymulowanych zakłóceń w pracy silnika i danego układu cylindrowego (rys.2.1).



Rys. 2.1. Plansza indykowania silnika głównego MAN B&W 5L90

(źródło: zrzut ekranowy z symulatora NORCONTROL 90 MC-III)

5. Sprawozdanie z ćwiczenia

Warunkiem zaliczenia ćwiczenia jest sprawozdanie z części praktycznej. Sprawozdanie (nie przekraczające 4 stron formatu A4) powinno zawierać:

1. Prezentację celu ćwiczenia oraz wykorzystanej metodyki.
2. Schemat układu pomiarowego z opisem (przedstawić przyrządy pomiarowe, podstawowe elementy funkcjonalne, punkty pomiarowe, wielkości mierzone oraz jednostki miar).
3. Zestawienie dokonanych pomiarów ciśnienia maksymalnego spalania i ciśnienia sprężania zmierzonych za pomocą wybranych przyrządów (maksymetr, indykator mechaniczny), wg tab 2.1.

Tab. 2.1. Tabela pomiarowa do ćwiczenia z indykowania silnika okrętowego
(źródło: opracowanie Leszek Chybowski)

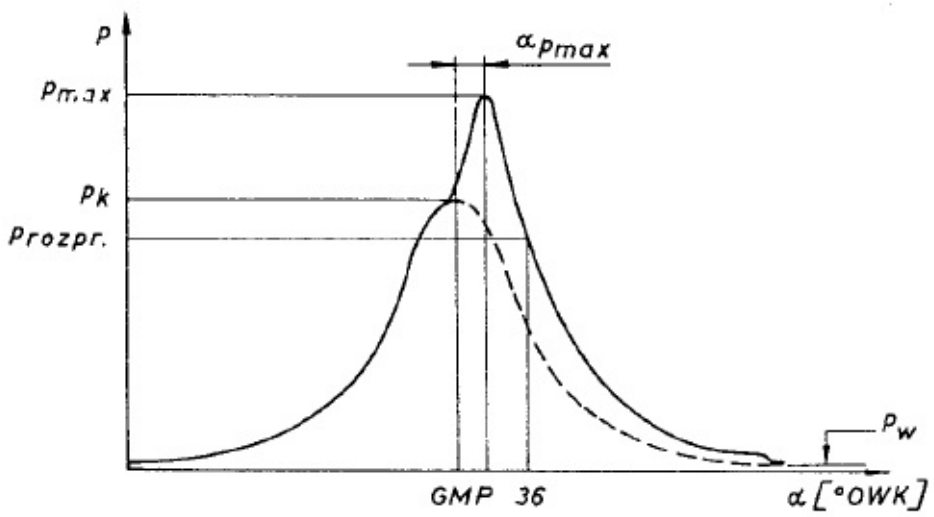
	Układ cylindrowy Nr							
Parametr	1	2	3	4	5	6	7	8
Ciśnienie maksymalne spalania – maksymetr [bar]								
Ciśnienie maksymalne spalania – indykator [bar]								
Ciśnienie sprężania – maksymetr [bar]								
Ciśnienie sprężania – indykator [bar]								
Temperatura spalin na wylocie z cylindra [oC]								
Wskaźnik obciążenia [działki]								
Prędkość obrotowa silnika [obr/min]								

4. Wnioski (dokonać analizy wyników uzyskanych w czasie pomiaru, ocenić uzyskane wartości wskaźników pracy silnika, odnieść się do wiadomości literaturowych, wartości podanych przez producenta silnika). Porównać wyniki z poszczególnych cylindrów oraz przeanalizować różnice w wartościach ciśnień uzyskanych za pomocą różnych przyrządów.

6. Wiedza egzekwowana na zaliczenie w formie pisemnej

Student powinien:

1. Znać budowę i zasady eksploatacji indykatorów mechanicznych i elektronicznych.
2. Znać podstawowe błędy i problemy związane z pomiarami szybkozmiennych ciśnień w maszynach tłokowych.
3. Znać wykresy indykatorowe procesu spalania (zamknięty, rozwinięty, słupkowy).
4. Znać podstawowe wskaźniki opisujące przebieg procesu spalania: średnie ciśnienie indykowane, moc indykowana, ciśnienie sprężania, ciśnienie rozprężania, ciśnienie maksymalne spalania, kąt wyprzedzenia zapłonu, kąt ciśnienia maksymalnego spalania, zwłoka zapłonu itd. (główne parametry zestawiono na rys. 2.2).



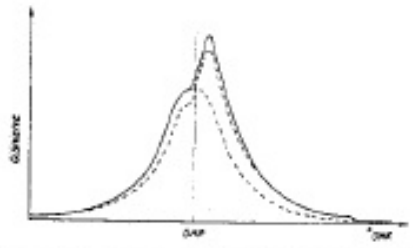
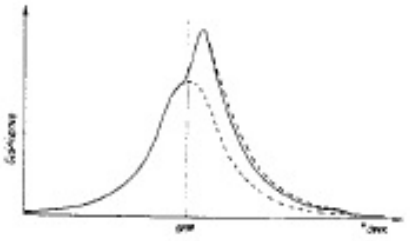
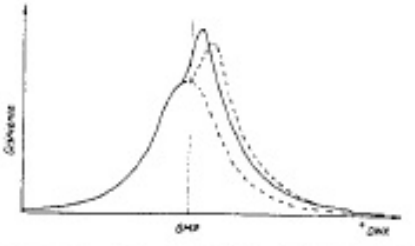
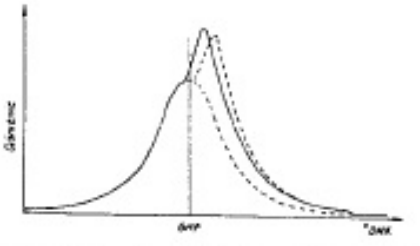
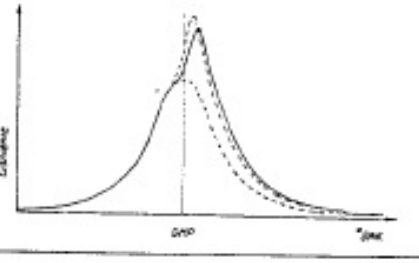
α — kąt obrotu wału korbowego; p_{max} — ciśnienie maksymalne; p_k — ciśnienie sprężania; p_{rozpr} — ciśnienie rozprężania (mierzone 36° *OWK* za *GMP*); $\alpha_{p_{max}}$ — kąt p_{max} względem *GMP*; p_w — ciśnienie wylotu

Rys. 2.2. Rozwinięty wykres indykatorowy [7]

5. Potrafić dobrać elementy indykatora mechanicznego do pomiarów określonych wartości ciśnień.
6. Potrafić określić stałą indykatora mechanicznego (stała wykresu) o danej średnicy tłoczka i sprężynie.
7. Potrafić przeprowadzić indykowanie silnika.
8. Potrafić wyciągnąć wnioski dotyczące pracy silnika (układu cylindrowego) w oparciu o przebieg ciśnienia indykowanego i wartości wybranych wskaźników procesu spalania w odniesieniu do przebiegu referencyjnego (tab. 2.2).

Tab.2.2. Wpływ zakłóceń w pracy silnika na przebieg procesu spalania [7]

Rozwinięte wykresy indykatorowe: prawidłowy (linia ciągła) i nieprawidłowe (linia przerywana) oraz możliwe przyczyny nieprawidłowości

Lp.	Postać wykresu rozwiniętego	Odchylenia parametrów	Możliwe przyczyny odchyleń
1		p_i — niskie p_{max} — niskie p_k — niskie p_{rozpr} — niskie αp_{max} — bez zmian	1. Zużyte lub uszkodzone pierścienie tłokowe. 2. Wypalone denko tłoka. 3. Zużyta tuleja cylindrowa.
2		p_i — wysokie p_{max} — bez zmian p_k — bez zmian p_{rozpr} — wysokie αp_{max} — bez zmian	1. Moc z cylindra duża. 2. Nieszczelny rozpylacz (przy wysokiej temperaturze spalin).
3		p_i — nieco niższe p_{max} — niskie p_k — bez zmian p_{rozpr} — wysokie αp_{max} — duży	1. Przeciek paliwa na ssaniu pompy wtryskowej. 2. Zużyta pompa wtryskowa.
4		p_i — bez zmian p_{max} — niskie p_k — bez zmian p_{rozpr} — wysokie αp_{max} — duży (temperatura spalin wysoka)	Zbyt późny początek wtrysku paliwa.
5		p_i — możliwe wysokie p_{max} — wysokie p_k — bez zmian p_{rozpr} — niskie αp_{max} — mały	Za wczesny początek wtrysku paliwa.

7. Literatura

1. *Instrukcja silnika Buckau-Wolf R8DV136*.
2. *Instrukcja maksymetru oraz indykatora mechanicznego firmy Lemag*.
3. Gałecki W., Tomczak L., *Indykowanie okrętowych silników spalinowych*. Wydawnictwo AM w Gdyni, Gdynia 2002.
4. Kluj S., *Diagnostyka urządzeń okrętowych*. Studium Doskonalenia Kadr WSM w Gdyni, Gdynia 2000.
5. Marcinkowski J., Grudziński J., *Ćwiczenia laboratoryjne z okrętowych silników spalinowych tłokowych*. Skrypt WSM, Szczecin 1983.
6. Niewiarowski K., *Tłokowe silniki spalinowe*. Tom I i II. WKiŁ. Warszawa 1983.
7. Piaseczny L., *Technologia napraw okrętowych silników spalinowych*. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1992.
8. Piotrowski I., Witkowski K., *Okrętowe silniki spalinowe*. Trademar, Gdynia 2002.
9. Piotrowski I., Witkowski K, *Eksploatacja okrętowych silników spalinowych*. WSM Gdynia, Gdynia 2002.
10. *Pomiary cieplne*. Część I i II. Praca zbiorowa. WNT, Warszawa 1995.
11. Wajand J., Pomiary szybkozmiennych ciśnień w maszynach tłokowych. WNT, Warszawa 1974.
12. Wajand J. A., Wajand J. T., Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe. WNT, Warszawa 1993.
13. Wimmer A., Glaser J., *Indykowanie silnika*. AVL, Warszawa 2004.

