

**ZESZYTY NAUKOWE NR 2 (74)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE**

EXPLO-SHIP 2004

Bernard Wiśniewski

Programowanie tras statków na oceanach

Słowa kluczowe: transport morski, nawigacja pogodowa, optymalizacja trasy

Zaprezentowano problematykę programowania tras statków na oceanach. Przedstawiono metody obliczeń tras minimalno-czasowych i przykładowe rezultaty rekomendacji tras z ośrodka lądowego armatora Polska Żegluga Morska.

Ship Ocean Route Programming

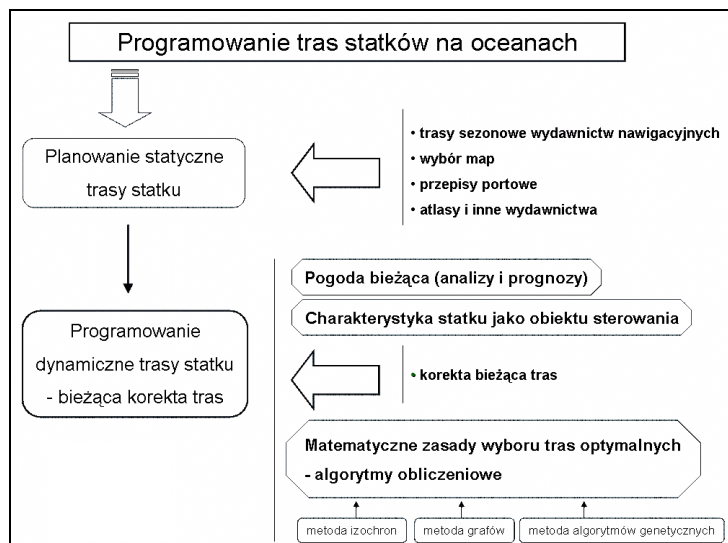
Key words: sea transport, weather navigation, route optimization

This article deals with the problem of ship ocean route programming. Methods of computing minimum-time routes and examples of route recommendations by the Polish Steamship Company land-based center are presented.

Wprowadzenie

Programowanie tras statków na oceanach jest zasadniczym celem nawigacji pogodowej. Przed rozpoczęciem podróży winno nastąpić planowanie trasy oparte na wytycznych armatora, wydawnictw nawigacyjnych i danych klimatycznych (trasa sezonowa). W trakcie realizacji podróży następuje korekta trasy, głównie ze względu na zmieniające się warunki pogodowe, czasem zmianę kryterium wyboru trasy. Podstawowym ograniczeniem przy programowaniu i wyborze trasy jest zawsze bezpieczeństwo statku, ludzi, ładunku, ale poszukuje się także kryterium korzyści ekonomicznych takich jak: skrócenie czasu podróży, oszczędności paliwa [1,2].

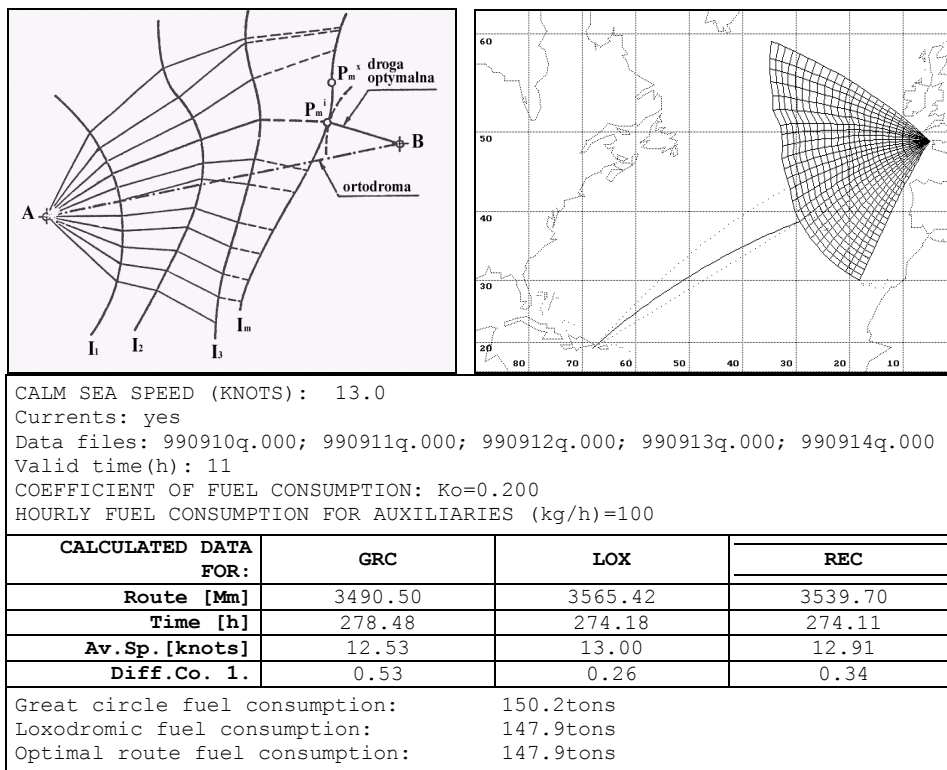
W programowaniu tras statków najczęściej będą wykorzystywane algorytmy optymalizacyjne do określania tras minimalno-czasowych. Rodzaj zastosowanych algorytmów i szczegółowość obliczeń są uzależnione od dostępności danych pogodowych i oprogramowania. Jeżeli rozważać zastosowanie jakiegokolwiek metody do wyboru drogi statku, to musimy zapewnić spełnienie ograniczeń nawigacyjnych i ograniczeń wynikających z bezpieczeństwa żeglugi. Określenie drogi minimalno-czasowej statku na trasach oceanicznych sprowadza się do n -krotnego procesu decyzyjnego i problemu programowania dynamicznego. Praktyczne rozwiązania problemu wyboru minimalno-czasowej drogi statku na oceanach uzyskano poprzez wykorzystanie metody izochron, zastosowanie grafów skierowanych i algorytmów ewolucyjnych (rys. 1).



Rys. 1. Programowanie tras statków na oceanach
Fig. 1. Ship ocean route programming

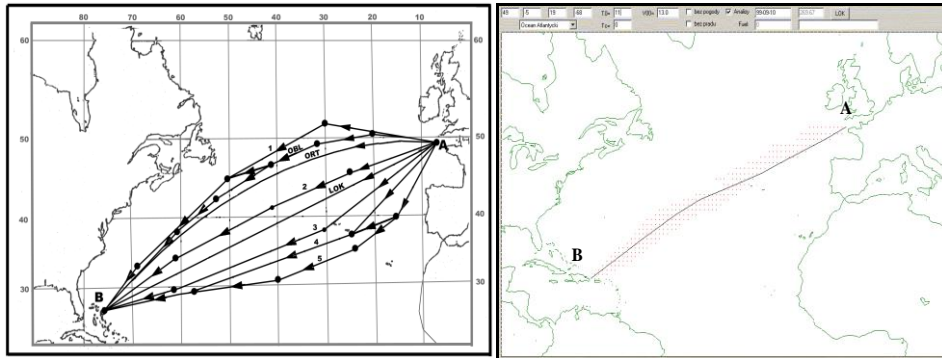
1. Metodyka

W metodzie izochron wyznaczamy pewną ilość dróg z punktu początkowego do punktu końcowego trasy, na których uwzględniając wpływ warunków pogodowych na prędkość statku poszukujemy drogi najkrótszej czasowo, jednocześnie przedstawiając graficznie osiągnięte przez statek pozycje na innych wariantach dróg (rys. 2).



Rys. 2. Wyznaczanie trasy minimalno-czasowej metodą izochron
 Fig. 2. Determination of the minimum-time route based on the isochrone method

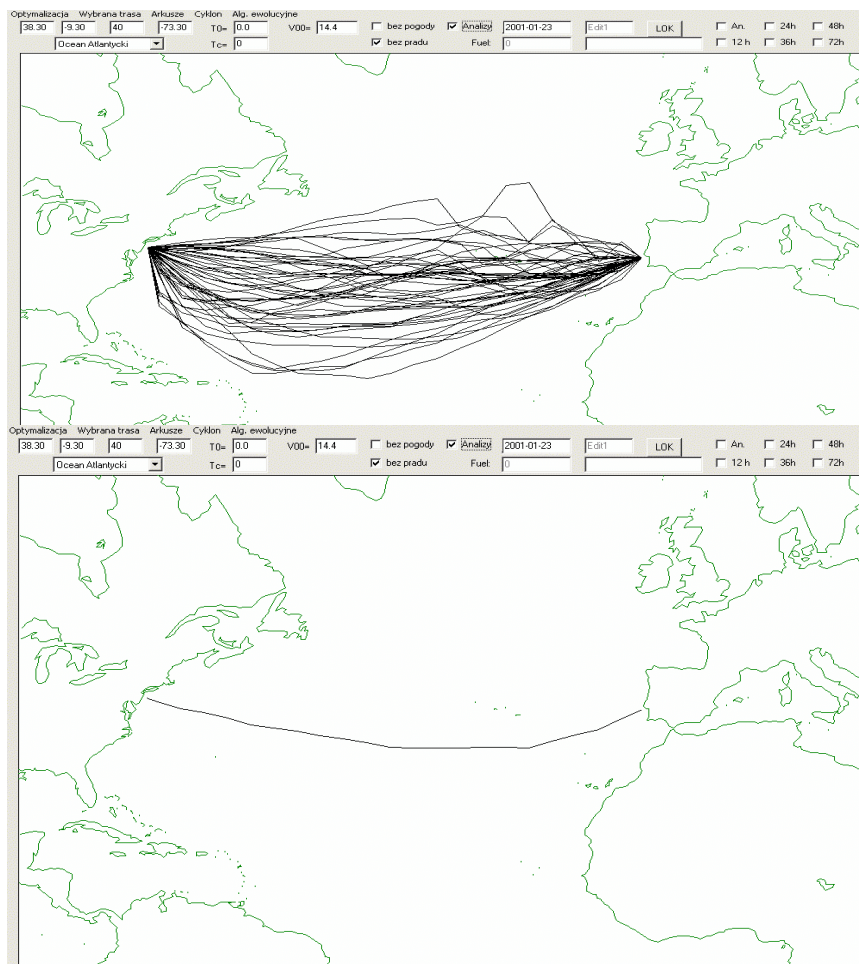
Analogicznie działa również algorytm wykorzystujący teorię grafów skierowanych, gdzie na wszystkie ścieżki możliwych dróg są nakładane warunki pogodowe i obliczane przebyte odcinki dróg przez statek. Z punktu początkowego A do punktu końcowego B dokonuje się selekcji najdogodniejszej drogi, np. ze względu na czas trwania podróży (rys. 3) [3].



Rys. 3. Przykład digrafu i trasy rekomendowanej z Kanału Angielskiego do Mona Passage z zastosowaniem do obliczeń grafu skierowanego

Fig. 3. Digraph and recommended route from the English Channel to Mona Passage – an example of digraphs use

Inną klasą algorytmów rozwiązujących problem minimalizacji czasu podróży statków mogą być algorytmy genetyczne. Algorytmy te wzorują się na naturalnej ewolucji i na doborze naturalnym oraz dziedziczeniu. Każdy osobnik w programie ewolucyjnym reprezentuje potencjalne rozwiązanie problemu, a w tym przypadku współrzędne trasy statku na oceanie. Początkowa populacja $P(0)$ jest wybierana z dopuszczalnych tras klimatycznych oraz z pewnej ilości tras generowanych losowo. Funkcja przystosowania jest wartością czasu realizacji wybranej trasy w zadanych warunkach nawigacyjnych i meteorologicznych i może być określona z wykorzystaniem standardowych procedur nawigacyjnych (współrzędnych położenia, prędkości, kursu, ...). Funkcja ta określa przystosowanie każdej trasy, rozróżniając osobniki lepsze i gorsze. Zostały zaprojektowane operatory krzyżowania, dokonujące rekombinacji wybranych losowo tras i uwzględniające ograniczenia wynikające z faktu istnienia określonych koniecznych do spełnienia wymagań nawigacyjnych. Zastosowano także operator mutacji, dokonujący transformacji współrzędnych pojedynczej trasy. Program ewolucyjny szczególnie dobrze nadaje się do rozwiązywania problemów optymalizacji o dużej przestrzeni parametrów i nieznanym rozwiązaniu analitycznym (rys. 4) [4, 5].



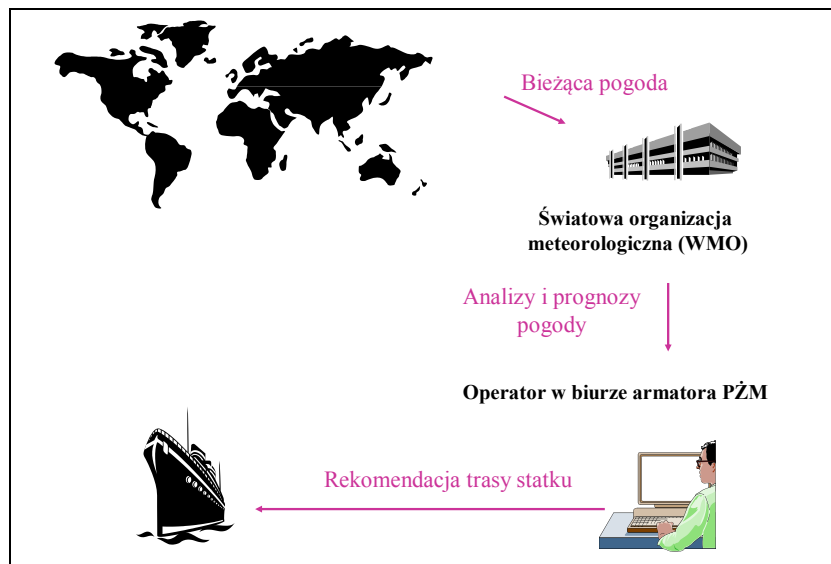
Rys. 4. Graficzny obraz 50 dróg uzyskanych po operacji mutacji (a) dla trasy Lizbona – Nowy Jork oraz najlepszej trasy z zastosowaniem operacji krzyżowania (b) (232,4 godz.)

Fig. 4. Graphic illustration of 50 tracks obtained by mutations (a) and the best route obtained by the crossover operation (b) for the route Lisbon – N. York (232.4 hours)

2. Uzyskane rezultaty

W wyniku wieloletnich doświadczeń polskiej floty handlowej, armator Polska Żegluga Morska zorganizował pracę armatorskiego ośrodka pogodowego prowadzenia statków. W systemie operacyjnym ośrodek rekomendował statkom trasy na Północnym Atlantyku i Północnym Pacyfiku. Do obliczeń wykorzystano wyżej omówione autorskie programy wyboru drogi statku, korzystające z cyfrowych danych hydrometeorologicznych światowej sieci GTS. Schemat

przeływu danych i ogólny schemat działania ośrodka przedstawiono na rysunku 5. Wybrane rezultaty rekomendacji tras statków na trasach oceanicznych zamieszczono w tabeli 1.



Rys. 5. Przeływ danych i ogólny schemat działania Ośrodka
 Fig. 5. Data flow and a general idea of Center operations

Tabela 1

Wybrane rezultaty uzyskane na trasach oceanicznych przez prowadzone statki
 Chosen results obtained on the oceanic routes by ships

