

---

# SYMULATOR KOMPUTEROWY "REFRIGERATING PLANT" NOWOCZESNYM NARZĘDZIEM W KSZTAŁCENIU MECHANIKÓW OKRĘTOWYCH

---

dr inż. Zenon Bonca  
mgr inż. Tomasz Hajduk  
Akademia Morska w Gdyni  
Katedra Siłowni Okrętowych

---

## 1. WSTĘP

Eksplatacja współczesnych statków nakłada na ich załogi coraz to wyższe wymagania w zakresie posiadanych kwalifikacji oraz obowiązek okresowych szkoleń w celu aktualizacji wiedzy. Wynika to chociażby z charakteru przewożonych ładunków przez niektóre statki (np. chemikaliowce, gazowce, tankowce itp.), stwarzających dodatkowe zagrożenie dla bezpieczeństwa jednostki i jej załogi. Dlatego od osób obsługujących statek wymaga się dodatkowo większej koncentracji, zdolności podejmowania decyzji w warunkach działania czynnika stresującego oraz wysokiej odpowiedzialności zawodowej. Stąd też kształcenie inżynierów odpowiedzialnych za ruch statku powinno odbywać się na odpowiednim poziomie [3, 4].

Biorąc powyższe pod uwagę, pojawił się problem kształcenia inżynierów ruchu (na statku są to: mechanicy, elektrycy i automatycy okrętowi), którzy w tym samym okresie nauki muszą przyjąć zdecydowanie większą porcję zarówno wiedzy teoretycznej, jak i praktycznej. Oczywiście można wydłużyć czas nauki, ale ten zabieg raczej nie przyniosłby oczekiwanych efektów, a i w zdecydowany sposób wpłynąłby na wzrost kosztów kształcenia. Stąd też innym rozwiązaniem jest sięgnięcie po nowe środki i narzędzia dydaktyczne, które pozwolą w tym samym okresie kształcenia przekazać więcej informacji, zapewniając jednocześnie odpowiednią jego jakość. Pożądany efekt w tym zakresie można osiągnąć między innymi dzięki symulatorom [5].

## 2. ROLA SYMULATORÓW WE WSPÓŁCZESNYM KSZTAŁCENIU MECHANIKÓW OKRĘTOWYCH

Obecnie symulatory stają się istotnym narzędziem dydaktycznym w kształceniu mechaników okrętowych. Korzyści płynące z ich stosowania są powszechnie uznane, a są to m.in. [1, 5, 8].

- niższa cena symulatora w porównaniu do obiektu rzeczywistego;
  - możliwy do osiągnięcia stały poziom powtarzalności procesu dydaktycznego;
  - skrócony czas kształcenia;
  - brak konsekwencji zdrowotnych ćwiczącego w trakcie realizacji ćwiczeń z zakresu zachowania się w sytuacjach awaryjnych;
  - możliwość przeprowadzenia dowolnych operacji w „dowolnym” czasie;
  - minimalizacja kosztów związanych szczególnie ze stratami materiałowymi, które z reguły powstają w znacznym stopniu w czasie kształcenia na obiektach rzeczywistych;
  - łatwość rozbudowy systemu;
  - możliwość bardziej obiektywnej oceny ćwiczącego przez zaimplementowanie jednolitego programu testującego;
  - wysoka elastyczność z uwagi na modułową architekturę symulatora.
- Należy jednak dodać, że nie istnieje symulator, który zapewniłby wszystkie wymienione powyżej korzyści.

## 3. KLASYFIKACJA SYMULATORÓW PRZEZNACZONYCH DO KSZTAŁCENIA MECHANIKÓW OKRĘTOWYCH

Obecnie na świecie dostępnych jest

wiele typów symulatorów przeznaczonych do kształcenia mechaników okrętowych, jednak dotychczas nie istnieje ich jednoznaczna klasyfikacja. Fakt ten w pewien sposób utrudnia dyskusję na temat wyników badań nad symulatorami, ich porównania, etc. Autor publikacji [6] proponuje podział symulatorów na 4 klasy, oceniając jednocześnie przydatność wykorzystania danej klasy symulatora w zależności od zadań, jakie muszą wykonywać mechanicy okrętowi na danym stanowisku, tj. poziomie operacyjnym bądź poziomie zarządzania. Są to:

- **Klasa B** (z ang. *Basic Class of simulators*) - symulatory zawierające oprogramowanie typu CBT (Computer Based Training) oraz symulatory podstawowych urządzeń okrętowych, takich jak: kocioł pomocniczy, chłodnia prowiantowa, maszyna sterowa, etc. Ta rodzina symulatorów posiada z reguły formę programu komputerowego bez dodatkowych konsoli, co wpływa na umiarkowany ich koszt. Program taki może być uruchamiany ze zwykłego pojedynczego stanowiska PC;
- **Klasa P** (z ang. *Personal Class of simulators*) - głównie symulatory hybrydowe i tzw. dedykowane (z ang. *hybrid and part task simulators*), przeznaczone dla szkolenia jednej osoby. Są one oferowane jako stanowiska w wersji bez i z nadzorem. Interfejs użytkownika podobny jest do interfejsu symulatorów klasy B, lecz dodatkowo posiada w ofercie konsolę w formie pulpitu;

- **Klasa F** (z ang. *Full Class of simulators*) – symulatory zawierające wysoko zaawansowane oprogramowanie, oddające w znacznym stopniu realizm symulowanych zjawisk. Wyposażenie konsoli tych symulatorów w rzeczywiste wskaźniki, przełączniki, kontrolki, rzeczywiste odgłosy danych operacji jest wręcz obligatoryjne w tej klasie. Podstawową wadą tych symulatorów jest ich bardzo wysoka cena, natomiast ogromną ich zaletą jest możliwość jednoczesnego szkolenia grupy mechaników (np. manewry);
- **Klasa S** (z ang. *Special Class of simulators*) - symulatory, które w porównaniu z klasą B, są bardziej skomplikowane i przystosowane do wykonywania większej ilości zadań i czynności obsługowych. Symulatory te raczej nie zawierają informacji teoretycznych oraz instrukcji obsługowych na temat symulowanego procesu.

Należy dodać, że zastosowanie różnej klasy symulatorów, które są projektowane do realizacji konkretnych zadań edukacyjnych jest niewątpliwie lepszym rozwiązaniem, niż próba zbudowania jednego symulatora, który byłby zdolny wypełnić prawie wszystkie te zadania.

#### 4. OPIS I FUNKCJE KOMPUTEROWYCH PROGRAMÓW TYPU cbt

Jak już wspomniano, programy typu cbt należą do symulatorów klasy B. Programy te symulują tylko jedną wybraną instalację, bądź dane urządzenie siłowni okrętowej, jednak sposób prezentacji jest w nich w miarę szczegółowy i z definicji składa się z [1, 8]:

- opisu zasady działania urządzenia;
- szczegółowego opisu budowy głównych elementów urządzenia, często z wykorzystaniem grafiki w formacie 3D;
- opisu procedur rozruchu i zatrzymania oraz innych charakterystycznych procedur dla danego urządzenia;
- mini-symulatora odwzorowującego działanie wybranego urządzenia;

- testu sprawdzającego.

Doświadczenia praktyczne wynikające z zastosowania interaktywnych programów typu cbt w kształceniu mechaników okrętowych skłoniły autorów referatu [1] do ogólnego stwierdzenia, że programy te mają na celu:

- zapoznać uczącego się z podstawami systemów pomocniczych statku;
- rozwijać zdolności obsługowe uczącego się;
- wyćwiczyć opanowanie uczącego się w sytuacjach awaryjnych;
- rozwinąć posługiwanie się technikami multimedialnymi;
- poszerzać i ugruntować znajomość języka angielskiego;
- wzmocnić intensywność działania uczącego się w trakcie procesu kształcenia;
- skrócić proces dydaktyczny z jednoczesnym podniesieniem jego jakości;
- stworzyć system oceny szkolonego bardziej obiektywnym.

Uwzględniając powyższe, można postawić hipotezę, że programy tego typu przyczyniają się do wzrostu sprawności nauczania w szerokim zakresie prowadzonego procesu dydaktycznego.

#### 5. STRUKTURA EDUKACYJNEGO PROGRAMU KOMPUTEROWEGO TYPU cbt – REFRIGERATING PLANT

Interaktywny program **Refrigerating Plant** (Chłodnia Prowiantowa) jest przeznaczony do nauczania podstawowych zasad obsługi urządzenia chłodniczego. W obecnym kształcie jest on drugą, rozszerzoną wersją programu o tej samej nazwie z roku 1997 [2]. Obecna wersja programu (dostępna tylko wersja anglojęzyczna) odpowiada współczesnym standardom stawianym symulatorom typu cbt.

Generalnie, program ten został rozbudowany o informacje teoretyczne (wybrane podstawowe zagadnienia dotyczące bezpośrednio symulowanego procesu), informacje praktyczne (istotne uwagi eksploatacyjne związane bezpośrednio z symulowanym procesem) oraz test sprawdzający, obejmujący zakres wiadomości przedsta-

wiony w całym programie.

Struktura programu składa się z 8 modułów, których nazwy są widoczne w oknie głównego menu, a są to :

- Basic parameters of the thermodynamic state (podstawowe parametry stanu termodynamicznego),
- Thermodynamic of vapours – fundamentals (podstawy termodynamiki par),
- Vapour – compression refrigeration cycle (sprężarkowy obieg chłodniczy),
- Equipment (wyposażenie techniczne urządzenia chłodniczego),
- Main automatic controls and safety devices (podstawowe elementy automatyki chłodniczej),
- Operating procedures (procedury obsługowe chłodni prowiantowej),
- Simulator (symulator chłodni prowiantowej),
- Assessment (test sprawdzający).

Powyższe moduły stanowią integralne części całego programu. Oznacza to, że osoba szkoląca się może w dowolnym, ustalonym przez siebie porządku z nich korzystać. Jednak zalecanym trybem pracy jest tryb hierarchiczny, tj. sposób uczenia się, w którym szkolący się analizuje moduły w kolejności od pierwszego do ostatniego. Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę poszczególnych modułów.

##### 5.1. Basic parameters of the thermodynamic state (podstawowe parametry stanu termodynamicznego)

Moduł ten zawiera niezbędne informacje teoretyczne, istotne dla lepszego pojmowania i analizy procesów zachodzących w trakcie pracy jednostopniowego sprężarkowego układu chłodniczego. Znajdują się tam informacje na temat podstaw wymiany ciepła oraz definicje, jednostki i sposoby wyznaczania podstawowych parametrów stanu, takich jak: temperatura, ciśnienie, objętość właściwa, entropia, entalpia, tj. te, które występują na wykresie Molliera dla czynnika chłodniczego. Niektóre informacje są również poparte przykładami obliczeniowymi.

##### 5.2. Thermodynamic of vapours – fundamentals (podstawy termodynamiki par)

Moduł ten zawiera podstawowe informacje teoretyczne z zakresu termodynamiki par. W sposób obrazowy przedstawiono w nim proces izobarycznego parowania płynu. Ponadto wprowadzono definicję stopnia suchości, opisano szczegółowo budowę wykresów termodynamicznych: T-s i p-h (rys. 1), podając przy tym przykładowy skan oryginalnego wykresu Molliera dla czynnika R 134a.

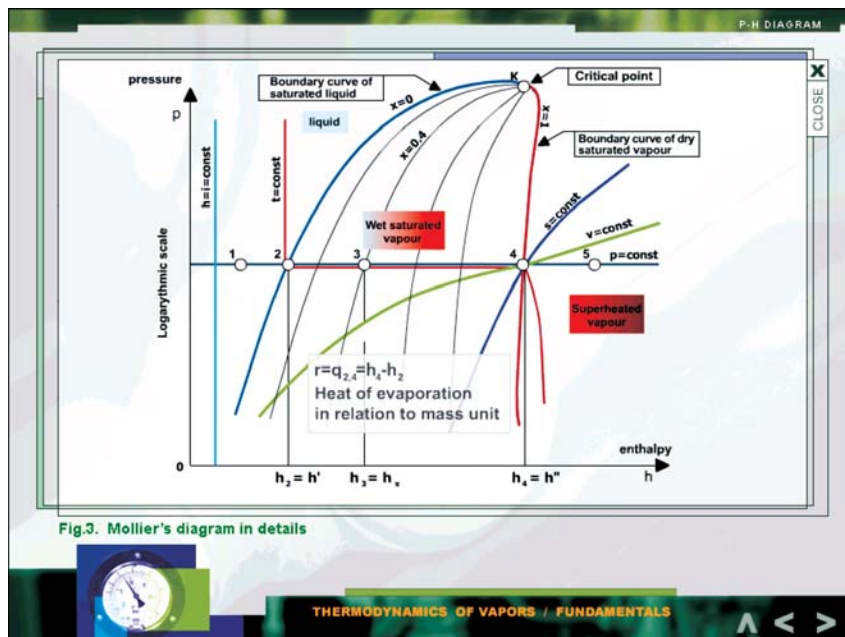
### 5.3. Vapour – compression refrigeration cycle (sprężarkowy obieg chłodniczy)

W tym module przedstawiono ogólne informacje na temat techniki chłodniczej. Podano definicję chłodzenia, wymieniono znane metody obniżania temperatury. Przedstawiono teoretyczny (Carnota) i porównawcze (mokry i suchy obieg Lindego) obiegi chłodnicze. Szczegółowo opisano zasadę działania jednostopniowego sprężarkowego obiegu chłodniczego z wymiennikiem regeneracyjnym (analizując wszystkie linie przemian obiegu na wykresie p-h). Podano także wzory i definicje wielkości charakterystycznych symulowanego obiegu. W końcowej części podano przykład obliczeniowy i ilustrację graficzną zmian wybranych wielkości analizowanego obiegu chłodniczego.

### 5.4. Equipment (wyposażenie techniczne sprężarkowego urządzenia chłodniczego)

Moduł ten zawiera informacje teoretyczne na temat budowy oraz zalecenia praktyczne dotyczące obsługi podstawowych elementów instalacji chłodniczej, tj. sprężarki, skraplacza, zaworu dławiącego, parownika, wymiennika regeneracyjnego, odolejacza, odwadniacza, wziernika przepływu, zaworów odcinających, termometrów oraz manometrów chłodniczych. Oprócz tekstu, informacje te przedstawiono w postaci zdjęć wymienionych elementów, przekrojów, rysunków w technice 3D oraz wykorzystując animacje komputerowe np. przy wyjaśnianiu zasady działania termostycznego zaworu rozprężnego z wewnętrznym wyrównaniem ciśnienia (rys. 2).

### 5.5. Main automatic controls and



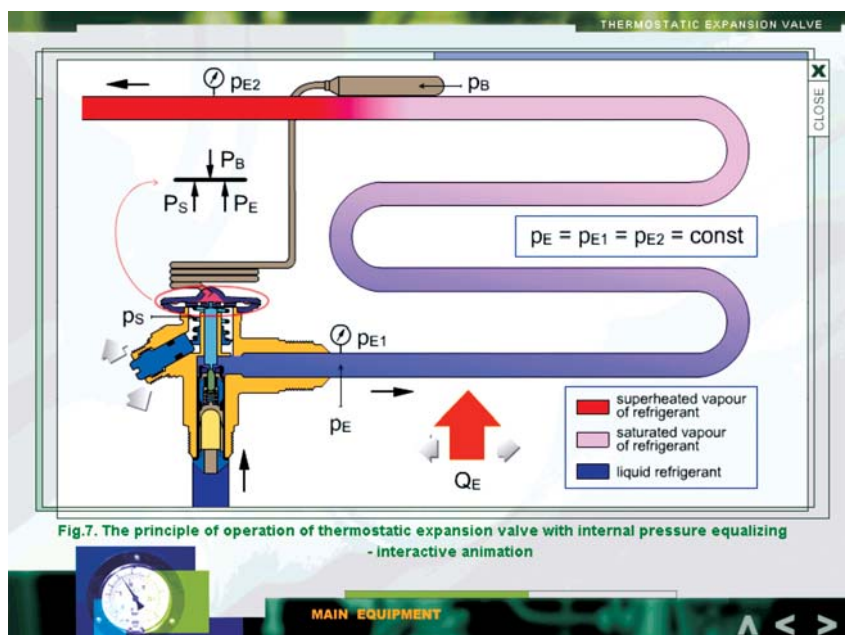
Rys. 1. Ekran przedstawiający przemiany termodynamiczne na wykresie Molliera

### safety devices (podstawowe elementy automatyki chłodniczej)

W tej części zawarto informacje na temat rodzajów, budowy, zasady działania oraz nastawy podstawowych elementów automatyki chłodniczej, tj. presostatu niskiego i wysokiego ciśnienia, presostatu różnicowego, termostatu komorowego (pokazano w sposób graficzny jego nastawianie według specjalnego nomogramu, rys. 3), zaworu stałego ciśnienia oraz zaworu bezpieczeństwa.

### 5.6. Operating procedures (procedury obsługowe chłodni prowiantowej)

Część ta zawiera dane wstępnych nastaw elementów automatyki oraz szczegółowy opis, jak obsługiwać „krok po kroku” tego typu chłodnię prowiantową. Jest to swego rodzaju instrukcja obsługi, która została podzielona na poszczególne zadania, nazywane często w nomenklaturze eksploatacyjnej - procedurami. W trakcie analizowania treści procedury,



Rys. 2. Ekran obrazujący zasadę działania termostycznego zaworu rozprężnego z wewnętrznym wyrównaniem ciśnienia – animacja interaktywna

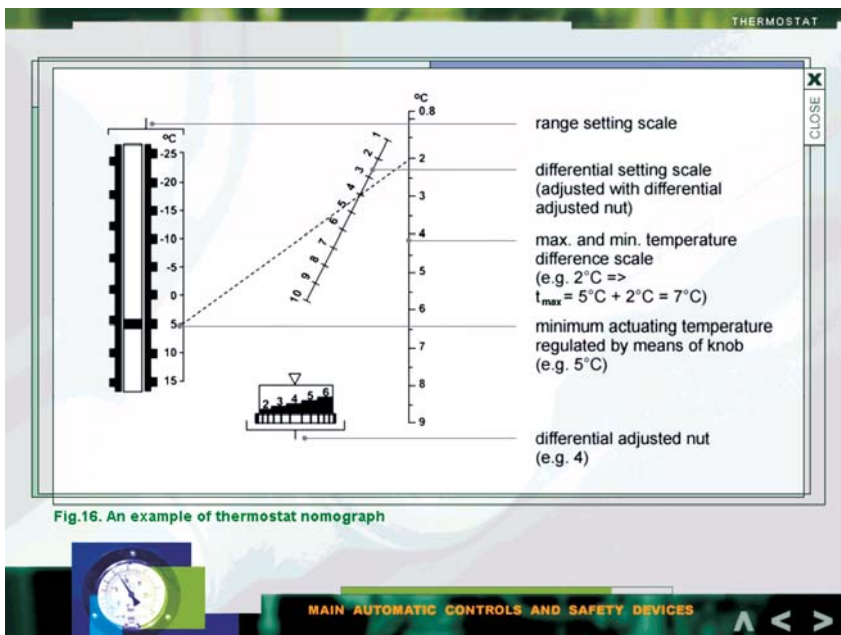


Fig. 16. An example of thermostat nomograph

Rys. 3. Ekran przedstawiający nomogram do nastawiania termostatu komorowego

użytkownik ma zawsze możliwość podglądu panelu sterującego oraz schematu instalacji chłodniczej symulatora. Opisano następujące procedury [9]:

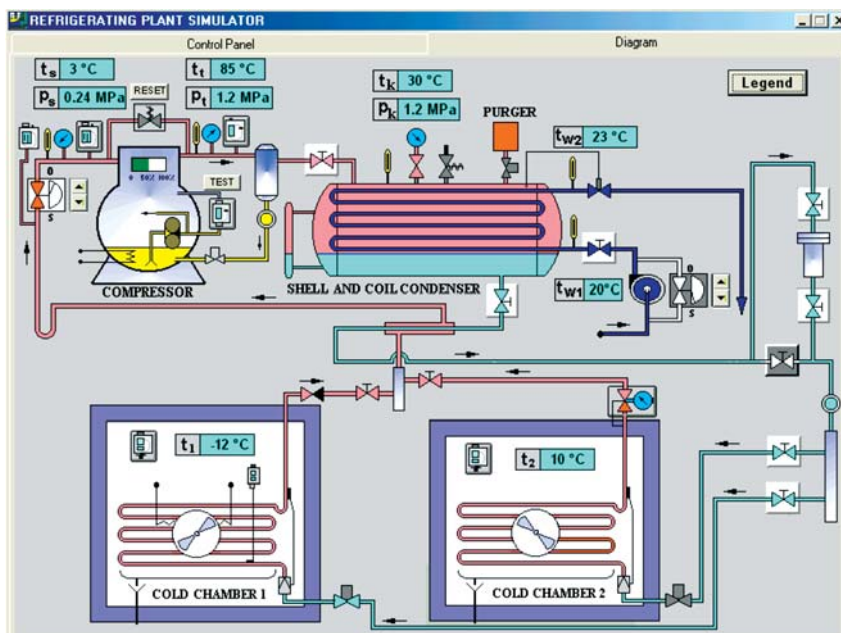
a) związane z ruchem:

- uruchomienie urządzenia chłodniczego;
- praca ciągła urządzenia chłodniczego;
- zatrzymanie urządzenia chłodniczego;
- automatyczne odszranianie parownika komory „ciężkiej”;
- ręczne odszranianie parownika

komory „ciężkiej”;

b) związane z nastawą elementów automatyki:

- ustawianie minimalnego ciśnienia ssania na presostacie minimalnym;
- ustawianie dopuszczalnego ciśnienia tłoczenia na presostacie maksymalnym;
- ustawianie dopuszczalnej minimalnej różnicy ciśnień na presostacie różnicowym;
- ustawianie wartości zadanej temperatury w komorach



Rys. 4. Ekran przedstawiający schemat instalacji dwukomorowej chłodni prowiantowej

chłodniczych na termostatach komorowych.

Obok przytoczonych wyżej możliwości edukacyjnych prezentowanego programu, można w nim zasymulować pewne niesprawności lub nieprawidłowości obsługi urządzenia chłodniczego, np. niezgodne z instrukcją zamknięcie niektórych zaworów (np. zaworu na ssaniu sprężarki), zmniejszenie intensywności chłodzenia skraplacza, wyłączenie z pracy jednej z komór chłodniczych itp.

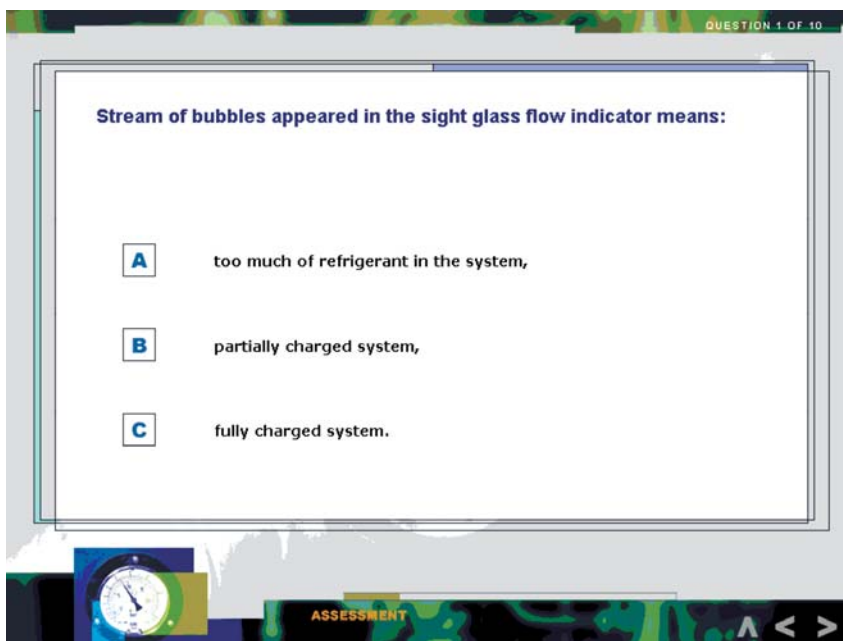
### 5.7. Simulator (symulator chłodni prowiantowej)

Program symulujący pracę chłodni prowiantowej został opracowany dla chłodni dwukomorowej na czynnik chłodniczy R 22 z jedną jednostopniową sprężarką tłokową oraz z regeneracją ciepła w wymienniku regeneracyjnym. Komora 1 (popularnie zwana „ciężką”) przeznaczona jest do uzyskiwania temperatur ujemnych w zakresie od  $-30^{\circ}\text{C}$  do  $-15^{\circ}\text{C}$ , natomiast komora 2 (popularnie zwana „lekką”) przeznaczona jest do uzyskiwania temperatur dodatnich w zakresie od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $+15^{\circ}\text{C}$ . Schemat omawianej instalacji chłodniczej pokazano na rysunku 4.

### 5.8. Assessment (test sprawdzający)

Moduł ten składa się z testu sprawdzającego zawierającego 10 z kilkudziesięciu losowo wybieranych pytań. Każde z pytań posiada trzy odpowiedzi, z których tylko jedna jest poprawna (rys. 5). W przypadku, gdy użytkownik udzielił odpowiedzi niepoprawnej, wówczas na dole ekranu wyświetli mu się odpowiedź prawidłowa, jednak raz udzielonej odpowiedzi nie może już poprawić. Na koniec testu, osoba ćwicząca jest informowana w procentach o ilości udzielonych poprawnych odpowiedzi.

Poruszanie się po programie jest proste, wręcz intuicyjne. Generalnie wszystko obsługiwane jest za pomocą myszy komputerowej. Dostępne są następujące klawisze nawigacyjne: „^” – oznacza wyjście na wyższy poziom, opuszczenie danej aplikacji, „<” – oznacza przejście na poprzedni



Rys. 5. Przykładowe okno dialogowe testu sprawdzającego

**Training report**  
CBT: Refrigeration System

Trainee name: Cezary Sopol		Total time used: 25 minutes	
Date completed: 18 September 2003			
Lesson	Completed	Test score	
1. Basic parameters of the thermodynamic state	64 %		
2. Thermodynamic of vapors / Fundamentals	100 %		
3. Vapour-compression refrigeration cycle	78 %		
4. Equipment	56 %		
5. Main automatic controls and safety devices	82 %		
6. Operating procedures	41 %		
7. Simulator	100 %		
8. Assessment	100 %	7 correct of 10	70 %
Total	78 %		

PRINT EXIT

Rys. 6. Przykład wydruku końcowego raportu dla szkolonego

ekran w obrębie danej aplikacji, „>” – oznacza przejście na następny ekran w obrębie danej aplikacji, „x” – zamknięcie danej aplikacji oraz klawisz „Exit”, którego naciśnięcie powoduje opuszczenie programu i jednocześnie wywołanie raportu (z ang. *training report*, rys. 6), który zawiera następujące dane: imię i nazwisko szkolącego się, datę, całkowity czas korzystania z symulatora, stan zaawansowania korzystania z poszczególnych modułów programu wyrażony w procentach oraz wynik testu. Zawartość powyższego ra-

portu można pominąć lub wydrukować.

## 6. PODSUMOWANIE

Niewątpliwie program komputerowy typu cbt o nazwie **Chłodnia Prowiantowa** jest nowoczesnym narzędziem dydaktycznym. Jego zastosowanie w kształceniu przyszłych mechaników okrętowych powinno prowadzić do lepszego poznania przez nich zasad obsługi chłodni prowiantowej na statku. Oczywiście sukces dydaktyczny w

tym przypadku zależy od klasy symulatora (m.in. zastosowanego modelu matematycznego, który ma znaczny wpływ na odczucia i wrażenia u osób ćwiczących, jakości testu sprawdzającego, etc), przygotowania instruktora prowadzącego zajęcia, ale i w dużej mierze zależy również od zaangażowania się w proces edukacyjny samego użytkownika programu.

## LITERATURA:

- [1] Cwilewicz R., Tomczak L., Pudłowski Z.: *The development and application of computer-based training programs in maritime engineering education*, Global J. of Engng. Educ., Vol. 7, No. 2, Melbourne (Australia), 2003.
- [2] Depta A.: *Program komputerowy: symulator chłodni prowiantowej*, „Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna”, 1997, Nr 4.
- [3] Hajduk T., Bonca Z.: *The application of checklists in the field of complex system operation based on the operating experiences of a liquefied petroleum gas-handling simulator*, 7<sup>th</sup> Baltic Region Seminar on Engineering Education, Sankt Petersburg (Rosja), 2003.
- [4] Hajduk T., Herdzik J., Bonca Z.: *Wykorzystanie list sprawdzających czynności obsługowe w symulatorze operacji ładunkowych gazowca LPG*, Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna, 2003, Nr 6-7.
- [5] Cwilewicz R., Hajduk T.: *Application of a liquefied petroleum gas-handling simulator – LPG type as a modern didactic tool in marine engineering education*, 5<sup>th</sup> Baltic Region Seminar on Engineering Education, Gdynia 2001.
- [6] Kluj S.: *On the application of the appropriate type of simulators for the specific learning objectives*, Polish Maritime Research, Nr 1, Gdańsk, 2002.
- [7] Kluj S.: *On implementation of the standard operational procedures to the engine room simulators*, Polish Maritime Research, Nr 1, Gdańsk, 2003.
- [8] Tomczak L.: *The role of computer based training for marine engineers*, Polish Maritime Research, Nr 4, Gdańsk, 2001.
- [9] *Refrigerating plant simulator*, Operator's guide, Unitest Marine Training Software, Gdańsk, 1997. 