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu *siłownie okrętowe*
Opracował: dr inż. Leszek Chybowski

Temat 3 (2 h)**:** *Charakterystyki silników okrętowych*

1. Cel ćwiczenia

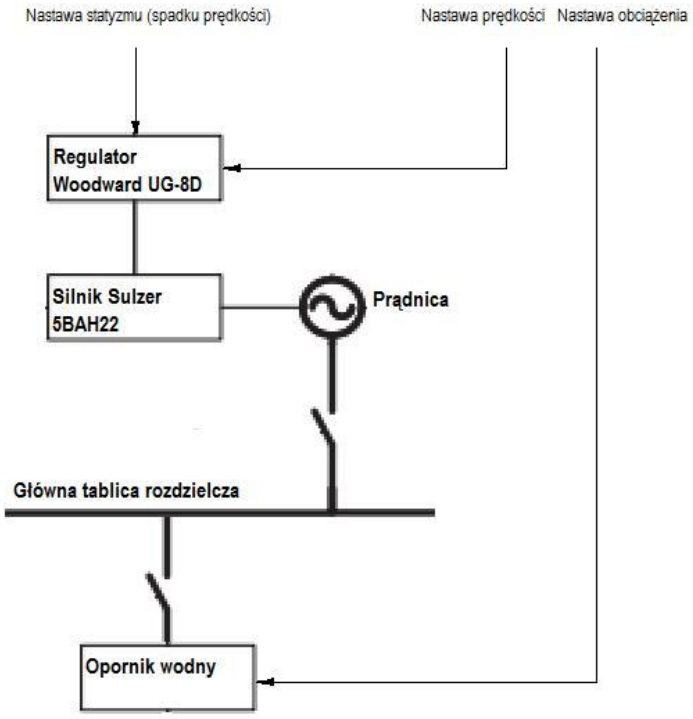
Ćwiczenie ma na celu teoretyczne zapoznanie studentów z rodzajami charakterystyk silników spalinowych tłokowych oraz praktyczne zaznajomienie studentów ze sposobami wyznaczania charakterystyk. Studenci zapoznają się z charakterystykami prędkościowymi (zewnętrzna, śrubowa), obciążeniowymi oraz regulacyjnymi i charakterystyką uniwersalną silnika.

2. Krótki opis stanowiska laboratoryjnego

Przed przystąpieniem do ćwiczenia na silniku studenci zapoznają się z budową i działaniem stanowiska z silnikiem napędzającym prądnicę (rys. 3.1). W części praktycznej studenci wyznaczają charakterystykę obciążeniową.

Prędkość wyznaczana jest w oparciu o częstotliwość generowanego prądu (50 Hz odpowiada 500 obr/min). Główne parametry pracy silnika rejestrowane SA z wykorzystaniem oprzyrządowania (manometry, termometry, tachometr).

Nastawa obciążenia realizowana jest za pomocą przełącznika regulacyjnego na GTR oddziałującego na opornik wodny obciążający prądnicę.



Rys. 3.1. Schemat stanowiska laboratoryjnego z silnikiem *Sulzer 5 BAH 22*
(źródło: opracowanie Leszek Chybowski)

3. Uwagi BHP dotyczące stanowiska

Z uwagi na to, że podczas zajęć studenci wykonują ćwiczenie przy pracującym silniku niezbędne jest ścisłe przestrzeganie zasad BHP. W czasie wykonywania ćwiczenia występuje zagrożenie ze strony wirujących elementów silnika, gorących części, substancji szkodliwych dla zdrowia, hałasu oraz urządzeń pracujących pod ciśnieniem i pod napięciem elektrycznym.

Studenci zobowiązani są do używania fartuchów ochronnych oraz ochronników słuchu. Niezbędne jest wykonywanie wszystkich czynności tylko pod nadzorem i za zgodą prowadzącego ćwiczenie stosując się do szczegółowej instrukcji BHP dla Laboratorium Siłowni Okrętowych zatwierdzonej przez odpowiednie organy uczelni.

Z treścią instrukcji BHP studenci zapoznają się na pierwszych zajęciach laboratoryjnych, co potwierdzają podpisując oświadczenie o zaznajomieniu z wymaganiami BHP.

Ze względów bezpieczeństwa wskazane jest aby grupa laboratoryjna nie była większa niż 10 osób. Podczas zajęć studenci pracują pod nadzorem nauczyciela prowadzącego zajęcia oraz min. jednego pracownika technicznego laboratorium.

4. Wykaz czynności, które student ma wykonać na stanowisku

Na stanowisku laboratoryjnym student ma za zadanie praktyczne sporządzenie charakterystyk obciążeniowych $f(N_{el})$ na silniku *Sulzer 5 BAH 22*.

W trakcie ćwiczenia student ma za zadanie:

1. Zapoznać się ze stanowiskiem laboratoryjnym z silnikiem *Sulzer 5 BAH 22* oraz z rozmieszczeniem przyrządów kontrolno-pomiarowych silnika laboratoryjnego.
2. Przygotować silnik do pracy i uruchomić go.
3. Rozpocząć obciążanie silnika opornikiem wodnym i sporządzić charakterystykę obciążeniową (moc elektryczna odczytana na GTR) dla wybranych wartości obciążenia układu (np. 0 kW, 30 kW, 60 kW, 90 kW i 120 kW). Podczas sporządzania charakterystyki dla każdego obciążenia studenci rejestrują:

   - moc elektryczną,
   - prędkość obrotową silnika,
   - prędkość obrotową turbodoładowarki,
   - wskaźnika obciążenia,
   - temperatury spalin na wylocie z cylindrów,
   - temperatury spalin na wlocie do turbosprężarki,
   - temperaturę spalin na wylocie z turbosprężarki,
   - spadek ciśnienia powietrza na filtrze turbosprężarki,
   - spadek ciśnienia powietrza na chłodnicy powietrza doładowującego,
   - temperaturę powietrza doładowującego,
   - ciśnienie powietrza doładowującego,

- ciśnienie oleju smarnego, paliwa i wody chłodzącej w różnych miejscach poszczególnych instalacji,
- godzinowe zużycie paliwa i in.

4. Zatrzymać silnik i wyłączyć poszczególne systemy pomocnicze.
5. Wykreślić charakterystyki obciążeniowe.
6. Wyciągnąć wnioski dotyczące wyników uzyskanych pomiarów (wartości wskaźników pracy silnika, charakter zmian, dokładność pomiaru i czynniki zakłócające).

5. Sprawozdanie z ćwiczenia

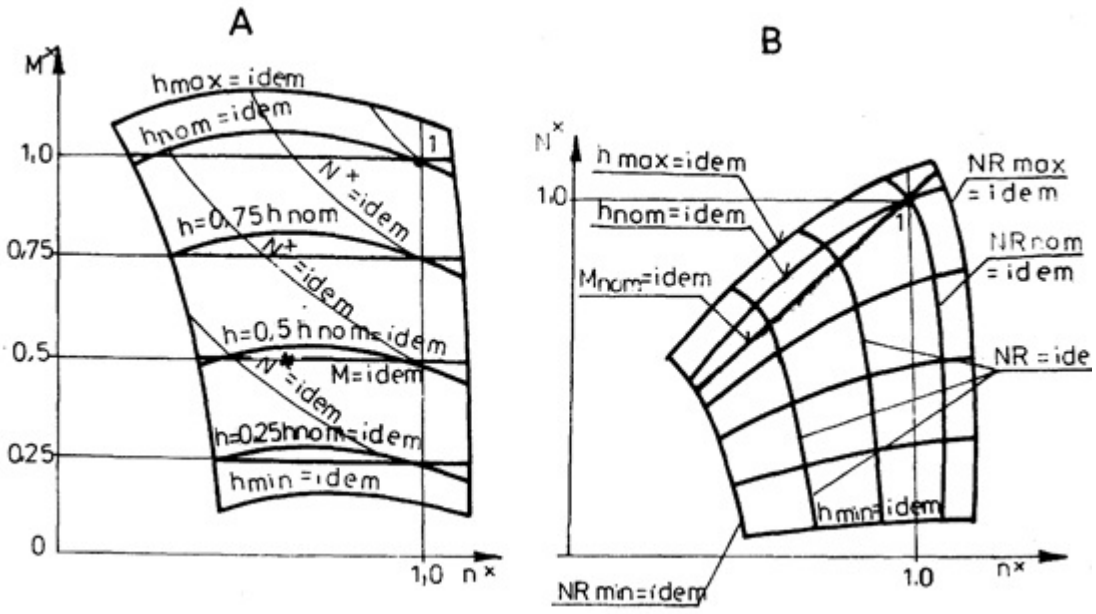
Warunkiem zaliczenia ćwiczenia jest sprawozdanie z części praktycznej. Sprawozdanie (nie przekraczające 4 stron formatu A4) powinno zawierać:

1. Prezentację celu ćwiczenia oraz wykorzystanej metodyki.
2. Schemat stanowiska z opisem (przedstawić podstawowe elementy funkcjonalne, punkty pomiarowe, wielkości mierzone oraz jednostki miar)
3. Zestawienie dokonanych pomiarów (przedstawić w formie tabelarycznej).
4. Wizualizacja wyników.
5. Wnioski (dokonać analizy wyników uzyskanych w czasie pomiaru i obliczeń, ocenić uzyskane przebiegi funkcyjne, charakter ich zmian, odnieść się do wiadomości literaturowych).

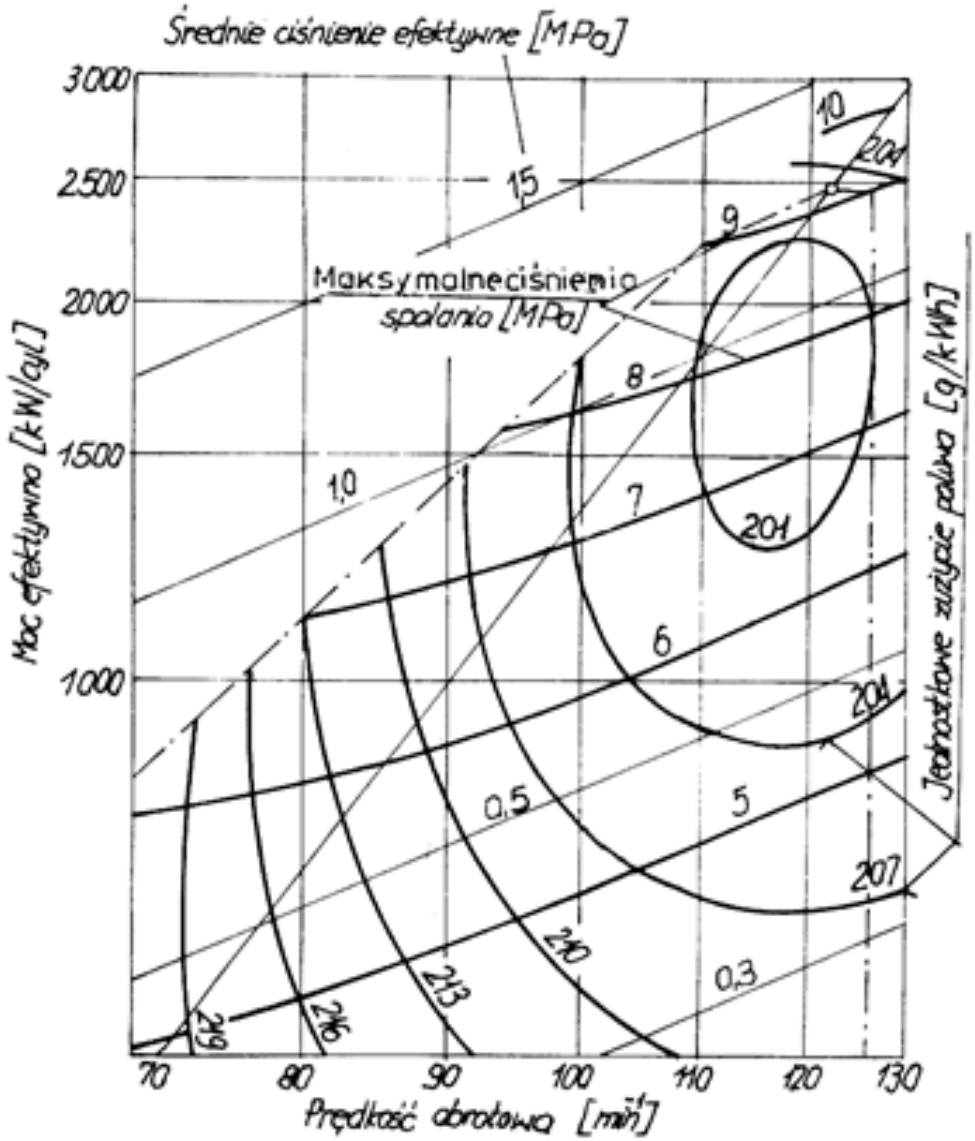
6. Wiedza egzekwowana na zaliczenie w formie pisemnej

Student powinien:

1. Znać podstawowe rodzaje charakterystyk i charakter zmian wybranych wskaźników pracy silnika wg określonych charakterystyk (rys. 3.2-3.3).