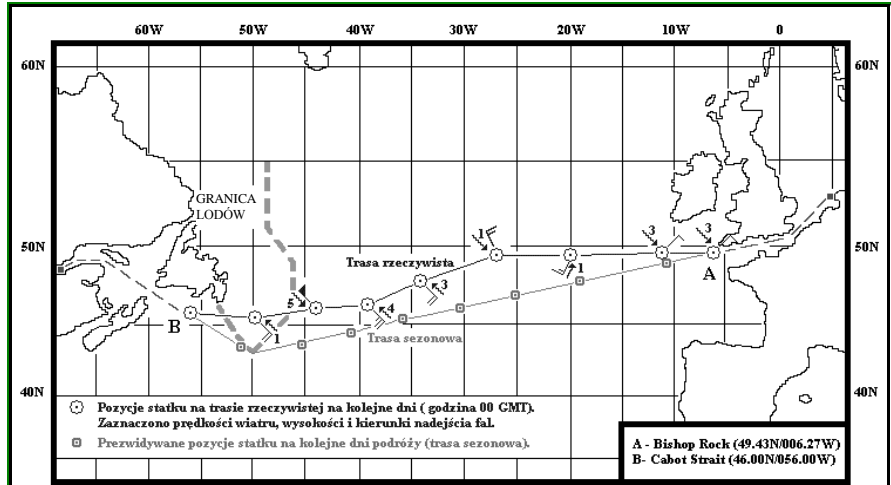
Nazwa statku	Port wyjścia	Port przeznaczenia	Czas podróży	Zaoszczędzony czas w stosunku do trasy sezonowej
„Ziemia Tarnowska”	Ijmuiden	Montreal	291,5 h (12 dni, 3,5 h)	15,5 h
„Ziemia Chełmińska”	Ijmuiden	Montreal	324,0 h (13 dni, 12 h)	17,0 h
„Generał Berling“	Ventspils	New Heaven	307,5 h (12 dni, 18,5h)	26,5 h
„Ziemia Suwalska”	Ijmuiden	Montreal	245,8 h (10 dni 5,8 h)	18,5 h
„Ziemia Zamojska”	Ijmuiden	Montreal	311,3 h (12 dni 23,5 h)	8,5 h
„Pomorze Zachodnie”	Ventspils	Montreal	313,2 h (13 dni 1,2 h)	37,3 h
„Daria”	Ventspils	Fairless Hills	310,5 h (12 dni 22,5 h)	25,5 h
„Orlęta Lwowskie”	Balboa	Inchon	624,8 h (26 dni 0,8 h)	21,2 h
„Isadora”	Mizushima	Balboa	542,0 h (22 dni 14 h)	29,9 h
„Ziemia Gnieźnieńska”	Ijmuiden	Escoumain	229,17 h (9 dni 13 h)	31,0 h

Przykład rekomendacji wysyłanej na statek pokazano w tabeli 2. Na rysunku 6 zaprezentowano przykład schematu trasy.

Tabela 2

Przykład rekomendacji wysyłanej na statek
A recommendation sent to the vessel

fm: Polsteam Oceantramp									
to: Kpt. m/v Ziemia Tarnowska									
Granica występowania growlerów i gór lodowych w trójkącie: 46.00N/46.50W, 43.10N/50.00W, 46.20N/53.00W i powyżej. Wstępna propozycja trawersowania loksodromą na wysokości 45.50N. Proszę o komentarz.									
Trasa rekomendowana:					Przewidywane warunki na trasie:				
Szer.(N)	Dł.(W)	Czas(h)	Droga(Mm)	Czas	N	W	Kdd	Vs	Wys/Kąt Fali
49.36	27.08	00.00	000.00	00.00	49.36	27.08	249	13.3	0.5 041
48.36	31.08	12.61	168.20	04.00	49.17	28.25	249	13.4	0.4 029
47.36	35.08	25.65	339.35	08.00	48.58	29.41	249	13.4	0.3 004
47.36	36.08	28.77	379.80	12.00	48.39	30.56	249	13.2	0.9 037
47.36	37.08	31.89	420.26	16.00	48.20	32.12	249	13.4	0.4 124
47.36	38.08	35.05	460.72	20.00	48.01	33.27	249	13.3	1.2 104
47.36	39.08	38.25	501.18	24.00	47.43	37.41	249	13.3	1.5 109
47.36	40.08	41.45	541.64	28.00	47.36	35.53	270	13.0	3.1 238
46.36	44.08	54.88	715.68	32.00	47.36	37.10	270	12.8	4.2 218
45.50	46.50	64.12	836.84	36.00	47.36	38.26	270	12.7	4.5 218
-----				40.00		47.36			
45.50	52.00	80.76	1052.83	39.41	270	12.6			
				4.8	211				
				44.00	47.25	40.51	250	12.2	4.8 123
				48.00	47.09	41.56	250	11.8	4.5 100
				52.00	46.51	43.09	249	13.3	1.1 091
				56.00	46.31	44.27	247	12.9	1.6 045
				60.00	46.12	45.33	247	12.3	2.7 060
				64.12	45.50	46.50			
Przewidywane warunki na trasie przez lody:									
				Czas	N	W	Kdd	Vs	Wys/Kąt Fali
				00.00	45.50	46.50	270	13.2	1.5 260
				04.00	45.50	48.06	270	13.3	1.4 252
				08.00	45.50	49.24	270	13.4	1.2 234
				12.00	45.50	50.40	270	13.3	1.3 100
				16.64	45.50	52.00	270	13.1	1.7 085



