

METODY WIELOKRYTERIALNEGO WYBORU SYSTEMÓW MONITOROWANIA

Mirosław DYTCZAK, Tomasz J. WOJTKIEWICZ

Streszczenie: Przedstawiono ogólne problemy życia miasta i wynikające z nich zapotrzebowanie na systemy monitorowania. Wskazano na wielokryterialność decyzji wyboru systemu monitorującego oraz formalne metody prowadzące do decyzji wyboru. Opisano szczegółowo jedną z takich metod wraz z przykładem jej zastosowania do wyboru systemu monitorowania konstrukcji budowlanych.

Słowa kluczowe: metody wielokryterialne podejmowania decyzji, systemy monitorowania.

1. Wstęp

Ochrona bezpieczeństwa i porządku publicznego należą do zasadniczych zadań państwa. Wyrazem tej filozofii jest uchwała nr 218/2006 Rady Ministrów z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rządowego programu ograniczania przestępczości i aspołecznych zachowań „Razem bezpieczniej” [1]. Odnosi się on do wielu istotnych sfer życia społecznego, identyfikuje problemy, określa zadania, wskazuje również podmioty odpowiedzialne za powodzenie planowanych działań. Miarą wagi programowanych rozwiązań jest szeroko określona sfera bezpieczeństwa – od miejsca zamieszkania, po dziedzictwo narodowe.

Do podstawowych celów przedstawionego programu należy między innymi:

- odczuwalny wzrost realnego bezpieczeństwa na poziomie lokalnym, szczególnie na terenie małych i średnich miast,
- ograniczanie w szczególności przestępczości pospolitej oraz zjawisk, chuligaństwa i wandalizmu,
- wzrost poczucia bezpieczeństwa oraz ograniczenie ciemnej liczby, przestępstw, wykroczeń oraz zachowań nieakceptowanych społecznie,
- poprawa bezpieczeństwa w miejscach publicznych szczególnie takich jak:
 - o ulice, przystanki komunikacyjne, targowiska, rejony lokali rozrywkowych, dyskotek,
 - o poprawa bezpieczeństwa w ruchu drogowym,
 - o zaktywizowanie i zdynamizowanie współpracy z administracją samorządową, podmiotami pozapolicyjnymi działającymi na rzecz bezpieczeństwa oraz społecznością lokalną,
 - o poprawa wizerunku Policji oraz wzrost zaufania społecznego.

Główne obszary działania programu powinny więc zapewnić:

- bezpieczeństwo w miejscach publicznych i w miejscu zamieszkania,
- bezpieczeństwo w szkole,
- bezpieczeństwo w komunikacji publicznej,
- bezpieczeństwo w ruchu drogowym,
- bezpieczeństwo w prowadzeniu działalności gospodarczej.

Zrozumiałe, że realizacja tych zadań wymagać będzie – co już następuje – coraz

doskonalszych systemów monitorowania, przetwarzania pozyskanej informacji, w tym obrazu, i stworzenie mechanizmów sprawnego rozpoznawania zagrożeń w celu przeciwdziałania negatywnym skutkom.

W tab. 1 pokazano niektóre z systemów do zarządzania bezpieczeństwem miasta. Wymienić tu można systemy: wizyjny, telemetryczny, lokalizacyjny, identyfikacyjny lotniczy czy satelitarny. Jak widać realizują one w przybliżeniu zbliżone cele ale oczywiście z różną dokładnością i przy różnych kosztach użytkowania. Decyzja o wyborze konkretnego systemu w określonych uwarunkowaniach angażuje wiele kryteriów wśród których można wymienić: innowacyjność i dostępność technologiczną, skuteczność monitorowania zagrożeń, skalowalność (możliwość rozbudowy), dostępność serwisu i części zamiennych, mierzalność i powtarzalność wyników, niezaprzeczalność wyników, użyteczność w zarządzaniu sytuacjami kryzysowymi, użyteczność w zapewnianiu bezpieczeństwa publicznego, podatność na ingerencję w integralność wyników i ich dostępność, dostępność wyników on-line, użyteczność dowodowa w postępowaniach wyjaśniających, wymagalność dużych przepustowości łączy transmisyjnych i nośników do rejestracji wyników i wiele innych.

Obok wymienionych zadań związanych z monitorowaniem miasta pojawiają się inne potrzeby wynikające z obserwacji stanu konstrukcji (i nie tylko) ważnych dla miasta obiektów i budowli (np. wysokich kominów, wieżowców itp. Tej właśnie kwestii poświęcono dalszą uwagę.

2. Metoda wielokryterialnej oceny

Istnieje wiele metod wielokryterialnej oceny obiektów, (wariantów, systemów, projektów, itp.) bazujących głównie na ich wzajemnym porównywaniu parami i zestawieniu wyników porównań w macierzy porównań. Wymienić tu warto Analizę Hierarchiczną/Sieciową Procesów (AHP/ANP) [9], metodę unitaryzacji zerowanej [8], metodę Dematel czy taksonomię wrocławską.

Wielokryterialna ocena procesów, systemów lub projektów znajduje zastosowanie w wielu obszarach działalności człowieka. Ocena wielu aspektów problemu powinna mieć miejsce w przypadku konieczności dokonania obiektywnego wyboru, czyli podjęcia najlepszej z możliwych decyzji.

Zbiór kryteriów, z punktu widzenia których przeprowadzona będzie ocena poszczególnych wariantów został zdefiniowany następująco:

$$K = \{f(1), f(2), \dots, f(k), \dots, f(K)\}. \quad (1)$$

Zbiór wariantów, który jest w rozpatrywanym przykładzie zbiorem systemów monitorowania i został zdefiniowany poniżej:

$$S = \{S(1), S(2), \dots, S(r), \dots, S(R)\}, \quad (2)$$

przy czym każdy r -ty wariant oceniany jest przez $f(1), f(2), \dots, f(k), \dots, f(K)$, gdzie R jest liczbą rozpatrywanych wariantów.

Tab.1. Miejski monitoring – zarządzanie bezpieczeństwem

| Lp. | System monitorowania | Podmiot monitorowania | Zastosowanie | Opis technologii |
|-----|-----------------------|-----------------------------|--|--|
| 1. | Wizyjny | Pojazdy, ludzie, środowisko | Nadzór ruchu kołowego (skrzyżowania, tunele, mosty, ulice); obserwacja i rejestracja osób w newralgicznych miejscach tj. środki komunikacji miejskiej, perony, imprezy masowe, manifestacje itd.; obserwacja ujść wody, stanów rzek, obserwacja newralgicznych obiektów np. portów lotniczych, stacji kolejowych, mostów, tuneli, wież i masztów transmisyjnych itp.; weryfikacja sygnałów alarmowych tj. | CCTV, punkty kamerowe stacjonarne, obrotowe, kamery megapikselowe, detekcja ruchu, zaawansowana analiza obrazów, sygnalizowanie zdefiniowanych zdarzeń, rejestracja tych zdarzeń, przesyłanie do centrów |
| 2. | Telemetryczny | Pojazdy, ludzie, środowisko | Zliczanie potoków pojazdów, sterowanie ruchem; zliczanie osób, kontrola ruchu osobowego, zajętość miejsc parkingowych; kontrola stanu rzek, kontrola obciążenia lub naprężeń newralgicznych konstrukcji, kontrola ciągłości lub szczelności linii przesyłowych (rurociągów), sygnalizacja przekroczenia stężenia substancji trujących w powietrzu (smog, wycieki np. amoniaku) lub w ujęciach wody; sygnalizacja katastrof drogowych lub kolejowych pojazdów | Różnego rodzaju czujniki połączone w sieci z przeniesieniem sygnałów do koncentratorów i dalej do centrów monitorowania; pętle indukcyjne w jezdniach, detektory ruchu: ultradźwiękowe, mikrofalowe wykorzystujące efekt Dopplera, detektory pasywne |
| 3. | Lokalizacyjny | Pojazdy, ludzie | Lokalizacja pojazdów, bezpieczeństwo transportu miejskiego, przewozów materiałów niebezpiecznych; lokalizacja osób w budynkach tj. muzea, wystawy, hale itd. | GPS dla pojazdów lub GSM dla osób używających telefonów komórkowych; systemy oparte na podzerwieni dla osób w budynkach. technologia RFID |
| 4. | Identyfikacyjny | Pojazdy, ludzie | Identyfikacja pojazdów przy wjazdach, bramkach, na parkingach; identyfikacja osób, kontrola dostępu osób do | CCTV, karty zbliżeniowe, technologia RFID (transpondery). |
| 5. | Satelitarny, lotniczy | Pojazdy, środowisko | Kontrola ruchu pojazdów, spiętrzeń ruchu, karamboli, powodzi, rozległych pożarów | Zdjęcia satelitarne, obserwacja poprzez kamery CCTV (również termowizyjne) z samolotów, helikopterów, balonów na widgei. |

W proponowanej metodzie porównujemy R wariantów z punktu widzenia K kryteriów. Zakładamy, że na iloczynie kartezjańskim $\mathbf{S} \times \mathbf{K}$ zadane jest odwzorowanie e , postaci:

$$e: \mathbf{S} \times \mathbf{K} \rightarrow \mathbf{R}^+, \quad (3)$$

czyli:

$$e(s(r), f(k)) \equiv e(r, k). \quad (4)$$

Przyjmujemy, że wielkość $e(S(r), f(k)) \equiv e(r, k) \in \mathbf{R}^+$ interpretowana jest jako ocena r -tego wariantu $S(r)$ z punktu widzenia k -tego kryterium $f(k)$, $e(r, k) \in \mathbf{R}^+$.

Odwzorowanie e można zapisać w postaci macierzy \mathbf{E} , przy czym elementami tej macierzy będą wielkości $e(r, k)$, tj.:

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} e(1,1) & \dots & e(1,k) & \dots & e(1,K) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e(r,1) & \dots & e(r,k) & \dots & e(r,K) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e(R,1) & \dots & e(R,k) & \dots & e(R,K) \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Kolejnym krokiem metody jest przypisanie kryteriom ze zbioru \mathbf{K} pewnej wielkości liczbowej $c(k)$, $k=1, \dots, K$, którą interpretujemy jako względną ważność k -tego kryterium (wagę k -tego kryterium).

Zakładamy, że wartość $c(k)$ względnej ważności każdego z kryterium przyjmuje wartość liczbową, np. z przedziału $\langle 1, 10 \rangle$, przy czym im wartość $c(k)$ jest większa, tym k -te kryterium jest ważniejsze. Porównując ze sobą dwa dowolne warianty $S(r), S(r') \in \mathbf{S}$, tj. pary $(S(r), S(r'))$ wyznaczmy dla ilu kryteriów $f(k), k=1, \dots, K$, wariant $S(r)$ otrzymuje lepsze oceny niż wariant $S(r')$.

W rezultacie otrzymujemy wskaźnik zgodności $z(S(r), S(r'))$ ocen według k -tych kryteriów. Wskaźnik zgodności jest równy ilorazowi sumy współczynników względnej ważności tych kryteriów, w których porównywany wariant $S(r)$ otrzymał lepsze oceny w stosunku do wariantu alternatywnego $S(r')$ do sumy współczynników względnej ważności wszystkich kryteriów. Powyższy fakt formalnie zapisujemy następująco:

$$z(S(r), S(r')) = \frac{1}{c} \sum_{f(k) \in \mathbf{K}: e(r,k) > e(r',k)} c(k), \quad (6)$$

gdzie:

$$c = \sum_{k=1}^K c(k). \quad (7)$$

Wskaźnik zgodności charakteryzuje się następującymi właściwościami:

13. Przyjmuje wartości z przedziału $\langle 0, 1 \rangle$.

14. Jest równy jedności jedynie w przypadku, gdy wariant $S(r)$ jest jednakowo oceniany przez wszystkie kryteria $f(k)$.

Wartość wskaźnika zgodności wyraża względną ważność tego, że wariant $S(r)$ otrzymał

lepsze oceny w stosunku do wariantu porównywanego $S(r')$, a zatem $z(S(r), S(r')) \equiv z(r, r')$. Wskaźnik zgodności ocen kryteriów poszczególnych wariantów wygodnie jest zapisać w postaci macierzy zgodności \mathbf{Z} :

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} z(1,1) & \dots & z(1,r') & \dots & z(1,R) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ z(r,1) & \dots & z(r,r') & \dots & z(r,R) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ z(R,1) & \dots & z(R,r') & \dots & z(R,R) \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Jest to macierz kwadratowa o wymiarach $R \times R$, której elementy diagonalne przyjmują wartości zerowe.

Z punktu widzenia rozwiązywanego problemu wielokryterialnej oceny wariantu rozwiązania jest również istotne porównanie, w jakim stopniu ocena wariantu $S(r)$ jest gorsza w stosunku do wariantu alternatywnego $S(r')$. Mówiąc inaczej, dla ilu kryteriów ze zbioru kryteriów \mathbf{K} wariant $S(r')$ otrzymał lepsze oceny niż wariant $S(r)$. W tym celu wyznaczamy wskaźnik niezgodności ocen. Wskaźnik niezgodności $n(S(r), S(r'))$ ocen dowolnej pary wariantów $S(r), S(r')$ otrzymujemy określając dla ilu kryteriów $f(k)$ wariant $S(r)$ otrzymał gorsze oceny niż wariant alternatywny $S(r')$. Wskaźniki niezgodności wygodnie jest zapisać w postaci macierzy niezgodności \mathbf{N} :

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} n(1,1) & \dots & n(1,r') & \dots & n(1,R) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ n(r,1) & \dots & n(r,r') & \dots & n(r,R) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ n(R,1) & \dots & n(R,r') & \dots & n(R,R) \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Wartość wskaźnika niezgodności $n(S(r), S(r')) = n(r, r')$ jest ilorazem maksymalnej wartości wszystkich różnic ocen dla danego kryterium oraz maksymalnej różnicy między ocenami, w macierzy ocen \mathbf{E} :

$$n(S(r), S(r')) = \frac{1}{d} \max_{(r,k) \in S \times K: e(r',k) > e(r,k)} \{e(r',k) - e(r,k)\}, \quad (10)$$

gdzie: d - maksymalna różnica między elementami o największej i najmniejszej wartości w macierzy E ocen wariantów, tj.:

$$d = \max_{(r,k) \in S \times K} \{e(r,k)\} - \min_{(r,k) \in S \times K} \{e(r,k)\}, \quad (11)$$

gdzie, z kolei, $e(r,k)$ oznacza (r,k) -ty element macierzy E ocen wariantów.

Łatwo zauważyć, że wskaźnik niezgodności ocen podobnie jak wskaźnik zgodności przyjmuje wartości liczbowe z przedziału $\langle 0, 1 \rangle$. W przypadku, gdy przyjmuje on wartość równą jedności, tj.: $n(S(r), S(r')) = 1$, oznacza to, że występuje maksymalna niezgodność ocen wariantu $S(r)$ względem wariantu $S(r')$.

Wskaźnik niezgodności przyjmuje się wartość zerową, gdy warianty $S(r), S(r')$ mają

identyczną ocenę według wszystkich kryteriów $f(k)$.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że macierz zgodności odwzorowuje różnice między względnymi wartościami kryteriów, natomiast macierz niezgodności odwzorowuje różnice między ocenami poszczególnych wariantów. Powyższe jest istotną zaletą tej metody w porównaniu z innymi metodami oceny wielokryterialnej. Należy tu zwrócić uwagę na to, że maksymalna zgodność wariantu $S(r)$ względem wariantu alternatywnego $S(r')$ implikuje równość $z(S(r), S(r')) = l$, co jednocześnie oznacza, że $n(S(r), S(r')) = 0$ i odwrotnie.

Mając zbudowaną macierz zgodności ocen kryteriów \mathbf{Z} oraz macierz niezgodności ocen \mathbf{N} przystępujemy do wyznaczenia progów ν i q , nazwanych odpowiednio „progiem zgodności” oraz „progiem niezgodności”, które są niezbędne do wyboru wariantu ze zbioru S . Przyjmują one wartości liczbowe z przedziału $\langle 0, 1 \rangle$, przy czym, na ogół wielkość ν , którą interpretujemy jako „próg zgodności” przyjmuje wartości bliższe jedności, natomiast wielkość q , którą interpretujemy jako „próg niezgodności” przyjmuje wartości bliższe zeru. Progi ν i q spełniają rolę swego rodzaju „sita przepuszczającego” tylko te warianty $S(r)$ ze zbioru S , które spełniają jednocześnie próg zgodności ν i próg niezgodności q . Dla dwóch różnych wariantów $S(r), S(r')$ ze zbioru wariantów S , tj. $S(r), S(r') \in S$, porównywanych według K kryteriów oraz progów ν i q , powiemy, że wariant $S(r)$, przewyższa wariant alternatywny $S(r')$ wtedy i tylko wtedy, gdy para $(S(r), S(r'))$ spełnia warunki:

$$z(S(r), S(r')) \geq \nu \quad \text{i} \quad n(S(r), S(r')) \leq q \quad (12)$$

Ilustracja graficzna powyższego warunku, dla każdej pary $(S(r), S(r'))$ pozwala na zdefiniowanie grafu Gf postaci:

$$Gf = \langle P, U \rangle, \quad (13)$$

dla którego:

P - jest zbiorem wierzchołków grafu odwzorowujących zbiór ocenianych wariantów,

U - jest zbiorem łuków $(S(r), S(r'))$ takich, że:

$$\{S(r), S(r') \in U\} \equiv \{[z(S(r), S(r')) \geq \nu] \wedge [n(S(r), S(r')) \leq q]\}. \quad (14)$$

W zależności od wartości współczynników ν i q , możemy wygenerować rodzinę grafów częściowych grafu GF , tj.:

$$GF = \{gf = \langle P, U \rangle : ((S(r), S(r')) \in U) \equiv ([z(S(r), S(r')) \geq \nu] \wedge [n(S(r), S(r')) \leq q])\}, \quad (15)$$

dla różnych ν i q , które mają sens. Dokonujemy tego, obniżając zarówno wymagania zgodności przez obniżenie progu ν oraz wymagania niezgodności przez podwyższenie progu q .

Elementy zbioru U możemy przedstawić w postaci macierzy binarnej \mathbf{A} , zwanej macierzą dominacji. Elementy tej macierzy określone są następująco:

$$a(S(r), S(r')) = \begin{cases} 1, & \text{gdy } [z(S(r), S(r')) \geq \nu] \wedge [n(S(r), S(r')) \leq q] \\ 0, & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}. \quad (16)$$

Oznacza to, że jeżeli $a(S(r), S(r')) = 1$, to wariant $S(r)$ jest lepszy w stosunku do wariantu

$S(r')$, zarówno w sensie zgodności ocen kryteriów, jak i niezgodności ocen. Ostateczny wybór, dokonany na podstawie skonstruowanego grafu Gf , rozwiązań niezdominowanych polega na wydzieleniu tych wierzchołków grafu Gf , dla których nie ma łuków wchodzących do nich. Wierzchołki odwzorowujące warianty, które nie mają łuków zachodzących są wierzchołkami (wariantami) niezdominowanymi.

3. Przykład zastosowania metody

Rozwiązaniem zadania i osiągnięciem celu jest wybór optymalnego wariantu spośród rozpatrywanych systemów monitorowania o znacznym stopniu automatyzacji pomiarów.

Poszczególne warianty rozwiązania oznaczono następująco:

- S1 – system satelitarny (GPS),
- S2 – system geodezyjny (tachimetry),
- S3 – system światłowodowy z siatką Bragga (FBG),
- S4 – system światłowodowy SOFO (interferometry Michelsona),
- S5 – system Fabry-Perot (FP).

Powyższe warianty rozwiązań, będące rozważanymi przez ekspertów systemami monitorowania, zostały ocenione pod względem stopnia spełnienia zdefiniowanych kryteriów. Ponieważ dla prowadzącego badania konkretnej konstrukcji (obiektu budowlanego) poszczególne kryteria oceny nie są na ogół tak samo ważne, zróżnicowano je pod kątem znaczenia, przypisując każdemu z nich wielkość liczbową, którą należy rozumieć jako względną ważność, czyli wagę tego kryterium. Znaczenie i wagi przyjętych kryteriów oceny przedstawiono w tab.2.

Tab. 2. Przyjęte kryteria oceny systemów monitoringu i ich wagi

| Kryterium | Znaczenie | Waga |
|-----------|------------------------------------|------|
| K1 | Innowacyjność technologiczna | 3 |
| K2 | Dostępność technologiczna | 2 |
| K3 | Skuteczność monitorowania zagrożeń | 1 |
| K4 | Skalowalność (możliwość rozbudowy) | 5 |
| K5 | Dostępność serwisu | 6 |
| K6 | Dostępność części zamiennych | 3 |

Zestaw ocen, dokonanych przez eksperta, odpowiadający skali od 1 do 5 (ocena 5 jest oceną najlepszą) przedstawiono w postaci macierzy wejścia na rys.1. Ujęto tam też postacie macierzy: zgodności, binarych i dominacji.

Na rys. 2. przedstawiono graf Gf , skonstruowany na podstawie wykonanych obliczeń. Określa on rozwiązanie rozpatrywanego zagadnienia. Na jego podstawie można stwierdzić, że wariant S4 jest zdecydowanie najlepszy i dominuje w większości kryteriów nad pozostałymi systemami. Należy zauważyć, że istnieje kryterium, pod względem którego system SOFO uzyskał słabszą ocenę, ale przyjęte wartości współczynników zgodności i niezgodności wymusiły progi, które zdeterminowały rozwiązanie i pozwoliły na jednoznaczne wskazanie optymalnego systemu monitorowania.

Macierz wejściowa:

| | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 |
|----|----|----|----|----|----|----|
| S1 | 2 | 4 | 1 | 3 | 5 | 1 |
| S2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| S3 | 4 | 5 | 5 | 5 | 3 | 4 |
| S4 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 |
| S5 | 4 | 5 | 4 | 3 | 3 | 1 |

Wagi kryteriów:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 2 | 1 | 5 | 6 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|

Parametr v :

Parametr q :

Macierz zgodności Z

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|----|------|------|-----|------|------|
| S1 | 0.0 | 0.65 | 0.3 | 0.0 | 0.3 |
| S2 | 0.15 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| S3 | 0.7 | 1.0 | 0.0 | 0.05 | 0.45 |
| S4 | 0.7 | 1.0 | 0.6 | 0.0 | 0.85 |
| S5 | 0.3 | 0.85 | 0.0 | 0.05 | 0.0 |

Macierz binarna X

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|----|----|----|----|----|----|
| S1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| S2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| S4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| S5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

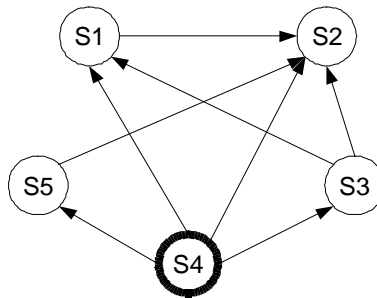
Macierz binarna Y

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|----|----|----|----|----|----|
| S1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| S2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| S4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| S5 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

Macierz dominancji A

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|----|----|----|----|----|----|
| S1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| S2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| S4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| S5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

Rys. 1. Postacie macierzy wejściowej i macierzy wynikowych



Rys. 2. Ilustracja graficzna otrzymanego rozwiązania
(wariant S4 dominuje nad pozostałymi)

Literatura

1. Policyjny program ograniczania przestępczości i aspołecznych zachowań w małych i średnich miastach „Bezpieczne miasta”, Warszawa 2007.
2. Ackoff R.W: Decyzje optymalne w badaniach stosowanych. PWN, Warszawa 1968.
3. Ambroziak T.: Modelowanie procesów technologicznych w transporcie. OWPW, Prace Naukowe Transport z.40, 1998.
4. Jacyna M.: Modelowanie wielokryterialne w zastosowaniu do oceny systemów transportowych. OWPW, Prace Naukowe Transport z.46, 2000.
5. Jaworski K.: Organizacja i planowanie w budownictwie. T. II. Zastosowanie badań operacyjnych. PWPW, Warszawa, 1992.
6. Skłodowski M.: Współczesny monitoring obiektów budowlanych. Przegląd Budowlany, 11, 2008.
7. Szwabowski J., Deszcz J.: Metody wielokryterialnej analizy porównawczej. Podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań w budownictwie. Politechnika Śląska, Gliwice 2001.
8. Kukuła K. (red.): Badania operacyjne w przykładach i zadaniach. PWN. Warszawa 2001.
9. Saaty T.L.: Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. RWS Publ., Pittsburgh 1994.

Dr hab. inż. Mirosław DYTCZAK, prof. PO
Katedra Badań Operacyjnych w Zarządzaniu
Politechnika Opolska
45-047 Opole, ul. Waryńskiego 4
tel./fax.: (0-77) 454 35 33
e-mail: mdytczak@gmail.com

Tomasz J.WOJTKIEWICZ
Warszawskie Centrum Postępu Techniczno - Organizacyjnego Budownictwa
WACETOB - Centrum Techniczne Budownictwa
02-554 Warszawa, ul. Olesińska 21
e-mail: ctb@wacetob.com.pl