Rys.3.2. Charakterystyki: zewnętrzna, momentów (A) i mocy (B) częściowych wysokoprężnego tłokowego silnika spalinowego o stałym ciśnieniu doładowania z wielozakresowym regulatorem prędkości obrotowej [2]



Rys.3.3. Charakterystyka uniwersalna w układzie moc *N* - prędkość obrotowa *n* wolnoobrotowego silnika Sulzer 8RND90M [4]

2. Potrafić narysować charakterystykę śrubowa i zewnętrzną (rzeczywista i teoretyczną).
3. Znać metodykę wyznaczania różnych rodzajów charakterystyk.
4. Potrafić interpretować zmiany w kształcie charakterystyk dla celów przeprowadzenia procesu regulacji układów silnika i oceny stanu technicznego elementów funkcjonalnych silnika.

7. Literatura

1. *Instrukcja silnika Sulzer 5 BAH 22.*
2. Borkowski T., *Siłownie okrętowe*. Maszynopis powielany 2009.
3. Niewiarowski K., *Tłokowe silniki spalinowe*. Tom I i II. WKiŁ. Warszawa 1983.
4. Piotrowski I., Witkowski K., *Okrętowe silniki spalinowe*. Trademar, Gdynia 2002.
5. Piotrowski I., Witkowski K, *Eksploatacja okrętowych silników spalinowych*. WSM Gdynia, Gdynia 2002.
6. *Pomiary cieplne*. Część I i II. Praca zbiorowa. WNT, Warszawa 1995.
7. Śmierzchalski R., *Automatyzacja systemu elektroenergetycznego statku.* Wydawnictwo Gryf Centrum Graficzne, Gdańsk 2004.
8. Wajand J. A., Wajand J. T., Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe. WNT, Warszawa 1993.

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu *siłownie okrętowe*
Opracował: dr inż. Leszek Chybowski

Temat 4 (2 h)**:** *Bilans cieplny – zewnętrzny silnika tłokowego*

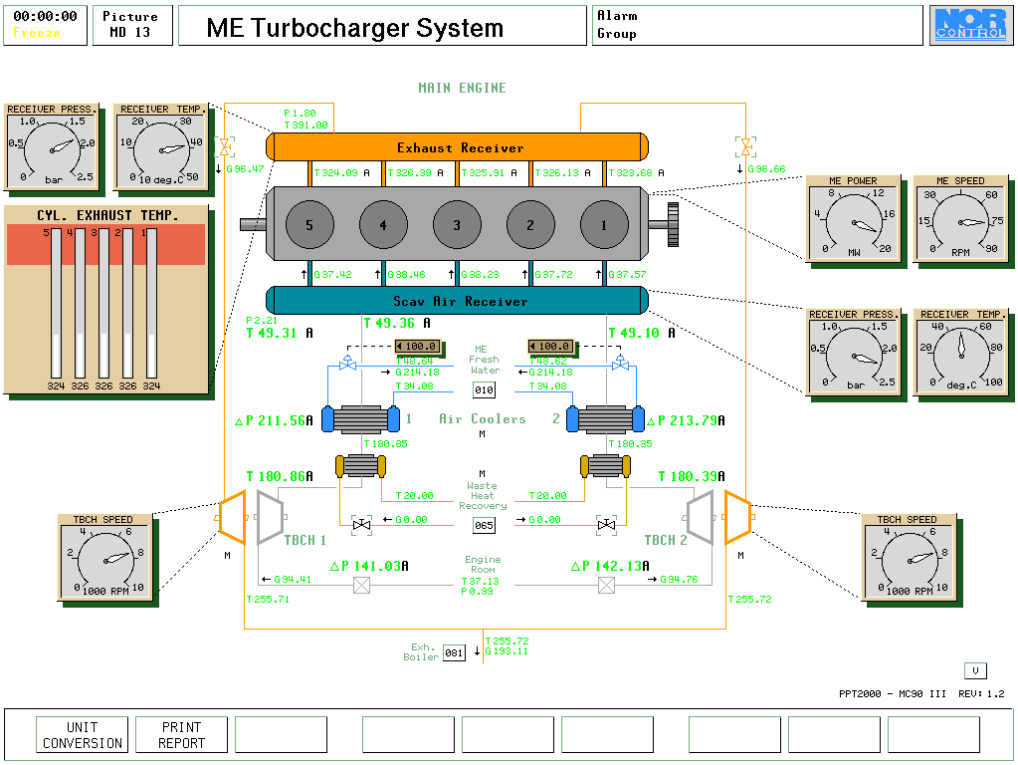
1. Cel ćwiczenia

Ćwiczenie ma na celu zapoznanie studentów z problematyką strat energetycznych i ich minimalizacji na przykładzie silników okrętowych. Studenci zapoznaja się z różnicami pomiędzy teoretycznym i rzeczywistym obiegiem pracy silnika. Studenci praktycznie wykonują pomiary na symulatorze siłowni okrętowej w celu obliczenia poszczególnych strumieni energii i sporządzenia wykresu rozpływu energii Sankey'a.

Ćwiczenie wykonywane jest w oparciu o wiadomości, jakie student uzyskał podczas wykładów z przedmiotów *okrętowe silniki spalinowe* oraz *termodynamika techniczna*. Wymagana jest znajomość podstawowych wskaźników pracy silnika spalinowego i metod ich wyznaczania oraz podstaw z zakresu bilansów energetycznych maszyn cieplnych (obliczanie strumieni energii)

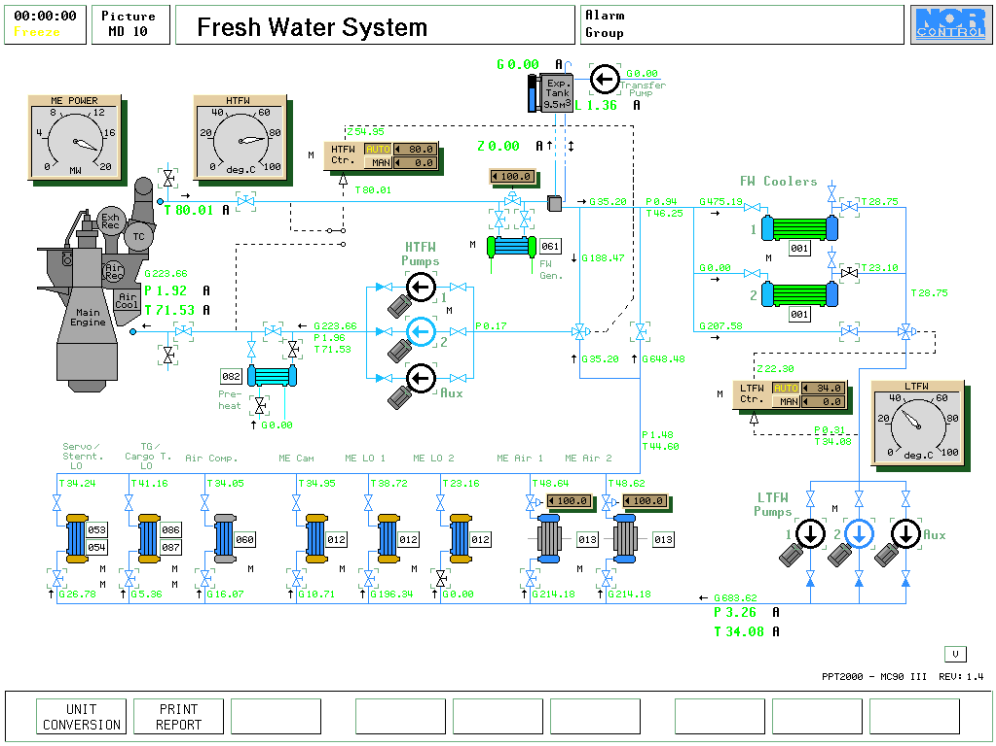
2. Krótki opis stanowiska laboratoryjnego

Laboratorium siłowni okrętowych (LSO) nie posiada silników z systemami pomocniczymi wyposażonymi w przepływomierze, co jest niezbędne do sporządzenia bilansu energetycznego silnika. Wobec tego studenci wykonują ćwiczenie na symulatorze siłowni okrętowej NORCONTROL 90MC-III. (rys. 4.1-4.3).

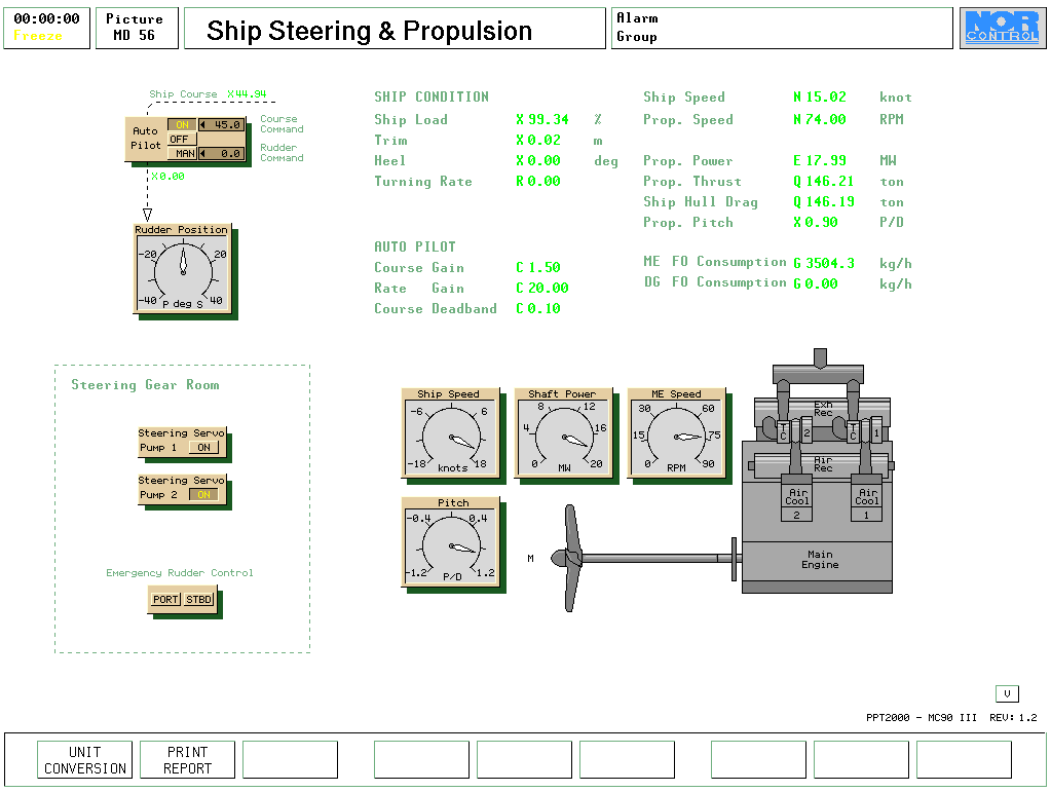


Rys. 4.1. system wymiany ładunku silnika głównego

(źródło: zrzut ekranowy z symulatora siłowni)



Rys. 4.2. Instalacja chłodzenia silnika głównego
(źródło: zrzut ekranowy z symulatora siłowni)



Rys. 4.3. Parametry układu napędowego statku (źródło: zrzut ekranowy z symulatora siłowni)

3. Uwagi BHP dotyczące stanowiska

Studenci zobowiązani są do przestrzegania zasad BHP obowiązujących podczas pracy z urządzeniami elektrycznymi (sprzętem komputerowym). Niezbędne jest wykonywanie wszystkich czynności tylko pod nadzorem i za zgodą prowadzącego ćwiczenie stosując się do szczegółowej instrukcji BHP dla Laboratorium Siłowni Okrętowych zatwierdzonej przez odpowiednie organy uczelni.

