

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

EXPLO-SHIP 2004

Bernard Wiśniewski, Andrzej Drozd

**Zagadnienie optymalizacji drogi morskiej statku
jako problem podejmowania decyzji w otoczeniu rozmytym**

Słowa kluczowe: nawigacja pogodowa, bezpieczeństwo żeglugi, zbiory rozmyte

Przedstawiono problematykę optymalizacji drogi morskiej statku jako zagadnienia wyboru trasy statku w warunkach rozmytości. Podjęto próbę formalnego zdefiniowania elementów otoczenia rozmytego – celów, ograniczeń i decyzji rozmytych. Rozpatrywane zagadnienie sklasyfikowano jako problem podejmowania decyzji przez jednego decydenta, w jednym etapie podejmowania decyzji oraz jako zagadnienie wielokryterialne.

**Ships Weather Routeing as a Decision-Making Problem
in a Fuzzy Environment**

Key words: weather routeing, safety of navigation, fuzzy sets

The article presents the ship weather routeing problem as a decision-making of ship route selection in fuzzy conditions. An attempt was made to set forth a formal definition of fuzzy environment elements: fuzzy goals, constraints and decisions. The considered problem was classified as a problem of decision made by one person, in one stage of decision procedure and as multi-criterion problem.

Wprowadzenie

Optymalizacja drogi morskiej statku to termin oznaczający wybór najkorzystniejszej dla statku trasy ze względu na cechy statku jako obiektu sterowania i środowisko zewnętrzne (warunki pogodowe), w którym jest realizowana podróż statku [7]. Problematyka ta dotyczy głównie tras oceanicznych (czy też tras zawierających odcinek oceaniczny) – tam, gdzie możliwy jest wybór więcej niż jednego wariantu realizacji podróży. Nadrzędnym zadaniem wyboru trasy jest uwzględnienie bezpiecznej żeglugi (zapewnienie bezpieczeństwa dla statku, załogi i przewożonego ładunku). Wybór trasy w każdym przypadku musi zapewniać odpowiednie warunki realizacji podróży – minimalizację niekorzystnych dla bezpieczeństwa żeglugi zjawisk spowodowanych oddziaływaniem warunków pogodowych takich jak: przechyły boczne i wzdłużne statku, zalewanie pokładu, sleming, wynurzenia śruby okrętowej. Wybór trasy ze względu na bezpieczeństwo żeglugi powinien również uwzględniać (o ile to możliwe) omijanie obszarów występowania lodów oraz unikanie obszarów oblodzenia statku. Oprócz bezpieczeństwa żeglugi, istotne są również kryteria związane z ekonomicznym efektem podróży: minimum czasu podróży oraz minimum zużycia paliwa. Kryterium minimum czasu polega na wyborze trasy zapewniającej jak najszybsze przybycie statku do portu docelowego, co najczęściej jest związane z wyborem rozsądnego kompromisu między trasą nadkładającą odległość w celu uniknięcia niekorzystnych warunków pogodowych powodujących straty prędkości statku, a trasą najkrótszą pod względem geometrycznym (trasą ortodromiczną). Kryterium zużycia paliwa jest stosowane wówczas, gdy dla statku jest dostępny dodatkowy czas na odbycie podróży (przybycie statku na czas określony – tzw. *scheduled arrival*). Korzyść ekonomiczna w postaci zmniejszenia zużycia paliwa jest uzyskiwana w tym wypadku poprzez zmniejszenie prędkości statku na realizowanej trasie. W literaturze wspomina się również [7, 8] o kryterium komfortu przewozu ładunku (zapewnienia jak najbardziej korzystnych warunków do przewozu – np. określonej wilgotności powietrza w ładowni statku), jednak współcześnie jest to kryterium stosowane marginalnie. Można przyjąć, że ładunki w transporcie morskim są dobrze zabezpieczone, a kryterium komfortu przewozu dotyczy raczej sytuacji awaryjnych. Reasumując, problem optymalizacji drogi morskiej statku to obecnie najczęściej problem wyboru:

- trasy najkrótszej pod względem czasu trwania, z zachowaniem warunków bezpiecznej żeglugi; lub
- trasy zapewniającej najmniejsze zużycie paliwa, z zachowaniem warunków bezpiecznej żeglugi.

Czynniki i zjawiska hydrometeorologiczne uwzględniane przy wyborze trasy według wymienionych kryteriów to: prędkości i kierunki wiatru, wysokości

i kierunki fali wiatrowej oraz martwej, prędkości i kierunki prądów oceanicznych, występowanie lodów pochodzenia morskiego i lądowego, możliwość oblodzenia statku. W rozbiciu na zadania cząstkowe, zagadnienie optymalizacji drogi morskiej statku można opisać jako problemy [7]:

- *wykorzystania dostępnej informacji pogodowej* – należy podkreślić, że wybór trasy jest podejmowany na etapie planowania, czyli w dużej mierze oparty na danych prognozowanych;
- *określenia wpływu warunków hydrometeorologicznych na statek* – czyli określenia stopnia spełnienia kryterium bezpiecznej żeglugi przy zadanych warunkach hydrometeorologicznych oraz wpływu tych warunków na prędkość i zużycie paliwa przez statek;
- *zastosowania odpowiedniego modelu matematycznego do określenia rozwiązania optymalnego i jego implementacji w programie komputerowym* – złożoność problemu (duża ilość informacji do przetworzenia oraz relatywnie duża ilość potencjalnych rozwiązań, jakie należy wziąć pod uwagę) powoduje, iż współcześnie tego typu problemy rozwiązuje się wykorzystując do tego celu programy komputerowe.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie problematyki optymalizacji drogi morskiej statku w aspekcie niepewności (rozmytości) poszczególnych elementów sytuacji decyzyjnej, z którymi mamy tu niewątpliwie do czynienia [9].

1. Problem podejmowania decyzji w warunkach rozmytości

Sytuacje decyzyjne, ze względu na stopień niepewności warunków w których są dokonywane, klasyfikuje się jako [1]:

- sytuacje decyzyjne podejmowane w warunkach pewności – informacja opisująca zagadnienie podejmowania decyzji jest deterministyczna;
- sytuacje decyzyjne podejmowane w warunkach ryzyka – informacja opisująca zagadnienie podejmowania decyzji jest probabilistyczna, dane są odpowiednie rozkłady prawdopodobieństwa;
- sytuacje decyzyjne niepewności, gdzie nie są znane prawdopodobieństwa;
- sytuacje decyzyjne rozmytości, gdzie niepewność dotyczy nie tylko pojawiania się pewnego zdarzenia, ale w ogóle jego znaczenia.

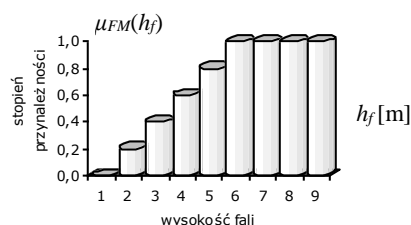
Zdaniem autorów, zagadnienie optymalizacji drogi morskiej statku można rozpatrywać jako problem podejmowania decyzji w warunkach rozmytości. Przesłanki, które skłaniają do postawienia tej tezy to:

- wybór trasy podejmuje się na podstawie prognoz poszczególnych czynników hydrometeorologicznych, które jak wiadomo mają ograniczoną sprawdzalność (*informacja nieokreślona* [5]);
- metody stosowane w warunkach rozmytości są skoncentrowane na *jakości* dostępnej informacji, w odróżnieniu od metod probabilistycznych, gdzie możliwe jest ustalenie jedynie *prawdopodobieństwa* wystąpienia danego zdarzenia [8] (stosując metody probabilistyczne zakłada się, że zdarzenie jest ściśle określone, a niepewne jest jedynie jego pojawienie się [1]);
- niepewność sytuacji decyzyjnej dotyczy nie tylko pojawienia się danego zdarzenia (np. wystąpienia fali o prognozowanej wysokości), ale również *znaczenia* tego zdarzenia (w przypadku prognozy określonej wysokości fali – jej wpływu na prędkość statku, zużycie paliwa czy wreszcie na ocenę stopnia zapewnienia bezpiecznej żeglugi). Przyczyną takiego stanu rzeczy jest to, że ocena wpływu warunków pogodowych na stopień zapewnienia bezpiecznej żeglugi nie jest do końca określona, również informacje o zachowaniu się statku na fali i wietrze (charakterystyka prędkościowa, paliwowa) w praktyce nie są do końca dokładnie znane.

W przypadku sytuacji decyzyjnych rozmytości stosuje się metody oparte na *teorii zbiorów rozmytych* [5]. Podstawowymi pojęciami tej teorii są: zbiór rozmyty, liczba rozmyta i zmienna lingwistyczna.

Zbiorem rozmytym A [1], w pewnej numerycznej przestrzeni rozważań X , nazywamy zbiór par $A = \{(\mu_A(x), x)\}$, $\square \forall x \in X$, gdzie μ_A jest funkcją przynależności zbioru rozmytego A , która każdemu elementowi $x \in X$ przypisuje stopień przynależności $\mu_A(x)$ do zbioru rozmytego A , przy czym $\mu_A(x) \in [0, 1]$.

Przykładem zbioru rozmytego może być zbiór fal wysokich FW . Fale o wysokości 6 – 9 metrów możemy sklasyfikować jako ewidentnie wysokie, czyli całkowicie należące do zbioru fal wysokich, fale 1-metrowe jako na pewno niewysokie (nie należące do zbioru fal wysokich), natomiast wartości pośrednie:



Rys. 1. Stopnie przynależności poszczególnych wysokości fal do zbioru rozmytego FW „fala wysoka”

Fig. 1. Degrees of membership of several wave heights to the fuzzy set FW “high wave”

2, 3, 4 i 5 metrów przynależą do zbioru fal wysokich tylko w pewnym stopniu. Operacja przypisania poszczególnym wysokościami fal stopni przynależności jest w tym przypadku subiektywna i zależna od kontekstu sytuacyjnego. Wysokość fali może tu zostać określona jako *zmienna lingwistyczna*, której możemy przypisywać *wartości lingwistyczne* – np. fala wysoka (6 metrów

i większa), raczej wysoka (4,5 metra), średnia (3 metry), raczej niewysoka (2 metry).

Liczba rozmyta to zbiór rozmyty określony na uniwersum liczb rzeczywistych, normalny, wypukły, o ciągłej funkcji przynależności [1].

2. Materiał badawczy i metodyka badawcza

2.1. Opis parametrów hydrometeorologicznych w postaci rozmytej

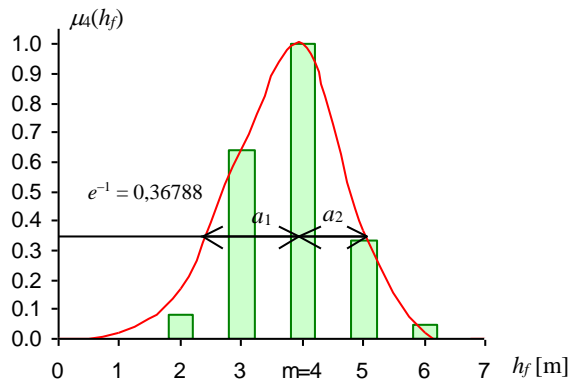
Do zaprezentowania proponowanego sposobu opisu parametrów hydrometeorologicznych w postaci rozmytej posłużymy się przykładem wysokości fali wiatrowej, elementu mającego bardzo istotny wpływ zarówno na bezpieczeństwo, prędkość jak i zużycie paliwa przez statek. Założmy, że mamy do czynienia z informacją, że w danym punkcie oceanu, za 48 godzin (prognoza 48-godzinna) wystąpi fala o wysokości 4 metrów. Zgodnie z założeniami wymienionymi w punkcie 1 tego artykułu, prognozę danego parametru hydrometeorologicznego dla danego przedziału czasowego (przedziału prognoz) będziemy traktować jako liczbę rozmytą, czyli „około 4 metry”. Do określenia funkcji przynależności liczby rozmytej „około 4 metry” posłużymy się metodą wyznaczania stopni przynależności na bazie danych pomiarowych systemu [5].

Przykład dotyczy obszaru Atlantyku Północnego (przyjęto obszar ograniczony współrzędnymi geograficznymi 70°N/100°W, 30°N/040°E), z lat styczeń 2000 – luty 2004. Analizowano 48-godzinne prognozy wysokości fali wiatrowej wydawane przez amerykański NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) i porównywano je z analizami (z tego samego źródła), które przyjmowano jako całkowicie sprawdzalne. W rozpatrywanym okresie, dla danego obszaru wydano 49 289 prognoz fali o wysokości 4 metrów (jako wysokość fali 4-metrowej przyjęto zakres pomiędzy 3,51 – 4,50, podobnie dyskretyzowano pozostałe przedziały wysokości). Liczby przypadków rzeczywistych wysokości fal zamieszczono w tabeli 1. Na podstawie danych z tabeli 1 określono stopnie przynależności ($\mu_4(h_f)$) dla poszczególnych wysokości fal do zbioru „wysokość fali około 4 metry” w następujący sposób: największej ilości zdarzeń (23 224 przypadków) rzeczywistej wysokości fali 4 metry przypisano stopień przynależności $\mu_4(4) = 1$, pozostałym wysokościami fal stopnie przynależności przypisywano proporcjonalnie, np. dla fali 3-metrowej $\mu_4(3) = 14\ 899/23\ 224 \approx 0,64$ (normalizacja zbioru rozmytego). Przebieg funkcji przynależności $\mu_4(h_f)$ aproksymowano niesymetryczną funkcją Gaussa [4] (rys. 2), w której stopień przynależności $\mu_4(h_f)$ jest określony zależnością:

$$\mu_4(h_f) = w \cdot e^{-\left(\frac{h_f - m}{a_1}\right)^2} + (1 - w) \cdot e^{-\left(\frac{h_f - m}{a_2}\right)^2}$$

gdzie:

- m – wartość modalna (centrum funkcji);
- w – zmienna logiczna informująca o poziomie zmiennej:
 $w = 1$, gdy $0 < h_f \leq m$; $w = 0$, gdy $h_f > m$;
- a_1, a_2 – szerokości lewej (a_1) i prawej (a_2) strony zbioru rozmytego dla przyjętego poziomu $\mu_4(h_f) = e^{-1}$.



Rys. 2. Funkcja przynależności liczby rozmytej „wysokość fali około 4 metry dla prognozy 48-godzinnej”

Fig. 2. Membership function of the fuzzy number “wave height about 4 meters for a 48-hour forecast”

Tabela 1

Liczba przypadków (lp) dla poszczególnych wysokości fal (h_f) dla prognozy 48-godzinnej
 Number of cases (lp) for several wave heights (h_f) for 48-hours forecasts

h_f [m]	lp
1	74
2	1 960
3	14 899
4	23 224
5	7 790
6	1 098
7	203
8	40
9	1

Dobór odpowiedniej klasy funkcji przynależności jest konieczny, ze względu na dalsze użycie liczb w postaci „około 4 metry” w algorytmizacji obliczeń nawigacyjnych przyszłej pozycji statku oraz w procedurach decyzyjnych. Badania autorów potwierdzają przydatność do tego celu niesymetrycznej funkcji Gaussa, w przeciwieństwie do stosowanych najczęściej [4] prostszych klas funkcji typu trójkątnego czy trapezowego. Uzyskany przebieg funkcji przynależności liczby rozmytej „wysokość fali wiatrowej około 4 metry”, pozwala interpretować 48-godzinną prognozę wysokości fali wiatrowej w następujący sposób:

- największy stopień przekonania co do rzeczywistej wysokości fali, jaka może wystąpić wynosi 4 metry ($\mu_4(4) = 1$);
- duże stopnie przekonania występują dla możliwości wystąpienia fali wiatrowej o wysokości 3 metrów ($\mu_4(3) \approx 0,64$) i 5 ($\mu_4(5) \approx 0,37$), przy czym bardziej przekonani jesteśmy o tym, że może wystąpić fala o wysokości 3 metrów, niż o wysokości 5 metrów ($\mu_4(3) > \mu_4(5)$);
- stopień przekonania o możliwości wystąpienia fal o wysokościach $h_f \leq 2$ m oraz $h_f \geq 6$ m oceniamy jako bardzo mały $\mu_4(2) < 0,2$ oraz $\mu_4(6) < 0,1$.

Zestawiając powyższe z opisem wysokości fali jako zmiennej lingwistycznej (rys. 1) otrzymujemy: największy stopień przekonania co do wystąpienia fali „raczej wysokiej”, duży stopień przekonania dla możliwości wystąpienia fali „średniej”, mały stopień przekonania o możliwości wystąpienia fali ewidentnie „wysokiej”.

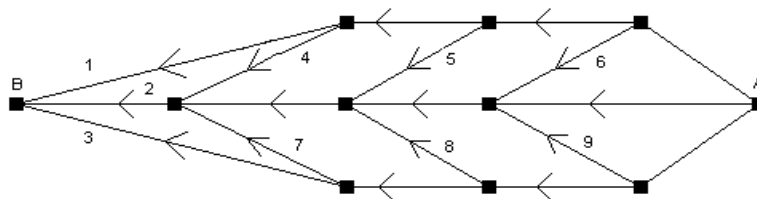
Teoria zbiorów rozmytych, oprócz tego, że wprowadza takie pojęcia jak zbiór rozmyty, liczba rozmyta, czy zmienna lingwistyczna, dostarcza również szereg metod, które pozwalają na przetwarzanie tak zapisanej informacji. Zastosowanie metod fuzyfikacji (rozmywania) oraz arytmetyki liczb i matematyki zbiorów rozmytych pozwala na uzyskanie w postaci rozmytej poszczególnych parametrów tras: rozmytego czasu trwania podróży, rozmytego czasu przebywania w warunkach niebezpiecznych dla żeglugi oraz rozmytej wielkości zużycia paliwa. Aby tak zapisane parametry wykorzystać w procedurach podejmowania decyzji, konieczne jest zdefiniowanie elementów tzw. *otoczenia rozmytego*.

2.2. Otoczenie rozmyte

Nieprecyzyjność (rozmytość) otoczenia, w którym zachodzi proces podejmowania decyzji reprezentuje się poprzez wprowadzenie tzw. *otoczenia rozmytego*, które składa się z celów rozmytych, ograniczeń rozmytych i decyzji rozmytej [2]. W celu formalnego zdefiniowania elementów otoczenia rozmytego wprowadza się zbiór tzw. opcji (wariantów), oznaczany jako $X = \{x\}$ – zbiór X zawiera wszystkie możliwe wartości (sposoby postępowania, warianty) w rozpatrywanej sytuacji.

Do matematycznych metod określania trasy optymalnej statku można zaliczyć metodę *siatki dróg* [6,7]. Zakłada się, że wybór trasy optymalnej to pro-

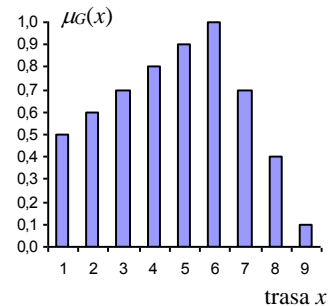
blem wyboru spośród pewnej skończonej, z góry określonej liczby wariantów (rys. 3). Zakładamy, że poszukujemy trasy optymalnej z punktu A do B – możliwe do wyboru warianty otrzymuje się poprzez połączenie punktów węzłowych (oznaczonych symbolem „■”) zgodnie z kierunkiem strzałek (razem 9 wariantów tras).



Rys. 3. Schemat siatki dróg
Fig. 3. Route network diagram

Cel rozmyty definiuje się jako zbiór rozmyty G określony na zbiorze opcji X , scharakteryzowany funkcją przynależności $\mu_G : X \rightarrow [0,1]$ taką, że $\mu_G(x) \in [0,1]$ określa stopień przynależności poszczególnych opcji $x \in X$ w celu rozmytym G .

Aby zaprezentować cel rozmyty, posłużymy się przykładem czasu trwania podróży (rys. 4). Zakładamy, że każda z tras x (1, 2, ..., 9) jest opisana rozmytym czasem podróży. Każda z tras jest w różnym stopniu użyteczna dla osiągnięcia minimalnego czasu trwania podróży. Dobór stopni przynależności poszczególnych tras do zbioru rozmytego „trasa optymalna pod względem czasu podróży” (celu rozmytego G) jest realizowany w ten sposób, że stopień przynależności 1 jest przypisywany trasie o najkrótszym rozmytym czasie podróży (trasa 6), a dla pozostałych tras są przypisywane stopnie przynależności zgodnie z rozmytym czasem danej trasy. Przekonanie o tym, iż dana trasa jest optymalna pod względem czasu trwania podróży spada wraz ze spadkiem stopnia przynależności do zbioru rozmytego G .



Rys. 4. Stopień przynależności poszczególnych tras do celu rozmytego G „trasa optymalna pod względem czasu”

Fig. 4. Degree of membership of several routes to fuzzy goal G “minimum-time optimal route”

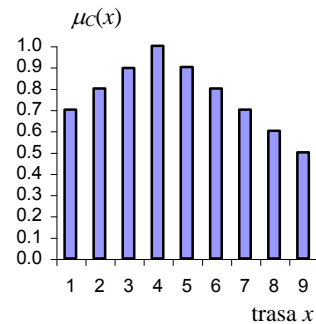
Przyjęta tu reprezentacja funkcji przynależności celu rozmytego jako funkcji jakości pozwala na interpretację celu rozmytego w kategoriach *poziomów zadowolenia* [1]. Poziom zadowolenia spada wraz ze spadkiem stopnia przyna-

leżności $\mu_G(x)$. I tak: $\mu_G(x) = 1$ oznacza, że dana trasa zadowala nas całkowicie, $\mu_G(x) = 0$, że dana trasa nie zadowala nas w ogóle. Na przykład, możemy przyjąć poziom zadowolenia na $\mu_G(x) \geq 0,8$ (trasy 4, 5, 6). Z doświadczeń autorów wiadomo, że taka sytuacja podejmowania decyzji jest często spotykana w praktyce wyboru trasy statku. W dotychczas stosowanych procedurach określania tras optymalnych spotykano się bowiem z przypadkami, gdzie znajdowano niemal równorzędne trasy optymalne pod względem czasu (niekiedy były to trasy o zupełnie różnym przebiegu). W takich sytuacjach zdarza się, że jako optymalna zostaje określona trasa inna niż ta, dla której został obliczony najkrótszy czas trwania, brane są bowiem pod uwagę inne informacje (np. współczynnik trudności podróży [7,8]).

Ograniczenie rozmyte definiuje się jako zbiór rozmyty C określony na zbiorze opcji X , scharakteryzowany funkcją przynależności $\mu_C : X \rightarrow [0,1]$ taką, że $\mu_C(x) \in [0,1]$ określa stopień przynależności poszczególnych opcji $x \in X$ w ograniczeniu rozmytym C .

Dla zaprezentowania ograniczenia rozmytego posłużymy się przykładem czasu przebywania statku w warunkach niebezpiecznych (rys. 5). Takie rozmycie jest skutkiem nie tylko ograniczonej sprawdzalności prognoz, ale również niewyraźnością określania „warunki bezpieczne”.

Zakładamy, że każda z tras x (1, 2, ..., 9) jest opisana rozmytym czasem przebywania w warunkach niebezpiecznych. Każda z tras jest w różnym stopniu użyteczna dla osiągnięcia kryterium bezpieczeństwa. Dobór stopni przynależności poszczególnych tras do zbioru rozmytego „trasa optymalna pod względem bezpieczeństwa” realizowany analogicznie jak w przykładzie powyżej – stopień przynależności 1 jest przypisywany trasie o najkrótszym rozmytym czasie przebywania w warunkach niebezpiecznych itd. Podobnie jak w przypadku celu rozmytego, ograniczenie rozmyte można rozpatrywać w kategoriach poziomów zadowolenia [2]. Przyjmując jak w przykładzie powyżej $\mu_C(x) \geq 0,8$, uzyskujemy zbiór tras {2, 3, 4, 5, 6}.



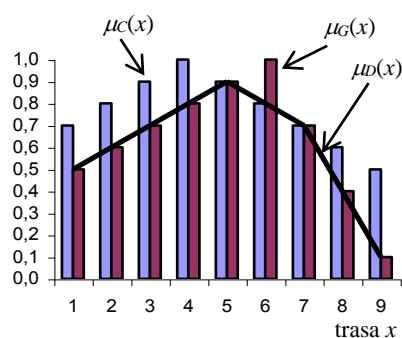
Rys. 5. Stopień przynależności poszczególnych tras do ograniczenia rozmytego C „trasa optymalna pod względem bezpieczeństwa”

Fig. 5. Degree of membership of several routes to fuzzy constraint C “safety- optimal route”

Powyzsza interpretacja celu i ograniczenia rozmytego powoduje, że można je traktować w jednakowy sposób, co jest jedną z zalet prezentowanego tu podejścia Bellmana i Zadeha [2]. Taka identyczność traktowania celu rozmytego

G i ograniczenia rozmytego C sugeruje następujące ogólne postawienie zadania podejmowania decyzji w otoczeniu rozmytym [2]: „osiągnąć G i spełnić C”, co należy rozumieć jako określenie decyzji (trasy lub zbioru tras), która jednocześnie spełni cel rozmyty i ograniczenie rozmyte. Rozmytość celu i ograniczenia sprawia, że powyższa decyzja, zwana *decyzją rozmytą*, jest zbiorem rozmytym, określonym na zbiorze opcji, który wynika z agregacji dwóch zbiorów rozmytych: celu rozmytego i ograniczenia rozmytego.

Jeżeli G jest celem rozmytym, C jest ograniczeniem rozmytym, i oba są określone jako zbiory rozmyte w zbiorze opcji $X = \{x\}$, to *decyzja rozmyta D* jest także zbiorem rozmytym określonym na zbiorze opcji X, będącym wynikiem agregacji $D = G \cdot C$, czyli pewnej operacji na dwóch zbiorach rozmytych. W naszym przykładzie odpowiednim typem agregacji jest decyzja typu minimum $D = G \cap C$, czyli $\mu_D(x) = \mu_G(x) \wedge \mu_C(x)$, $\forall x \in X$. Dla opisanych powyżej przykładowego celu i ograniczenia rozmytego decyzją D jest decyzja rozmyta $\mu_D(x)$, przedstawiona na wykresie (rys. 6). Pozostaje problem wyznaczenia decyzji optymalnej ze zbioru decyzji D.



Rys. 6. Decyzja rozmyta
Fig. 6. Fuzzy decision

Podsumowanie

Zagadnienie podejmowania decyzji w warunkach rozmytości klasyfikuje się ze względu na:

- liczbę decydentów (jeden, dwóch i więcej);
- liczbę etapów podejmowania decyzji (jeden etap lub więcej);
- liczbę kryteriów (jedno lub więcej – zagadnienia wielokryterialne).

Klasyfikacja konkretnego zagadnienia warunkuje dobór metody rozwiązania problemu odnalezienia decyzji optymalnej. Zagadnienie optymalizacji drogi morskiej statku proponuje się sklasyfikować jako problem podejmowania decyzji przez jednego decydenta, w jednym etapie podejmowania decyzji oraz jako zagadnienie wielokryterialne. W przypadku stosowania wyboru trasy najkrótszej pod względem czasu, kryteriami wyboru są: minimum czasu oraz bezpieczeństwo żeglugi, w przypadku wyboru trasy zapewniającej najmniejsze zużycie paliwa: kryteria minimum paliwa oraz bezpieczeństwo żeglugi. Matematyczne metody stosowane w przypadku rozwiązywania problemów wyboru

w warunkach rozmytości zakładają zastosowanie celów i ograniczeń rozmytych jako środków służących uporządkowaniu decyzji [1], dając możliwość doboru wag poszczególnym kryteriom wyboru.

Literatura

1. Kacprzyk J., *Zbiory rozmyte w analizie systemowej*, PWN, Warszawa 1986.
2. Kacprzyk J., *Wieloetapowe sterowanie rozmyte*, WNT, Warszawa 2001.
3. Kwiesielewicz M., *Analityczny hierarchiczny proces decyzyjny*, PAN IBS, Warszawa 2002.
4. Piegat A., *Modelowanie i sterowania rozmyte*, AOW EXIT, Warszawa 1999.
5. Łachwa A., *Rozmyty świat zbiorów, liczb, relacji, faktów, reguł i decyzji*, AOW EXIT, Warszawa 2001.
6. Wiśniewski B., *Problemy wyboru drogi morskiej statku*, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1991.
7. Wiśniewski B., *Optymalizacja drogi morskiej statku z uwzględnieniem warunków pogodowych*. WSM Szczecin, 1986.
8. Wiśniewski B., Medyna P., Chomski J., *Ocena prognoz falowania wykorzystywanych w planowaniu tras statków na Północnym Atlantyku w okresie marzec – maj 1998*, III Sympozjum Nawigacyjne WSM Gdynia, Gdynia 1999.
9. Holec M., Tymański P., *Podstawy meteorologii i nawigacji meteorologicznej*, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1980.

Wpłynęło do redakcji w lutym 2004 r.

Recenzenci

prof. dr inż. kpt.ż.w. Mirosław Jurdziński
prof. dr hab. inż. Andrzej Stateczny

Adresy Autorów

prof. dr hab. inż. Bernard Wiśniewski
mgr inż. Andrzej Drozd

Akademia Morska w Szczecinie
Instytut Nawigacji Morskiej
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin