

**Rafał KASPRZYK, Zbigniew TARAPATA  
Krzysztof SZKÓŁKA, Marcin CIEŚLEWICZ**

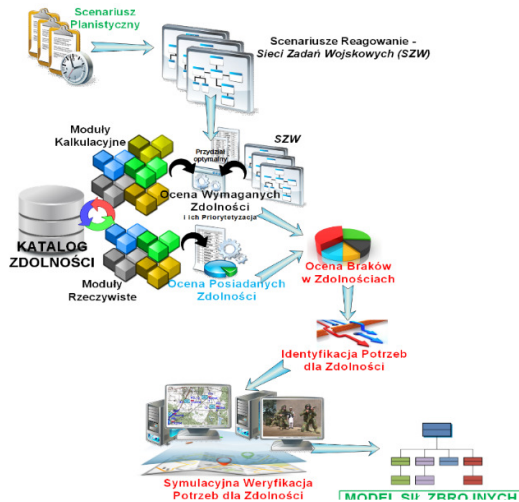
Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Cybernetyki  
ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

E-mail: rafal.kasprzyk@wat.edu.pl, zbigniew.tarapata@wat.edu.pl,  
krzysztof.szkolka@wat.edu.pl, marcin.cieslewicz@wat.edu.pl

## **Grafowa metoda priorytetyzacji zdolności sił zbrojnych**

### 1 Wstęp

Siły zbrojne w każdym rozwiniętym państwie są podstawowym elementem obronnym przeznaczonym do realizacji polityki bezpieczeństwa. Aby tę misję skutecznie realizować, konieczne jest określenie właściwych kierunków rozwoju sił zbrojnych, tak aby gotowe były reagować na najbardziej prawdopodobne zagrożenia dla bezpieczeństwa państwa. Obowiązującym dokumentem porządkującym proces rozwoju Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej jest *Metodyka Planowania i Programowania Rozwoju Zdolności Sił Zbrojnych RP* [1]. Planowanie rozwoju Sił Zbrojnych rozumiane jest jako definiowanie celów rozwoju, natomiast programowanie polega na opracowaniu koncepcji ich osiągnięcia. Idea procesu planowania i programowania zdolności SZ RP zaprezentowana została na rysunku 1.



Rys. 1. Idea Procesu Planowania i Programowania Rozwoju Zdolności SZ RP

Fig. 1. The idea of AF Capabilities Development Proces Planning and Programming

Aktualne podejście do planowania i programowania rozwoju Sił Zbrojnych RP realizowane jest w oparciu o tzw. **zdolności operacyjne** [1, 2, 3]. Zdolność operacyjna definiowana jest jako *potencjalna sprawność, możliwość podmiotu wynikająca z jego cech i właściwości, pozwalająca na podjęcie działań zmierzających do osiągnięcia pożądanego efektów*. Komponentami funkcjonalnymi zdolności operacyjnych są: doktryny, organizacja, szkolenie, sprzęt wojskowy, zasoby osobowe, przywództwo, infrastruktura oraz interoperacyjność. W odniesieniu do Sił Zbrojnych RP posiadane zdolności determinują *de facto* możliwe do realizacji zadania wojskowe.

Metoda priorytetyzacji zdolności operacyjnych Sił Zbrojnych RP opracowana została na potrzeby analitycznego wsparcia decydentów w realizacji jednej z kluczowych czynności procesu planowania, tj. *Oceny Wymaganych Zdolności i ich Priorytetyzacji*. Konieczność priorytetyzacji zdolności wynika z faktu posiadania ograniczonych zasobów, w szczególności finansowych, w rozpatrywanym w ramach procesu planowania rozwoju zdolności horyzoncie czasowym (zwykle 10 lat).

## 2 Podstawy formalne metody priorytetyzacji zdolności

Podstawą do przeprowadzenia priorytetyzacji zdolności jest graf zależności pomiędzy zdolnościami konstruowany dla ustalonego *Scenariusza Reagowania* Sił Zbrojnych na wybrane zagrożenie. Zakłada się wykorzystanie w tym celu wiedzy grupy doświadczonych ekspertów wojskowych, którzy są w stanie określić wzajemne zależności pomiędzy zdolnościami. Graf zależności pomiędzy zdolnościami jest bazą do wyznaczenia tzw. centralności zdolności, która ułatwia ilościowe podejście do priorytetyzacji zdolności w ramach określonego *Scenariusza Reagowania* Sił Zbrojnych.