Z treścią instrukcji BHP studenci zapoznają się na pierwszych zajęciach laboratoryjnych, co potwierdzają podpisując oświadczenie o zaznajomieniu z wymaganiami BHP.

4. Wykaz czynności, które student ma wykonać na stanowisku

Student ma za zadanie:

1. Zapoznać się z budową systemów obsługujących silnik główny zaimplementowany w symulatorze siłowni okrętowej.
2. Zapoznać się z lokalizacją aparatury pomiarowej w poszczególnych systemach.
3. Uruchomić symulację dla predefiniowanego stanu wyjściowego „Full Ahead Loaded" („Cała naprzód" statek załadowany).
4. Zarejestrować wybrane parametry pracy silnika i instalacji pomocniczych (temperatury spalin, skład spalin, przepływy masowe czynników, godzinowe zużycie paliwa, wartość opałowa paliwa, moc użyteczna) niezbędne do wyznaczenia bilansu energetycznego silnika.
5. Wyliczyć poszczególne strumienie energetyczne odpowiadające odpowiednio:

    - ciepłu doprowadzonemu w paliwie do silnika,
    - mocy użytecznej silnika,
    - stracie chłodzenia powietrza doładowującego,
    - stracie chłodzenia układów cylindrowych,
    - stracie chłodzenia oleju smarnego,
    - stracie wylotowej,
    - stracie promieniowania

6. Narysować wykres Sankey'a.
7. Wyciągnąć wnioski dotyczące wyników uzyskanych pomiarów (wartości wskaźników pracy silnika, dokładność pomiaru i czynniki zakłócające).

5. Sprawozdanie z ćwiczenia

Warunkiem zaliczenia ćwiczenia jest sprawozdanie z części praktycznej. Sprawozdanie (nie przekraczające 4 stron formatu A4) powinno zawierać:

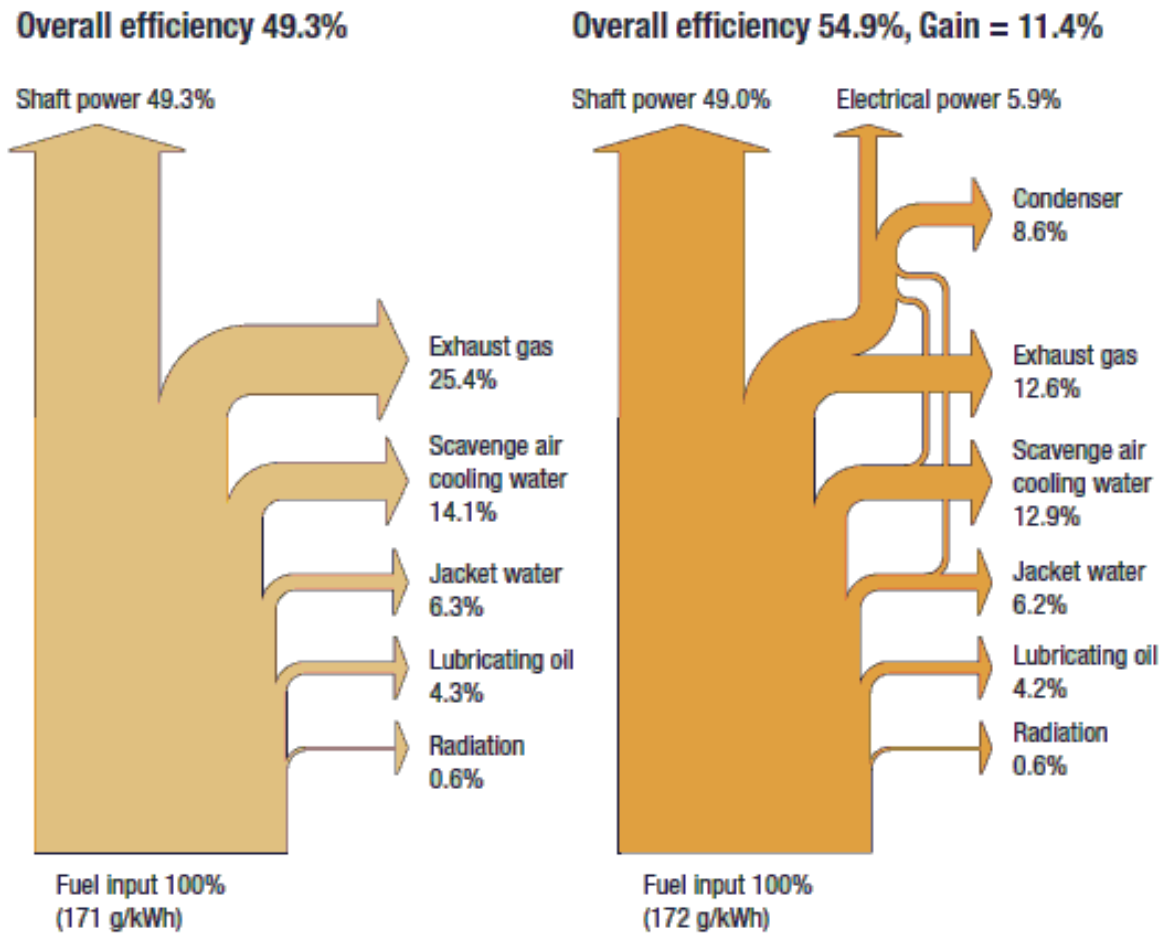
1. Prezentację celu ćwiczenia oraz wykorzystanej metodyki.
2. Schemat układu pomiarowego z opisem (przedstawić podstawowe elementy funkcjonalne, punkty pomiarowe, wielkości mierzone oraz jednostki miar).
3. Zestawienie dokonanych pomiarów dla pracy przy obciążeniu znamionowym.

4. Obliczenia strumieni energetycznych.
5. Wykres Sankey'a.
6. Wnioski dotyczące uzyskanych wyników i przeprowadzonych pomiarów.

6. Wiedza egzekwowana na zaliczenie w formie pisemnej

Student powinien:

1. Znać straty energetyczne silników spalinowych, ich procentowe udziały i metody ich minimalizacji (np. z wykorzystaniem metod przedstawionych w [7] – rys. 4.4).



Rys. 1.3. Przyrost sprawności całkowitej układu energetycznego z silnikiem Wartsila 12 RT-flex 96C po wdrożeniu układów głębokiej utylizacji spalin [7]

2. Potrafić wyznaczyć udziały poszczególnych strat energetycznych silnika okrętowego.
3. Potrafić narysować przykładowy wykres Sankey'a silnika okrętowego średnioobrotowego i wolnoobrotowego i podać przeciętne wartości procentowe poszczególnych strumieni energii w odniesieniu do strumienia ciepła doprowadzonego do silnika.

7. Literatura

1. *Instrukcja symulatora Norcontrol 90 MC III*.
2. Niewiarowski K., *Tłokowe silniki spalinowe*. Tom I i II. WKiŁ. Warszawa 1983.
3. Piotrowski I., Witkowski K., *Okrętowe silniki spalinowe*. Trademar, Gdynia 2002.
4. Piotrowski I., Witkowski K, *Eksploatacja okrętowych silników spalinowych*. WSM Gdynia, Gdynia 2002.
5. *Pomiary cieplne*. Część I i II. Praca zbiorowa. WNT, Warszawa 1995.
6. Wajand J. A., Wajand J. T., Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe. WNT, Warszawa 1993.
7. Waste Heat Recowery, publikacja firmy Wartsila. Strona internetowa: http://www.wartsila-nsd.com/ , dostęp 21.05.2010.

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu *siłownie okrętowe*
Opracował: dr inż. Leszek Chybowski

Temat 5 (2 h)**:** *Wybrane zagadnienia regulacji prędkości obrotowej silników okrętowych*

1. Cel ćwiczenia

Ćwiczenie ma na celu teoretyczne i praktyczne zaznajomienie studentów z zadaniami eksploatacji regulatorów prędkości obrotowej silników spalinowych oraz budową układów regulacji prędkości obrotowej silników okrętowych. Student zapoznaje się z podstawowymi wielkościami charakteryzującymi regulator i proces regulacji prędkości obrotowej (stopień niejednostajności regulacji, stopień nieczułości regulatora, czas regulacji, statyczne i dynamiczne odchylenie regulacji). Ponadto zapoznaje się z różnicami pomiędzy pracą silnika z zablokowaną listwą paliwową, a wyposażonego w regulator, wpływem wielkości statycznego spadku prędkości na współpracę silnika z odbiornikiem dla układów pracujących samodzielnie i podczas pracy równoległej (m.in. układy napędowe typu „ojciec-syn" oraz rozdział obciążeń w elektrowniach okrętowych). Dodatkowo ćwiczenie zapoznaje studentów z działaniem i budową oraz rozwiązaniami konstrukcyjnymi hydraulicznych regulatorów firmy *Woodward* (głównie typów *UG* ale również *PG, PGA*), co jest wsparte praktyczną prezentacją na stanowisku laboratoryjnym z regulatorami. Student zapoznaje się ponadto z dodatkowymi funkcjami i urządzeniami wspomagającymi pracę regulatorów. Po wprowadzeniu teoretycznym student wykonuje praktyczne ćwiczenie na silniku *Sulzer 5 BAH 22*, związane z wpływem nastaw i działania układu spadku prędkości (*speed droop*) na uzyskiwane wartości procentowe statycznego odchylenia regulacji.

2. Krótki opis stanowiska laboratoryjnego

Przed przystąpieniem do ćwiczenia na silniku studenci zapoznają się z budową i działaniem regulatorów prędkości obrotowej. W czasie wprowadzenia wykorzystywane jest stanowisko dydaktyczne z regulatorem *Woodward UG-8D* napędzanym silnikiem elektrycznym (rys. 5.1.). Na stanowisku prowadzący przedstawia studentom podstawowe zagadnienia związane z działaniem regulatora.

