

Tomasz Ambroziak*, Konrad Lewczuk*

Metoda wielokryterialna w zastosowaniu do oceny konfiguracji strefy składowania

1. Wprowadzenie

Strefa składowania magazynu (SSM) realizuje przekształcenie strumienia materiałów ze względu na czas (składowanie) oraz miejsce (transport w obrębie strefy). W artykule omówiono strefę składowania wyposażoną w regały ramowe paletowe pojedynczej głębokości, obsługiwane przez różne typy urządzeń (w zależności od wariantu).

Proponowana metoda oceny wielokryterialnej SSM jest narzędziem ułatwiającym kształtowanie strefy w fazie koncepcji, a także bieżącą aranżację strefy w trakcie jej użytkowania. Wybrane parametry SSM (k , p , g , Ast – opisane poniżej) mogą być w sposób stosunkowo szybki modyfikowane w fizycznym obiekcie w zależności od zapotrzebowania, co uzasadnia możliwość zastosowania metody.

SSM musi spełniać szereg kryteriów wynikających z typu i cech obsługiwanych jednostek magazynowych, rotacji grup asortymentu oraz spiętrzeń dobowych w przepływach materiałów. Ponadto jej cechy funkcyjne będą wynikały z lokalizacji magazynu w funkcji kosztów gruntu, funkcji dodatkowych realizowanych w strefie (komisjonowanie, buforowanie) oraz przewidywanych ilościowych i jakościowych zmian struktury strumienia materiałów w przyszłości (rozwój strefy).

Odpowiednio ukształtowana i zwymiarowana strefa składowania magazynu zapewni minimalne koszty eksploatacyjne i operacyjne i związaną z nimi racjonalną liczbę urządzeń, maksymalne wykorzystanie powierzchni dysponowanej oraz kubatury, zdolność reagowania na nieprzewidziane spiętrzenia strumieni materiałów oraz elastyczność rozwoju.

Strefa składowania w magazynie może obsługiwać wiele różnych grup asortymentowych charakteryzujących się różnymi wymaganiami technologicznymi. W praktyce SSM będzie podzielona na obszary funkcjonalne ze względu na wybrane charakterystyki strumieni materiałów. Obszary takie należy rozpatrywać osobno. Problem oceny kompleksowej rozwiązania w aspekcie całego systemu logistycznego przedsiębiorstwa jest zagadnieniem szerokim.

* Wydział Transportu, Politechnika Warszawska

Osiągnięcie porządkanych cech rozwiązania wymaga sprawnego doboru wartości wymienionych niżej parametrów w zależności od kryteriów oceny i ich wag w danym przypadku. Zastosowanie metody oceny wielokryterialnej umożliwi dokonanie wyboru wariantu racjonalnego względem wymagań inwestora.

2. Strefa składowania magazynu

SSM jest elementem układu transportu wewnętrznego przedsiębiorstwa i systemu logistycznego w szerszym zakresie i jako taki musi zawsze być rozpatrywana. Parametry i cechy strefy powinny wynikać z funkcji spełnianej w łańcuchu logistycznym, a kryteria jej oceny uwzględniać warunki brzegowe systemu w ramach którego operuje.

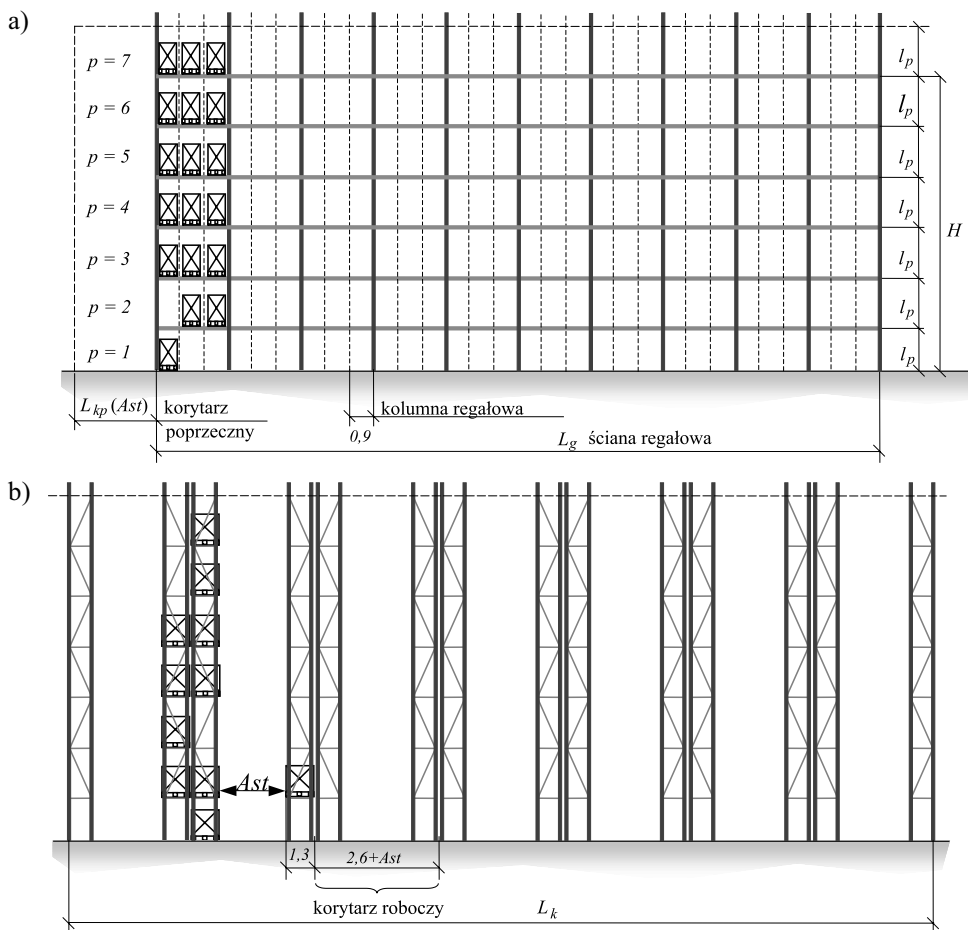
Przyjmuje się, że SSM składa się z k korytarzy roboczych (rys. 1b), których długość wyrażona jest liczbą g kolumn regałowych, a wysokość wyrażona przez liczbę p poziomów składowania (rys. 1a).

Każdy korytarz roboczy składa się z dwóch regałów oraz przestrzeni roboczej między regałami o szerokości Ast . Szerokość L_k strefy, tak jak i korytarza poprzecznego L_{kp} służącego do zmiany przez urządzenie korytarza roboczego oraz wysokość regałów H są zależne od typu urządzenia pracującego w strefie składowania magazynu. Rysunek 2 obrazuje przykładową zależność wartości parametru Ast (charakterystycznej dla danego typu urządzenia transportowego) od wybranych charakterystyk strefy. Jeden cykl we/wy realizowany jest w celu pobrania lub odstawienia jednej jednostki materiału – jest to cykl pojedynczy. Rozpatrywana strefa spełnia wyłącznie funkcje buforowe.

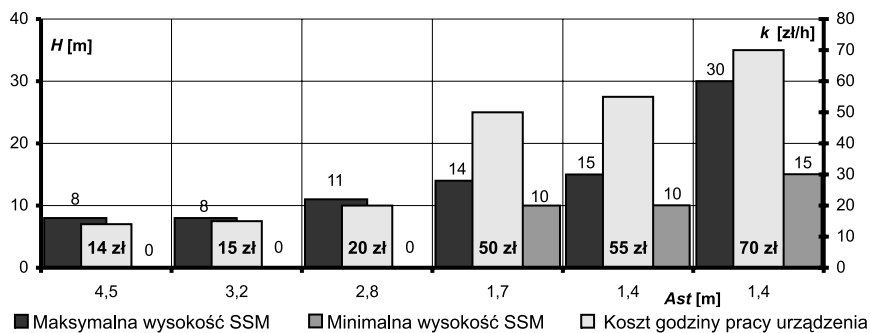
Wymiary SSM są zależne od wymiarów i wzajemnego ułożenia innych stref magazynu (rys. 3), średniego czasu cyklu t_{cp} wejścia i wyjścia ze strefy jednostki materiału, liczby n oraz typu pracujących w strefie urządzeń (dla pewnych technologii, np. suwnic lub wózków VNA, zachodzi zasada: jeden korytarz roboczy na jedno urządzenie). Z kolei liczba n urządzeń danego typu jest funkcją gabarytów strefy, dobowej liczby cykli we/wy do strefy λ_p^D , czasu dysponowanego netto pracy t_{net} oraz przyjętej minimalnej pojemności strefy $Z_p^{\min}$. Poniżej wymieniono także inne parametry określające wariant projektowy SSM [3, 4].

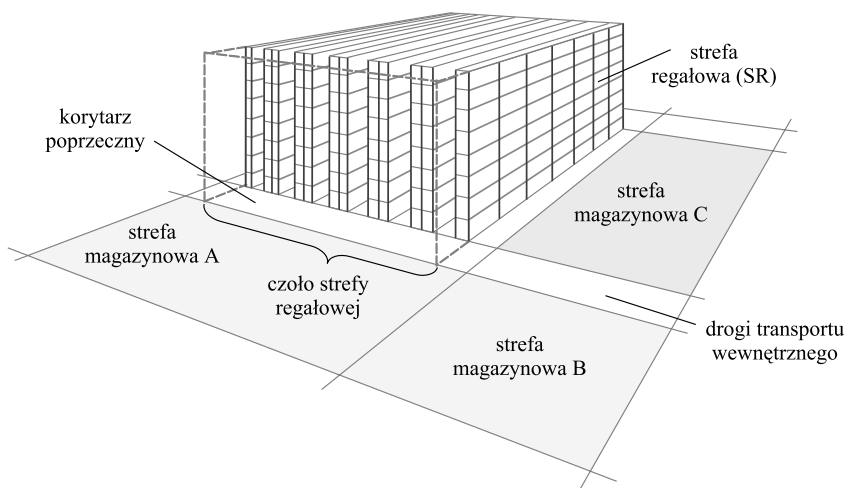
Znając wartości parametrów p , k , g , Ast , można określić fizyczne wymiary strefy (rys. 1a, b): $H = (p - 1) \cdot l_p$ [m] – wysokość SSM, przy czym l_p jest wysokością 1 poziomu składowania, $L_k = k(2,6 + Ast)$ [m] – szerokość czoła SSM, $L_g = 0,9g$ [m] – długość SSM, $L_{kp}(Ast)$ [m] – szerokość korytarza poprzecznego na czole SSM.

W stanie biernym SSM nie powoduje powstawania kosztów operacyjnych (związanych z pracą ludzi i urządzeń), a wyłącznie eksploatacyjne (koszty utrzymania infrastruktury). W stanie czynnym zaś, w przypadku mechanicznej (ludzie oraz urządzenia) lub automatycznej (wyłącznie urządzenia) obsługi generowane są koszty operacyjne i eksploatacyjne. W dalszych rozważaniach przyjmuje się, że integralnym elementem strefy są urządzenia w niej operujące.



Rys. 1. Strefa składowania magazynu: a) rzut boczny; b) rzut czoła

Rys. 2. Przykładowa zależność charakterystyk technologicznych i kosztowych SSM od Ast



Rys. 3. Strefa składowania magazynu

Określenie wartości parametrów decyzyjnych p , k , g , Ast może zostać dokonane poprzez rozwiązanie zadania optymalizacyjnego względem wybranych kryteriów oceny, albo poprzez zrealizowanie jednej z procedur projektowania obiektów logistycznych. Dla określonego zadania logistycznego SSM należy opracować kilka wariantów strefy. Otrzymane rozwiązania wariantowe powinny zostać poddane ocenie.

3. Metoda wielokryterialna oceny SSM

Do oceny wariantów projektowych SSM wykorzystano metodę MAJA [1],[2].

Niech $X = \{X(1), ..., X(r), ..., X(r'), ..., X(R)\}$ będzie zbiorem R wariantów projektowych strefy składowania magazynu. Każdy wariant określają wartości elementów szóstki uporządkowanej:

$$X = \langle p, k, g, Ast, n, Z_p \rangle \quad (1)$$

Zdefiniowany został zbiór kryteriów częściowych oceny wariantów projektowych:

$$F = \{f_1(X), f_2(X), ..., f_k(X), ..., f_K(X)\} \quad (2)$$

Przyjęto, że SSM będzie oceniana ze względu na następujące kryteria technologiczne i kosztowe:

- $k = 1$: pojemność Z_p [mp] strefy – najważniejszy kryterium oceny SSM ze względu na utrzymanie zapasu bezpieczeństwa, pojemność może być różna w zależności od zastosowanej technologii;

$$Z_p = 2k \cdot p \cdot g \quad (3)$$

- $k = 2$: miernik kubaturowy strefy β_M [m^3/mp] – określa stopień wykorzystania przestrzeni obudowanej, którą trzeba utrzymywać (ogrzewać, chronić, oświetlać);

$$\beta_M = \frac{H \cdot L_k \cdot (L_g + L_{kp}(Ast))}{Z_p} \quad (4)$$

- $k = 3$: miernik powierzchniowy strefy α_M [m^2/mp] – określa stopień wykorzystania powierzchni strefy, szczególnie przydatny w sytuacji ograniczonych zasobów terenowych;

$$\alpha_M = \frac{L_k \cdot (L_g + L_{kp}(Ast))}{Z_p} \quad (5)$$

- $k = 4$: powierzchnia F_M [m^2] strefy;

$$F_M = (L_g + L_{kp}(Ast)) \cdot L_k \quad (6)$$

- $k = 5$: maksymalna wydajność godzinowa strefy $\lambda_{\max}^H$ [cykli/h] – określa efektywność wydawania i przyjęć materiałów w godzinach szczytowych dla przepływu materiałów, duża wydajność SSM przekłada się na mniejsze powierzchnie buforowe w strefach wejścia i wyjścia oraz poprawia czas reakcji systemu na zamówienie klienta;

$$\lambda_{\max}^H(t_{cp}, n) \quad (7)$$

- $k = 6$: roczny koszt utrzymania miejsca paletowego K_{mp}^R [zł/mp/rok] – w jego skład wchodzi wydatki na konserwację i serwis wyposażenia niemechanicznego (regały) oraz wyposażenia mechanicznego i automatycznego strefy (wózki, suwnice, układnice, sterowanie);

$$K_{mp}^R(Z_p, n, Ast, H) \quad (8)$$

- $k = 7$: roczne koszty operacyjne K_O^R [zł/mp/rok] strefy – koszty wynikające z konieczności utrzymania urządzeń operujących w strefie oraz obsługujących ich pracowników;

$$K_O^R(Ast, n, H) \quad (9)$$

- $k = 8$: nakłady na jedno miejsce paletowe N_{mp} [zł/mp] – wynikające z nakładów na zastosowane technologie obsługi ładunku, konstrukcję regałów i cenę gruntu;

$$N_{mp}(Z_p, H, L_k, L_g, Ast, n) \quad (10)$$

- $k = 9$: czas średni cyklu we/wy t_{cp} [min] – kryterium ważne ze względu na projektowanie systemów transportu wewnętrznego w magazynach;