### 2.1 Definicje i notacje

Graf jest abstrakcyjną reprezentacją zbioru obiektów, pomiędzy którymi mogą istnieć różnego rodzaju związki. Obiekty te prezentowane są jako wierzchołki, zwane również węzłami, związki zaś jako gałęzie (wśród nich wyróżnia się: krawędzie, łuki i pętle). Formalnie graf  $G$  to trójka uporządkowana [4]:

$$G = \langle V, B, I \rangle ,$$

gdzie:

$V$  - zbiór wierzchołków grafu  $G$ ,

$B$  - zbiór gałęzi grafu  $G$ ,

$I$  - trójczłonowa relacja incydencji ( $I \subset V \times B \times V$ ), spełniająca dwa warunki:

- 1)  $\forall b \in B \exists x, y \in V \langle x, b, y \rangle \in I$ ,
- 2)  $\forall b \in B \exists x, y, v, z \in V \langle x, b, y \rangle \in I \wedge \langle v, b, z \rangle \in I \Rightarrow$   
 $(x = v \wedge y = z) \vee (x = z \wedge y = v)$

W oparciu o relację incydencji  $I$  można wyróżnić trzy rodzaje gałęzi:

$\bar{B}$  - krawędzie, spełniające warunek  $\langle x, b, y \rangle \in I \wedge \langle y, b, x \rangle \in I \wedge x \neq y$ ,

$\bar{B}$  - łuki, spełniające warunek  $\langle x, b, y \rangle \in I \wedge \langle y, b, x \rangle \notin I \wedge x \neq y$ ,

$\dot{B}$  - pętle spełniające warunek  $\langle x, b, x \rangle \in I$ .

Przedstawiona definicja grafu pozwala na modelowanie struktury bardzo złożonych systemów, w których mogą występować wielokrotne związki różnego rodzaju (krawędzie, łuki, pętle) pomiędzy elementami składowymi systemu.

Z punktu widzenia konstrukcji grafu zależności pomiędzy zdolnościami operacyjnymi za celowe uznano ograniczenie rozważań jedynie do grafów klasy  $\langle 0, 1, 0 \rangle$ , czyli tzw. unigrafów skierowanych bez pętli [4]. Pozwoliło to znacząco uprościć definicję grafu zależności, a tym samym zmniejszyć złożoność opracowanej metody priorytetyzacji zdolności. Graf zależności pomiędzy zdolnościami *CDG* (ang. *Capability Dependency Graph*) definiowany jest jako dwójka uporządkowana:

$$CDG = \langle C, D \rangle ,$$

gdzie:

$C$  - zbiór wierzchołków grafu *CDG*, reprezentujący zdolności,

$D \subset \{ \langle x, y \rangle : x, y \in C \}$  grafu *CDG*, reprezentujący zależności pomiędzy zdolnościami. Kierunek łuku ustala dla danej pary zdolności  $\langle x, y \rangle$  rozróżnienie na **zdolność wspierającą** –  $x$  oraz **zdolność wspieraną**  $y$ .

## 2.2 Miary oceny centralności wierzchołków

Opracowana metoda priorytetyzacji zdolności bazuje na specjalizowanych algorytmach oceny centralności wierzchołków w grafach, wykorzystywanych m.in. do wyszukiwania jednostek kluczowych w sieciach społecznych (np. *stopień*, *promień*, *bliskość*, *pośrednictwo*) oraz tworzenia rankingów stron WWW (np. *PageRank*, *HITS*). Miary centralności ułatwiają udzielenie odpowiedzi na pytanie, który wierzchołek jest najbardziej istotny w badanym grafie, z punktu widzenia przyjętej perspektywy [5, 6]. Stąd też miary centralności często nazywane są miarami istotności. Dalej przedstawione zostaną sposoby wyznaczenia wartości określonej miary centralności wierzchołków (zdolności) dla grafu zależności pomiędzy zdolnościami *CDG*.

- $dc_i^{IN}$  - **znormalizowany stopień wej.** (ang. *normalized in-degree centrality*)

Istotność zdolności jest proporcjonalna do liczby zdolności ją wspierających. Im wyższa jest wartość miary tym jest to bardziej istotna zdolność wspierana:

$$dc_i^{IN} = \frac{k_i^{IN}}{|C|-1} ,$$

gdzie:

$k_i^{IN}$  - stopień wejściowy  $i$ -tego wierzchołka.

- $dc_i^{OUT}$  - **znormalizowany stopień wyj.** (ang. *normalized out-degree centrality*)

Istotność zdolności jest proporcjonalna do liczby zdolności, które ta zdolność wspiera. Im wyższa jest wartość miary, tym jest to bardziej istotna zdolność wspierająca:

$$dc_i^{OUT} = \frac{k_i^{OUT}}{|C|-1} ,$$

gdzie:

$k_i^{OUT}$  - stopień wyjściowy  $i$ -tego wierzchołka.

- $dc_i$  - **znormalizowany stopień** (ang. *normalized degree centrality*)

Niekiedy możemy być zainteresowani sumaryczną wartością istotności zdolności jako zdolności wspieranej i wspierającej; wówczas należy ocenić liczbę zdolności, przez które rozpatrywana zdolność jest wspierana i które wspiera:

$$dc_i = \frac{k_i^{IN} + k_i^{OUT}}{2 \cdot (|C| - 1)} .$$

- $rc_i$  - **promień** (ang. *radius centrality*)

Według tej miary zdolność jest tym istotniejsza, im jej odległość (długość drogi) do najdalszego wierzchołka (zdolności) w grafie jest najmniejsza. Miara ta jest bardzo interesująca, jeśli chcemy wskazać zdolność, której wsparcie (zwykle pośrednie) jest największe dla najbardziej odległej od niej zdolności wspieranej.

$$rc_i = \frac{1}{\max_{j \in C} d_{ij}} ,$$

gdzie:

$d_{ij}$  - długość drogi najkrótsza w grafie CDG z wierzchołka  $i$  do  $j$ .

- $cc_i$  - **bliskość** (ang. *closness centrality*)

Według tej miary zdolność jest tym istotniejsza, im mniejsza jest suma jej długości dróg do wszystkich wierzchołków w grafie. Zdolność, która wspiera najbardziej (jest najbliżej) wszystkie inne zdolności, jest najważniejszą zdolnością wspierającą:

$$cc_i = \frac{|C| - 1}{\sum_{j \in C} d_{ij}} .$$

- $bc_i$  - **pośrednictwo/obciążenie** (ang. *betweenness/load centrality*)

Innym sposobem oceny istotności zdolności jest miara, której wartość jest proporcjonalna do procentu liczby najkrótszych dróg pomiędzy każdą parą wierzchołów przechodzących przez rozpatrywany wierzchołek.

$$bc_i = \frac{\sum_{l \in C} \sum_{k \neq l \in C} \frac{p_{l,i,k}}{p_{l,k}}}{(|C| - 2)(|C| - 1)} ,$$

gdzie:

$p_{l,k}$  - liczba dróg najkrótszych z wierzchołka  $l$  do  $k$ ,

$p_{l,i,k}$  - liczba dróg najkrótszych z wierzchołka  $l$  do  $k$ , przechodzących przez  $i$ .

- $pc_i$  - **prestiż** (ang. *prestige centrality*)

O ile miara  $dc_i^{IN}$  do oceny istotności zdolności wspieranej bierze pod uwagę jedynie liczbę zdolności wspierających daną zdolność, to oczywiste jest, że nie wszystkie zdolności wspierające powinny mieć jednakowy wpływ na istotność zdolności wspieranej. Jeśli zdolność ma znaczą liczbę zdolności wspierających, które jednak same nie są istotne, to nie powinna być ona uznana za tak ważną, jak zdolność, która jest wspierana przez choćby jedną, ale bardzo istotną zdolność wspierającą. Ten tok rozumowania jest podstawą dla algorytmu wyznaczenia prestiży wierzchołka (zdolności).

$$pc_i = \sum_{j \in C} a_{ji} \cdot pc_j ,$$

gdzie:

$a_{ji}$  - element w wierszu  $j$  oraz kolumnie  $i$  macierzy przejść  $A$  grafu  $CDG$ . Element  $a_{ji} = 1 \Leftrightarrow$  zdolność  $j$  jest zdolnością wspierającą dla zdolności  $i$  (tzn. istnieje łuk z wierzchołka  $j$  do  $i$ ), w przeciwnym przypadku  $a_{ji} = 0$ .

Wektor prestiżu wierzchołków można wyznaczyć w oparciu o wektor własny macierzy przejść  $A$  grafu. Używając notacji macierzowej, możemy więc zapisać:

$$\vec{pc} = \frac{1}{\lambda} A^T \cdot \vec{pc} .$$

Wektor  $\vec{pc}$  jest wektorem własnym macierzy  $A$  dla największej wartości własnej  $\lambda$ .

- **PageRank**

Pewną subtelną modyfikacją algorytmu wyznaczającego wartość prestiżu wierzchołka jest algorytm *PageRank*, wykorzystywany powszechnie do tworzenia rankingów stron WWW. Idea tego algorytmu polega na uwzględnieniu czynnika związanego z faktem pewnego rodzaju rozłożenia wpływu wartości istotności zdolności wspierającej na zdolności wspierane. Jeśli więc jakaś zdolność wspiera wiele zdolności wówczas odpowiednio zmniejsza to jej wpływ na zmianę wartości istotności zdolności wspieranej:

$$prc_i = \sum_{j \in C} \frac{a_{ji}}{k_j^{OUT}} \cdot prc_j ,$$

gdzie:

$k_j^{OUT}$  - stopień wyjściowy  $j$ -tego wierzchołka

Wektor wartości *PageRank* wierzchołków można wyznaczyć w oparciu o wektor własny zmodyfikowanej macierzy przejść  $MA$  grafu  $CDG$ . Element macierzy  $MA$  w  $i$ -tym wierszu i  $j$ -tej kolumnie wyznaczany jest w następujący sposób:  $ma_{ij} = \frac{a_{ij}}{k_i^{OUT}}$

Używając notacji macierzowej, możemy zapisać:

$$\vec{prc} = \frac{1}{\lambda_{MA}} MA^T \cdot \vec{prc} .$$

Wektor  $\vec{prc}$  jest wektorem własnym macierzy  $MA$  dla największej wartości  $\lambda_{MA}$ .

- **HITS** (ang. *Hyperlink-Induced Topic Search*)

Algorytm **HITS** ze względu na możliwość wyróżnienia w grafach klasy  $\langle 0, 1, 0 \rangle$  stopnia wejściowego i wyjściowego jest innego rodzaju usubtelnieniem algorytmu (w stosunku do algorytmu *PageRank*) wyznaczającego prestiż wierzchołka i polega na rozróżnieniu między wartością tzw. **autorytetu** (ang. *authority centrality*) i **koncentratora** (ang. *hub centrality*). Wierzchołek (zdolność) jest tym istotniejszym autorytetem (zdolnością wspieraną), im wskazywany jest przez istotniejsze koncentratory (zdolności wspierające). Jednocześnie wierzchołek jest tym istotniejszym koncentratorem, im wskazuje na istotniejsze autorytety. Jeśli przez  $ac_i(t)$  i  $hc_i(t)$  oznaczymy odpowiednio wartość autorytetu i koncentratora wierzchołka  $i$ , wówczas mamy:

$$\begin{cases} ac_i = \frac{1}{\lambda_a} \sum_{j \in C} a_{ji} \cdot hc_j \\ hc_i = \frac{1}{\lambda_h} \sum_{j \in C} a_{ij} \cdot ac_j \end{cases}$$

Używając notacji macierzowej, możemy zapisać:

$$\begin{cases} \vec{ac} = \frac{1}{\lambda_a} A^T \cdot \vec{hc} \\ \vec{hc} = \frac{1}{\lambda_h} A \cdot \vec{ac} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \vec{ac} = \frac{1}{\lambda_a} A^T A \cdot \vec{ac} \\ \vec{hc} = \frac{1}{\lambda_h} A A^T \cdot \vec{hc} \end{cases}$$




























Wektor  $\vec{ac}(t)$  i  $\vec{hc}(t)$  jest odpowiednio wektorem własnym macierzy  $A^T A$  dla największej wartości  $\lambda_a$  i  $AA^T$  dla największej wartości  $\lambda_h$ .

### 3 Komponenty programowe priorytetyzacji zdolności

#### 3.1 Edytor Katalogu Zdolności

W celu zarządzania zdolnościami Sił Zbrojnych RP opracowano autorski komponent programowy – *Edytor Katalogu Zdolności*, prezentujący zdefiniowane zdolności za pomocą w pełni edytowalnego drzewa opisującego taksonomię zdolności (rys. 2). Do każdej zdolności na dowolnym poziomie w drzewie przypisane są możliwe do wykonania akcje (dodawanie nowej zdolności podrzędnej, edytowanie, wyróżnienie i usunięcie zdolności). Dodawanie zdolności i jej edytowanie przedstawia rysunek 3. Zdolność może dostać status „wyróżniona” zarówno z poziomu drzewa zdolności, przy wykorzystaniu wspomnianych akcji, jak również z poziomu okna dodawania i edycji zdolności. Status „wyróżniona” został wprowadzony w celu ułatwienia zarządzania *Katalogiem Zdolności*, poprzez wskazywania zdolności, które z jakiegoś powodu wymagają szczególnej uwagi. Dodatkowo wprowadzono status „tymczasowa”, który sugeruje stan przejściowy dla danej zdolności. Status jest wykorzystywany w momencie, kiedy nie jest w pełni sprecyzowany opis zdolności lub są trudności z jej klasyfikacją i umiejscowieniem w strukturze drzewa zdolności.

## Grafowa metoda priorytetyzacji zdolności sił zbrojnych

Kod zdolności	Nazwa zdolności	Opis zdolności	Akcje
<input type="text" value="Szukaj"/>	<input type="text" value="Szukaj"/>	<input type="text" value="Szukaj"/>	
▼ KZv1	Katalog Zdolności	Katalog Zdolności	  
▼ O	RAZENIE	Zdolny do skutecznego destrukcyjnego oddziaływania na system walki strony przeciwej.	  
▶ O.1	Manewr	Zdolny do przemieszczania sił, w różnych środowiskach, warunkach terenowych i pogodowych, w celu przyjęcia korzystnego ugrupowania w stosunku do sił przeciwnika zgodnie z otrzymanym zadaniem.	  
▶ O.2	Ogień	Zdolny do oddziaływania na przeciwnika różnymi rodzajami środków ogniowych (w każdej płaszczyźnie) w celu pozbawienia go zdolności do prowadzenia skutecznych działań bojowych.	  
▶ O.3	Oddziaływanie niekinetyczne	Zdolny do zastosowania środków niekinetycznych (nieśmiercionośnych)	  
▶ L	LOG. ZABEZPIECZENIE DZIAŁAŃ	Zabezpieczenie logistyczne SZ RP na poziomie umożliwiającym realizację zadań.	  
▶ D	DOWODZENIE	Zdolność do kierowania i dowodzenia siłami zbrojnymi w celu skutecznego wypełniania misji i zadań realizowanych przez siły zbrojne RP z wojennym przeznaczeniem.	  
R	ROZPOZNANIE	Zdolność do działalności sił i środków przeznaczonych do zdobywania i gromadzenia informacji dotyczących możliwości prowadzenia walki przez aktualnego lub potencjalnego przeciwnika, obszarów prowadzenia działań i warunków hydrometeorologicznych, przetwarzania ich w wiadomości do wojska w układzie narodowym i sojusznym w okresie pokoju, zagrożenia, kryzysu i wojny	  
▶ P	PRZETRZYMANIE I OCHRONA	Zdolny do minimalizowania podatności stanu osobowego, urządzeń, środków i prowadzonej operacji na niebezpieczeństwa i zagrożenia dla zachowania swobody działania oraz operacyjnej efektywności.	  

Rys. 2. Interfejs graficzny komponentu – Katalog Zdolności  
 Fig. 2. Graphical interface of component – capabilities directory

### Edycja zdolności ✕

**Nazwa skrócona**

**Nazwa**

**Opis**

**Kolor wiersza**

**Tymczasowa**

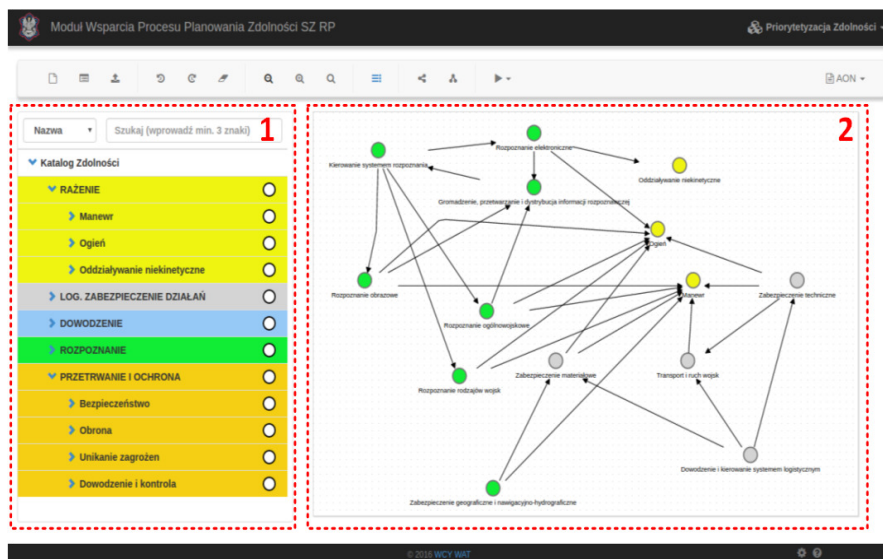
**Wyróżniona**

Rys. 3. Okno dodawania zdolności i jej edycji  
 Fig. 3. Window of capabilities adding and edition

Podczas zapisu *Katalogu Zdolności* do bazy danych można wybrać, czy jest on w danej chwili „aktualny”, tj. obowiązujący w aktualnym cyklu planistycznym. W komponencie *Priorytetyzacja Zdolności* (opisanym w pkt 3.2) domyślnie używany jest *Katalog Zdolności* oznaczony jako „aktualny”. Warto zwrócić uwagę, że *Edytor Katalogu Zdolności* umożliwia zdefiniowanie wielu *Katalogów Zdolności*, co ułatwia prowadzenie równoległych prac przez niezależne grupy ekspertów wojskowych podczas wypracowywania właściwej taksonomii zdolności i ich opisu na kolejny cykl planistyczny.