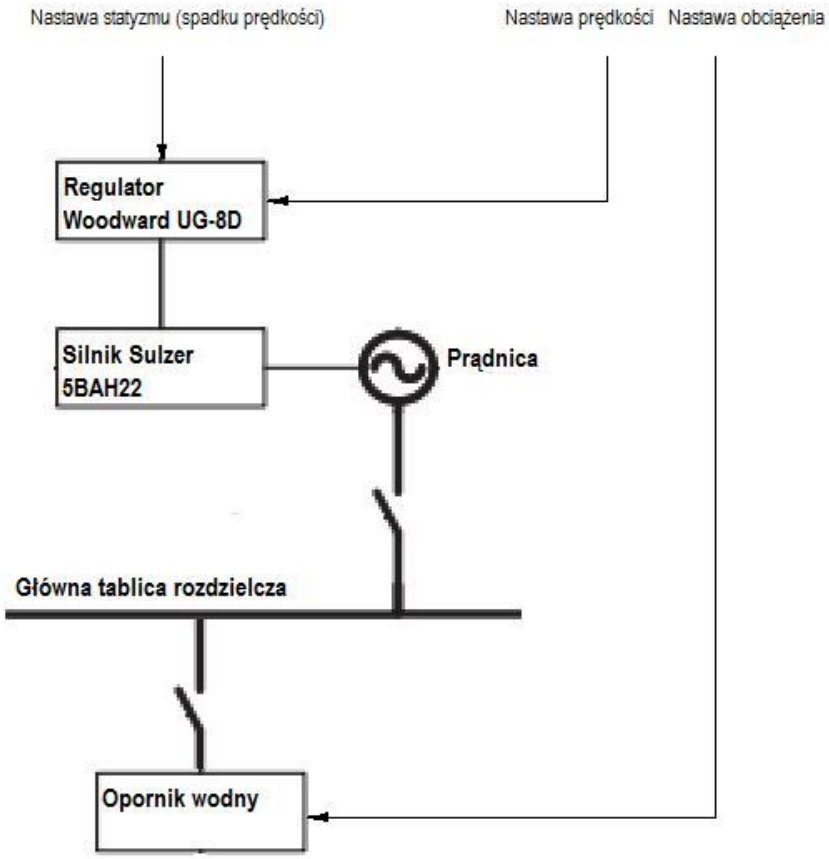
Rys. 5.1. Stanowisko dydaktyczne z regulatorem *Woodward UG-8D*
(autorzy stanowiska: dr inż. Leszek Chybowski i mgr inż. Robert Grzebieniak)

Po zapoznaniu studentów z działaniem regulatora rozpoczynane jest ćwiczenie na stanowisku silnikowym (rys. 5.2), które składa się z silnika okrętowego *Sulzer 5 BAH 22* napędzającego prądnicę obciążaną opornikiem wodnym. Silnik wyposażony jest w tarczowy mechaniczno-hydrauliczny regulator prędkości obrotowej *Woodward UG-8D*.

Aktualne obciążenie elektryczne prądnicy kontrolowane jest z poziomu Głównej Tablicy Rozdzielczej (przełącznik regulacyjny zlokalizowany jest na GTR), a jego wartość jest wskazywana przez elektroniczny watomierz na GTR.

Prędkość wyznaczana jest w oparciu o częstotliwość generowanego prądu (50 Hz odpowiada 500 obr/min). Prędkość silnika może być korygowana z poziomu GTR za pośrednictwem silnika elektrycznego do zadawania prędkości na regulatorze prędkości obrotowej. Nastawa realizowana jest za pomocą przełącznika regulacyjnego na GTR.

Nastawa spadku prędkości dokonywana jest pokrętłem zlokalizowanym na płycie czołowej regulatora.



Rys. 5.2. Schemat stanowiska laboratoryjnego z silnikiem *Sulzer 5 BAH 22*
(źródło: opracowanie Leszek Chybowski)

3. Uwagi BHP dotyczące stanowiska

Z uwagi na to, że podczas zajęć studenci wykonują ćwiczenie przy pracującym silniku niezbędne jest ścisłe przestrzeganie zasad BHP. W czasie wykonywania ćwiczenia występuje zagrożenie ze strony wirujących elementów silnika, gorących części, substancji szkodliwych dla zdrowia, hałasu oraz urządzeń pracujących pod ciśnieniem i pod napięciem elektrycznym.

Studenci zobowiązani są do używania fartuchów ochronnych oraz ochronników słuchu. Niezbędne jest wykonywanie wszystkich czynności tylko pod nadzorem i za zgodą prowadzącego ćwiczenie stosując się do szczegółowej instrukcji BHP dla Laboratorium Siłowni Okrętowych zatwierdzonej przez odpowiednie organy uczelni.

Z treścią instrukcji BHP studenci zapoznają się na pierwszych zajęciach laboratoryjnych, co potwierdzają podpisując oświadczenie o zaznajomieniu z wymaganiami BHP.

Ze względów bezpieczeństwa wskazane jest aby grupa laboratoryjna nie była większa niż 10 osób. Podczas zajęć studenci pracują pod nadzorem nauczyciela prowadzącego zajęcia oraz min. jednego pracownika technicznego laboratorium.

4. Wykaz czynności, które student ma wykonać na stanowisku

Na stanowisku laboratoryjnym student ma za zadanie praktyczne zbadanie działania układu kompensacji na silniku *Sulzer 5 BAH 22*.

W trakcie ćwiczenia student ma za zadanie:

1. Zapoznać się ze stanowiskiem laboratoryjnym z silnikiem *Sulzer 5 BAH 22* oraz z rozmieszczeniem przyrządów kontrolno-pomiarowych silnika laboratoryjnego.
2. Zapoznać się z budową, działaniem i elementami płyty czołowej regulatora *Woodward UG-8D*.
3. Przygotować silnik do pracy i uruchomić go.
4. Obciążyć silnik i rejestrować przebieg zmian prędkości silnika w czasie po nagłym zdjęciu obciążenia. Dokonać analizy dla różnych nastwa wskaźnika kompensacji i różnego stopnia otwarcia zaworka iglicowego.
5. Zatrzymać silnik.
6. Wykreślić przebiegi prędkości obrotowej i obliczyć dynamiczne odchylenie regulacji dla różnych nastaw układu kompensacji.
7. Wyciągnąć wnioski dotyczące wyników uzyskanych pomiarów (wartości wskaźników pracy silnika, charakter zmian, dokładność pomiaru i czynniki zakłócające).

5. Sprawozdanie z ćwiczenia

Warunkiem zaliczenia ćwiczenia jest sprawozdanie z części praktycznej. Sprawozdanie (nie przekraczające 4 stron formatu A4) powinno zawierać:

1. Prezentację celu ćwiczenia oraz wykorzystanej metodyki.
2. Schemat stanowiska z opisem (przedstawić podstawowe elementy funkcjonalne, punkty pomiarowe, wielkości mierzone oraz jednostki miar)
3. Zestawienie dokonanych pomiarów (przedstawić w formie tabelarycznej).

4. Obliczenia (przedstawić algorytm obliczeń).
5. Wizualizacja wyników
6. Wnioski (dokonać analizy wyników uzyskanych w czasie pomiaru i obliczeń, ocenić uzyskane przebiegi funkcyjne, charakter ich zmian, odnieść się do wiadomości literaturowych).

6. Wiedza egzekwowana na zaliczenie w formie pisemnej

Student powinien:

1. Znać podstawowe zadaniami regulatorów prędkości obrotowej oraz wielkości charakteryzującymi proces regulacji. Ponadto znać funkcje pomocnicze regulatorów i urządzenia wspomagające te funkcje (zabezpieczenia silnika oraz różnego typu urządzenia dodatkowe w regulatorach prędkości obrotowej).
2. Znać budowę i działanie układów regulacji automatycznej, w tym głównie budową i działaniem regulatorów hydraulicznych firmy *Woodword*. Ponadto student ma być zapoznany z tematyką elektronicznych układów regulacji prędkości obrotowej silników okrętowych.
3. Znać działanie i wpływ nastaw spadku prędkości na pracę silnika przy pracy samodzielnej i równoległej (w tym regulacja izochroniczna i izodromowa, rozdział obciążeń w elektrowniach, skutki nieprawidłowych nastaw statyzmu regulatora).
4. Znać działanie i wpływ nastaw układu kompensacji na pracę silnika w stanach przejściowych (wpływ nastawy wskaźnika kompensacji i kąta otwarcia zaworka iglicowego, skutki nieprawidłowych nastaw układu kompensacji).
5. Znać główne problemy podczas eksploatacji regulatorów hydraulicznych oraz metodykę przeprowadzenia regulacji statyzmu i kompensacji w zastosowaniach okrętowych.
6. Znać działanie układu ograniczenia obciążenia i zatrzymania silnika, oraz powiązań regulatora z układem zabezpieczeń silników okrętowych.
7. Znać elementy znajdującymi się na płycie czołowej regulatora *Woodward* typu *UG-D*, ich przeznaczeniem i sposobem wykorzystania.

7. Literatura

1. Borkowski T., *Hydrauliczne regulatory prędkości obrotowej "Woodward" w zastosowaniach okrętowych. Działanie i regulacja*. Wydawnictwo Uczelniane. Wyższa Szkoła Morska, Szczecin 1990.
2. Dendura K., *Badania eksploatacyjne regulatorów "Woodward" UG-8D*. Wydawnictwo Uczelniane. Wyższa Szkoła Morska, Szczecin 1976.
3. Dendura K., *Regulatory prędkości obrotowej silników głównych*. Mechanik okrętowy. Wydawnictwo Uczelniane. Wyższa Szkoła Morska, Gdynia 1983, s. 5-19.
4. *Instrukcja silnika Sulzer 5 BAH 22.*
5. *Instrukcja regulatora prędkości obrotowej Woodward UG8.*

6. Kowalski Z., Tittenbrun S., Łastowski W. F., *Regulacja prędkości obrotowej okrętowych silników spalinowych. Teoria i praktyka*. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1988.
7. Piotrowski I., Witkowski K., *Okrętowe silniki spalinowe*. Trademar, Gdynia 2002.
8. Szcześniak J., *Cyfrowe regulatory prędkości obrotowej silników okrętowych*. WSM Szczecin, Szczecin 1999.
9. Śmierzchalski R., *Automatyzacja systemu elektroenergetycznego statku.* Wydawnictwo Gryf Centrum Graficzne, Gdańsk 2004.

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu *siłownie okrętowe*
Opracował: dr inż. Leszek Chybowski

Temat 6 (3 h)**:** *Toksyczność spalin wylotowych*

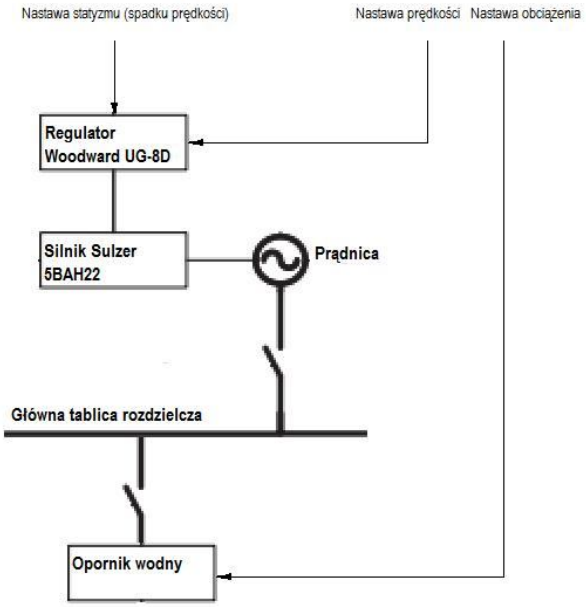
1. Cel ćwiczenia

Ćwiczenie ma na celu zapoznać studentów z metodami pomiaru i aparaturą do oznaczania składników spalin, w tym tlenków azotu, węglowodorów, tlenków węgla, cząstek stałych, tlenków siarki itd. Student zapoznaje się z przeciętnym składem spalin emitowanych przez silniki okrętowe, poznaje sposoby wyznaczania wskaźników emisji spalin, pomiar stopnia zadymienia spalin oraz praktyczne testy wyznaczania wskaźników emisji spalin silników okrętowych.

W ramach ćwiczenia student wprowadzony jest również w tematykę wpływu szkodliwych składników spalin na organizmy żywe oraz środowisko, mechanizm powstawania tych substancji i sposoby ograniczania ich emisji (omówienie zmian konstrukcyjnych elementów silnika, wtrysku wody do komory spalania oraz spalania emulsji paliwowo-wodnych, omówienie układów *EGR*, *HAM* i *SCR*, oraz omówienie wymagań IV załącznika Konwencji Marpol dotyczących emisji NO_X i SO_X). Ćwiczenie zakończone jest praktycznym pomiarem stężenia składników spalin.

2. Krótki opis stanowiska laboratoryjnego

W zależności od możliwości studenci dokonują pomiaru składu spalin analizatorem podłączonym do kolektora wylotowego silnika (silnik Sulzer 5BAH22) – rys. 6.1 lub na symulatorze siłowni okrętowej Kongsberg 90MC-IV.



Rys. 6.1. Schemat stanowiska laboratoryjnego z silnikiem *Sulzer 5 BAH 22*
(źródło: opracowanie Leszek Chybowski)

3. Uwagi BHP dotyczące stanowiska

Z uwagi na to, że podczas zajęć studenci wykonują ćwiczenie przy pracującym silniku niezbędne jest ścisłe przestrzeganie zasad BHP. W czasie wykonywania ćwiczenia występuje zagrożenie ze strony wirujących elementów silnika, gorących części, substancji szkodliwych dla zdrowia, hałasu oraz urządzeń pracujących pod ciśnieniem i pod napięciem elektrycznym.

Studenci zobowiązani są do używania fartuchów ochronnych oraz ochronników słuchu. Niezbędne jest wykonywanie wszystkich czynności tylko pod nadzorem i za zgodą prowadzącego ćwiczenie stosując się do szczegółowej instrukcji BHP dla Laboratorium Siłowni

Ze względów bezpieczeństwa wskazane jest aby grupa laboratoryjna nie była większa niż 10 osób. Podczas zajęć studenci pracują pod nadzorem nauczyciela prowadzącego zajęcia oraz min. jednego pracownika technicznego laboratorium.

Studenci zobowiązani są do przestrzegania zasad BHP obowiązujących podczas pracy z urządzeniami elektrycznymi (sprzętem komputerowym). Niezbędne jest wykonywanie wszystkich czynności tylko pod nadzorem i za zgodą prowadzącego ćwiczenie stosując się do szczegółowej instrukcji BHP dla Laboratorium Siłowni Okrętowych zatwierdzonej przez odpowiednie organy uczelni.

Z treścią instrukcji BHP studenci zapoznają się na pierwszych zajęciach laboratoryjnych, co potwierdzają podpisując oświadczenie o zaznajomieniu z wymaganiami BHP.

4. Wykaz czynności, które student ma wykonać na stanowisku

Na stanowisku laboratoryjnym student ma za zadanie:

1. Zapoznanie się z oprzyrządowaniem kontrolno-pomiarowym.
2. Uruchomienie silnika (*Sulzer 5BAH22* lub silnika zaimplementowanego w symulatorze Kongsberg 90MC-IV).
3. Dokonanie pomiarów zawartości wybranych składników spalin wylotowych dla zadanych wartości obciążenia silnika.
4. Wykreślić przebiegi zawartości składników spalin w funkcji obciążenia silnika.
5. Wyciągnąć wnioski dotyczące wyników uzyskanych pomiarów (wartości wskaźników pracy silnika, charakter zmian, dokładność pomiaru i czynniki zakłócające).

5. Sprawozdanie z ćwiczenia

Warunkiem zaliczenia ćwiczenia jest sprawozdanie z części praktycznej. Sprawozdanie (nie przekraczające 4 stron formatu A4) powinno zawierać:

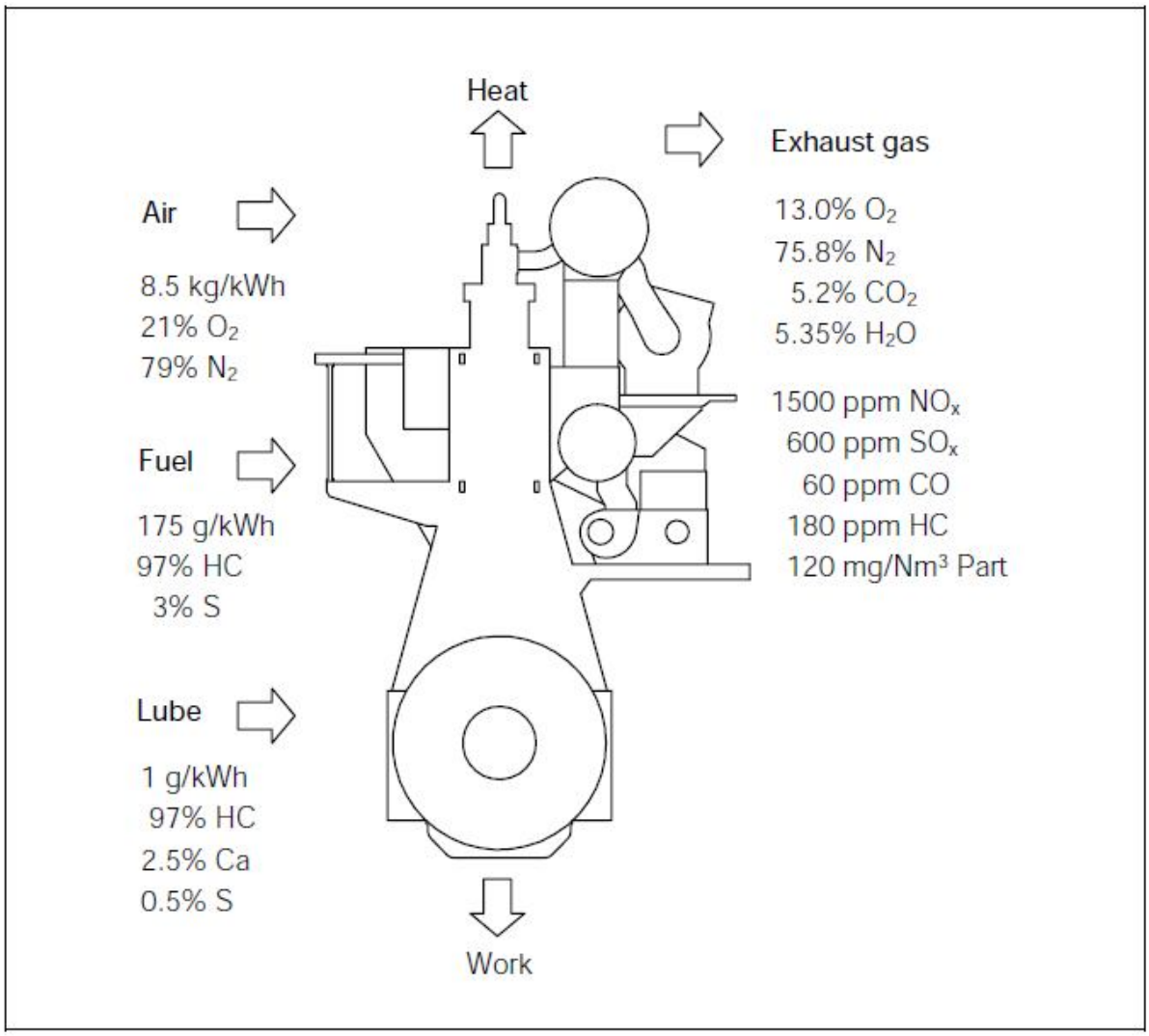
1. Prezentację celu ćwiczenia oraz wykorzystanej metodyki.
2. Schemat stanowiska z opisem (przedstawić podstawowe elementy funkcjonalne, punkty pomiarowe, wielkości mierzone oraz jednostki miar)
3. Zestawienie dokonanych pomiarów (przedstawić w formie tabelarycznej).
4. Wizualizacja wyników

5. Wnioski (dokonać analizy wyników uzyskanych w czasie pomiaru i obliczeń, ocenić uzyskane przebiegi funkcyjne, charakter ich zmian, odnieść się do wiadomości literaturowych).

6. Wiedza egzekwowana na zaliczenie w formie pisemnej

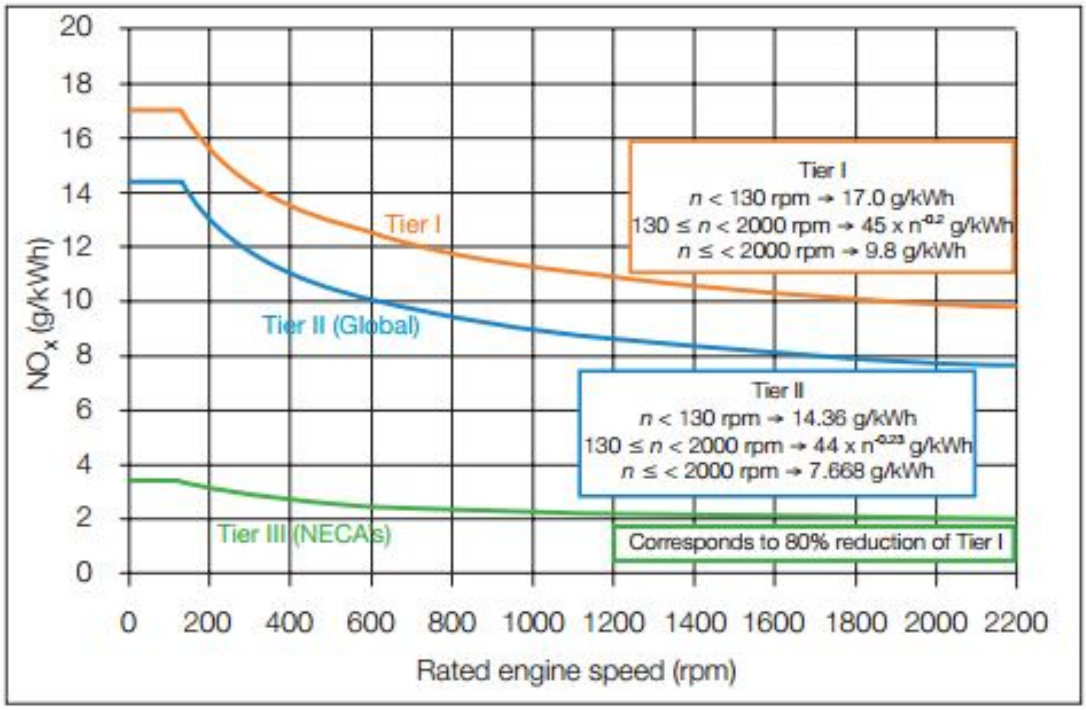
Student powinien:

1. Znać podstawowe składniki spalin i sposób ich powstawania (rys. 6.2).



Rys. 6.2. Przeciętny bilans chemiczny spalinowego tłokowego silnika wolnoobrotowego [4]

2. Znać wpływ poszczególnych składników spalin na środowisko i organizmy żywe.
3. Znać sposoby i metody wyznaczania składu spalin wylotowych.
4. Znać metody określania zadymienia spalin.
5. Znać wymagania dotyczące zawartości tlenków siarki i azotu w spalinach oraz związane z tym problemy w eksploatacji współczesnych silników okrętowych (procedury, oprzyrządowanie, numery IMO, bunkrowanie paliw itd.).



Rys. 6.3. Krzywe IMO dopuszczalnej emisji tlenków azotu przez silniki okrętowe [5]

6. Potrafić wyciągnąć wnioski dotyczące stanu technicznego silnika i regulacji jego elementów w zależności od składu spalin dla silnika o określonym wyposażeniu.
7. znać podstawowe pierwotne i wtórne metody ograniczenia zawartości tlenków azotu w spalinach wylotowych.

7. Literatura

1. Aufdenblatten S., *Status of Emission Control on Wärtsilä 2-stroke Sulzer RTA engines*. Maritime Air Quality Technical Working Group,Wärtsilä Switzerland Ltd., Wintertur 2002.
2. Balcerski A., *Siłownie okrętowe*. Politechnika Gdańska, Gdańsk 1986.
3. Borkowski T., *Siłownie okrętowe*. Maszynopis powielany, Szczecin 2004.
4. *Emission Control MAN B&W Two-stroke Diesel Engines*. Publikacja firmy MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen 2004.
5. *Emission Control, Two-Stroke Low-Speed Diesel Engines*. MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, 1996.
6. Gronowicz J., Ochrona środowiska transporcie lądowym. ITEE, Radom 2004.
7. *Instrukcja silnika Sulzer 5 BAH 22.*
8. *Instrukcja symulatora siłowni okrętowej Kongsberg 90MC-IV.*
9. Kilpinen K., *NO_X emission formation in marine diesel engines – towards a*

quantitative understanding. Wärtsila, Marine News 2/2003.
10. Piotrowski I., Witkowski K., *Okrętowe silniki spalinowe*. Trademar, Gdynia 2003.
11. Specyfikacja kontenerowców 6500 TEU, Korea 2003.
12. Skupińska J., *Utylizacja i neutralizacja odpadów przemysłowych. Katalityczne oczyszczanie gazów odlotowych z tlenków azotu.* Strona internetowa: http://www.chem.uw.edu.pl/people/JSkupinska/cw23a/NOwstep.htm , dostęp: 16.11.2009.
13. Wiewióra A., *Ochrona środowiska morskiego*. WSM Szczecin, Szczecin 1997.
14. Woodyard D., Douglas F., *Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines*. Elsever, Oxford 2004.

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu *siłownie okrętowe*
Opracował: dr inż. Leszek Chybowski

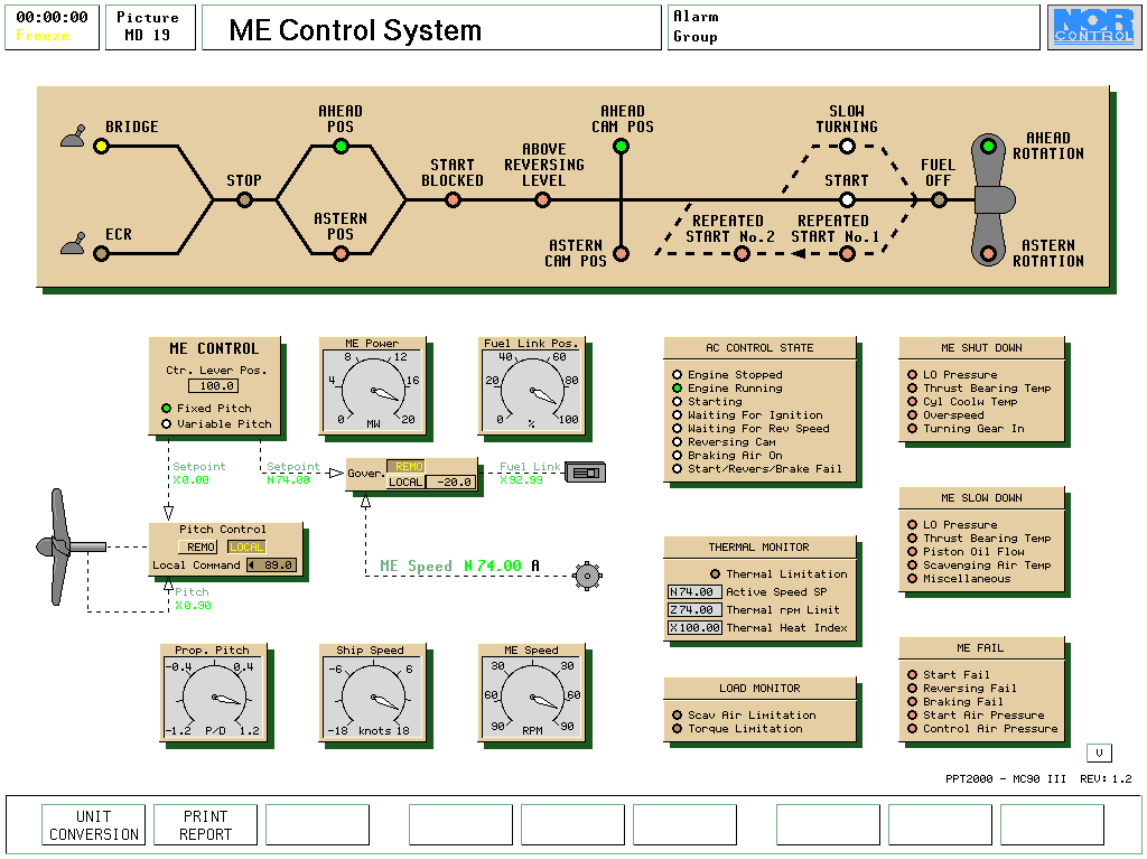
Temat 7 (2 h)**:** *Eksploatacja współczesnych układów automatycznego nadzoru i sterowania silników okrętowych*

1. Cel ćwiczenia

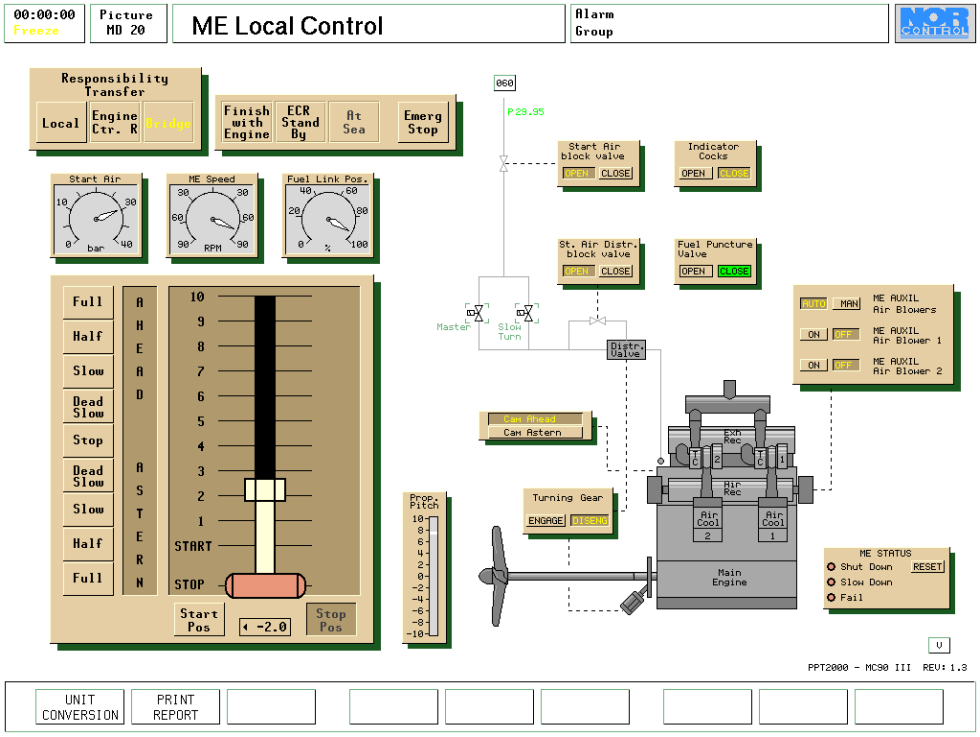
Ćwiczenie ma na celu teoretyczne i praktyczne zaznajomienie studentów z budową i działaniem systemów automatycznego sterowania silników, w tym mówienie zasad diagnostyki, weryfikacji, testowania i kalibracji wyposażenia pomiarowego (czujniki, przetworniki) i podzespołów komputerowych. Studenci dokonują sprawdzenia działania poszczególnych zespołów roboczych i zabezpieczeń w systemie sterowania i monitoringu silnika.

2. Krótki opis stanowiska laboratoryjnego

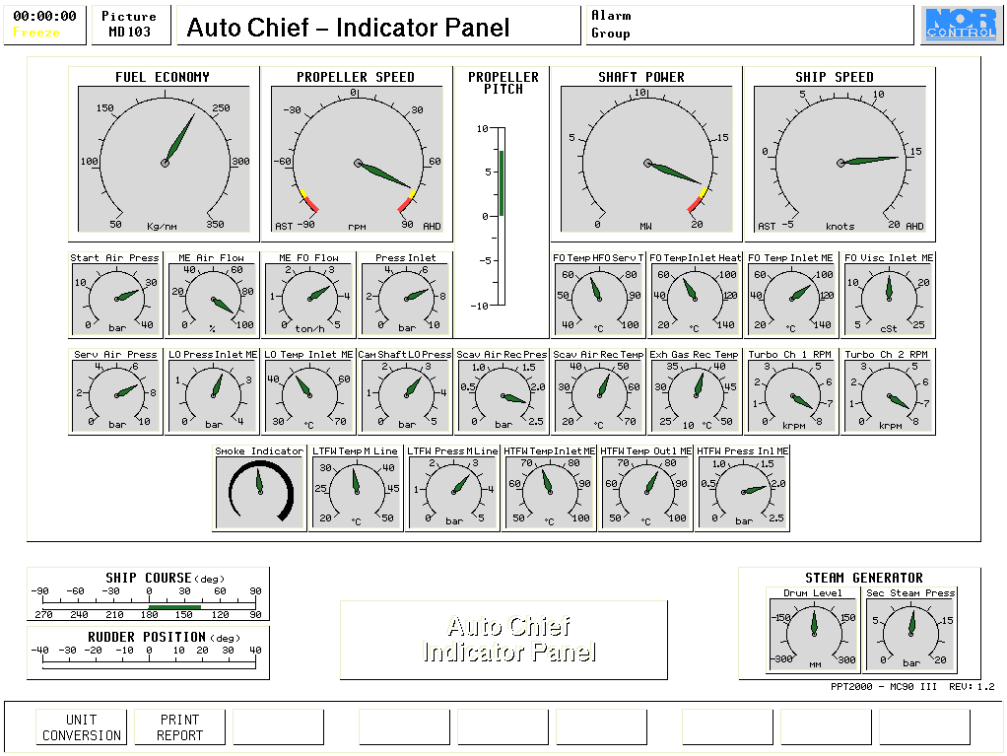
Z uwagi na zaawansowane systemy będące przedmiotem ćwiczenia zostanie ono przeprowadzone na symulatorze siłowni okrętowej *NORCONTROL 90MC-III*, w którym zaimplementowany jest system monitoringu, sterowania i zabezpieczeń silnika *NORCONTROL AutoChief* (rys. 7.1-7.4).



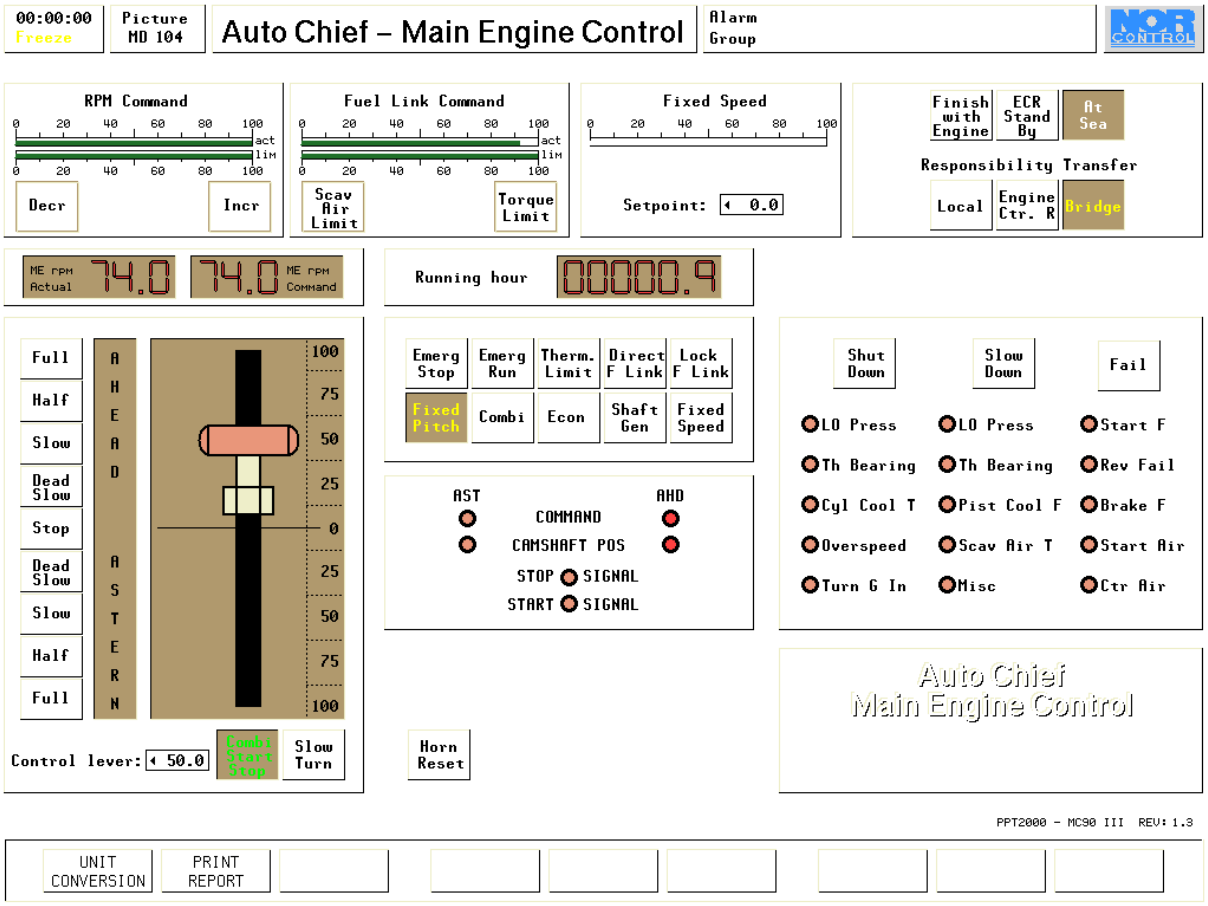
Rys. 7.1. System sterowania silnikiem głównym
(źródło: zrzut ekranowy z symulatora siłowni okrętowej NORCONTROL 90MC-III)



Rys. 7.2. Lokalne sterowanie silnikiem głównym
(źródło: zrzut ekranowy z symulatora siłowni okrętowej NORCONTROL 90MC-III)



Rys. 7.3. Panel kontrolno-pomiarowy układu sterowania AutoChief
(źródło: zrzut ekranowy z symulatora siłowni okrętowej NORCONTROL 90MC-III)



Rys. 7.4. Panel sterowania i zabezpieczeń silnika układu AutoChief
(źródło: zrzut ekranowy z symulatora siłowni okrętowej NORCONTROL 90MC-III)

3. Uwagi BHP dotyczące stanowiska

Studenci zobowiązani są do przestrzegania zasad BHP obowiązujących podczas pracy z urządzeniami elektrycznymi (sprzętem komputerowym). Niezbędne jest wykonywanie wszystkich czynności tylko pod nadzorem i za zgodą prowadzącego ćwiczenie stosując się do szczegółowej instrukcji BHP dla Laboratorium Siłowni Okrętowych zatwierdzonej przez odpowiednie organy uczelni.

Z treścią instrukcji BHP studenci zapoznają się na pierwszych zajęciach laboratoryjnych, co potwierdzają podpisując oświadczenie o zaznajomieniu z wymaganiami BHP.

4. Wykaz czynności, które student ma wykonać na stanowisku

Student ma za zadanie:

1. Zapoznać się z budową systemu monitoringu, sterowania i zabezpieczeń silnika.
2. Zapoznać się z możliwymi lokalizacjami punktu sterowania silnikiem i sposobem przekazywania komunikacji.
3. Dokonać pomiarów wybranych parametrów pracy silnika po zasymulowaniu zakłócenia w celu uzyskania alarmu, awaryjnego zmniejszenia obciążenia silnika (SLOW DOWN) i awaryjnego zatrzymania silnika (SHUT DOWN). Studenci dokonują analizy dla parametrów takich jak: ciśnienie oleju smarnego, temperatura wody chłodzącej, wysokie stężenie mgły olejowej w skrzyni korbowej, wysoka temperatura łożysk układu korbowego, wysoka temperatura powietrza doładowującego itd.
4. Dokonać symulacji działania silnika z wyłączonym układem zabezpieczeń w celu unaocznienia możliwych konsekwencji nieprawidłowo działającego układu zabezpieczeń.
5. Wyciągnąć wnioski w oparciu o uzyskane pomiary i obserwacje.

5. Sprawozdanie z ćwiczenia

Warunkiem zaliczenia ćwiczenia jest sprawozdanie z części praktycznej. Sprawozdanie (nie przekraczające 4 stron formatu A4) powinno zawierać:

1. Prezentację celu ćwiczenia oraz wykorzystanej metodyki.
2. Schemat układu pomiarowego z opisem (przedstawić podstawowe elementy funkcjonalne, punkty pomiarowe, wielkości mierzone oraz jednostki miar)
3. Zestawienie dokonanych pomiarów wybranych parametrów pracy silnika po zasymulowaniu zakłócenia w celu uzyskania alarmu, awaryjnego zmniejszenia obciążenia silnika (SLOW DOWN) i awaryjnego zatrzymania silnika (SHUT DOWN).
4. Wnioski (dokonać analizy wyników uzyskanych w czasie pomiaru, ocenić uzyskane wartości wskaźników pracy silnika, odnieść się do wiadomości literaturowych).

6. Wiedza egzekwowana na zaliczenie w formie pisemnej

Student powinien:

1. Znać podstawowe zagadnienia związane ze zdalnym sterowaniem silnikiem (przekazywanie punktu sterowania, wymogi niezbędne do uruchomienia silnika, zabezpieczenia rozruchu - interlocks itd.).
2. Znać celowość stosowania i sposób działania układów awaryjnego ręcznego zatrzymania silnika, układów zabezpieczeń: ShutDown i SlowDown oraz układów wyłączających zabezpieczenia: SlowDown Override i ShutDown Override.
3. Student powinien znać wybrane przykłady parametrów, których przekroczenie stwarza zagrożenie dla dalszej eksploatacji silnika (nadobroty, niskie ciśnienie oleju smarnego, wysoka temperatura w przestrzeniach podtłokowych itp.)

4. Znać budowę i sposób realizacji zabezpieczeń silnika przed przekroczeniami dopuszczalnych wartości wybranych parametrów pracy silnika (puncture valve / zawór odciążający, regulator prędkości obrotowej, regulator bezpieczeństwa),
5. Znać i potrafić sprawdzić podstawowe rodzaje alarmów i zabezpieczeń poprzez symulację spadku/wzrostu ciśnienia (sprawdzanie przetworników ciśnienia), symulację wzrostu różnicy ciśnień (sprawdzanie różnicowych czujników ciśnienia), symulacje wzrostu temperatury czynnika (sprawdzanie czujników Pt100 i termopar). Student powinien potrafić zasymulować zadziałanie układu zabezpieczeń przez symulację wybranych alarmów w warunkach eksploatacyjnych, zmianę nastawy wartości alarmowej oraz poprzez sprawdzenie wybranych podukładów na stanowiskach warsztatowych.

7. Literatura

1. *Instrukcja symulatora Norcontrol 90 MC III*.
2. Niewiarowski K., *Tłokowe silniki spalinowe*. Tom I i II. WKiŁ. Warszawa 1983.
3. Piotrowski I., Witkowski K., *Okrętowe silniki spalinowe*. Trademar, Gdynia 2002.
4. Piotrowski I., Witkowski K, *Eksploatacja okrętowych silników spalinowych*. WSM Gdynia, Gdynia 2002.
5. Szcześniak J., *Cyfrowe regulatory prędkości obrotowej silników okrętowych*. WSM Szczecin, Szczecin 1999.
6. *Pomiary cieplne*. Część I i II. Praca zbiorowa. WNT, Warszawa 1995.
7. Śmierzchalski R., *Automatyzacja systemu elektroenergetycznego statku.* Wydawnictwo Gryf Centrum Graficzne, Gdańsk 2004.