$$t_{cp}(H, L_k, L_g, Ast, k) \quad (11)$$

- $k = 10$: koszt γ_{kp} [zł/jłp] przejścia jednostki paletowej przez strefę – kryterium kompleksowe zależne od wielkości przepływu materiałowych przez SSM oraz kosztów uzyskania jej wydajności;

$$\gamma_{kp}(\lambda^D, K_o^R) \quad (12)$$

- $k = 11$: liczba n [szt.] urządzeń pracujących w strefie;

$$n = \frac{\lambda^D \cdot t_{cp}}{t_{net}} \quad (13)$$

- $k = 12$: stopień uniwersalności urządzeń obsługujących SSM 2 przyjmujący wartości z przedziału $\langle 0, 1 \rangle$ (wskaźnik przyjmuje wartość 1, kiedy urządzenia są w pełni uniwersalne ze względu na możliwość ich wykorzystania w innych obszarach magazynu).

Wymienione kryteria charakteryzują strefę składowania magazynu ze względu na jej parametry wydajnościowe i kosztowe, a także fizyczne wymiary. Podane zależności kryterialne są funkcjami wariantu projektowego.

Dysponujemy zatem:

$$\mathbf{F} = \{Z_p(X), \beta_M(X), \alpha_M(X), F_M(X), \lambda_{\max}^H(X), K_{mp}^R(X), K_o^R(X), N_{mp}(X), t_{cp}(X), \gamma_{kp}(X), n(X)\} \quad (14)$$

Założono, że na iloczynie kartezjańskim $X \times F$ zadane jest odwzorowanie w postaci $w: X \times F \longrightarrow \mathfrak{R}^+$, dla którego $w(r, k) \in \mathfrak{R}^+$ jest oceną r -tego wariantu projektowego $X(r)$ przez k -te kryterium cząstkowe f_k . Dla wymienionych kryteriów cząstkowych oceny SSM odwzorowanie w przedstawiowo w postaci macierzy $\mathbf{W}_{R \times K}$ o elementach $w(r, k) \in \mathfrak{R}^+$.

Poszczególnym k -tym kryteriom cząstkowym ze zbioru $\mathbf{F}$ przypisano ważności $c(k)$, przy czym $k = 1, \dots, K$ o wartościach z przedziału $\langle 1, 10 \rangle$. Im wyższą wartość przydzielono kryterium, tym ono jest ważniejsze dla oceny. Wagi poszczególnych kryteriów powinny zostać ustalone przez inwestora w zależności od jego priorytetów.

Budowa macierzy zgodności i niezgodności ocen jest kolejnym etapem metody. Porównując ze sobą dwa dowolne warianty projektowe SSM $X(r)$ oraz $X(r')$ wyznacza się wskaźnik zgodności ocen kryteriów $z(X(r), X(r')) \equiv z(r, r')$ wg wzoru:

$$z(r, r') = \frac{1}{c} \sum_{k: f_k \in F: w(r, k) > w(r', k)} c(k), \quad \text{gdzie } c = \sum_{k=1}^K c(k) \quad (15)$$

Wskaźniki zgodności ocen kryteriów wariantów projektowych SSM zapisuje się w postaci macierzy zgodności $Z_{R \times R}$, której elementy diagonalne przyjmują wartości zerowe.

Macierz niezgodności $N_{R \times R}$ budują się poprzez wyznaczenie wskaźników niezgodności wariantów $n(X(r), X(r')) \equiv n(r, r')$:

$$n(r, r') = \frac{1}{d} \max_{(r,k) \in X \times F: w(r',k) > w(r,k)} \{w(r',k) - w(r,k)\} \quad (16)$$

gdzie: d – maksymalna różnica pomiędzy elementami macierzy W ocen wariantów SSM:

$$d = \max_{(r,k) \in X \times F} w(r,k) - \min_{(r,k) \in X \times F} w(r,k)$$

Wskaźniki zgodności i niezgodności ocen przyjmują wartości z przedziału $\langle 0,1 \rangle$. Macierz zgodności Z odwzorowuje różnice pomiędzy względnymi wagami kryteriów, natomiast macierz niezgodności N odwzorowuje różnice pomiędzy ocenami poszczególnych wariantów projektowych.

Kolejnym krokiem metody jest przyjęcie progu zgodności v i progu niezgodności u koniecznych do wyboru najlepszego wariantu projektowego SSM ze zbioru X . Progi przyjmują wartości z przedziału $\langle 0,1 \rangle$, przy czym próg zgodności v przyjmuje wartości bliższe jedności a próg niezgodności u wartości bliższe zeru.

Dla dwóch różnych wariantów projektowych $X(r), X(r') \in X$ porównywanych wg K kryteriów oraz przyjętych progów v i u wariant projektowych $X(r)$ jest lepszy od wariantu $X(r')$ kiedy para wariantów spełnia warunek:

$$z(X(r), X(r')) \geq v \quad (17)$$

i

$$n(X(r), X(r')) \leq q \quad (18)$$

Spełnienie powyższych warunków może zostać zilustrowane za pomocą grafu G postaci:

$$G = \langle X, U \rangle \quad (19)$$

gdzie:

X – zbiór wierzchołków grafu odpowiadających wariantom projektowym SSM,

U – zbiór łuków $(X(r), X(r'))$ spełniających warunek:

$$\{(X(r), X(r')) \in U\} \equiv \left[[z(X(r), X(r')) \geq v] \wedge [n(X(r), X(r')) \leq q] \right] \quad (20)$$

Poprzez obniżanie progu v (wymagania zgodności) i podwyższanie progu u (wymagania niezgodności) można wygenerować rodzinę grafów GF .

Elementy zbioru U można przedstawić w postaci macierzy binarnej A (macierzy dominacji), której elementy określone są następująco:

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

Powyższy zapis należy interpretować tak, że jeżeli $a(X(r), X(r')) = 1$ to wariant projektowy $X(r)$ SSM jest lepszy od wariantu $X(r')$, zarówno w sensie zgodności kryteriów jak i niezgodności ocen. Ostateczny wybór wariantu najlepszego dokonywany jest na bazie grafu G , w którym należy dokonać wydzielenia tych wierzchołków, dla których nie ma łuków wchodzących do nich, czyli tzw. wierzchołków niezdominowanych.

4. Podsumowanie

Wykorzystanie metod wielokryterialnej oceny ułatwia podejmowanie decyzji w problemach o dużej liczbie potencjalnych ścieżek decyzyjnych. Łatwość aplikowania metody w postaci programów komputerowych umożliwia opracowanie sprawnych narzędzi wspomagających podejmowanie decyzji.

Autorzy, w kolejnych publikacjach, będą rozwijać temat poprzez doprecyzowanie analitycznych form kryteriów oceny rozwiązań projektowych SSM, podanie realnych wartości kryteriów i określenie wag kryteriów w przypadku różnych warunków decyzyjnych.

Literatura

- [1] Goswami T., Pająk M., Skrzypiński W., *Biocompatibility of selected extractants in the continuous extractive ethanol fermentation*. Inż. Chem. Proc., 21, 2000, 645.
- [2] Jacyna M., *Modelowanie wielokryterialne w zastosowaniu do oceny systemów transportowych*. Prace Naukowe PW, seria Transport, z. 47, OWPW, Warszawa 2001.
- [3] Jacyna M., *Modelowanie i ocena systemów transportowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
- [4] Fijałkowski J., *Technologia magazynowania. Wybrane zagadnienia*. OWPW, Warszawa 1995.
- [5] Fijałkowski J., *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych. Wybrane zagadnienia*. OWPW, Warszawa 2003.
- [6] Bartholdi J.J., Hackman S.T.: Warehouse & distribution science. Release 0.85, www.warehouse-science.com, January 2007.