Rys. 6. Schemat trasy m/v „Ziemia Tarnowska”
 Fig. 6. Route chart of m/v „Ziemia Tarnowska”

Każda podróż powinna zakończyć się raportem po podróży, który powinien być syntezą współpracy statku i ośrodka lądowego oraz efektów rekomendacji. Raport po podróży zawiera całkowity czas, przebytą drogę, średnią prędkość, dokumentację nawigacyjną i informacje o liczbie dni przebywania statku w rzeczywistych warunkach falowania i wiatru. Poniżej przykład raportu po podróży m/v „Ziemia Gnieźnieńska” (tab. 3).

Tabela 3

Elementy raportu po podróży statku
 After-Voyage report

Odcinek oceaniczny A – B												
Liczba dni o danych warunkach falowania (wysokość fali w metrach)												
Kąt kursowy fali	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	>9 m	Razem
0°	–	–	12/6	–	–	–	–	–	–	–	–	12 /6
45°	–	–	–	–	6/6	–	–	–	–	–	–	6 /6
90°	–	–	–	–	6/6	6/6	–	–	6/6	–	–	18 /6
135°	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
180°	–	–	–	6/6	–	–	–	–	–	–	–	6 /6
Razem	–	–	12/6	6/6	12/6	6/6	–	–	6/6	–	–	–
Liczba dni o danych warunkach wiatrowych (skala Beauforta)												
Kąt kursowy fali	0°B	1°B	2°B	3°B	4°B	5°B	6°B	7°B	8°B	9°B	>9°B	Razem
0°	–	–	–	–	–	–	12/6	–	–	–	–	12 /6
45°	–	–	–	–	–	–	–	6/6	–	–	–	6 /6
90°	–	–	–	–	–	–	–	12/6	–	6/6	–	18 /6
135°	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
180°	–	–	–	–	–	–	6/6	–	–	–	–	6 /6
Razem	–	–	–	–	–	–	18/6	18/6	–	6/6	–	–

Tabela 3, c.d.

RAPORT PO PODRÓŻY Nr		000111	
STATEK ARMATOR	ZIEMIA GNIEŹNIĘSKA PŻM		
PODRÓŻ Z	IJMUIDEN	DO	ESCOUMAINS
DATA WYJŚCIA	20-10-99	DATA WEJŚCIA	29-10-99
GODZINA WYJŚCIA	7:00 GMT	GODZINA WEJŚCIA	20:10 GMT
CAŁKOWITY CZAS PODRÓŻY		229.17 godzin	
CAŁKOWITA PRZEBYTA DROGA		2695.32 Mm	
ŚREDNIA PRĘDKOŚĆ CAŁEJ PODRÓŻY		11.76 w	
ODCINEK OCEANICZNY A - B			
CZAS PODRÓŻY		157.17 godzin	
PRZEBYTA DROGA		1717.02 Mm	
ŚREDNIA PRĘDKOŚĆ		10.92 w	
WSPÓŁCZYNNIK POGODOWY		-3.08 w	
Podsumowanie:			
Poprawnie wybrano podróż z Ijmuiden przez Pentland oraz Cieśninę Belle Isle do Escoumains. W rezultacie uzyskano 31 godzin zysku w stosunku do trasy porównywanej przez Kanał Angielski i Cieśninę Cabot Strait. Statek omijał szczególnie w pierwszych 6 dniach podróży wysokie pola falowania rzędu 8-10 metrów na trasie porównywanej.			

