

## **OPTIMALIZACJA STRATEGII POSZUKIWAŃ PODWODNYCH REALIZOWANYCH W CELACH PROCESOWYCH**

Adam Olejnik

Wydział Mechaniczno-Elektryczny, Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni, Polska

### **STRESZCZENIE**

Materiał jest kontynuacją artykułu zamieszczonego w PHR nr 3(52)2015 dotyczącego metodyki wyboru strategii poszukiwań podwodnych realizowanych w celach procesowych. W niniejszym artykule zaproponowano zastosowanie jednej z metod optymalizacji decyzji do wyboru właściwego sposobu postępowania w takich przypadkach.

**Słowa kluczowe:** inżynieria mechaniczna, inżynieria morska, technologia prac podwodnych.

---

### ARTICLE INFO

---

PolHypRes 2019 Vol. 66 Issue 1 pp. 35 - 46

**ISSN:** 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535

**DOI:** 10.2478/phr-2019-0003

Strony: 12, rysunki: 1, tabele: 8

**page www of the periodical:** [www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl)

**Typ artykułu:** przeglądowy

**Termin nadesłania:** 07.11.2018 r.

**Termin zatwierdzenia do druku:** 28.12.2018 r

**Publisher**

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



## WSTĘP

Niniejszy materiał to kolejny artykuł poświęcony zagadnieniom związanym z planowaniem i realizacją poszukiwań podwodnych wykonywanych w celach procesowych. Pierwszy ukazał się w roku 2015 w Polish Hyperbaric Research Nr 3(52) [1], w którym omówiono wpływ miejsca i warunków poszukiwań na wybór ich strategii. Ponadto zdefiniowano pojęcie strategii poszukiwań jako działania mające na celu stworzenie i egzekucję planu poszukiwań realizowanych z wykorzystaniem określonej metodyki poszukiwań, rozumianej jako techniczny sposób ich realizacji. Obecny materiał jest kontynuacją tej tematyki i przedstawia propozycję metody optymalizacji strategii takich poszukiwań.

Wybór optymalnej strategii poszukiwań podwodnych jest de facto klasycznym procesem decyzyjnym, w którym wyróżnia się następujące fazy [2]:

- identyfikacja sytuacji decyzyjnej,
- sformułowanie problemu decyzyjnego,
- zbudowanie modelu decyzyjnego,
- wyznaczenie decyzji dopuszczalnych,
- wyznaczenie decyzji optymalnej,
- podjęcie decyzji ostatecznej.

Wbrew pozorom wybór optymalnej strategii poszukiwań jest zagadnieniem złożonym, w którym występuje wiele czynników i trudno jest określić bezpośrednie zależności między składnikami funkcji kryterium a czynnikami, stąd zasadne jest podejmowanie decyzji w trybie zadania optymalizacyjnego. Generalnie w tym przypadku rozwiązanie tego zadania ma prowadzić do osiągnięcia pożądanego efektu przy zaangażowaniu jak najmniejszych sił i środków, co w rezultacie ma przełożyć się na ograniczenie wydatków poniesionych na realizację poszukiwań.

W omawianym przypadku może istnieć wiele czynników mających bezpośredni wpływ na wybór odpowiedniej strategii poszukiwań, przykładowo: wielkość akwenu, rodzaj dna, wielkość poszukiwanego obiektu, obecność roślinności itp. Ich obecność rodzi zatem pytanie: jak ocenić wpływ wszystkich czynników, tu można je rozumieć jako kryteria wyboru strategii, na ostateczną decyzję. Odpowiedzią na tak sformułowane pytanie zajmuje się dział optymalizacji zwany optymalizacją wielokryterialną. To dość złożone zagadnienie, ale istnieje możliwość znalezienia jednego, konkretnego rozwiązania [3].

Porównanie wybranych wariantów decyzyjnych ze względu na różne kryteria wymaga zebrania odpowiednich informacji dotyczących ocen tych wariantów ze względu na wszystkie wybrane kryteria. Ze względu na różny charakter tych kryteriów, które wyrażone są poprzez różne oceny co do wielkości i mian, konieczne jest ich uporządkowanie. Z reguły wiąże się to z odpowiednim unormowaniem ocen – ich normalizacją. Istnieje kilka formuł normujących oceny kryteriów, zdaniem niektórych badaczy żadna z nich nie posiada samych plusów, ale największą ilością pozytywów charakteryzuje metoda unitaryzacji zerowej [4].

Metoda służy do oceny skończonej ilości wariantów decyzyjnych i charakteryzuje się przyjęciem stałego punktu odniesienia, który stanowi rozstęp zmiennej normowanej. Można powiedzieć, że jest to metoda pozwalająca na wybranie takiego wariantu, który jest najmniej oddalony od hipotetycznego punktu docelowego, tu rozumianego jako wariant optymalny dla danego procesu decyzyjnego. Jej zastosowanie w podejmowaniu decyzji dotyczącej wyboru strategii poszukiwań zostanie zaprezentowane na przykładzie.

## PRZYKŁAD

Zazwyczaj specjalista od technologii prac podwodnych w postępowaniu przygotowawczym w sprawach karnych pojawia się jako biegły powoływany w sprawie, w momencie kiedy organy państwa wstępnie ustaliły i wytypowały na podstawie czynności dochodzeniowych akwen lub fragment akwenu, który należy przeszukać w celu odnalezienia dowodu przestępstwa.

Jego zadaniem, wraz z zespołem współpracowników, jest dobrać odpowiednią strategię poszukiwań i odnaleźć rzeczony dowód, co potwierdzi lub odrzuci hipotezę dochodzeniową. Założmy, że w analizowanym przypadku do wykonania poszukiwań został wytypowany akwen śródlądowy, o nieznacznej głębokości, w którym nie występuje połączenie z innymi akwenami oraz rzekami.

Akwen charakteryzujący się znaczną obecnością roślinności w wodzie i słabą widocznością, dodatkowo posiadający muliste dno. W akwenu tym należy zlokalizować i wydobyć obiekt militarny, który może potwierdzić udział świadka koronnego w zabójstwie, co ma istotne znaczenie dla jego dalszej wiarygodności. Na podstawie zeznań świadków nie udało się jednak zawęzić rejonu poszukiwań i w związku z tym konieczne jest przeanalizowanie konieczności przeszukania całego akwenu. Powstaje zatem sytuacja, którą można określić mianem dylematu decyzyjnego: w jaki sposób skutecznie dokonać przeszukania wytypowanego akwenu, w celu odnalezienia dowodu lub wykluczenia znajdowania się tego dowodu w tym akwenu.

Do realizacji takich poszukiwań można wykorzystać co najmniej osiem metod stosowanych w technologii prac podwodnych, a liczba wariantów ich realizacji może się zwiększyć jeśli specjalista zdecyduje się na wykorzystanie wariantów kombinowanych. Gdyby jednak zdecydował się na sprawdzanie kolejno każdej metody naraziłyby organy państwa na poniesienie znacznych kosztów związanych z ich wykonaniem, ponieważ nie ma pewności co do tego, że już za pierwszym razem wybierze w sposób losowy, rozwiązanie najbardziej optymalne do danej sytuacji. Stąd wydaje się właściwe, aby w pierwszej kolejności powstały dylemat decyzyjny rozwiązać jako zadanie optymalizacyjne.

Charakterystyka przykładowego akwenu wytypowanego do poszukiwań pozwala nam na zdefiniowanie dziewięciu kryteriów za pomocą których będziemy oceniać poszczególne warianty decyzyjne, w tym przypadku rozumiane jako wybranie optymalnej metody poszukiwań.

- Są to:
- akwen śródlądowy,
  - woda stojąca,
  - mała głębokość,
  - muliste dno,
  - duża powierzchnia,
  - słaba widoczność,
  - mały obiekt,
  - obiekt ferromagnetyczny,
  - roślinność w wodzie.

W pierwszej kolejności należy dokonać analizy potencjalnych metod poszukiwawczych pod kątem charakterystyki akwenu i panujących w nim warunków, co przedstawiono w Tabeli 1 (tabela przykładowa na podstawie [5].)

Tab. 1

Charakterystyka metod poszukiwawczych vs. akwen i panujące w nim warunki.			
Metoda	Zalety	Wady	Akwen
<b>Hiperbaryczne</b>			
Wahadłowa	Stosunkowo umiarkowana pracochłonność oznakowania sektora poszukiwań i pasa poszukiwań	Stosunkowo umiarkowana pracochłonność oznakowania sektora poszukiwań i pasa poszukiwań	Akwen śródlądowy lub ograniczony akwen morski o średniej głębokości z twardym dnem i dobrą widocznością, w akwencie może występować roślinność
	Pokrycie się pasów poszukiwań zwiększające prawdopodobieństwo wykrycia obiektu	Pokrycie się pasów poszukiwań zwiększające prawdopodobieństwo wykrycia obiektu Nie nadaje się do użycia w przypadku występowania mulistego dna	
Polami	Ograniczenie czynności nurka jedynie do poruszania się po dnie w wyznaczonym pasie i prowadzenia obserwacji	Bardzo pracochłonne oznakowanie sektora poszukiwań	Akwen śródlądowy lub ograniczony akwen morski o średniej głębokości z dnem mulistym o umiarkowanej widoczności. Roślinność w wodzie może występować, ale utrudnia działania.
	Może mieć zastosowanie w akwencie w którym występuje dno muliste Widoczne granice pasa poszukiwań ułatwiają prace nurkom	Jednokrotne przeszukanie pasa przez nurka bez względu na jego długość	
Okrężna	Prostota wykonania	Bardzo mała efektywność metody w przeszukaniu dużych obszarów dna	Mały akwen śródlądowy lub bardzo ograniczony akwen morski o średniej głębokości i znikomej widoczności. Może występować roślinność w wodzie, ale będzie utrudniać realizację prac.
	Duża efektywność metody przy poszukiwaniu obiektów o znacznych wymiarach odstających od dna na wysokość większą niż znajduje się lina dystansowa	Możliwość wykorzystania metody, gdy rejon poszukiwań jest bardzo dokładnie określony	
	Możliwość prowadzenia poszukiwań przy znikomej widoczności		
Halsami	Szybkie przeszukanie dużego akwenu	Poszukiwania tylko dużych obiektów	Duży akwen morski lub ograniczony akwen śródlądowy o średniej głębokości z bardzo dobrą widocznością i brakiem roślinności w wodzie. Bez infrastruktury na dnie.
	Możliwość realizacji poszukiwań na dużych głębokościach	Ograniczenie zastosowania do akwenu o dobrej widoczności Metoda niebezpieczna dla nurków	
		Prace w akwencie, w którym nie ma żadnych konstrukcji dennyh Możliwość wystąpienia pominięć fragmentów dna, które należało przeszukać	

Metoda	Zalety	Wady	Akwen
Holowaniem	Szybkie przeszukanie dużego akwenu Możliwość realizacji poszukiwań na dużych głębokościach	Poszukiwania tylko dużych i dobrze widocznych obiektów Ograniczenie zastosowania do akwenów o bardzo dobrej widoczności Metoda wymagająca wysokich kwalifikacji nurkowych w pływaniu na zadanym kursie Prace w akwencie, w którym nie ma żadnych konstrukcji dennych Możliwość wystąpienia pominięć fragmentów dna, które należało przeszukać	Duży akwen morski lub ograniczony akwen śródlądowy o dużej głębokości z bardzo dobrą widocznością i brakiem roślinności w wodzie. Bez infrastruktury na dnie.
<b>Bezzałogowe</b>			
Hydrolokacyjna	Bardzo duża efektywność prac Brak konieczności przygotowania akwenu Bardzo dobre zobrazowanie wyników badań, ale często bez możliwości 100% identyfikacji obiektu	Kosztowny sprzęt Konieczność zastosowania urządzeń nawigacji podwodnej Konieczność wykonywania postprocesingu danych pomiarowych w celu ich prezentacji i georeferencji Interpretacja danych wymaga personelu o dużym doświadczeniu i kwalifikacjach Identyfikacja zlokalizowanego obiektu wymaga często zastosowania metody telewizyjnej	Duży akwen morski lub śródlądowy o dowolnej głębokości ze znikomą widocznością w wodzie i najlepiej twardym dnem. Występowanie roślinności utrudnia działania.
Magnetyczna	Bardzo duża efektywność prac Brak konieczności przygotowania akwenu Bardzo dobre zobrazowanie wyników badań, ale często bez możliwości 100% identyfikacji obiektu	Kosztowny sprzęt Konieczność zastosowania urządzeń nawigacji podwodnej Konieczność wykonywania postprocesingu danych pomiarowych w celu ich prezentacji i georeferencji Interpretacja danych wymaga personelu o dużym doświadczeniu i kwalifikacjach Identyfikacja zlokalizowanego obiektu wymaga często zastosowania metody telewizyjnej	Duży akwen morski lub śródlądowy o dowolnej głębokości ze znikomą widocznością w wodzie i najlepiej twardym dnem. Występowanie roślinności utrudnia działania.
Telewizyjna	Brak konieczności przygotowania akwenu Bardzo dobre zobrazowanie wyników badań, pozwalające na 100% identyfikację obiektu Wysoki standard bezpieczeństwa realizacji prac	Kosztowny sprzęt Konieczność zastosowania urządzeń nawigacji podwodnej Konieczność wykonywania rozpoznania hydrograficznego Konieczność wykonywania postprocesingu danych wizyjnych	Ograniczony akwen śródlądowy lub znacznie ograniczony akwen morski z bardzo dobrą widocznością, dowolną głębokością, twardym dnem. Roślinność w wodzie znacząco utrudnia prowadzenie działań.

Dane z powyższej tabeli pozwolą nam na zdefiniowanie wartości ocen poszczególnych kryteriów dla analizowanego przypadku. W tym celu przyjmujemy dziewięciopunktową skalę ocen (Tabela 2).

Tab. 2

Skala ocen.

$x_{ij}$								
1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sytuacja katastrofalna	Sytuacja katastrofalna	Sytuacja katastrofalna	Sytuacja katastrofalna	Sytuacja katastrofalna	Sytuacja katastrofalna	Sytuacja katastrofalna	Sytuacja katastrofalna	Sytuacja katastrofalna

Następnie metodą sędziów kompetentnych, w gronie ekspertów należy dokonać oceny poszczególnych kryteriów w analizowanym przypadku dylematu decyzyjnego. Wyniki przedstawiono w kolejnej tabeli.

Tab. 3

Oceny poszczególnych kryteriów.

Metoda	Kryterium 1	Kryterium 2	Kryterium 3	Kryterium 4	Kryterium 5	Kryterium 6	Kryterium 7	Kryterium 8	Kryterium 9
	akwen śródlądowy	woda stojąca	mała głębokość	muliste dno	duża powierzchnia	słaba widoczność	mały obiekt	obiekt ferromagnetyczny	roślinność w wodzie
Wahadłowa	7	7	9	2	6	2	3	5	1
Polami	9	9	8	6	4	7	5	5	7
Okrężna	8	8	7	8	1	8	3	7	9
Halsami	9	9	7	2	8	2	2	4	1
Holowaniem	9	9	7	2	8	2	2	4	1
Hydroakust.	8	8	3	2	9	9	7	2	2
Magnetyczna	8	8	3	2	9	9	7	9	2
Telewizyjna	9	9	7	2	1	1	3	5	1

Kolejnym krokiem jest zdefiniowanie ważności poszczególnych kryteriów, czego dokonuje się za pomocą wag. W tym przypadku oceny ważności można dokonać w oparciu o pięciostopniową skalę, co pokazano w Tabeli 4.

Tab. 4

Skala ważności kryteriów.

$w_j$				
1	1	1	1	1
Kryterium nieistotne	Kryterium nieistotne	Kryterium nieistotne	Kryterium nieistotne	Kryterium nieistotne

Oceny ważności kryteriów należy również dokonać metodą sędziów kompetentnych, wyniki dla analizowanego przykładu zestawiono w tabeli poniżej.

Tab. 5

Wagi dla poszczególnych kryteriów.

	Kryterium 1	Kryterium 2	Kryterium 3	Kryterium 4	Kryterium 5	Kryterium 6	Kryterium 7	Kryterium 8	Kryterium 9
	akwen śródlądowy	woda stojąca	mała głębokość	muliste dno	duża powierzchnia	słaba widoczność	mały obiekt	obiekt ferromagnetyczny	roślinność w wodzie
WAGA	1	1	1	4	4	5	5	5	4

W przypadku jak wyżej kiedy wagi poszczególnych kryteriów są zróżnicowane należy dla każdego z kryteriów wprowadzić wagę znormalizowaną:

$$\bar{w}_j = \frac{w_j}{\sum w_j} \quad (1)$$

gdzie:

- $\bar{w}_j$  - znormalizowana waga kryterium,  
 $w_j$  - waga kryterium

Przy czym wprowadzone wagi znormalizowane muszą spełniać warunek:

$$\sum \bar{w}_j = 1 \quad (2)$$

Spełnienie powyższego warunku gwarantuje wypełnienie założenia, że w analizie brane są pod uwagę wszystkie kryteria.

Tab. 6

Normalizacja wag dla poszczególnych kryteriów.										
	Numer kryterium									Suma wag
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
WAGA	1	1	1	4	4	5	5	5	4	30
$w_j$										
Waga znormalizowana	0.033333	0.033333	0.033333	0.133333	0.133333	0.166667	0.166667	0.166667	0.133333	1
$\bar{w}_j$										

W kolejnym kroku należy obliczyć rozstęp ocen w poszczególnych kryteriach:

$$R(X_j) = \max(x_{ij}) - \min(x_{ij}) \text{ dla wszystkich elementów } i \quad (3)$$

Przykładowo dla kryterium nr 1 (akwen śródlądowy) ocena tego kryterium jest dla poszczególnych metod różnorodna i kształtuje się w przedziale od wartości minimalnej 7 do wartości maksymalnej 9, wówczas wynik obliczony z zależności (3) będzie wynosił 2. Wyniki wszystkich obliczeń przedstawiono w tabeli poniżej:

Tab. 7

Wyniki obliczeń zależności (3) dla poszczególnych metod i kryteriów.									
Metoda	Kryterium 1	Kryterium 2	Kryterium 3	Kryterium 4	Kryterium 5	Kryterium 6	Kryterium 7	Kryterium 8	Kryterium 9
	akwen śródlądowy	woda stojąca	mała głębokość	muliste dno	duża powierzchnia	słaba widoczność	mały obiekt	obiekt ferromagnetyczny	roślinność w wodzie
Wahadłowa	7	7	9	2	6	2	3	5	1
Polami	9	9	8	6	4	7	5	5	7
Okrężna	8	8	7	8	1	8	3	7	9
Halsami	9	9	7	2	8	2	2	4	1
Holowaniem	9	9	7	2	8	2	2	4	1
Hydroakust.	8	8	3	2	9	9	7	2	2
Magnetyczna	8	8	3	2	9	9	7	9	2
Telewizyjna	9	9	7	2	1	1	3	5	1
min	7	7	3	2	1	1	2	2	1
max	9	9	9	8	9	9	7	9	9
R	2	2	6	6	8	8	5	7	8

Po dokonaniu tych obliczeń można przystąpić do budowania zagregowanej funkcji celu, za pomocą której dokonamy wyboru wariantu decyzyjnego. Funkcję tę buduje się w oparciu o zależność:

$$Q_j = \sum_{j=1}^s (Z_{ij} \cdot \bar{w}_j) \quad (4)$$

Gdzie  $Z_{ij}$  jest znormalizowaną wartością ocen poszczególnych kryteriów ( $x_{ij}$ ). Proces przeliczania wartości ocen porównywalnych dla wszystkich analizowanych kryteriów, czyli ich normalizację realizuje się odmiennie w zależności od tego, czy ocena jest stymulantą, destymulantą lub nominantą [6]. Dla stymulanty normalizacja zmiennej jest realizowana za pomocą zależności:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{R(X_j)} \quad (5)$$

Natomiast dla destymulanty wykorzystywana jest następująca zależność:

$$Z_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{R(X_j)} \quad (6)$$

W przypadku nominanty w pierwszej kolejności należy zdefiniować optymalny przedział wartości ( $c_{1j}, c_{2j}$ ) ponieważ ma on wpływ na sposób normalizacji:

$$\text{if } x_{ij} < c_{1j} \quad Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{c_{1j} - \min(x_{ij})} \quad (7)$$

$$\text{if } c_{1j} \leq x_{ij} \leq c_{2j} \quad Z_{ij} = 1 \quad Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \max(x_{ij})}{c_{2j} - \max(x_{ij})} \quad (8)$$

$$\text{if } x_{ij} > c_{2j} \quad c_{2j} - \max(x_{ij}) \quad (9)$$

Natomiast jeśli występuje jedna wartość nominalna  $c_{0j}$  wtedy wykorzystujemy następujące zależności:

$$\text{if } x_{ij} < c_{0j} \quad Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{c_{0j} - \min(x_{ij})} \quad (10)$$

$$\text{if } x_{ij} = c_{0j} \quad Z_{ij} = 1 \quad (11)$$

$$\text{if } x_{ij} > c_{0j} \quad Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \max(x_{ij})}{c_{0j} - \max(x_{ij})} \quad (12)$$

W omawianym przypadku mamy do czynienia ze stymulantami, czyli do obliczeń będzie wykorzystywana zależność (5). Przykładowo dla metody wahadłowej i kryterium akwen śródlądowy obliczenia będą przebiegać następująco:

$$Z_{11} = \frac{x_{11} - x_{11}}{R(X_1)} = \frac{7 - 7}{2} = 0 \quad (13)$$

Natomiast dla metody wahadłowej i kryterium słaba widoczność, następująco:

$$Z_{16} = \frac{x_{16} - x_{86}}{R(X_6)} = \frac{2 - 1}{8} = 0,125 \quad (14)$$

Sumując obliczone w ten sposób wartości  $Z_{ij}$ , buduje się liczbową ocenę wariantu decyzyjnego dla metody wahadłowej i analizowanych kryteriów, w tym przypadku wyniki są następujące:

$$Q_j = \sum_{j=1}^s (Z_{ij} \cdot \omega_j) = 0 + 0 + 0,033 + 0 + 0,083 + 0,020 + 0,033 + 0,071 + 0 = 0,245562 \quad (15)$$

Z czego wynika, że biorąc pod uwagę analizowane kryteria ocena możliwości zastosowania wahadłowej metody poszukiwań wynosi:

$$Q_1 = 0,242262 \quad (16)$$

I w takim zapisie jest to niestety informacja, która jeszcze niewiele nam mówi. Należy dokonać obliczeń dla wszystkich wariantów decyzyjnych, dla każdej analizowanej metody poszukiwań.

Po wykonaniu obliczeń dla każdego wariantu decyzyjnego, których wyniki przedstawiono w tabeli poniżej, posiadając wartości liczbowe dla każdego analizowanego wariantu na ich podstawie możemy zbudować ranking i dokonać wartościowania wariantów.

Wyniki obliczeń zależności (4) dla poszczególnych wariantów decyzyjnych.

Metoda	$Q_j$
Wahadłowa	0.242262
Polami	0.629762
Okrężna	0.620437
Halsami	0.274008
Holowaniem	0.274008
Hydroakust.	0.516667
Magnetyczna	0.683333
Telewizyjna	0.193651

Wartościując warianty dzielimy je na najlepsze, przeciętne i najgorsze, w tym celu wykorzystuje się stałą  $U$  obliczaną z zależności:

$$U = \frac{\max Q_j - \min Q_j}{i} \quad (17)$$

Wówczas kryterium przyporządkowania poszczególnych wariantów do określonej grupy jest następujące:

$$\begin{aligned} \text{if } Q_j \in (\max Q_j - U; \max Q_j) & \quad \text{wariant decyzyjny najlepszy} \\ \text{if } Q_j \in (\max Q_j - 2U; \max Q_j - U) & \quad \text{wariant decyzyjny przeciętny} \\ \text{if } Q_j \in (\min Q_j; \max Q_j - 2U) & \quad \text{wariant decyzyjny najgorszy} \end{aligned} \quad (18)$$

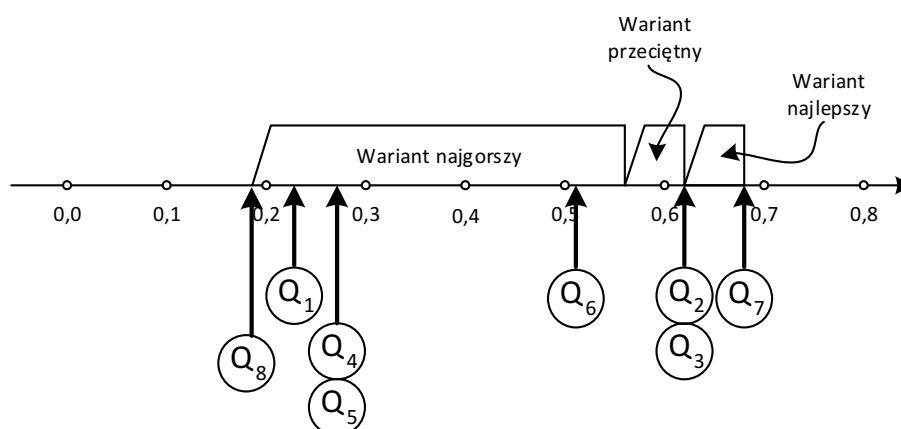
W analizowanym przypadku wartość  $U$  wynosi:

$$U = \frac{\max Q_j - \min Q_j}{i} = \frac{0,68333 - 0,193651}{8} = 0,06121 \quad (19)$$

Z czego wynika, że przedziały określające przynależność wariantu do określonej grupy będą następujące:

$$\begin{aligned} \text{if } Q_j \in (0,62212 \div 0,68333) & \quad \text{wariant decyzyjny najlepszy} \\ \text{if } Q_j \in (0,560913 \div 0,62212) & \quad \text{wariant decyzyjny przeciętny} \\ \text{if } Q_j \in (0,193651 \div 0,560913) & \quad \text{wariant decyzyjny najgorszy} \end{aligned} \quad (20)$$

Teraz pod kątem obliczonych przedziałów liczbowych (20) analizujemy wyniki przedstawione w tabeli 8. Graficzne przedstawienie wyników analizy przedstawiono poniżej.



Rys. 1 Graficzne przedstawienie wyników analizy.



Z rysunku wynika, że w grupie wariantów najlepszych ułożył się wariant oznaczony cyfrą 7 z oceną  $Q_7 = 0,683333$ , czyli metoda poszukiwań wykorzystująca magnetometr. Na granicy pomiędzy grupą wariantów najlepszych i przeciętnych ułożyły się warianty oznaczone cyfrą 2 i 3 z ocenami  $Q_2 = Q_3 = 0,620437$ , czyli metody poszukiwań polami i okrężna. W grupie wariantów przeciętnych nie występuje żadna inna analizowana metoda. Natomiast w grupie wariantów najgorszych ułożyły się pozostałe analizowane metody poszukiwań oznaczone cyframi 1,4,5,6 i 8, czyli metody wahadłowa (1), Halsami (4), holowaniem (5), hydroakustyczna (6) i telewizyjna (8).

## WYNIK

Z przeprowadzonych obliczeń i analiz wynika, że w analizowanym przypadku najbardziej efektywnym postępowaniem przyjętym do realizacji będzie wstępne przeszukanie akwenu za pomocą magnetometru i wytypowanie pozycji do dokładnego przeszukania z zastosowaniem metody polami lub okrężnej.

## WNIOSKI

W artykule przedstawiono przykład pokazujący wykorzystanie jednej z metod optymalizacji decyzji do wyboru strategii poszukiwań podwodnych. Jak widać na podstawie przeprowadzonych analiz i obliczeń metoda ta umożliwia wskazanie optymalnego wariantu postępowania w konkretnym przypadku akwenu i przedmiotu poszukiwań.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń zasugerowano zastosowanie dwóch lub trzech analizowanych strategii w celu podniesienia prawdopodobieństwa ich skuteczności. Wyniki bezpośrednio wskazują na prawidłowość toku postępowania, czego na przykład dowodem jest zakwalifikowanie wariantu 8 (metoda telewizyjna) do przedziału wariantów najgorszych. Jak wynika z Tabeli 1 jest to metoda dająca najlepsze efekty podczas zastosowania na ograniczonym akwenu cechującym się dobrą widocznością bez roślinności i z twardym dnem. Biorąc pod uwagę charakterystykę akwenu z analizowanego przykładu, są to warunki przeciwstawne dla zastosowania tej metody.

Z powyższego wynika, że metodę unitaryzacji zerowej można z powodzeniem zastosować na etapie przygotowania podwodnych prac poszukiwawczych w celu ograniczenia nakładu sił i środków przeznaczonych na ich realizację. Jej zastosowanie wymaga jednak pracy w odpowiednio kompetentnym zespole specjalistów od technologii prac podwodnych, którzy jako sędziowie kompetentni najpierw dokonają odpowiedniej analizy wskazanego rejonu poszukiwań i zdefiniują kryteria, a następnie dokonają oceny poszczególnych kryteriów.

## BIBLIOGRAFIA

1. Olejnik A., Szymański R.: Metodyka wyboru strategii poszukiwań podwodnych realizowanych w celach procesowych – miejsce i warunki poszukiwań; Polish Hyperbaric Research ISSN 1734-709; e-ISSN 2084-0535; Vol. 52 Issue 3 pp. 29-34 DOI: 10.1515/phr-2015-0014;
2. Lachowicz T.: Optymalizacja wielokryterialnych decyzji w zagadnieniach bezpieczeństwa funkcjonowania podmiotu; Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu w Katowicach ISSN 2083-8611; Nr 235 (2015) str. 144 – 158;
3. Polóński M.: Analiza wielokryterialna – wstęp do zagadnienia; [http://mieczyslaw\\_polonski.users.sggw.pl/Analiza%20wielokryter%20wstep1.pdf](http://mieczyslaw_polonski.users.sggw.pl/Analiza%20wielokryter%20wstep1.pdf) – dostęp 08.2018;
4. Kukuła K.: Metoda unitaryzacji zerowej na tle wybranych metod normowania cech diagnostycznych; Acta Scientifica Academiae Ostroviensis nr 4 (1999) pp. 5 – 31;
5. Praca zbiorowa pod kierownictwem A.Olejnik Techniczno-ekonomiczne studium wykonania prac podwodnych; materiał niepublikowany, praca badawcza na zlecenie Prokuratury Okręgowej Warszawa Praga;
6. Kukuła K., Jędrzejczyk Zb., Skrzypek J.: Badania operacyjne w przykładach i zadaniach; Wyd. PWN 2016; ISBN 978-83-01-18468-1.

**dr hab. inż. Adam Olejnik, prof. AMW**

Akademia Marynarki Wojennej  
Zakład Technologii Prac Podwodnych  
81-127 Gdynia  
ul. Śmidowicza 69  
e-mail: a.olejnik@amw.gdynia.pl