### 3.2 Priorytetyzacja Zdolności

Na potrzeby budowy grafu zależności pomiędzy zdolnościami opracowano autorski komponent programowy (rys. 4), który umożliwia interaktywną konstrukcję grafu. Kluczowymi elementami edytora jest drzewo zdolności opisujące przyjętą taksonomię zdolności w danym cyklu planistycznym (obszar oznaczony numerem 1) oraz obszar roboczy będący kontenerem dla konstruowanego grafu (obszar oznaczony numerem 2).

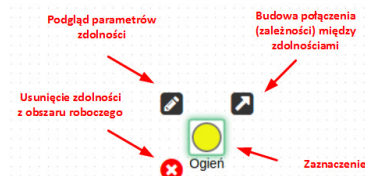


Rys. 4. Interfejs graficzny komponentu – Priorytetyzacja Zdolności

Fig. 4. Graphical interface of component – Capabilities Prioritization

Budowa grafu zależności pomiędzy zdolnościami jest szybka i intuicyjna, ponieważ działa w oparciu o technikę „przeciągnij i upuść” (ang. *drag and drop*). Należy wybrać jedną z dostępnych zdolności z drzewa zdolności, przeciągnąć i upuścić nad obszarem roboczym. Na każdej zdolności (wierzchołku grafu) można wykonać operacje podglądu parametrów, połączenia z inną zdolnością (konstrukcja zależności) oraz jej usunięcie (rys. 5. i rys. 6.).





Rys. 5. Możliwe operacje dostępne dla zaznaczonej zdolności  
 Fig. 5. Possible operations for selected capability

Szczegóły Zdolności	
Nazwa	Ogień
Kod	O.2
Opis	Zdolny do oddziaływania na przeciwnika różnymi rodzajami środków ogniowych (w każdej płaszczyźnie) w celu pozbawienia go zdolności do prowadzenia skutecznych działań bojowych.
Tymczasowa	<input type="checkbox"/>
Stożek węzła (WeWyłWe-Wy)	0.4615 / 0 / 0.4615
Pośrednicтво węzła	0.0045
Promień węzła	0.5
Bliskość węzła	0.65
HITS (Koncentrator/Autorytet)	0 / 0.6425
PageRank	0.1403

Rys. 6. Okno podglądu parametrów zdolności  
 Fig. 6. Window with capability parameters

Gdy projekt grafu zależności pomiędzy zdolnościami jest gotowy, istnieje możliwość konfiguracji i uruchomienia szeregu algorytmów oceny istotności wierzchołków skonstruowanej sieci. Algorytmy te zostały opisane w pkt 2.2. Wyniki obliczeń reprezentowane są w postaci interaktywnej tabeli (rys. 7).

Wyniki obliczeń priorytetów zdolności

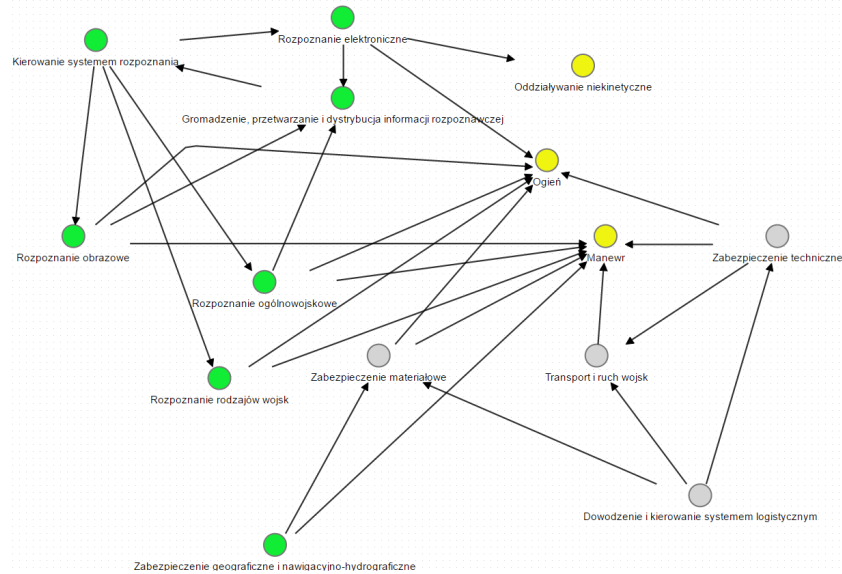
Nazwa	Kod	Stopień wężła (We)	Stopień wężła (Wy)	Stopień wężła (Ww-Wy)	Pośrednictwo wężła	Promień wężła	Bliskość wężła	HITS Koncentrator	HITS Autorytet	PageRank
Rozpoznanie ogólnowojskowe	R.2	0.08	0.23	0.31	0.01	0.25	0.72	0.45	0	0.06
Ogień	O.2	0.46	0	0.46	0	0	0	0	0.64	0.14
Oddziaływanie niekinetyczne	O.3	0.08	0	0.08	0	0	0	0	0.08	0.05
Transport i ruch wojsk	L.4	0.15	0.08	0.23	0	1	13	0.19	0.13	0.06
Dowodzenie i kierowanie systemem logistycznym	L.1	0	0.23	0.23	0	0.5	1.86	0.06	0	0.03
Zabezpieczenie materiałowe	L.2	0.15	0.15	0.31	0.01	1	6.5	0.36	0.07	0.06
Rozpoznanie obrazowe	R.3	0.08	0.23	0.31	0.01	0.25	0.72	0.45	0	0.06
Manewr	O.1	0.54	0	0.54	0	0	0	0	0.67	0.19
Kierowanie systemem rozpoznania	R.1	0.08	0.31	0.38	0.12	0.5	1.08	0	0	0.1
Rozpoznanie elektroniczne	R.4	0.08	0.23	0.31	0.03	0.25	0.72	0.29	0	0.06
Rozpoznanie rodzajów wojsk	R.7	0.08	0.15	0.23	0.01	1	6.5	0.36	0	0.06
Zabezpieczenie geograficzne i nawigacyjno-hydrograficzne	R.5	0	0.15	0.15	0	0.5	3.25	0.21	0	0.03
Gromadzenie, przetwarzanie i dystrybucja informacji rozpoznawczej	R.8	0.23	0.08	0.31	0.1	0.33	0.72	0	0.33	0.08
Zabezpieczenie techniczne	L.3	0.08	0.23	0.31	0.01	1	4.33	0.4	0.02	0.04

Rys. 7. Interaktywna tabela wyników obliczeń wartości miar centralności dla zdolności  
Fig.7. Interactive table with calculations result for capabilities centrality measures

Ponadto wartości poszczególnych miar centralności dla zdolności można wyeksportować do pliku CSV i zapisać do dalszej analizy. W komponencie *Priorytetyzacja Zdolności* dostępne są dwa sposoby ponownego użycia projektu grafu zależności pomiędzy zdolnościami. Są to: zapis do bazy danych lub eksport do pliku, który można później importować na potrzeby dalszej analizy.

#### 4 Przykład przeprowadzonych eksperymentów

W celu weryfikacji opracowanej metody priorytetyzacji zdolności Sił Zbrojnych wykonano szereg eksperymentów. Podstawą do ich przeprowadzenia były grafy zależności pomiędzy zdolnościami opracowane przy współpracy z ekspertami wojskowymi, w tym z pracownikami *Akademii Obrony Narodowej*. Na rysunku 8 przedstawiony został przykładowy graf zależności pomiędzy zdolnościami dla *Scenariusza Reagowania* na zagrożenie *Konflikt o wysokiej intensywności*.



Rys. 8. Graf zależności pomiędzy zdolnościami dla Konfliktu o wysokiej intensywności  
 Fig. 8. Graph of dependencies between capabilities for Conflict with high intensity

Ocena istotności zdolności daje następujące listy pięciu najistotniejszych zdolności (w kolejności od najważniejszej), w zależności od wybranych kilku miar centralności:

- **stopień wejściowy wierzchołka:** Manewr, Ogień, Gromadzenie, przetwarzanie i dystrybucja informacji rozpoznawczej, Transport i ruch wojsk, Zabezpieczenie materiałowe;
- **pośrednictwo:** Kierowanie systemem rozpoznania, Gromadzenie, przetwarzanie i dystrybucja informacji rozpoznawczej, Rozpoznanie ogólnowojskowe, Rozpoznanie elektroniczne, Rozpoznanie obrazowe;
- **PageRank:** Manewr, Ogień, Kierowanie systemem rozpoznania, Gromadzenie, przetwarzanie i dystrybucja informacji rozpoznawczej, Zabezpieczenie materiałowe;
- **HITS - Autorytety:** Manewr, Ogień, Gromadzenie, przetwarzanie i dystrybucja informacji rozpoznawczej, Transport i ruch wojsk, Oddziaływanie niekinetyczne;
- **HITS - Koncentratory:** Rozpoznanie ogólnowojskowe, Rozpoznanie obrazowe, Zabezpieczenie techniczne, Zabezpieczenie materiałowe, Rozpoznanie rodzajów wojsk.

Otrzymane wyniki wraz z interpretacją analizowane były przez ekspertów wojskowych celem walidacji proponowanej metody priorytetyzacji zdolności wykorzystującej miary centralności. Przeprowadzone eksperymenty potwierdziły jej przydatność, w szczególności poprzez racjonalizację nadawania priorytetów zdolności, dzięki zastosowaniu podejścia ilościowego, które zawsze obiektywizuje ocenę.

## Podsumowanie

Przedstawiona metoda priorytetyzacji zdolności Sił Zbrojnych jest autorską propozycją powstałą w trakcie realizacji projektu *System informatycznego wsparcia rozwoju zdolności oraz identyfikacji potrzeb operacyjnych Sił Zbrojnych RP* [3] przez Konsorcjum, w składzie: *Wojskowa Akademia Techniczna, Akademia Obrony Narodowej i Asseco*.

Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że proponowana metoda umożliwia wielowymiarową ocenę istotności zdolności. W konsekwencji istnieje konieczność zastosowania metod z obszaru optymalizacji wielokryterialnej w przypadku decydentów, którzy oczekują jednowskaźnikowych funkcji oceny istotności zdolności dla analizowanego *Scenariusza Reagowania*. W przypadku gdy rozważanych jest wiele *Scenariuszy Reagowania*, zdolności wymagane do realizacji każdego ze scenariuszy priorytetyzowane są niezależnie, a następnie sugeruje się również w tym przypadku wykorzystać metody optymalizacji wielokryterialnej do globalnej oceny priorytetów zdolności.

Proponowana metoda w naturalny sposób może zostać rozszerzona poprzez zastąpienie grafu zależności - siecią zależności pomiędzy zdolnościami. Dzięki temu możliwe będzie odwzorowanie nie tylko struktury zależności pomiędzy zdolnościami, ale również stopnia zależności pomiędzy zdolnościami poprzez wprowadzenie funkcji opisującej stopień zależności na łukach grafu *CDG*. Wówczas do oceny zdolności można skorzystać ze zmodyfikowanych metod oceny podobieństwa wierzchołków w sieci [7].

## Literatura

1. Metodyka Planowania i Programowania Rozwoju Zdolności SZ RP, MON, Sztab Generalny WP, Warszawa, czerwiec 2014
2. Davis Paul K.: *Analytic Architecture for Capabilities-Based Planning, Mission-System Analysis and Transformation*, RAND, January 2002
3. Najgebauer A., Antkiewicz R., Chmielewski M., Dyk M., Kasprzyk R., Pierzchała D., Rulka J., Tarapata Z.: *The Qualitative and Quantitative Support Method for Capability Based Planning of Armed Forces Development*, in: *Intelligent Information and Database Systems, 7th Asian Conference, ACIIDS 2015, Bali, Indonesia, March 23-25, 2015, Proceedings, Part II*, Springer International Publishing, ISBN 978-3-319-15704-7, vol. 9012, pp. 224-234, 2015
4. B. Korzan: *Elementy teorii grafów i sieci: metody i zastosowania*, WNT, Warszawa, 1978
5. Kasprzyk R.: *Diffusion in Networks*, *Journal of Telecommunications and Information Technology*, 2/2012, pp. 99-106, 2012
6. Kasprzyk R.: *Modele ewolucji systemów złożonych i metody badania ich charakterystyk dla potrzeb komputerowej identyfikacji potencjalnych sytuacji kryzysowych*, praca doktorska, promotor A. Najgebauer, Wydział Cybernetyki Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2012
7. Tarapata Z.: *Multicriteria weighted graphs similarity and its application for decision situation pattern matching problem*, *Proceedings of the 13th IEEE/IFAC International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR'2007)*, ISBN 978-83-751803-3-6, 27-30 August, Szczecin, Poland, pp.1149-1155, 2007

## Streszczenie

W referacie przedstawiona została opracowana metoda priorytetyzacji zdolności Sił Zbrojnych RP, wykorzystywana w ramach jednej z kluczowych czynności procesu planowania tj. *Oceny Wymaganych Zdolności i ich Priorytetyzacji*. Przedstawiono grafowy model zależności pomiędzy zdolnościami i szczegółowo opisano miary centralności wierzchołów będące podstawą metody priorytetyzacji.

**Słowa kluczowe:** zdolności sił zbrojnych, priorytetyzacja zdolności, miary centralności

## **Graph's method to prioritize capabilities of armed forces**

### Summary

The paper presents a novel method to prioritize capabilities of Polish Armed Forces, used in one of the most important stages of planning process i.e. "*Required Capabilities Assessment and Prioritization*". Capability dependency graph model was presented and centrality measures were described in details which are the basis for prioritization method.

**Keywords:** capabilities of armed forces, capabilities prioritization, centrality measures