Podsumowanie

Programowanie tras opartych na metodzie izochron, teorii grafów oraz algorytmach genetycznych, z uwzględnieniem bieżących i prognozowanych warunków pogodowych, pozwoliło dla analizowanych wybranych podróży statków na zaoszczędzenie od 3 do 12% czasu potrzebnego na przebycie tras rzeczywistych w stosunku do standardowych czasów sezonowych. Użyteczność tych metod do obliczeń tras statków znalazła swoje praktyczne potwierdzenie. Rodzaj zastosowanych algorytmów i szczegółowość obliczeń są uzależnione od dostępności danych pogodowych i oprogramowania. Bezpośrednio na statkach polskiej floty handlowej z reguły jest wykorzystywana metoda izochron a w ośrodku prowadzenia statków PŻM obliczenia są rozszerzone o warianty obliczeń z wykorzystaniem algorytmów genetycznych i właściwości grafów skierowanych.

Tabela 3, c.d.

STATEK		ZIEMIA GNIEŹNIEŃSKA				PŻM				
PODRÓŻ Z		IJMUIDEN		DO		ESCOUMAINS				
DATA WYJŚCIA		20-10-99		DATA WEJŚCIA		29-10-99				
GODZINA WYJŚCIA		7:00 GMT		GODZINA WEJŚCIA		20:10 GMT				
CAŁKOWITY CZAS PODRÓŻY				229.17 godzin						
CAŁKOWITA PRZEBYTA DROGA				2695.32 Mm						
ŚREDNIA PRĘDKOŚĆ CAŁEJ PODRÓŻY				11.76 w						
SZCZEGÓŁOWY OPIS PODRÓŻY STATKU										
Data	Pozycja statku			Czas GMT	KDD [(360)°]	Prędkość statku [w]	Wysokość fali [m]	Kierunek fali [(360)°]	Kierunek wiatru [(360)°]	Prędkość wiatru [w]
	Szerokość	Długość								
ODCINEK OD PORTU WYJŚCIA DO PUNKTU A										
20-10-99	52° 36' N	4° 18' E	7:00							
21-10-99	57° 46' N	2° 4' W	7:00		13.1	4.70		112		25
ODCINEK OCEANICZNY A - B										
21-10-99	57° 46' N	2° 4' W	7:00		13.1	4.70		112		25
22-10-99	58° 47' N	12° 1' W	11:00		14.2	5.00		90		30
23-10-99	58° 38' N	22° 58' W	11:00		14.3	4.80		45		30
24-10-99	57° 43' N	32° 31' W	13:00		12.8	2.60		335		25
25-10-99	56° 8' N	41° 4' W	13:00		11.7	3.20		200		20
26-10-99	54° 15' N	47° 28' W	15:00		10.9	8.30		270		55
27-10-99	52° 44' N	52° 43' W	15:00		8.7	2.80		180		15
ODCINEK OD PUNKTU B DO PORTU WEJŚCIA										
27-10-99	52° 44' N	52° 43' S	15:00		8.7	2.80		180		15
28-10-99	50° 5' N	59° 47' S	15:00		12.9	1.20		335		15
29-10-99	49° 10' N	67° 9' S	20:10		12.5	0.50		250		20

Literatura

1. Wiśniewski B., *Problemy wyboru drogi morskiej statku*, Wyd. Morskie, Gdańsk 1991.
2. Wiśniewski B., *Programming ship's way on the ocean routes*, 28th Int. Nav. Congr., Seville, wyd. Permanent International Association of Navigation Congress, 1994.
3. Wiśniewski B., Chomski J., Drozd A., Medyna P., *Optymalizacja tras oceanicznych statków handlowych*, IMiG, 5/2001, str. 290-296.
4. Wiśniewski B., Chomski J., Nowakowski M., *Computation of minimum-time vessel ocean routes using genetic algorithm*, Third International Conference "Navy and Shipbuilding Nowadays", St. Petersburg, 2003, str. 139-145.

5. Wiśniewski B., Chomski J., *Obliczanie minimalnego czasu trwania podróży statku na oceanach z użyciem algorytmów genetycznych*, Zeszyty Naukowe nr 70 Wyższej Szkoły Morskiej w Szczecinie, Inżynieria Ruchu Morskiego 2003, str. 359-370.

Wpłynęło do redakcji w lutym 2004 r.

Recenzenci

prof. dr inż. kpt.ż.w. Mirosław Jurdziński
prof. dr hab. inż. kpt.ż.w. Stanisław Gućma

Adres Autora

prof. dr hab. inż. Bernard Wiśniewski
Akademia Morska w Szczecinie
Instytut Nawigacji Morskiej
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin