

Tomasz Nowak
Akademia Morska w Gdyni

ISTOTA WIELOKRYTERIALNEGO PODEJMOWANIA DECYZJI REMONTOWO-MODERNIZACYJNYCH W OKRĘTOWYCH SYSTEMACH ELEKTROENERGETYCZNYCH

Artykuł zawiera zagadnienia związane z optymalizacją wyboru urządzeń elektrycznych podczas prac remontowych lub modernizacyjnych okrętowego systemu elektroenergetycznego. Wybór tych urządzeń w warunkach rynkowych powinien być efektywny technicznie i ekonomicznie. Rezultatem powinien być wybór optymalny.

WPROWADZENIE

Podjęcie decyzji i rozwiązywanie wielu problemów jest integralną częścią życia człowieka. Jednakże podjęcie trafnej decyzji w sytuacjach złożonych nie jest ani proste, ani jednoznaczne. Pojawia się bowiem wiele cech opisujących dane zjawisko mających wpływ na ostateczny wybór.

Przykładem takiego problemu jest podjęcie decyzji o remoncie czy modernizacji okrętowych systemów elektroenergetycznych. Należy tu wziąć pod uwagę zarówno mnogość elementów, które podlegają analizie technicznej, jak i kryteria ekonomiczne.

1. SPECYFIKA ELEKTROENERGETYCZNEGO SYSTEMU STATKU

Współczesne systemy i urządzenia okrętowe wymagają zasilania elektrycznego o standaryzowanej jakości dotyczącej zmian napięcia, częstotliwości, dopuszczalnych odkształceń i asymetrii przebiegu napięcia. Ze względu na bezpieczeństwo oraz na możliwe poważne straty ekonomiczne w przypadku nieprawidłowego działania okrętowego systemu elektroenergetycznego zachodzi konieczność budowy systemów elektroenergetycznych o dużej niezawodności.

Na statkach powszechnie stosuje się prądnice synchroniczne samowzбудne stabilizowane za pomocą regulatora prędkości obrotowej (utrzymywanie częstotliwości) i regulatora napięcia (stabilizacja napięcia). Główne trudności w takim systemie wynikają z małej mocy prądnic w stosunku do mocy odbiorników przy jed-

noczesnych przypadkowych, dużych zmianach obciążenia oraz zwartości systemu. W odróżnieniu od systemów lądowych system okrętowy jest podatny na zmiany obciążenia. Zachowanie parametrów energii elektrycznej determinuje więc stabilną pracę wszystkich systemów statku, a w szczególności układów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo i manewrowość statku.

Zużycie elektroenergetycznego systemu okrętowego następuje na skutek oddziaływań zewnętrznych warunków morskich i środowiskowych, zmian technologicznych wynikających z cech konstrukcyjnych urządzeń przy ograniczonym nadzorze załogi determinowanym jej liczbą i fachowością.

Gruntowne inspekcje powinny być dokonywane podczas remontów w ramach przeglądów narzuconych przez towarzystwa klasyfikacyjne, a w szczególności podczas przeglądu odnowienia klasy. Jednakże w czasie tych przeglądów inspekcje nie zawsze są gruntowne, gdyż tylko część wyposażenia podlega przewidzianemu przeglądowi, a potrzebna modernizacja jest pomijana, gdyż brakuje narzędzia argumentującego zasadność działania modernizacyjnego w perspektywie polepszenia parametrów energii elektrycznej i korzyści ekonomicznych uwzględniających koszty inwestycyjne.

2. PROGRAM INWESTYCYJNY I POLITYKA REMONTOWA W OKRĘTOWYM SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

Utrzymanie okrętowego systemu elektroenergetycznego w pełnej gotowości i zdatności do spełniania swoich zadań obejmuje: codzienne czynności konserwacyjne, przeglądy okresowe oraz planowe i nieplanowe remonty. Jednakże można zaobserwować, że po przekroczeniu pewnego wieku elementów okrętowego systemu elektroenergetycznego następuje szybki wzrost kosztów eksploatacyjnych będący wynikiem częstych i głębokich awarii oraz szybkiego pogarszania się sprawności urządzeń itp.

Aby zatem okrętowy system elektroenergetyczny spełniał swe zadania z należytą jakością, należy planować jego pracę, właściwie go eksploatować i zapewnić pełne realizowanie podstawowych funkcji wytwórczych, przesyłowych i odbiorczych. Warunkiem osiągnięcia optimum eksploatacyjnego rozumianego jako maksymalizacja efektu gospodarczego przy minimalnych kosztach jest należąca polityka remontowa lub modernizacyjna będąca skutkiem przyjętego i przeprowadzanego programu inwestycyjnego.

Zadaniem inwestycji odtworzeniowych jest utrzymanie na stałym poziomie pracy okrętowego systemu elektroenergetycznego.

Natomiast inwestycja racjonalizatorska, zwana modernizacją, ma na celu obniżenie kosztów eksploatacyjnych, unowocześnienie fragmentów istniejącego okrętowego systemu elektroenergetycznego oraz podwyższenie jakości jego działania poprzez przywrócenie i polepszenie środkom produkcji parametrów technicznych, jakie miały w chwili ich instalowania.

Podjęcie decyzji o modernizacji racjonalizatorskiej lub inwestycji odtworzeniowej odbywa się po odpowiednim porównaniu techniczno-ekonomicznym: z jednej strony analizuje się utrzymanie stanu istniejącego przez następne n lat, z drugiej – zmianę tego stanu przez zainstalowanie nowego urządzenia bądź zmianę parametrów technicznych istniejącego urządzenia. Zmiana taka wiąże się z nakładami inwestycyjnymi, ale jednocześnie w efekcie tych nakładów ma obniżyć koszty eksploatacyjne. Wnikliwie należy oszacować dynamikę pogarszania się z upływem lat stanu i parametrów pracy starego urządzenia.

Wobec tego przy porównaniu należy wziąć pod uwagę wzrost efektów po przeprowadzeniu modernizacji, np. wzrost dyspozycyjności urządzenia, zmniejszenie kosztów remontów, zmniejszenie obciążenia personelu obsługującego.

Przed podjęciem decyzji o realizacji inwestycji wykonywane są wstępne opracowania projektowe. Celem ich jest dokładne zapoznanie się z problematyką techniczną, kosztową, ekonomiczną i finansową oraz opracowanie wstępnej dokumentacji, która pozwala na podjęcie decyzji o celowości realizacji inwestycji.

Każde zagadnienie techniczne może zostać rozwiązane na co najmniej dwa sposoby (alternatywy). Jeżeli rozwiązań jest więcej niż dwa, to mówi się o wariantach. Alternatywy lub warianty muszą być równoważne pod względem: spełnienia stawianych im zadań, jakości, niezawodności i dyspozycyjności oraz okresu użytkowania. Różnice pomiędzy wariantami w czasowym rozkładzie nakładów inwestycyjnych, efektów produkcyjnych, zmiany dyspozycyjności oraz różne okresy użytkowania są sprowadzane do równoważności za pomocą rachunku dyskonta. Wyboru spośród wariantów (lub alternatyw) dokonuje się na podstawie analizy techniczno-ekonomicznej.

Analiza techniczna obejmuje porównanie wskaźników technicznych, a analiza kosztowa ma na celu określenie nakładów inwestycyjnych niezbędnych do realizacji inwestycji. Analiza ekonomiczna przeprowadzana jest po sprowadzeniu efektów technicznych rozwiązań wariantowych (lub alternatywnych) do ścisłej porównywalności i obejmuje:

- porównanie nakładów inwestycyjnych (całkowitych i jednostkowych),
- porównanie całkowitych kosztów eksploatacyjnych rocznych i jednostkowych,
- stosowanie rachunku dyskonta nakładów inwestycyjnych, efektów i kosztów eksploatacyjnych,
- uwzględnienie dynamiki analizowanych procesów,
- ekonomiczne porównanie wariantów rozwiązań technicznych.

Analiza finansowa obejmuje przedstawienie gospodarki kapitałem niezbędnym do realizacji danego rozwiązania technicznego. Obejmuje ona przedstawienie źródeł finansowania inwestycji.

3. NORMALIZACJA I AGREGACJA

Aby możliwy był trafny wybór fragmentów okrętowego systemu elektroenergetycznego zakwalifikowanych do modernizacji, należałoby porównać między sobą te fragmenty i stworzyć ich ranking. W wielu dziedzinach ma się do czynienia ze zjawiskami złożonymi. Jak sama nazwa wskazuje, zjawiska złożone zazwyczaj charakteryzowane są wieloma różnorodnymi cechami, które wykazują różne rzędy wielkości i mają różne miana. Porównania rozmaitych obiektów w zakresie zjawisk złożonych stwarzają konieczność sporządzenia ich ocen, a w dalszej kolejności konstrukcji rankingu. Wielokryterialna ocena złożonego zjawiska w różnych obiektach staje się możliwa, gdy przekształci się wartości cech charakteryzujących dany obiekt w celu ich ujednoczenia. Po przekształceniu zmienne są pozbawione mian i przybierają wartości ze zbliżonego rzędu wielkości. Sposoby transformacji wartości oryginalnych cech (zmiennych) diagnostycznych są nazywane metodami normowania. Dalej te unormowane zmienne poddawane są procesowi agregacji prowadzącemu do otrzymania zmiennej syntetycznej charakteryzującej dany obiekt ze względu na zjawisko złożone. Znajomość ocen obiektów pozwala na konstrukcję ich rankingu, tzn. układu, w którym obiekty są uporządkowane w kolejności od najlepszego do najgorszego ze względu na wartość zmiennej syntetycznej (agregatywnej).

Z opisem zjawiska złożonego łączą się także inne pojęcia:

- zbiór wyjściowy zmiennych opisujących zjawisko złożone W ,
- zbiór zmiennych diagnostycznych X ,
- zbiór zmiennych syntetycznych (agregatowych) Q ,
- zbiór zmiennych zredukowanych w procesie wyboru Y ,
- zbiór zmiennych unormowanych Z .

Ze zbioru W otrzymuje się w kilkustopniowym procesie zbiór zmiennych syntetycznych Q . Ważnym etapem jest odrzucenie części zmiennych i wybranie z wyjściowego zbioru zmiennych tworzących zbiór X . Zmienne te powinny jak najlepiej charakteryzować badane zjawisko złożone. Te z kolei poddawane są jednej z metod normowania i tworzą zbiór zmiennych unormowanych Z . Zmienne z tego zbioru są sprowadzone do stanu porównywalności, pozbawione są mian. Właściwości te umożliwiają przeprowadzenie procedury agregacyjnej, w której efekcie uzyskuje się zbiór zmiennych agregatowych Q . Zmienna syntetyczna dostarcza zatem zobiektywizowaną ocenę obiektu i określa poziom danego zjawiska w rozpatrywanych obiektach. Zmienna syntetyczna powstaje ze zmiennych unormowanych – jest zatem również ujednoczona i pozbawiona miana i może stanowić podstawę w procesie konstrukcji rankingu obiektów. Ranking rozumie się jako uporządkowanie obiektów nierosnąco ze względu na oceny reprezentowane przez wartości zmiennych syntetycznych. Ranking jest bardzo często podstawą podjęcia ważnej decyzji.

4. WIELOATRYBUTOWE METODY DECYZYJNE

Spośród wielu metod decyzyjnych w artykule wymieniono dwie, które wydają się być najbardziej właściwe ze względu na analizowany problem decyzyjny w okrętowych systemach elektroenergetycznych.

Pierwszą z metod jest metoda wyboru rozmytego zaproponowana przez Yagera. Drugą metodą jest metoda AHP (Saaty) wraz z jej rozmytym rozwinięciem (Yager).

Problem wyboru elementów systemu elektroenergetycznego do remontu jest problemem złożonym, w którym występuje bardzo duża liczba wariantów decyzyjnych. Dodatkowo nie zawsze ma się pełną informację o tych wariantach. Ze zbioru takich wariantów trzeba wybrać jedynie niewielki ich podzbiór, który dalej będzie przetwarzany i analizowany. Do tego celu właściwe wydaje się zastosowanie metody wyboru rozmytego (*fuzzy screening system*). System wyboru rozmytego, przedstawiony przez Yagera, jest procedurą pozwalającą na wybór spośród wielkiej liczby wariantów (alternatyw) małego podzbioru do dalszego przetwarzania. Opiera się ona na pewnej informacji wstępnej, niekoniecznie precyzyjnej, wykorzystując skalę nienumeryczną. Mała ilość informacji związanej z każdym z wariantów decyzyjnych komplikuje problem, gdyż ogranicza operacje, które mogą być wykorzystane w procesie agregacji. Szczególnie operacje niezbędne do uwzględnienia w obliczeniach wielu ekspertów i wielu kryteriów. Propozycja Yagera pozwala poradzić sobie z tym problemem i wykonać niezbędne obliczenia (agregacje) z uwzględnieniem braku szczegółów dotyczących każdego z wariantów decyzyjnych. System wyboru rozmytego jest dwufazowym procesem. W pierwszym etapie każdy z ekspertów proszony jest o podanie oceny dla każdej z alternatyw (dla każdego wariantu decyzyjnego). Ocena ta polega na oszacowaniu każdego z wariantów względem każdego z kryteriów, przy czym kryteria te mogą mieć różne wagi. Wartości użyte do oceny wariantów i wag są wyrażone w skali lingwistycznej. Każde kryterium może mieć inny stopień znaczenia. Do metody tej potrzebna jest jedynie minimalna ilość informacji dotyczących poszczególnych wariantów. Wystarczy tutaj tylko preferencja wyrażona na skali uporządkowania liniowego. Ponieważ eksperci wyrażają swoją opinię w postaci lingwistycznej, takiej jak: średni, mały, wysoki, łatwo zauważyć, że potrzebują do tego opisu minimalną ilość informacji. W drugim etapie dokonuje się agregacji ocen poszczególnych ekspertów, aby otrzymać całkowitą wartość lingwistyczną dla każdej zmiennej. Ta końcowa ocena może być wykorzystana jako pomoc przy podejmowaniu decyzji w procesie selekcji.

Metoda AHP Saaty'ego posiada rozmyte rozwinięcie (Yager). Może być zatem używana, gdy oceny mają postać lingwistyczną. W metodzie Yagera pierwsze kroki postępowania są identyczne jak w metodzie Saaty'ego. Najpierw tworzy się wektor wag dla kryteriów oraz ranking obiektów względem kryteriów. Następnie realizuje się ranking globalny (agregacja).

5. PRZYKŁAD PROCESU MODERNIZACYJNEGO CZĘŚCI SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

Wielokryterialna analiza doboru elementów okrętowego systemu elektroenergetycznego wymaga obróbki szerokiego spektrum jednocześnie analizowanych danych za pomocą odpowiedniego oprogramowania. W tym celu stworzono programy obliczeniowe będące podstawą strategii analizy wielokryterialnej. Program „Multi Criteria Decision Making” umożliwia obliczeniową weryfikację podejmowanej decyzji na podstawie analizy matematycznej poprzez agregację danych wejściowych (atrybutów o odpowiedniej wadze) zdefiniowanych poprzez decydenta (eksperta). Wariant optymalny w rozpatrywanym zbiorze decyzyjnym uzyskuje największą wartość w stosunku do poziomu odniesienia, jakim jest liczba 1.

W celu zapewnienia bezawaryjnego zasilania dla urządzeń ważnych dla bezpieczeństwa systemu zasilania należy dobrać odpowiedni zespół prądotwórczy spełniający założone wymagania:

- moc pozorna ok. 150 [kVA] – obliczona minimalna moc pozorna zespołu prądotwórczego powinna być większa od wartości 126,8 [kVA]; należy przyjąć ok. 20-procentową rezerwę mocy na potrzeby regulacyjne oraz możliwą rozbudowę układu zasilania,
- automatyczny rozruch,
- wyposażony w układ SZR,
- krótki czas rozruchu do 15 s,
- bezproblemowa współpraca z zasilaczem UPS,
- przeznaczony do zasilania awaryjnego – eksploatacja czasowa.

Dokonano wstępnie wyboru ofert czterech firm, mających w swym asortymencie zespoły prądotwórcze oraz posiadających zaplecze techniczne i doświadczenie w ich montażu i serwisie. Zestawienie ofert tych firm przedstawiono w tabeli 1. Wszystkie przedstawione agregaty prądotwórcze spełniają postawione wymagania.

Następnie parametry oferowanych agregatów poddano analizie wielokryterialnej, przyporządkowując warianty wyboru poszczególnym firmom wraz z odpowiednimi atrybutami będącymi parametrami technicznymi poszczególnych agregatów.

Tabela 1

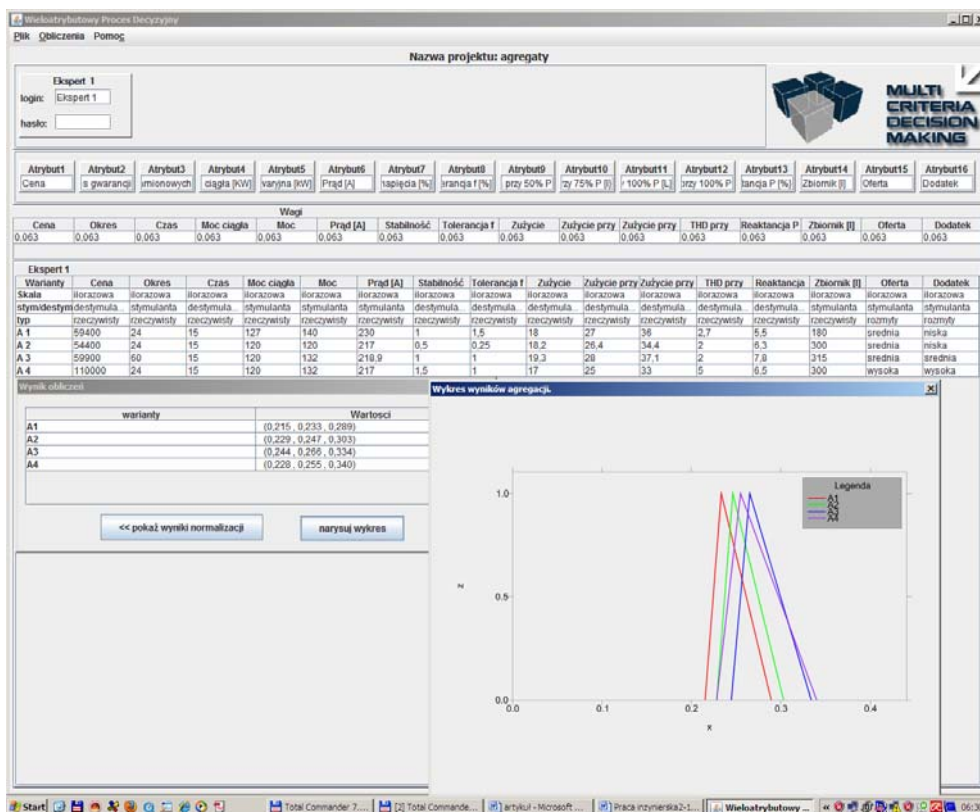
Zestawienie zebranych ofert handlowych na zespół prądotwórczy

Warianty	A1	A2	A3	A4
Atrybuty	EPS System GI 176 A60	Siltec (producent FG Wilson) P 150E	Akmeł Mielec FV 150 ASG	Fast Grup Hercules D/IA-150P
Cena	14 860 EURO ok. 59 400 PLN	13 594 EURO ok. 54 400 PLN	59 900 PLN	27 500 EURO ok. 110 000 PLN
Okres gwarancji	24 miesiące	24 miesiące	60 miesięcy z limitem 1000 Mh	b.d.
Czas osiągnięcia parametrów znamionowych [s]	b.d.	do 15	znamionowy do 30, z możliwością nastawienia 15	do 15 s

cd. tab. 1

Warianty	A1	A2	A3	A4
Atrybuty	EPS System GI 176 A60	Siltec (producent FG Wilson) P 150E	Akmeł Mielec FV 150 ASG	Fast Grup Hercules D/IA-150P
Moc ciągła <i>PRP</i> (wg PN-ISO 8528-1) [kVA/kW]	159/127	150/120	150/120	150/120
Moc awaryjna <i>LTP</i> (wg PN-ISO 8528-1) [kVA/kW]	175/140	brak możliwości przeciążenia	165/132	165/132
Prąd [A]	230	217	218,9	217
Stabilność napięcia [%]	1	±0,5%	±1%	1,5
Tolerancja częstotliwości	1,5%	0,25%	±1	–
Zużycie paliwa przy obciąż. 50% [L/h]	–	18,2	19,3	17
Zużycie paliwa przy obciąż. 75% [L/h]	(29 dla 80% obciąż.)	26,4	28	25
Zużycie paliwa przy obciąż. 100% [L/h]	36	34,4	37,1	33
<i>THD_v</i> przy 100% obciąż. [%]	< 2,7	2	< 2	< 5
Reaktancja prądnic <i>X_{d'}</i> [%]	5,5	6,3	7,8	–
Pojemność zbiornika [L]	180	300	315	300
Zakres oferty	wyposażenie agregatu w płyny eksploatacyjne: olej silnikowy, ciecz chłodząca, brak oleju napędowego; dokumentacja techniczna w języku polskim; układ SZR	wyposażenie agregatu w płyny eksploatacyjne; układ SZR; dokumentacja i instrukcja w języku polskim	transport, akumulatory, układ SZR, podłączenie do instalacji, szkolenie	transport, akumulatory, układ SZR, wyposażenie agregatu w płyny eksploatacyjne; układ SZR; dokumentacja i instrukcja w języku polskim; w standardzie tłumik – 20 [dB]
Usługi dodatkowe	zabudowa agregatu wg opisu z dostawą niezbędnych mate- riałów w cenie 2,9 tys. PLN; serwis gwarancyjny i pogwarancyjny; podłączenie do przygotowanej instalacji, testy, szkolenie w cenie 880 PLN; transport – 2 PLN/km	dostawa, podłączenie do przygotowanej instalacji, testy oraz szkolenie w cenie ok. 2 tys. PLN	w okresie gwa- rancyjnym i pogwarancyjnym usługa stałej konserwacji; możliwa pogwarancyjna umowa serwisowa	podłączenie do przygotowanej instalacji, testy oraz szkolenie; serwis

W wyniku przeprowadzonej analizy matematycznej za pomocą programu wielokryterialnego wspomagania decyzji, otrzymanych ofert i zdobytych informacji o zespołach prądowców uzyskano informację pozwalającą dokonać wyboru optymalnego agregatu spełniającego wszystkie założone wymagania. Wybrano ofertę firmy Akmel Mielec – FV 150 ASG. Analiza wielokryterialna potwierdza wybór intuicyjny eksperta, będący efektem wyboru na podstawie rozpatrzenia parametrów zawartych w tabeli.



Rys. 1. Obraz ekranu komputera przedstawiający etapy analizy wielokryterialnej dotyczącej wyboru oferty agregatu [oprac. własne]

PODSUMOWANIE

Współczesna technika komputerowa pozwala w stosunkowo nieskomplikowany sposób zrealizować wspomniane techniki wspomagania decyzji w postaci programów komputerowych. W artykule stwierdzono, że informacje i dane o większości z atrybutów, uzyskane podczas oględzin, nie spełniają wymogów klasycznej

nych metod agregacji i normalizacji. W związku z tym nie mogą być wykorzystane do rozwiązania tego problemu w prosty sposób. Dodatkowo zadanie komplikuje bardzo duża liczba wariantów decyzyjnych. Zaproponowano zatem wykorzystanie metody wyboru rozmytego (Yagera), która pozwala na uwzględnienie danych nie tylko ilościowych, ale i jakościowych oraz opiera się na subiektywnych ocenach ekspertów. Takie podejście do problemu pozwala zracjonalizować procesy remontów planowych i z dużym prawdopodobieństwem wyznaczyć najslabsze ogniwa systemu elektroenergetycznego, mające kolosalny wpływ na uszkodzenia (remonty) przypadkowe. Przedstawiono przykład zastosowania logiki wieloatrybutowego wspomaganie decyzji w procesie projektowania części elektroenergetycznego systemu okrętowego.

LITERATURA

1. Arendt R., Kwiesielewicz M., Kowalski Z., Uden E. van, *System z bazą wiedzy i procedurami wspomagającymi podejmowanie decyzji do projektowania automatyki podsystemów energetycznych statków. Algorytmizacja dostępnych metod podejmowania decyzji do rozwiązywania zagadnień projektowych – analiza modelu decyzyjnego*, praca badawcza, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2003.
2. *Badania operacyjne w przykładach i zadaniach*, pod red. K. Kukuły, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
3. Carlsson Ch., Fuller R., *On fuzzy screening systems*, Proceedings of the Third European Congress Intelligent Techniques and Soft Computing, Aachen 1995.
4. Damazy L., *Rachunek ekonomiczny w elektroenergetyce*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
5. Kahl T., *Sieci elektroenergetyczne*, WNT, Warszawa 1984.
6. Kukuła K., *Metoda unitaryzacji zerowanej*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
7. Nowak T., *Kryteria doboru kabli w okrętowych systemach elektroenergetycznych*, rozprawa, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia 2008.
8. Saaty T.L., *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill, New York 1980.
9. Śmierchalski R., *Automatyzacja systemu elektroenergetycznego statku*, Gryf, Gdańsk 2004.

MULTICRITERIA DECISION DURING REPAIRING AND MODERNIZATION SHIPS' POWER SYSTEMS

Summary

High exploitation costs make the rational use of energy necessary. Problems with multicriteria of the device choice are presented in this article during modernization or repair electrical ship system. The final result should be the optimal choice.